



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

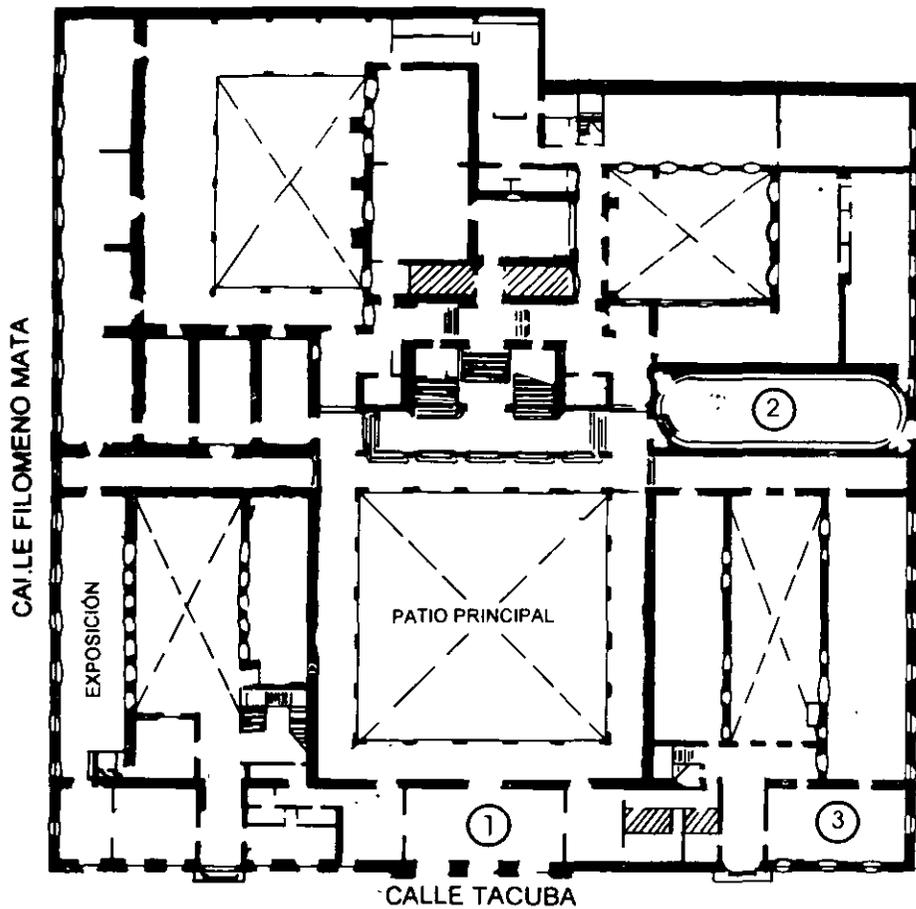
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

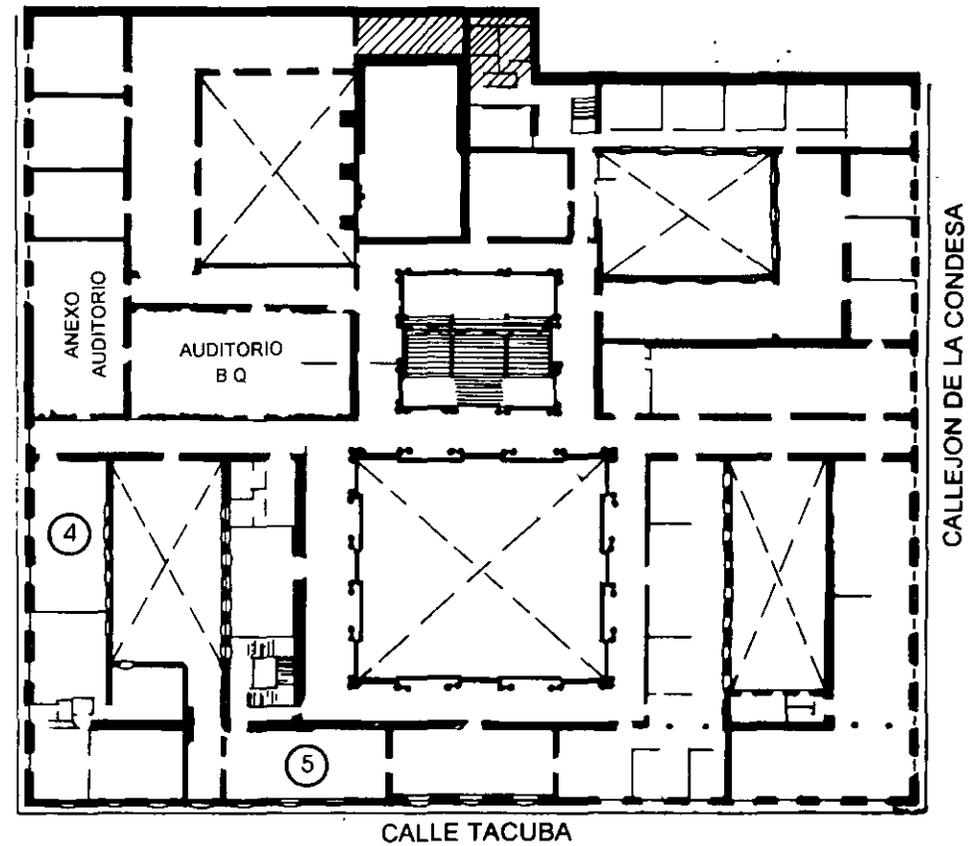
Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERIA

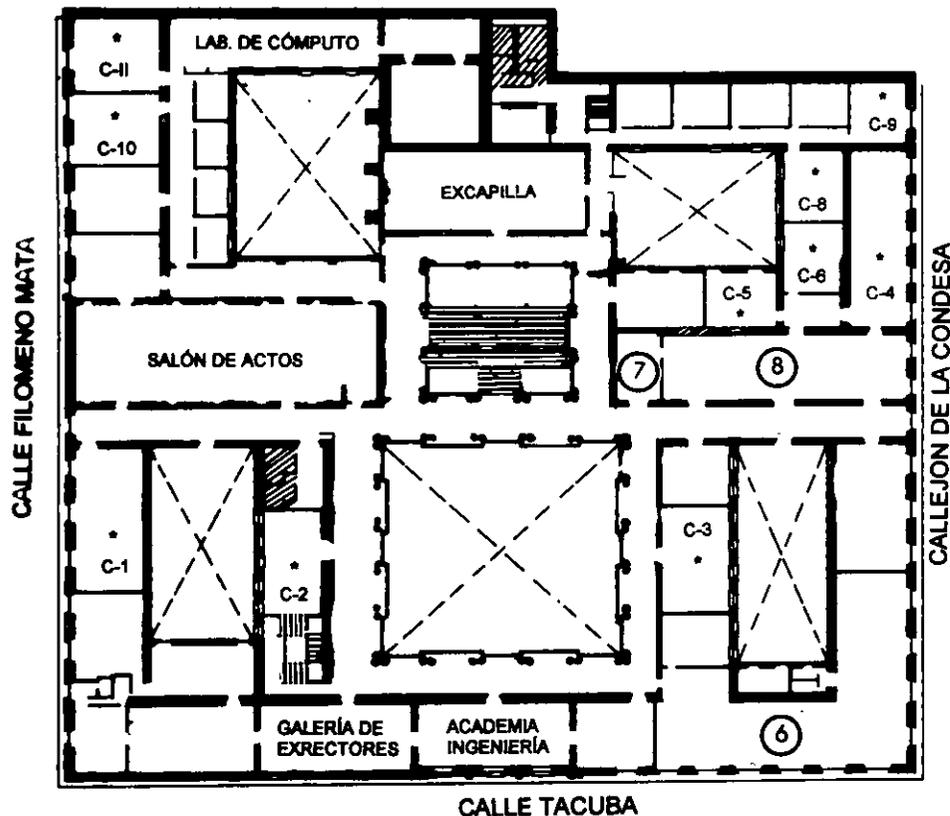


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

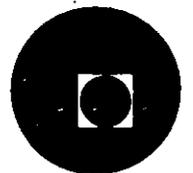
SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS





DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

Proceso de la Construcción

Ing. Sergio González Karg
Palacio de Minería
1998.

INDICE

PROCESO DE LA CONSTRUCCION

1. INTRODUCCION

INTRODUCCION

1.1 PROPOSITOS

1.2 TEMAS PRINCIPALES

1.3 DEFINICION DE CALIDAD Y CARACTERISTICAS

1.4 COMPOSICION DEL EQUIPO DE TRABAJO

1.5 ESTABLECER REQUERIMIENTOS DE CALIDAD

1.6 OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO

SINTESIS

2. PAPEL DEL PROPIETARIO, EXPECTATIVAS, ETC.

INTRODUCCION

2.1 PAPEL DEL PROPIETARIO Y RESPONSABILIDADES

2.2 EXPECTATIVAS Y REQUERIMIENTOS DEL PROPIETARIO

2.3 REQUERIMIENTOS GENERALES DEL PROPIETARIO

2.4 REQUERIMIENTOS DE LA INICIATIVA PRIVADA

2.5 REQUERIMIENTOS DE LAS AGENCIAS DE GOBIERNO

2.6 EXPECTATIVAS CONTRA REQUERIMIENTOS

2.7 CONFLICTOS

2.8 COMUNICACION

3. EQUIPO DEL PROYECTO

INTRODUCCION

3.1 ORGANIZACION DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO (GRAFICA)

3.2 COORDINADOR DEL PROYECTO

3.3 EL PROPIETARIO Y SU EQUIPO

3.4 EL ARQUITECTO Y SU EQUIPO

3.5 LA CONSTRUCTORA Y SU EQUIPO

- 4. PROCESO DE COMUNICACION Y COORDINACION**
INTRODUCCION
4.1 IMPORTANCIA DE LA COMUNICACION Y COORDINACION
4.2 PAPEL DE LOS MIEMBROS EN COORDINACION
4.3 DESARROLLO DEL PROCESO DE COORDINACION

5. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE DISEÑO

- INTRODUCCION
5.1 SELECCION DEL ARQUITECTO
5.2 SELECCION DEL COMITÉ DEL PROPIETARIO
5.3 PROCEDIMIENTOS DE SELECCION
5.4 VENTAJAS DE LA SELECCION POR HABILIDAD
5.5 COTIZACION
SINTESIS
GRAFICA

8. PLANEACION Y MANEJO DEL DISEÑO

- 8.1 ORGANIZACION DEL DISEÑO
8.2 DIRECTOR DEL PROYECTO
8.3 INICIO DEL DISEÑO
8.4 PROYECTO EJECUTIVO
8.5 COMUNICACION DURANTE AL DISENO
8.6 MONITOREO Y CONTROL DE COSTOS DEL DISENO
8.7 EVITAR AMENAZAS CONTRA LA CALIDAD

9. DISCIPLINAS

- 9.1 NIVELES DE DISCIPLINAS
9.2 REQUISITOS DEL PROYECTO PARA CADA DISCIPLINA
9.3 DIRECTOR EJECUTIVO
9.4 PARTICIPACION DEL ARQUITECTO EN LA CONSTRUCCION

10. CONTROL DE CALIDAD

- 10.1 CONTROL DE CALIDAD RELACIONADO CON EL DISEÑO**
- 10.2 COMPROMISOS CON LOS CODIGOS Y ESTANDARES**

11. PRECONTRATOS DE LA PLANEACION PARA LA CONSTRUCCION

INTRODUCCION

- 11.1 HABILIDADES DEL PROPIETARIO**

13. PROCEDIMIENTOS PARA LA SELECCION DE CONSTRUCTORA

INTRODUCCION

14. CONTRATO DE CONSTRUCCION

INTRODUCCION

15. PLANEACION Y ADMINISTRACION DE LAS ACTIVIDADES DE LA CONSTRUCCION

INTRODUCCION

17. PROCEDIMIENTOS DEL CONTRATO DE LA ADMINISTRACION PARA LA CONSTRUCCION

INTRODUCCION

18. INICIO, OPERACION Y MANTENIMIENTO

INTRODUCCION

19. PLANEACIÓN Y CRITERIO AMBIENTAL

20. SISTEMAS Y CONCEPTOS

21. DISEÑO ESTRUCTURAL

22. FILOSOFÍA DE LOS EDIFICIOS

**23. SISTEMAS ESTRUCTURALES, MECANICOS,
ELECTRICOS, TRANSPORTACIÓN HORIZONTAL Y
VERTICAL**

24. SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

25. EPÍLOGO

1

INTRODUCCION

La *Guía de Calidad en el Proceso de Construcción* se inició con una serie de pláticas entre 1983 y 1985 donde arquitectos , ingenieros, profesionales e industriales de la construcción llegaron a un acuerdo para mejorar la calidad de la construcción. Esta guía se creó bajo los auspicios de ASCE.

1.1 PROPOSITOS

El propósito de estos comentarios es dar sugerencias y recomendaciones a los propietarios, ingenieros, arquitectos, constructoras y a todo el equipo que lo forma en una construcción acerca de los principios y procedimientos que han sido efectivos para lograr un proyecto construído con calidad; orientar acerca de la asignación de puestos, responsabilidades y establecimiento de los límites de autoridad entre los participantes, además enfatizar la importancia de los conceptos y prácticas que hacen un proyecto de calidad.

Se trata de orientar a propietarios, arquitectos, ingenieros y constructoras pero también sería de gran utilidad para los diseñadores, personal de operaciones y mantenimiento, inspectores, contratistas y vendedores. También puede ser utilizado por oficiales de gobierno, profesores de universidad y estudiantes, jueces, legisladores y cualquier otra persona relacionada en el proceso de diseño y construcción.

No debe creerse que los procedimientos aquí presentados automáticamente producirá un proyecto de calidad. Muchos factores, algunos fuera del control del equipo, pueden afectar el resultado. Estos procedimientos pueden y deben variarse de acuerdo a los requerimientos del proyecto sin olvidar la calidad como el objetivo principal.

1.2 TEMAS PRINCIPALES

En los siguientes capítulos se discutirán varios temas de importancia como:

- Definición y asignación de responsabilidades
- Importancia del trabajo en equipo
- Panorama de los requerimientos y expectativas
- Importancia de las excepciones y obligaciones del contrato
- Principios para una buena comunicación
- Proceso de selección de los miembros del equipo por parte del propietario
- Procedimientos de diseño y construcción
- Prácticas administrativas, de desarrollo y organización
- Evitar conflictos
- Beneficios de una revisión
- Participación de los arquitectos al comienzo y durante la construcción
- Contratos de construcción
- Acuerdos y otros documentos

1.3 DEFINICION DE CALIDAD Y CARACTERISTICAS

Para esta Guía la calidad es lograr los requerimientos establecidos y se alcanza cuando el proyecto terminado cumplió los requerimientos previos del propietario, arquitecto y constructora en conformidad con los códigos de seguridad y regulaciones.

La calidad puede caracterizarse por:

1. Lograr los requerimientos del propietario tales como: la función y apariencia, su terminación a tiempo y dentro del presupuesto, operación y mantenimiento, ambientación, salud y seguridad de los trabajadores, etc.
2. Lograr los requerimientos del arquitecto y del ingeniero tales como: una visión definida, presupuesto adecuado, horarios razonables, decisiones tomadas a tiempo por el propietario, motivación del equipo, un cliente satisfecho, un proyecto terminado que sea bien reconocido y futuras recomendaciones.
3. Lograr los requerimientos de la constructora tales como: un plan de trabajo bien definido, especificaciones claras y otros documentos de contrato, decisiones tomadas a tiempo por el propietario y arquitecto, trato justo, un propietario satisfecho y

reconocimiento y futuras recomendaciones.

4. Lograr los requerimientos de las agencias reguladoras tales como: salud y seguridad pública, consideraciones ambientales, protección de la propiedad pública conforme a las leyes aplicables, códigos y políticas.

Mediante una buena comunicación entre los participantes, una selección adecuada del personal, rápida solución a los problemas, conflictos y desacuerdos se puede lograr un trabajo de calidad.

Es importante comprender que la calidad, como aquí se maneja, no sólo se refiere a la apariencia y durabilidad de los materiales, etc. sino a lograr los requerimientos expresados por las tres partes.

Por lo tanto un proyecto con bajo presupuesto, deficiencias estéticas, corto tiempo de vida de materiales, etc puede ser un proyecto de calidad si cumplió con los requerimientos de las tres partes.

1.4 COMPOSICION DEL EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo consiste en el propietario, arquitecto o ingeniero y constructora y sus responsabilidades y límites de autoridad se especifican mas adelante.

El término "equipo" se usa intencionalmente para implicar que debe haber una relación cooperativa en vez de adversaria entre los participantes.

1.5 ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD

Estos requerimientos comienzan en la concepción misma del proyecto. Es esencial un balance entre el presupuesto, características operacionales, materiales, etc. por parte del dueño. El arquitecto o ingeniero está obligado a proteger la seguridad pública dentro del contexto del proyecto y la constructora es la responsable de los medios, métodos, técnicas, procedimientos al igual que las precauciones y programas de seguridad durante el proceso de construcción.

1.6 OBLIGACIONES DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO

Es obligación de los miembros cooperar uno con el otro para realizar un proyecto de calidad bajo las establecidas condiciones, requerimientos de seguridad, leyes, etc. El arquitecto y la

constructora sólo aceptarán obligaciones adicionales que tengan que ver con sus habilidades. Además tendrán la obligación de trabajar de una manera ética e integral, en un ambiente de mutua confianza, respeto, etc.

SINTESIS

El propósito de este documento es el de lograr un trabajo de calidad., que contando con el esfuerzo de los tres miembros del equipo, propietario, arquitecto o ingeniero y constructora, lograrán las metas esperadas.

2

PAPEL DEL PROPIETARIO, EXPECTATIVAS Y REQUERIMIENTOS

INTRODUCCION

Un proyecto exitoso empieza con el propietario. En este capítulo se hablará acerca de dos factores importantes, uno es el desarrollo de expectativas y requerimientos completos y realistas del proyecto y segundo es el entendimiento de los miembros de su papel, requerimientos y responsabilidades del propietario.

2.1 EL PAPEL DEL PROPIETARIO Y SUS RESPONSABILIDADES

Es él el responsable principal de la calidad y éxito del proyecto construido y de proporcionar los requerimientos y la comunicación entre los miembros del equipo. Además es responsable del costo, desarrollo, apariencia y función. El propietario debe entender la importancia de estos conceptos tales como costos, revisiones, estudios alternativos, evaluar la ingeniería, los documentos de contrato y diseños.

Es responsable de proveer el financiamiento para la realización del proyecto y de realizar los pagos a tiempo de sus miembros. Debe ser cooperativo, decidido, tener buenas relaciones con los demás y de insistir en que todos se apeguen a los requerimientos del proyecto.

Estas responsabilidades se aplicarán a todo tipo de proyectos y propietarios. Sin embargo, dependiendo del tipo de construcción y de la naturaleza de la organización del propietario,

podrá delegar algunas de estas responsabilidades a otros miembros. Es decir, su papel puede variar de acuerdo al tipo de propietario y proyecto. Para tener mayor claridad, se recomienda que las responsabilidades de cada miembro se hagan por escrito.

2.2. EXPECTATIVAS Y REQUERIMIENTOS DEL PROPIETARIO

Como el papel del propietario puede variar, a continuación se mencionarán las actividades típicas que no deben variar:

- La necesidad de un proyecto bien fundamentado y reconocido
- Experiencia en la ejecución de proyectos
- Observación y percepción de lo que otros han hecho en proyectos similares
- Consejo y soporte de arquitectos o ingenieros y otros consultores.

2.3 REQUERIMIENTOS GENERALES DEL PROPIETARIO

La mayoría de los profesionales de la industria acuerdan en que los requerimientos del propietario deben ser: "Quiero un buen trabajo, a tiempo y dentro del presupuesto". Los requerimientos para un proyecto en particular son más comprensibles. Estos deben ser más detallados y referirse a aspectos más específicos del proyecto como función, operación, calidad, estética y aspectos administrativos.

2.4 REQUERIMIENTOS DE LA INICIATIVA PRIVADA

Estos propietarios tienen menos restricciones y puede actuar más libremente. Tienen grandes intereses económicos y están influidos por factores económicos como financiamiento a largo o corto plazo, tamaño de la inversión, riesgos económicos, etc.

2.5 REQUERIMIENTOS DE LAS AGENCIAS DE GOBIERNO

Estos propietarios como municipios locales, juntas escolares, distritos, agencias locales o estatales tienen que realizar procedimientos más rígidos puesto que tienen que operar en un tiempo determinado. Si se extiende del tiempo límite, variarán las agencias de representantes, presupuestos, etc. y habrá cambios en los papeles.

2.6 EXPECTATIVAS CONTRA REQUERIMIENTOS

Las expectativas del propietario existen aun cuando no las haya expresado. Se requiere de buena comunicación con él para entenderlas. Debe examinarlas previamente para eliminar las irreales y las posibles necesitarán esfuerzo, tiempo para evaluarlas.

El arquitecto o ingeniero y el propietario deberán desarrollar una buena relación para identificar estas expectativas que se harán más tarde por escrito.

2.7 CONFLICTIVOS

Aunque las expectativas del propietario requieren de mayor atención, también los demás miembros tienen las propias. Estas expectativas surgen cuando hay numerosos miembros y esta situación requiere de un sistema para resolverlas de una manera satisfactoria para no comprometer la calidad del proyecto.

2.8 COMUNICACION

La comunicación entre los miembros del equipo con respecto a las expectativas del propietario serán más efectivas si las consultaron previamente con él.

La continua relación del arquitecto o ingeniero en todas las fases del proyecto puede mejorarse si se le consulta primero como consejero en la concepción y definición del proyecto, en segundo como arquitecto o ingeniero y tercero como representante y asistente del propietario. En el caso de la constructora se recomienda la misma relación. Sin embargo, si hay licitación no es aconsejable esta medida. Por el contrario el propietario puede contratar a un consejo con experiencia para la fase de construcción.

EQUIPO DEL PROYECTO

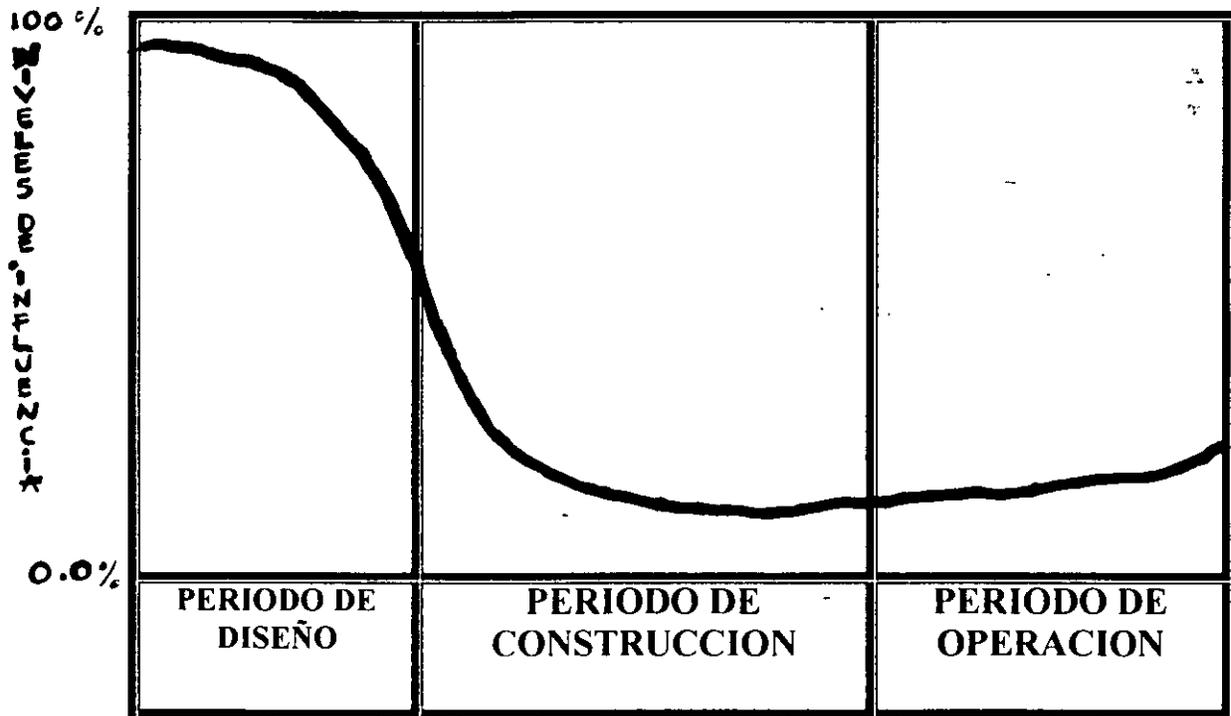
INTRODUCCION

Un proyecto de construcción con éxito está bien concebido, planeado, diseñado y constituido por un equipo que conste de un propietario, arquitecto o ingeniero y constructora. Se logra la calidad cuando los miembros cumplen sus obligaciones a tiempo y son cooperativos con los otros miembros. En muchos proyectos cada miembro cuenta con un equipo de apoyo para diversas actividades. La composición y organización de estos grupos se verán en el presente capítulo.

3.1 ORGANIZACION DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO

En el cuadro 3.1 se ilustra la típica relación entre los miembros del equipo encabezados por el propietario, arquitecto o ingeniero y constructora. Cada uno de ellos son entidades individuales relacionados entre si por medio de contratos.

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS EN EL PROYECTO



Muchos otros acuerdos entre propietarios públicos y privados pueden existir. A veces las funciones no están bien especificadas y una o más actividades son realizadas por la misma entidad. Algunos acuerdos pueden ser:

1. El propietario emplea a su propio staff de arquitectos o ingenieros y contrata sólo a la constructora o emplea a su propia constructora y contrata sólo a los arquitectos o ingenieros.
2. El propietario contrata una compañía de arquitectos o ingenieros y constructores
3. El propietario emplea a su propio staff de arquitectos o ingenieros y de constructores

3.2 COORDINADOR DEL PROYECTO

Este término se usa para nombrar a la persona que representará al propietario y es responsable de la coordinación y desarrollo del proyecto. El coordinador puede ser un miembro propietario, de los arquitectos o de la constructora o un empleado contratado a parte.

El coordinador del proyecto puede ser:

- El arquitecto o ingeniero que actuará bajo las ordenes de los directivos de la agencia
- Un miembro de la constructora cuando el propietario contrato una compañía de arquitectos y constructores
- El propietario mismo.

En algunos proyectos el propietario puede contratar a mas de un arquitecto o ingeniero, usar múltiples contratos de construcción y contratar directamente a los proveedores. En este caso se empleará un acompañía aparte para realizar los servicios del coordinador que puede ser un arquitecto, una constructora, una compañía de arquitectos y constructores o una compañía de manejo de construcción.

El coordinador es el punto principal para una buena comunicación además coordina los esfuerzos del equipo. Las actividades que realiza el coordinador son la iniciación del proyecto, planeación y horarios, comienzo del proyecto, administración de los contratos y terminación del proyecto.

Para la planeación y horario del proyecto, el cordinador requiere de un acercamiento al mismo y obtener la promesa de trabajo de los miembros. Durante esta actividad, el coordinador desarrolla los requerimientos del propietario y los comunica a los otros miembros. Se desarrolla y confirma el horario, se ajusta el presupuesto y se resumen las reglas del juego.

Las cualidades de un buen coordinador incluyen la habilidad:

- Formular un proceso efectivo de desarrollo y guiar al equipo a trabajar bajo los conceptos.
- Planear el proyecto respetando las decisiones del propietario
- Seleccionar un arquitecto adecuado y capaz para integrarlo al equipo
- Facilitar y alentar la comunicación entre el equipo
- Tomar decisiones importantes y a tiempo y tener mucho liderazgo.

El coordinador debe estar presente al inicio y termino del proyecto. Su continuidad se verá reflejada en una comunicación efectiva, liderazgo y gran responsabilidad.

3.3 EL PROPIETARIO Y SU EQUIPO

Como iniciador del proyecto asume el papel de dirigir el proyecto hasta su finalización y por la gran cantidad de decisiones que debe tomar es necesario contar con un equipo de consejeros.

La función de su equipo es la de dar consejo acerca de asuntos financieros y legales; estudios y estrategias de mercado, seguros, etc. Estos consejeros son contratados o empleados. Informan al propietario pero deben estar dispuestos a discutir con el coordinador, arquitecto y la constructora durante el proyecto.

Como el propietario es la fuerza motora del proyecto, cualquier deficiencia por su parte puede acarrear graves consecuencias. En gran medida, la calidad del diseño depende del desarrollo del propietario.

A continuación mencionaremos algunas de las responsabilidades del propietario , además de las que le impone las regulaciones reglamentarias u otros documentos de contrato:

- Proveer lo fondos para el proyecto
- Mejora las comunicaciones
- Establecer requerimientos razonables
- Delegar y asignar decisiones apropiadas
- Ser realista al asumir riesgos y posibilidades
- Tomar decisiones a tiempo
- Exigir calidad en el trabajo
- Admitir decisiones innovadoras
- Ejercer responsabilidad financiera y realizar pagos a tiempo.

Una buena comunicación es la clave del éxito. La falta de ésta acerca de cambios o nueva información dan como consecuencia pérdida de tiempo y dinero.

Los fondos con que se cuentan son parte fundamental para lograr calidad en el proyecto, pues si faltan se recortarán presupuestos en alguna fase del proyecto.

El tiempo que se requerirá no debe tomarse a la ligera por el propietario en su afán de apresurar la construcción. Se planeará con el tiempo suficiente.

3.4 EL ARQUITECTO Y SU EQUIPO

Su función es el de concebir y dar soluciones de calidad al proyecto y por órdenes del propietario realizará actividades adicionales como investigaciones del diseño, comienzo y durante la fase de construcción. Si el arquitecto no es un empleado entonces sus actividades estarán por escrito en el contrato que menciona las responsabilidades de cada uno.

Se requerirá de especialistas calificados adicionales a menos de que el arquitecto cuente con un staff de profesionales. Necesitará en su equipo ingenieros geotécnicos, eléctricos y mecánicos, laboratorios de prueba de materiales, etc. En algunos casos, estos especialistas serán contratados directamente por el propietario, en cualquier caso los especialistas forman parte del equipo del arquitecto.

Las siguientes son las funciones típicas del arquitecto.

- Estar calificado para adquirir servicios por contrato
- Dar ideas apropiadas al diseño
- Promover la comunicación
- Lograr la calidad en el proyecto
- Ser responsable del presupuesto previsto, horarios y programación
- Tomar decisiones, evaluaciones a tiempo
- Aceptar la autoridad y responsabilidad del proyecto
- Cooperar y coordinar el esfuerzo de todos
- Evitar conflictos de intereses
- Representar adecuadamente los requerimientos del propietario

Su equipo estará formado por profesionales capacitados para llevar a cabo las necesidades del proyecto. Su función primordial será la de diseñar una propuesta que cuente con los requerimientos del propietario y dar planeación a las especificaciones.

El propietario funciona como el iniciador y el arquitecto como el implementador y sus funciones están totalmente relacionadas con la calidad del proyecto.

3.5 LA CONSTRUCTORA Y SU EQUIPO

Su función es la de planear, manejar y llevar a cabo las actividades necesarias para construir un proyecto de calidad de acuerdo con las especificaciones del arquitecto.

El contrato de construcción es entre el propietario y la constructora, el arquitecto o ingeniero no forma parte en este contrato aunque este relacionado con las etapas de la construcción.

El objetivo de la constructora es la de construir un proyecto de calidad y seguro. Su equipo estará formado por los proveedores de material y equipo, fábricas, etc. Estos miembros se reportarán directamente con la constructora que es la responsable de ellos. Sus responsabilidades son:

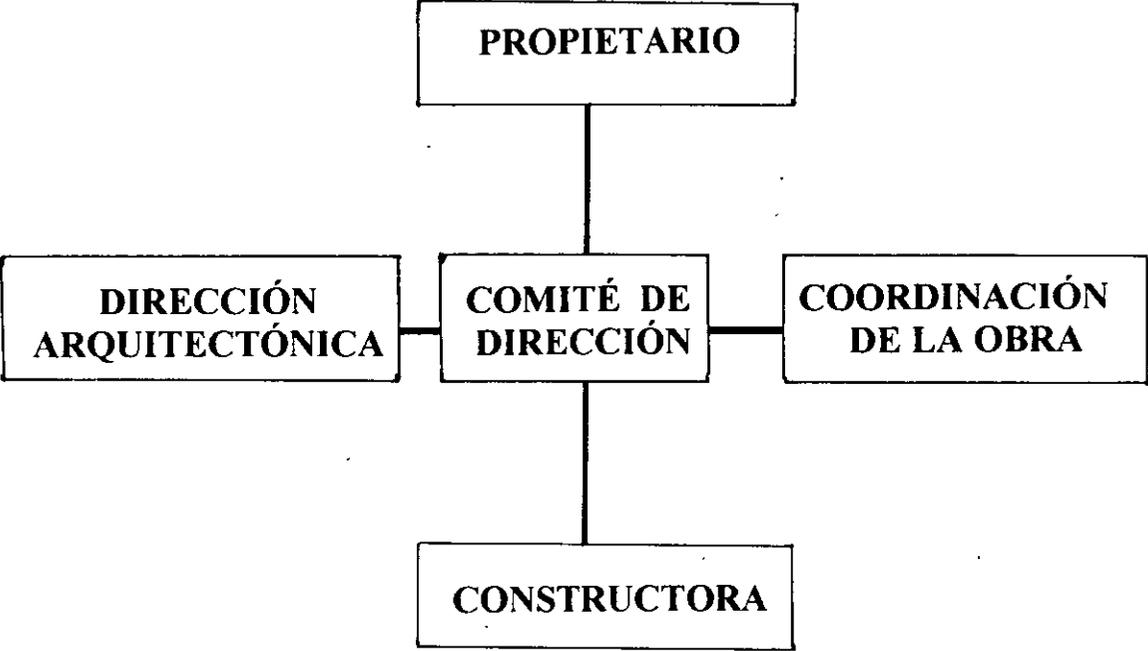
- Entablar buenas comunicaciones
- Construir un proyecto de calidad
- Planear, implementar y asumir la responsabilidad para crear un trabajo seguro
- Tomar decisiones a tiempo
- Proveer trabajadores hábiles
- Coordinarse y cooperar con los demás
- Actuar con cuidado y competitividad

La constructora está obligada a cumplir con los contratos de ejecución del trabajo con el fin de alcanzar calidad en su objetivo y de tener un programa de calidad para sus trabajadores.

SINTESIS

El propietario es el responsable de administrar sus contratos con los otros miembros del equipo y de monitorear y coordinar las actividades de los miembros y delegar responsabilidades al coordinador. Los contratos de construcción deben planear con cuidado las responsabilidades y el papel de cada miembro para no promover relaciones adversarias que interfieran en la calidad del proyecto. Con comunicación y entendimiento puede lograrse la armonía entre los miembros

ORGANIZACIÓN



————— LINEAS DE AUTORIDAD
(DEFINIDAS EN EL CONTRATO)

4

PROCESO DE COMUNICACION Y COORDINACION

INTRODUCCION

Para que un proyecto sea exitoso debe verse como un todo y tener un plan desarrollado e implementado para juntar las piezas, al igual que aprovechar las habilidades y experiencia de los miembros durante todo el proyecto. La coordinación requiere comunicación frecuente y efectiva entre todos.

4.1 IMPORTANCIA DE LA COMUNICACIÓN Y COORDINACION

Una comunicación y coordinación efectiva previenen problemas como la insatisfacción de los miembros e incluso se evitan errores que de acuerdo con estudios realizados el 25% de estos son por la falta de comunicación.

Estudios de las aseguradoras confirman que los propietarios toman acciones legales no por las imperfecciones que puedan surgir sino por eventos o sorpresas inesperadas, falta de relaciones positivas o falta de información acerca de los problemas.

4.2 PAPEL DE LOS MIEMBROS EN COORDINACION

El propietario comparte las responsabilidades de la selección de los miembros del equipo y determina quienes deben unirse a cada equipo. No existe una fórmula correcta para todas las situaciones, ya que muchos factores contribuyen a hacer cada proyecto único. El propietario puede ser requerido para enterarse de la planeación de la construcción mucho antes de que se seleccione la constructora con el propósito de coordinar el diseño y las fases del proyecto.

4.3 DESARROLLO DEL PROCESO DE COORDINACION

Los miembros del equipo tienen expectativas de cada miembro durante todo el proceso del proyecto. Algunas expectativas son:

- Integridad, honestidad y comunicación
- Comunicación abierta y explicación de la información completa
- Competitividad en sus papeles respectivos

- Compromiso con los requerimientos del proyecto

Esperar que haya una buena comunicación y disseminación de la información es difícil de llevar a cabo, puesto que requiere de participación individual y colectiva. Los proyectos de equipo, al igual que muchos otros, pasan por diversas etapas como de “grupo” a “equipo” y requiere un proceso de coordinación efectiva. Estas etapas son:

- Desarrollar un entendimiento inicial a nivel personal
- Desarrollar mediante el entendimiento las fuerzas y debilidades de cada individuo del equipo y de sus staffs
- Asignar las responsabilidades específicas de cada miembro
- Desarrollar un ambiente de trabajo honesto, claro, cooperativo y consciente de las decisiones.

5

PROCEDIMIENTOS PARA SELECCIONAR UN ARQUITECTO

INTRODUCCION

Este es uno de los pasos más importantes, por lo tanto el propietario debe seleccionar adecuadamente tomando en cuenta su experiencia, habilidades, etc.

Es importante que tanto el propietario como el arquitecto enfoquen su relación en la calidad del proyecto basándose en un costo razonable. El primer error será el de seleccionar al arquitecto por su costo.

5.1 SELECCIÓN DEL ARQUITECTO

El propietario es el que establece las reglas para seleccionar al arquitecto. Su primer paso es definir los requerimientos del proyecto y no olvidar la necesidad de uno durante las fases de construcción y comienzo. Mediante varias propuestas el propietario seleccionará al arquitecto necesario

Las siguientes son los factores que se deben considerar al evaluar a una firma de arquitectos:

- La reputación ética y profesional de la compañía mediante preguntas a otros clientes y sus referencias.

- El registro profesional de los directivos y otros miembros
- La demostración de las cualidades y capacidades de la compañía en el desarrollo de proyectos que incluyan los conocimientos de los códigos y regulaciones gubernamentales.
- La habilidad de la compañía para asignar al staff apropiado para el proyecto.

5.2 SELECCIÓN DEL COMITÉ DEL PROPIETARIO

En proyectos de gran magnitud, el propietario crea un comité para recomendar y seleccionar a un arquitecto. Un procedimiento que ha sido satisfactorio aconseja que el comité esté conformado por tres o más individuos de los cuales uno de ellos deber ser arquitecto o ingeniero. Ellos se encargarán de hacer recomendaciones después de realizar las investigaciones y entrevistas necesarias.

Otras personas que estarán involucradas en el proceso de selección son:

- La persona que será la intermediaria entre el propietario y el arquitecto
- La persona que será responsable de operar y mantener el proyecto propuesto
- La persona permitida para hacer juicios subjetivos acerca de las preferencias del propietario acerca de la estética, arquitectura o imagen.

La elección final del arquitecto por parte del propietario estará basado en las recomendaciones del comité.

5.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN

El proceso de selección se dará cuando el propietario esté familiarizado con el futuro prospecto, con los detalles del proyecto y pueda explicarle los servicios exactos que requiera del arquitecto.

Los siguientes pasos de selección se mencionan más adelante, pero si el propietario ha tenido una relación satisfactoria con uno o más arquitectos en el pasado no será necesario seguir todos los pasos.

1. Por invitación o anuncio público establecer la naturaleza en general del futuro prospecto, los requerimientos, la experiencia del arquitecto o de las organizaciones que puedan ser capaces de cubrir los requisitos.
2. Considerar las habilidades. Seleccionar por lo menos a tres arquitectos que sean muy calificados. Revisar las referencias previas de otros clientes o compañías. Para ahorrar

- tiempo y dinero se aconseja no considerar más de cinco compañías.
3. Por medio de una invitación escrita a cada arquitecto, el propietario describirá la propuesta de su proyecto detallando los servicios que requerirá. Los invitará a que hagan una propuesta describiendo el plan de desarrollo, el horario planeado e información relacionada y la capacidad financiera. A cada arquitecto se le dará la oportunidad de visitar el lugar, revisar la información y obtener respuestas a sus preguntas.
 4. Al recibir las propuestas, el propietario invitará a cada uno por separado para que lo entreviste el comité. Durante las entrevistas se discutirán los requerimientos del proyecto y sus servicios. El comité revisará cuidadosamente sus habilidades, experiencia, etc. y que entienda perfectamente los requerimientos del proyecto y cómo manejarlos.
 5. Checar con otras compañías o clientes sus trabajos anteriores, no deberán basarse únicamente en las referencias que exprese el arquitecto.
 6. Invitar al arquitecto que parezca mejor calificado a segunda entrevista para discutir el proyecto.
 7. Analizar y evaluar la compensación que pide el arquitecto con otros usuarios que requirieron el mismo servicio. Es necesario llegar a un acuerdo justo.
 8. Si no se llega a un acuerdo con el primer arquitecto seleccionado, se le notificará por escrito y se realizará el mismo procedimiento con el segundo, tercero hasta llegara a un acuerdo. Todo esto es estrictamente confidencial y la compensación discutida con una firma no se le revelará a la otra.
 9. Cuando se llegue a un acuerdo en los servicios, compensación, horario, el propietario y el arquitecto seleccionado deberán formular su acuerdo por escrito.

5.4 VENTAJAS DE LA SELECCION POR HABILIDAD

Las ventajas son:

- Un juicio profesional, un elemento esencial, que es considerado y evaluado.
- Se consideran sólo estudios y análisis especiales para el proyecto
- La participación del arquitecto en la fase de construcción y otras actividades se acuerdan y se incluyen en el contrato.

Los propietarios utilizarán los servicios de los arquitectos porque necesitan su experiencia y juicio durante la fase de planeación.

5.5 COTIZACION

Se ha comprobado que resulta contraproducente entre los ingenieros, construcción, las compañías de arquitectos etc. es más el gobierno ha adoptado leyes para que las agencias provean sus servicios basados sólo en las haabilidades como se vio anteriormente.

Seleccionar a un arquitecto por una compensación baja no se recomienda por las siguientes razones:

- El prospecto puede no estar calificado para desarrollar sus servicios
- Contratar determinados servicios por determinado dinero priva la flexibilidad, creatividad, etc. durante las fases de planeación.
- Servicios predeterminados no abarcan todos los detalles requeridos y pueden haber cambios en el contrato.

La selección del arquitecto por sus habilidades es más beneficioso para el propietario, aunque en esta guía no se intenta decir que un costo bajo sea antiprofesional.

SINTESIS

Después de haber seleccionado al arquitecto se iniciará la firma del contrato y se discutirán las negociaciones, el horario, el sueldo, etc. si no se llegara a un acuerdo entonces las negociaciones se terminan y se comienzan otras con el siguiente prospecto.

El mejor acuerdo se da cuando se han entendido todos los puntos del proyecto, esto requerirá de largas discusiones utilizando la experiencia y conocimiento del propietario, del arquitecto y de los consejeros.

PAPEL DE CADA MIEMBRO DEL EQUIPO

Participantes	Comienzo del proyecto	Fase de diseño	Fase de construcción	Compleción del proyecto
Propietario	Formar e informar a su grupo. Guiar en los requisitos del proyecto al arquitecto	Contribuir en las decisiones en el diseño. Participa en las revisiones y comunicar los cambios	Proveer inspecciones y pruebas requeridas por el contrato y las agencias reglamentarias. Administrar los contratos.	Mantener la coordinación del grupo y tener su atención en los seguimientos
Arquitecto	Ayudar en los objetivos y requisitos del programa Guiar el proceso de desarrollo y coordinación entre los miembros	Guiar el diseño. Hacer participe al propietario y a los demás cuando sea apropiado. Preparar la planeación y especificaciones necesarias	Apoyar técnicamente las interpretaciones requeridas, cambios y dibujos de taller. Observación del suelo	Ayudar con el seguimiento, completar los manuales, documentos, etc.

8

PLANEACION Y MANEJO DEL DISEÑO

8.1 ORGANIZACIÓN DEL DISEÑO

El arquitecto o el director del grupo de arquitectos es responsable de realizar la fase de diseño desde su inicio hasta su terminación. Si se entienden claramente los requerimientos del proyecto se puede preparar la planeación y se presentará como un esquema o recuadros donde se desglosarán las distintas actividades, su duración, etc. En esta información aparecerán las actividades que se mencionan en el contrato, los horarios y el presupuesto con que se cuenta. El plan de diseño es el mapa hacia el éxito, cualquier desviación del plan se reconocerá y corregirá para mantener el horario y dentro del presupuesto, cualquier corrección modificará el horario y presupuesto original.

8.2 DIRECTOR DEL PROYECTO

El director del proyecto es el arquitecto o ingeniero o el miembro designado por el staff y es el contacto entre los requerimientos del propietario y el desarrollo del diseño. El director del proyecto tiene la responsabilidad de:

- Desarrollar el presupuesto del diseño para reflejar las organizaciones necesarias para desarrollar el trabajo.
- Planear el horario dentro del tiempo disponible
- Asignar actividades para los miembros del equipo
- Coordinar los procedimientos del proyecto
- Monitorear y manejar el desarrollo del equipo, tomar decisiones a tiempo
- Actualizar los acuerdos cuando haya cambios, etc.

Todas estas responsabilidades le permiten monitorear los progresos e identificar problemas potenciales.

8.3 INICIO DEL DISEÑO

Se inician esfuerzos del equipo de arquitectos para que el líder revise el proyecto y los requerimientos. Se revisa el presupuesto, los horarios y hacen un compromiso para prestar sus servicios a tiempo y dentro del presupuesto.

Cuando el equipo está comprometido, el director se reúne con el propietario para revisar el proyecto final. La habilidad del equipo para cumplir con el horario y permanecer dentro del presupuesto se relaciona directamente con el desarrollo del propietario que deberá proveer las especificaciones a tiempo que le pida el equipo.

8.4 PROYECTO EJECUTIVO

En otros tiempos, el propietario tenía la idea general de cómo luciría el proyecto terminado y cómo debería realizarlo. Ahora, sus alternativas son revisadas por el equipo de arquitectos y así diseñar la guía del proyecto y es de extrema importancia para la calidad, que el propietario y el arquitecto o ingeniero lleguen a un acuerdo pronto acerca de los resultados esperados y que hagan por escrito este acuerdo.

8.5 COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN DURANTE EL DISEÑO

El director informará mediante un reporte al propietario y a su equipo de los progresos del diseño cada mes o más seguido. Dichos reportes comprenden la información de las juntas del pasado mes y los proyectos a realizarse para el siguiente. Cualquier problema debe detectarse lo antes posible puesto que requerirá un cambio en el presupuesto, horario, etc.

Ya que muchos proyectos requieren más de una disciplina en el diseño, los miembros del equipo de arquitectos deben reunirse regularmente, con el propósito de familiarizar a cada miembro con el proceso. Aunque todos se adhieran a la guía pueden surgir los conflictos que deberán discutirse y resolverse. Si el conflicto surge por los requerimientos del propietario se le solicitará una junta para llegar a un acuerdo.

8.6 MONITOREO Y CONTROL DE LOS COSTOS DEL DISEÑO Y HORARIOS

El director monitorea regularmente los reportes de costos que reflejan el presupuesto contra los gastos actuales. Dichos gastos deben ser consistentes con el progreso a la fecha. Si se necesitarán servicios adicionales no especificados en el contrato, se le avisará de inmediato al propietario para hacer las negociaciones.

El horario del proyecto consta de miles de especificaciones y fechas de entregas de reportes en el contrato. Es necesario que ambas partes respeten estas fechas para seguir con el horario planeado. Los reportes internos le permiten al propietario estar informado y ser capaz de ofrecer comentarios a tiempo.

8.7 EVITAR AMENAZAS CONTRA LA CALIDAD

Después de haber elegido al director, para mantener la calidad debemos:

- Desarrollar el campo de servicios para logra los requerimientos
- Desarrollar el plan de trabajo para la fase de diseño
- Calcular las horas requeridas y el costo
- Reconocer que los programas están incompletos, los cambios son inevitables y que el presupuestos y horarios necesitan reacomodarse.
- Crear un horario realista

Es necesario que los consultores bajo contrato contribuyan en las discusiones del diseño para evitar problemas en la calidad de los proyectos multidisciplinarios.

Muchos propietarios prefieren la elección de los servicios por tener un costo bajo, esto

amenazará gravemente la calidad. Se recomienda evitar esta práctica.

Otra amenaza a la calidad es la construcción por partes sin que el proyecto del diseño esté terminado, puesto que los cambios son difíciles de acomodar y los errores y la comunicación es más difícil.

Para evitar las amenazas, se debe asignar a miembros del equipo con experiencia y conocimiento en las tareas asignadas. Se evitará asignar a muchas personas y ampliar los horarios exageradamente.

9

9.1 NIVELES DE DISCIPLINAS

Para proyectos multidisciplinarios, aplican tres niveles de organización:

- El director del equipo de arquitectos que tiene la responsabilidad con el propietario de cumplir con los requisitos y de agrupar en su equipo a individuos y consultores con experiencia.
- Las disciplinas principales como las ingenierías eléctricas, mecánicas, estructurales, HVAL.
- Las disciplinas de soporte como las investigaciones geotécnicas, prueba de materiales, análisis hidrológicos, etc.

El equipo de arquitectos se conforma por miembros de distintas disciplinas que completarán el proyecto, cada miembro entenderá los requisitos y aplicará sus conocimientos a la parte que le corresponde bajo la guía de su director.

9.2 REQUISITOS DEL PROYECTO PARA CADA DISCIPLINA

Sus responsabilidades dependerán del tipo de proyecto, que puede ser: 1) proyecto de ingeniería 2) proyecto de arquitectura 3) proyecto de diseño y construcción.

Los objetivos de un proyecto de ingeniería los controla por lo general los requisitos funcionales o utilitarios de una facilidad construida. Por ejemplo incluyen plantas industriales, sistemas de tránsito, etc. Aquí cada ingeniero es experto en su área por ejemplo los ingenieros mecánicos dirigirán un proyecto de planta de cemento y los estructurales dirigirán un proyecto de sistemas de tránsito.

Los objetivos de un proyecto de arquitectura se basan en la arquitectura más que en las consideraciones de ingeniería. Por ejemplo incluyen los edificios para oficinas, complejos comerciales, facilidades educativas y estructuras monumentales. Al igual que el proyecto de ingeniería, requiere de muchas disciplinas y la única diferencia es que el diseño es la disciplina primordial.

El proyecto de diseño y construcción incorpora el diseño y la construcción como una misma responsabilidad. Tiene dos directores, el de diseño y el de construcción que se reportan con su director.

La necesidad de coordinación entre los practicantes con el propietario no debe enfatizarse demasiado. Los miembros de cada disciplina se reunirán para hablar de sus asuntos sin tener que incluir a otros de las demás disciplinas.

La relación contractual del propietario con los practicantes puede ser de diversas formas dependiendo de los deseos del propietario o del arquitecto, cada disciplina puede tener contratos separados o sólo un acuerdo sin contrato. Cada disciplina tendrá su función definida y deberá actuar conforme los requisitos del proyecto.

9.3 DIRECTOR EJECUTIVO

Estos son directores que manejan su propia disciplina. Son responsables de implementar los servicios de diseño y reportarlo con el director del proyecto o con el arquitecto. Sus responsabilidades son: tomar decisiones técnicas, reunir a su gente para hablar de los requisitos técnicos y de horario y coordinarse con el líder de las otras disciplinas

Todas estas disciplinas son necesarias por sus habilidades técnicas requeridas para completar un proyecto y serán responsables de corregir cualquier error de aplicación dentro de su área. Estas aplicaciones requieren de un buen uso de los principios de la ingeniería en la solución de problemas en el diseño al igual que la aplicabilidad y compatibilidad del diseño.

Cada director de las disciplinas debe reunirse con los demás miembros para llegar a soluciones. No sólo considerará su disciplina sino la función de las otras

La calidad del diseño se mide por 1)Correcto acercamiento técnico, 2)Representaciones gráficas y numéricas acertadas, 3)Integración coordinada de los requisitos del proyecto 4)Especificaciones adecuadas.

9.4 PARTICIPACIÓN DEL ARQUITECTO EN LA CONSTRUCCIÓN

Su participación se definirá en el contrato que especificará su responsabilidad con el propietario durante la fase de construcción. Se recomienda su participación puesto que son los que están más enterados acerca de los intentos del diseño para cumplir con los requisitos de cada disciplina al igual que los del proyecto. Los aspectos técnicos de cada disciplina son la responsabilidad de sus directores.

Las obligaciones de cada director durante la construcción, incluyendo otras categorías así como su propia disciplina, son:

- Coordinarse con los otros directores
- Controlar el presupuesto
- Revisar reportes requeridos en los documentos del contrato.
- Evaluar modificaciones y cambios
- Visitar la construcción
- Documentar revisiones, visitas, etc
- Realizar los reportes y revisiones finales

También es responsabilidad del director de disciplina revisar los reportes de los diseños que sean conforme los documentos de construcción.

10

10.1 CONTROL DE CALIDAD RELACIONADO CON EL DISEÑO

Los procedimientos relacionados con la calidad son las revisiones, aprobaciones. Si es un proyecto grande o complejo se puede justificar el uso de un programa o manual de control. Su objetivo es lograr la calidad más que llenar hojas con procedimientos y manuales.

10.2 COMPROMISO CON LOS CÓDIGOS Y ESTÁNDARES

Estos códigos y estándares son desarrollados por unidades gubernamentales e industria o asociaciones técnicas para proteger la salud y bienestar público. Las reglas son generalmente emitidas por un cuerpo gubernamental para aclarar y apoyar estos códigos. Una clara identificación de estos, prevendrá rehacer la planeación y ahorrarse grandes cantidades de tiempo y dinero.

Ya que todos los códigos y estándares se refiere a aspectos particulares del diseño y la construcción, el arquitecto puede esperar encontrar muchos códigos aplicables al proyecto, incluso algunos relacionados con la ingeniería civil, ingenieros eléctricos, mecánicos y de estructura.

Aplicar estos códigos al proyecto no es fácil, sobretodo si se trata de un proyecto en una área geográfica que no es familiar. Los códigos locales y regionales son comunes y a veces se modifican en un modelo nacional, por lo tanto, a veces un modelo nacional no satisface los requisitos de la autoridades locales. Los arquitectos logran tener los permisos y aprobaciones al obtener las últimas versiones de los códigos y anticipar si habrá nuevas proposiciones que puedan afectar al proyecto mientras se diseña o construye.

Revisar los códigos y estándares durante la fase de diseño desarrollará un sentimiento de confianza a los miembros del equipo.

11

11.1 PRECONTRATOS DE LA PLANEACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Aquí tratamos con el proceso de planeación del propietario en la planeación de la de las actividades en el lugar de la construcción. La clave está en la planeación para la construcción, no planeación para las operaciones de la construcción. Esta actividad se realizará durante todas las fases del proyecto antes del contrato de construcción y estará relacionada con las actividades antes mencionadas como los estudios alternativos, formación del proyecto de equipo, diseño y la preparación de los documentos de contrato.

El análisis y la planeación llevará al propietario a preferir arreglos contractuales con los arquitectos y constructores que incluirán la consideración de los recursos disponibles para la construcción, requisitos reglamentarios, selección del lugar y desarrollo de los problemas, etc. La habilidad del propietario para lograr este proceso es de vital importancia para el éxito del proyecto

11.1 HABILIDADES DEL PROPIETARIO

En proyectos simples, el propietario puede, como individuo, diseñar el plan, desarrollar el

diseño y construir el proyecto. A medida que los proyectos crecen se encuentra en la necesidad de buscar ayuda para cada fase. Esta ayuda se puede obtener al emplear gente experimentada. Una forma práctica, es ir contratando al arquitecto, consultores y constructora conforme se desarrolla el proyecto. Ellos ayudarán al propietario a hacer las investigaciones y tomar decisiones en la planeación. El propietario tiene la responsabilidad de buscar consejos suplementarios necesarios para tomar decisiones en la planeación y en asuntos financieros, reglamentarios y legales.

13

PROCEDIMIENTOS PARA LA SELECCIÓN DE CONSTRUCTOR

INTRODUCCIÓN

La selección de un constructor calificado que ejecute el proyecto de una manera satisfactoria a un costo competitivo es una decisión del propietario que influirá significativamente en la calidad del proyecto construido. En esta fase el propietario formulará procedimientos de selección y determinará la habilidad de la constructora para producir los resultados esperados. En algunos casos se tomarán criterios previos de la capacidad de los constructores y el propietario estará asistido por el arquitecto, consejero legal y otros consultores.

Muchas organizaciones profesionales, asociaciones industriales y agencias locales, estatales y federales presentan documentos con los procedimientos de cotizaciones competitivas. Dichos procedimientos, recomendaciones, leyes y reglamentos están muy bien estructurados con las cotizaciones del trabajo público. Las constructoras son motivadas por los proyectos de cotización (públicos y privados) si los reglamentos son justos, claros, establecidos y cumplidos

14

CONTRATO DE CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Los documentos de contratación para la construcción definen el acuerdo que se hace entre el propietario y la constructora para realizar el proyecto. Este acuerdo es de las dos partes que no incluye al arquitecto. Aunque el arquitecto actúa bajo el contrato que tiene con el

propietario se le puede autorizar para que realice ciertas actividades del propietario que aparecen bajo el contrato de construcción.

Al realizar este documento debe tenerse cuidado al expresar exactamente los que las dos partes desean, de una forma clara, en un lenguaje consiso, que defina claramente las responsabilidades y objetivos de cada uno sin extenderse o tocar ciertos puntos.

15

PLANEACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Existen muchas maneras de planear y administrar las actividades del proyecto. El equipo tradicional, propietario, arquitecto y constructora, pueden variar sus actividades dependiendo de la opinión que se tome.

El primer acuerdo que decidirá las actividades de acuerdo con el estatus y reglamentaciones es el del propietario-arquitecto. Los elementos esenciales en la planeación y administración incluyen la buena comunicación a través de reportes de planeación, juntas para los horarios, procesos para los dibujos de taller y la revisión de los requisitos de pago. Los factores de la administración del proyecto incluyen formular y actualizar los planes y horarios de la construcción, estimados y el programa del control de calidad.

17

PROCEDIMIENTOS DEL CONTRATO DE ADMINISTRACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Estos contratos definen la relación entre el propietario y el constructor y definen el desarrollo de cada uno durante la fase de construcción. El representante del propietario es responsable de administrar este contrato instituyendo procesos, monitoreo del progreso y mantiene un récord del desarrollo del constructor bajo los términos del contrato. El representante es responsable también de realizar algunas actividades del propietario como:

- ⇒ Mantener el compromiso de calidad
- ⇒ Realizar pagos puntuales a la constructora
- ⇒ Revisar y comentar puntualmente los contratos.
- ⇒ Tomar decisiones prontas que surgan de condiciones no previstas
- ⇒ Coordinar las actividades de los contratadores independientes
- ⇒ Planear, revisar y monitorear la comunicación del proyecto incluyendo reportes de progreso, reportes del récord y de los sistemas de información.

La administración del contrato de construcción comienza desde las primeras etapas y continua hasta el termino del proyecto.

18

INICIO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN

Las características operacionales y el mantenimiento de los requisitos del proyecto antes de que haya finalizado determinarán su éxito. Los factores de operación y mantenimiento influyen en la continuidad del servicio, durabilidad, salud y seguridad pública, impacto ambiental y otros factores del proyecto terminado. Se recomienda su consideración.

El propietario es responsable de estos factores cuando la facilidad se haya terminado. Se recomienda Implementar la calidad en la operación y las actividades de mantenimiento por parte de operados con experiencia. En este punto, el propietario puede asignar a un representante de estos factores que aconseje y asista al arquitecto y la constructora en la planeación, diseño y construcción de la facilidad. Su actividad en la planeación y diseño serán las de revisar las actividades en esta fase, en la de construcción su actividad consiste en la observación e inspección y en la fase del comienzo verificará, comprobará y aceptará propuestas y en la fase de operación su actividad será operar y mantener la construcción.

19

PLANEACIÓN Y CRITERIO AMBIENTAL

Los grandes edificios de ahora se está dispersando más allá del centro hacia los suburbios y ciudades pequeñas. Se están volviendo más variados, o quizás más interesantes en su diseño arquitectónico. En particular, los elevados edificios de oficinas se han vuelto el simbolo no solo de la última expresión de la tecnología basada en la gravedad y del

modus operandi de los negocios modernos sino tambien un incremento de tráfico, altos costos y miles de impactos ambientales indeseables.

A pesar de la gran proliferación de edificios altos en ciudades como Estados Unidos tambien se crean casas pequeñas. Uno podría esperar ver construidos mas edificios residenciales altos, basados en un programa de usos multiples que corresponderian a un cambio en el tamaño de las familias y su estilo de vida, en el impacto de las demandas de conservacion y consideraciones de los costos de construccion.

Por lo tanto el Consejo reconoce la necesidad de hacer una investigación de los modelos de casas de múltiples pisos. La evidencia de hoy en día es devastadoramente negativa y sugiere que las construcciones altas no son recomendables o por lo menos deben ser limitadas, en la construccion de residencias. Para que los edificios altos tengan éxito como residenciales se necesita un balance mejor entre varios factores del diseño. El factor más fundamental es el patron de uso y comportamiento de los usuarios y el proceso con el cual se diseña y produce. Mediante este proceso un vecindario o una comunidad podrian reflejar el caracter de sus habitantes.

Como respuesta al impacto de los edificios altos, sus servicios y la creciente demanda en la construcción, el gobierno local ha adoptado politicas de desarrollo de usos multiples. Las actividades comerciales ocupan los niveles mas bajos con oficinas arriba.

Una de las causas que probablemente han llevado a que los edificios altos se dispersen y vayan hacia las ciudades más pequeñas es la falta de construcciones convenientes y habitables, claro que hay muchos otros factores que afectan la localizacion de estos edificios como el clima, preferencias del propietario, calidad de vida, ambiente politico, etc.

En general, la actual generacion de edificios altos tiene las mas interesantes estructuras y esto resulta por varias condiciones. La primera es que se encuentran localizados en lugares donde el tipo de construccion es visto como simbolo de exito en la sociedad mercantil o porque no hay un tipo de arquitectura tradicional. En segunda, porque la arquitectura tiende a aceptar las nuevas tendencias de la arquitectura moderna o porque las rechaza totalmente y quiere establecer una nueva tendencia por ejemplo "El movimiento Postmoderno". En tercer lugar, el énfasis de una variedad visual de los edificios multiusos que reflejen sus alrededores. Y por ultimo, se presta mas atencion al ahorro de energia al ahorro de energia que le podrá dar una forma mas particular. Uno podria atribuir tambien a la arquitectura interesante el hecho de que se cuentan con mas avances tecnologicos y mejores metodos analiticos.

Si los edificios son una verdadera solucion a los problemas urbanos se deberia enfocar mas hacia los conceptos de diseños relevantes que respondan a la variedad de necesidades y unir habilidades tecnicas y esteticas para producir edificios individuales e integrarlos al modelo social y estético que satisficiera las necesidades de sus habitantes.

SISTEMAS Y CONCEPTOS

Las ciudades del mundo estan creciendo a un ritmo acelerado, los edificios altos aparecen en cada esquina. Los genios que puedan pensar nuevas ideas, conceptos, etc. son pocos, pero si se tiene una idea, un metodo de construccion, otra opinion de lo que ya se haya hecho, mucha gente retomaria esa idea, la construiria, moldearia y se darian nuevos metodos e innovaciones en el arte de construir.

Para continuar con el progreso es necesario que cada arquitecto, ingeniero, constructor, etc. estén actualizados con el arte y con sus cambios. Sin embargo, la dispersión de ideas no es asunto facil. Estas no llegan, tiene que ir a buscarlas. Esto es mirar cada edificio, leer perodicos, preguntar a profesionales, asistir a seminarios, viajar e intercambiar ideas con compañeros especialmente si son extranjeros.

Los sistemas estructurales combinan los metodos de las fuerzas horizontales, verticales y dinamicas atraves de la estructura, formas y centro o la combinacion de estos elementos. Los primeros edificios altos de una ciudad son construidos a veces por el sistema estructural, pero la creacion arquitectónica requiere de variaciones. De ahí que, los estructuristas tengan que usar su ingenio para combinar uno o todos los elementos de la estructura de una manera integral.

Las primeras construcciones del hombre fueron el revestimiento de acero inoxidable, actualmente con la integracion de los edificios altos con sus estructuras y servicios, el revestimiento se ha reducido del 100% hasta el 10 ó 15% en estos edificios, aunque el revestimiento no ha perdido su importancia, por el contrario, es sometido a un gran esfuerzo, grandes cambios climaticos, a procedimientos mas complicados, codigos de incendio y una gran necesidad de mantener su lustre y apariencia.

También la construccion de los cimientos estan influidos por los momentos verticales y horizontales y por las condiciones del lugar. Son mas un problema de matematicas y mecanica que de estetica porque estan cubiertos, fuera de la vista y no estan influidos por los asuntos comerciales o artisticos. Sim embargo, siempre será bienvenido cualquier metodo de construcción innovador, lograr la reduccion de costos y evitar problemas.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS ALTOS DE ACERO

Es interesante predecir el curso de los eventos y después de un tiempo comparar las predicciones con los eventos actuales. Se predijo que el futuro se vería un incremento en el uso de acero en los edificios altos, un incremento del acero y concreto en la construcción, el uso de métodos más analíticos y precisos, mejorados para la carga de temblores, etc.

INNOVADOR USO DEL ACERO

Ningún cambio tan dramático en el uso del acero se había dado hasta que aparecieron las riostas diagonales y los sistemas tubulares en 1950 y 1960. Pero las innovaciones continúan, como el reporte de Popov acerca de los refinamientos en el diseño de las riostas excéntrica para mejorar la absorción de la energía en las estructuras resistentes a los temblores.

22

FILOSOFÍA DE LOS EDIFICIOS ALTOS

1.1 Génesis de edificios altos

1. Factores que generan un desarrollo en los edificios altos
2. Evolución de las formas de los edificios
3. Identidad de los edificios altos
4. Alternativas para los altos costos

2. HISTORIA DE LOS EDIFICIOS ALTOS

3. EFECTOS SOCIALES DEL AMBIENTE

4. INFLUENCIAS SOCIO-POLÍTICAS

5. ECONOMÍA

- 5.1 Historia de los edificios altos
- 5.2 Análisis económico de los edificios altos
- 5.3 Costo directo de los edificios altos
- 5.4 Costos sociales y beneficios

6. ARQUITECTURA

- 6.1 Acercamientos filosóficos al proceso de diseño arquitectónico
- 6.2 Acercamientos técnicos al proceso de diseño arquitectónico

- 6.3 Influencias del cliente primario en el proceso de diseño
- 6.4 Desarrollador
- 6.5 Agencias gubernamentales e institucionales
- 6.6 Corporación
- 6.7 Estética

7. INTERFERENCIA Y EFECTOS AMBIENTALES

8. PLANEACIÓN URBANA Y DISEÑO

9. TRANSPORTACIÓN EXTERNA

10. ESTACIONAMIENTO

11. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PROPIEDAD

12. CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

13. PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO Y TOLERANCIA

14. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

23

SISTEMAS ESTRUCTURALES

Introducción

Por lo general, un sistema de estructuras de un edificio es un ensamble complejo tridimensional de varias combinaciones con elementos estructurales interconectados. Pueden ser piezas discretas o ensambles continuos

La función primordial de estos sistemas es repartir efectiva y seguramente las cargas que actúan en el edificio y llevarlas hasta la cimentación. Por lo tanto un sistema estructural debe :

- repartir dinámica y estáticamente las cargas verticales
- repartir la carga horizontal de acuerdo con los vientos y temblores
- resistir el esfuerzo causado por la temperatura y los efectos de encogimiento
- resistir explosiones internas como externas o impactos de carga

- resistir y ayudar a amortiguar las vibraciones y los efectos de fatiga.

Además, el sistema estructural está sujeto a las siguientes consideraciones :

- debe satisfacer los requisitos arquitectónicos y los del propietario o ambos
- debe interactuar y facilitar una solución apropiada a los sistemas de servicio tales como temperatura, ventilación, aire acondicionado, transporte vertical y horizontal y otros sistemas eléctricos y mecánicos
- facilitar la simple y fácil erección del edificio
- ser resistente al fuego
- permitir que la construcción, la cimentación y el suelo interactúen propiamente
- que sea económico

En el proceso de seleccionar un sistema estructural acorde para la construcción de un edificio alto se deben tomar en cuenta muchos factores y no hay un método simple. El equipo de diseño debe usar todos sus medios como la imaginación, ingenio, previa experiencia, etc. para dar la mejor solución a cada caso en particular.

En los diferentes tipos de sistemas estructurales ya sean de hierro, concreto o sistemas compuestos, existen subsistemas o componentes en común y se pueden agrupar de la siguiente manera:

- sistemas de pisos
 - sistemas de resistencia de carga vertical
 - sistemas de resistencia de carga horizontal
 - estructuras de ensamble
 - sistemas de disipación de energía
-

En principio, de cualquier sistema estructural, los sistemas de resistencia de carga y componentes deben ser equitativamente activos e idealmente deberán trabajar juntos bajo todos los tipos y combinaciones de diseño de carga. En otras palabras, las partes del sistema estructural, que primordialmente resisten las cargas horizontales, deben ser capaces de contribuir a las resistencias verticales también.

El sistema estructural más eficiente es aquel que se las arregla para combinar todos los subsistemas estructurales en un sistema completamente integrado donde la mayoría de los elementos toman parte en la resistencia de cargas. Sin embargo, no se puede lograr en la práctica.

La interacción suelo-estructura es uno de los puntos más importantes para considerar en el diseño y en nuestro país existe una gran experiencia a través del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

1. Sistemas de estructura que resisten la carga de gravedad
2. Sistemas de estructura que resisten carga horizontal
3. Sistemas de disipación de energía

2. SISTEMAS MECÁNICOS Y DE SERVICIO

Temperatura, ventilación y aire acondicionado

- 2.1 Determinaciones conceptuales
- 2.2 Determinación de la carga
- 2.3 Análisis de subsistemas
- 2.4 Limitaciones de espacio
- 2.5 Horas de operación
- 2.6 Requisitos especiales
- 2.7 Seguridad
- 2.8 Manejo del fuego
- 2.9 Consideraciones Hidrostáticas

3.SISTEMAS ELÉCTRICOS

4.TRANSPORTACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL

- 4.1 Elevador para personas
- 4.2 Elevador para carga
- 4.3 Retos para el futuro

5.CIMENTACION

Introducción

Debido a la altura, firmeza y localización urbana de los edificios altos, sus cimientos merecen una especial consideración. Las cargas de punta tienden a ser más pesadas. La mayoría de los edificios altos cuentan con varios sótanos múltiples y profundos.

La cimentación puede afectar de muchas maneras las estructuras o facilidades adjuntas y esto sucede cuando los suelos son suaves y débiles. Dichos efectos suceden durante la fase de construcción, como los movimientos del revestimiento de la zanja, el desplazamiento del suelo, el hincado de pilotes o pueden durar largos periodos de tiempo como el hundimiento de las estructuras cercanas debidas al peso del nuevo edificio.

Las cargas debidas al viento de los edificios altos, durante su construcción así como cuando entran en servicio, deben ser distribuidas y resistidas por el suelo del cimiento. Como estas estructuras son altas, se debe poner especial atención a la deformación que suele ocurrir por las cargas del viento y debe asegurarse un desarrollo compatible entre los elementos de la estructura y limitar la deformación. Esto ocurre generalmente en

lugares donde el viento es el factor mas importante sobre el temblor como en ciudades como Chicago y Singapur.

Las decisiones y el diseño en estas areas debe basarse en un buen entendimiento de las condiciones de los cimientos. Debe incluirse un detallado estudio de la estratificacion subterranas, las condiciones generales del lugar, asi como la informacion mas completa posible de las estructuras de las facilidades adjuntas que pudieran afectarse por la nueva construccion. Estas investigaciones deben realizarse por especialistas competentes y experimentados.

Para estos estudios se debe tomar el tiempo adecuado e iniciarlos lo antes posible para que los descubrimientos puedan guiar la planeacion inicial. De ahi que debe surgir una cooperacion mutua entre los estudios de mecanicas de suelos y diseños estructurales si se quiere economizar, en especial para las estructuras soportadas por el suelo. Existen algunas condiciones adversas para la cimentacion que pueden limitar las profundidades de las excavaciones o propiciar procedimientos especiales para minimizar los riesgos

La mecanica de suelos se encuentra con problemas unicos, muy diferentes a los de las otras ingenierías relacionadas con el diseño y la construccion de las estructuras. Las propiedades fisicas del suelo o de la roca, que soportan la estructura, no pueden determinarse a menos que se especifiquen las características pertinente mediante una investigacion. Sin embargo, rara vez pueden considerarse todas las condiciones geológicas.

Ademas las propiedades del suelo pueden verse afectadas por los procedimientos de construccion y dichos efectos no son conocidos durante la fase de diseño a menos que se prevean estos efectos al introducir en el diseño los procedimientos de construccion.

Las investigaciones y estudios de las condiciones de la cimentacion no debe terminar con la finalizacion de los diseños y especificaciones. Los estudios de la cimentacion deben continuar durante todo el periodo de construccion para :

- verificar que las condiciones actuales de los cimientos sean como las previstas o que las modificaciones necesarias se hagan para enfrentar las condiciones actuales.
- controlar los procedimientos de construccion para que las estructuras cercana no se dañen ni que las propiedades del suelo se vean afectadas.
- asegurar la calidad y ejecucion de la mano de obra para lograr las expectativas del diseño.

Las variaciones de los depositos del suelo son tan impredecibles asi como sus propiedades fisicas que deben siempre anticiparse. La organizacion de la construccion y los conceptos del diseño siempre deben ser planeados, tomando en cuenta las condiciones inesperadas para poder reconocer las desviaciones.

SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

Introducción

La construcción de edificios altos necesita hacerse un espacio entre las atestadas áreas urbanas. Además se ha vuelto una función compleja. Se requiere la intercción entre los oficiales de gobierno y públicos, el contratista, el arquitecto, el ingeniero, etc. para que sean economicamente viables y funcionalmente aceptables, además de introducir prácticas de construcción innovadoras.

La construcción de estos edificios presenta los siguientes siete sistemas:

- 1)Control de proceso de construcción
- 2)Seguridad
- 3)Cimientos
- 4)Construcción de acero
- 5)Construcción de concreto
- 6)Construcción combinada
- 7)Demolición

Cada sistema está subdividido en subelementos que deberán tomarse en cuenta en una detallada examinación del sistema.

- 1.Control del proceso de construcción
- 2.Seguridad
- 3.Cimientos
- 4.Construcciones de acero
- 5.Construcciones de concreto
- 6.Construcción mixta (acero y concreto)
- 7.Demolición



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES
DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS**

del 23 al 25 de abril de 1998

I C A

M O D U L O II

TECNOLOGIA E INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE

Ing. Rafael Aburto Valdés

Palacio de Minería

1998

PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVACION

**Oscar Vega Roldán
Felipe I. Arreguín Cortés**

6a. reimpresión: 1992

I N D I C E

	Pág.
I. ASPECTOS GENERALES	1
I.1 <u>Función de la obra</u>	1
I.2 <u>Aspectos económicos</u>	3
I.3 <u>Aspectos legales</u>	4
I.4 <u>Estudios hidrológicos</u>	4
I.5 <u>Estudios ecológicos</u>	5
I.6 <u>Elementos de un aprovechamiento superficial</u>	5
I.7 <u>La presa y sus estructuras auxiliares</u>	7
I.8 <u>Clasificación de las presas</u>	8
I.9 <u>Algunas secciones típicas de presas</u>	10
I.10 <u>Estudios preliminares</u>	14
I.10.1 <u>Algunas consideraciones sobre la boquilla, la cimentación y el vaso.</u>	14
I.10.2 <u>Tipo, cantidad y localización de materiales</u>	18
I.10.3 <u>Acceso a la obra</u>	18
I.10.4 <u>Características sismológicas</u>	20
I.10.5 <u>Climatología</u>	20
II. PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO	21
II.1 <u>Presas de relleno hidráulico</u>	21
II.2 <u>Presas de sección homogénea</u>	23
II.3 <u>Presas de materiales graduados</u>	27

II.4	<u>Presas de enrocamiento</u>	27
II.5	<u>Elementos de Mecánica de Suelos útiles para el diseño de una presa de tierra</u>	27
II.5.1	Granulometría	30
II.5.2	Plasticidad	35
II.5.3	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos	37
II.5.4	Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos	40
II.5.5	Permeabilidad	46
II.6	<u>Elementos de una presa de tierra</u>	51
II.6.1	Corazón Impermeable	51
II.6.2	Filtros	55
II.6.3	Transiciones	58
II.6.4	Respaldos de enrocamiento	59
II.6.5	Trincheras	60
II.6.6	Delantales	61
II.6.7	Tablaestacados	62
II.6.8	Pantallas rígidas	62
II.6.9	Pantallas de Inyecciones	63
	A Inyección de aluviones	64
	B Inyección en rocas agrietadas	69
II.6.10	Drenes y galerías	70
II.6.11	Pozos de alivio	71
II.6.12	Ataguías	72
II.6.13	Conductos a través de la cortina	73
II.6.14	Cresta o corona	74

II.6.15	Bordo Libre	76	
II.7	<u>Causas de falla en presas</u>	86	
II.7.1	Falla por insuficiencia del vertedor	86	
II.7.2	Falla por tubificación	87	
	Redes de flujo	88	
II.7.3	Agrietamiento de la cortina	101	
II.7.4	Falla de estabilidad de taludes	107	
	Método Sueco	108	
	Método de la cuña	125	
II.7.5	Falla por licuación	133	
II.8	Algunas consideraciones sobre la construcción	133	
<u>III.</u>	<u>PRESAS DE GRAVEDAD</u>	<u>140</u>	
III.1	Introducción	140	
III.2	Estabilidad de una presa de gravedad	140	
III.3	Medidas para reducir la subpresión	152	
III.4	Cargas en una presa de gravedad	155	
	III.4.1	Peso propio	155
	III.4.2	Empujes hidrostáticos	157
	III.4.3	Empuje de azolves	159
	III.4.4	Empuje por hielo	162
	III.4.5	Sismo	162

III.5	<u>Cálculo de esfuerzos principales</u>	177
III.5.1	Esfuerzos en presas de gravedad, incluidos los efectos de existencia de agua en ambos paramentos	178
III.5.1.1	Cambio en la presión del agua debido a efectos de sistema horizontal sismo	178
III.5.1.2	Esfuerzos normales en un plano horizontal	179
III.5.1.3	Esfuerzos cortantes en un plano horizontal o vertical	180
III.5.1.4	Esfuerzos normales en un plano vertical	181
III.5.1.5	Magnitud de esfuerzos principales	185
III.5.1.6	Dirección de esfuerzos principales	186
III.5.1.7	Método para la construcción de línea de esfuerzos principales	187
III.6	<u>Combinaciones de carga</u>	190
III.7	<u>Condiciones de seguridad</u>	191
III.8	<u>Método de las cargas de prueba (Trial Load)</u>	194

IV. PRESAS DE CONTRAFUERTES	196
IV.1 <u>Consideraciones generales</u>	196
IV.2 <u>Estabilidad de una presa de contrafuertes</u>	197
IV.3 <u>Clasificación de las presas de contrafuertes</u>	202
IV.4 <u>Presas de contrafuertes tipo Ambursen</u>	202
IV.5 <u>Presas de contrafuertes de arcos múltiples</u>	206
IV.6 <u>Presas de machones</u>	209
IV.7 <u>Cortina de machones tipo Marcello</u>	221
IV.8 <u>Diferencias entre las presas de contrafuertes y las de gravedad</u>	221
V. PRESAS EN ARCO (BOVEDA)	224
V.1 <u>Definición</u>	224
V.2 <u>Clasificación</u>	225
V.3 <u>Cargas</u>	228
V.4 <u>Cálculo de las presas de arco</u>	229
V.5 <u>Trazo preliminar</u>	232
V.6 <u>Ventajas y desventajas de las presas de arco</u>	237
V.7 <u>Construcción de las presas de arco</u>	237
VI. PRESAS DERIVADORAS	238
VI.1 <u>Definición</u>	238
VI.2 <u>Partes constitutivas de una presa derivadora</u>	239
VI.3 <u>La cortina y su clasificación</u>	239

VI.4	<u>Estabilidad de las presas de mampostería</u>	244
VI.5	<u>Presas de enrocamiento o tipo indio</u>	247
VI.6	<u>Hidráulica de las presas derivadoras</u>	249
VI.7	<u>Disipadores de energía</u>	251
VI.8	<u>Obras de toma</u>	255
VI.9	<u>Cálculo hidráulico de las obras de toma</u>	256
VI.10	<u>Estructura de limpia</u>	258
VI.11	<u>Geometría e hidráulica del desarenador</u>	252
VII.	OPERACION Y MANTENIMIENTO DE PRESAS	272
VIII.	REFERENCIAS	275
IX.	BIBLIOGRAFIA	278

PRESENTACION

Al modificarse los planes de estudios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, se creó la materia semestral optativa "Presas de almacenamiento y derivación", agrupando parte del material que anteriormente se impartía en los cursos anuales de "Obras hidráulicas" y de "Proyectos de obras hidráulicas". Dicha materia también se ha impartido con el mismo nombre pero con diferente nivel en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI).

La índole misma de esta nueva materia hace difícil que existan textos adecuados al programa, pues los libros que se encuentran en el mercado son tratados muy amplios o demasiado especializados, excelentes como obras de consulta pero inapropiados para proporcionar al estudiante la referencia fácil a los temas tratados en clase.

Los alumnos que sucesivamente han cursado la materia tanto a nivel licencia-

tura como en la DEPFI, han expresado en repetidas ocasiones su opinión en cuanto a la conveniencia de disponer de unas notas impresas que cubran los principales temas del programa con la extensión y profundidad correspondientes al nivel de estos cursos. Así el Ing. Felipe I Arreguín Cortés, con base en los cursos que el Ing. Oscar Vega Roldán ha venido impartiendo en ambas Divisiones, y bajo su dirección, estructuró el material que se presenta en estos apuntes. Vale la pena decir que la estructura misma de estas notas permite su utilización tanto a nivel de posgrado como de licenciatura si se eliminan algunos de los temas tratados.

El material se presenta agrupado en siete capítulos, correspondientes a otras tantas partes del curso. En el primero de ellos se hace una breve presentación de los aspectos generales relacionados con la terminología y los objetivos de las presas, su clasificación por tipos estructurales y los estudios preliminares que se requieren para el proyecto.

Los capítulos II al V se refieren a las presas de almacenamiento. En lo particular, el capítulo II se ha dedicado al estudio de las presas de materiales sueltos, y es el más amplio en su tratamiento, pues este grupo comprende una gran mayoría de las estructuras construidas en México. En efecto, más del 75% de nuestras presas han sido proyectadas como estructuras de tierra y roca, a causa de la disponibilidad de materiales naturales de construcción y atendiendo a las características topográficas y geológicas de las boquillas, lo que en muchos casos ha ocasionado que este tipo resulte más económico que otros.

En muchas ocasiones, sin embargo, las características físicas de las boqui-

llas y la escasa disponibilidad de materiales naturales favorecen la elección de estructuras de materiales cementados, como la mampostería y el concreto. Así, el capítulo III se ha destinado a tratar de manera general las presas de gravedad que permiten alojar en ellas la obra de excedencias, mediante la construcción de una sección vertedora. El capítulo IV introduce al lector al campo de las presas de contrafuertes en sus diversos tipos y variantes, como alternativas válidas en un buen número de proyectos. El quinto capítulo, a su vez, contiene una presentación preliminar de las presas en bóveda.

El tratamiento de las presas de gravedad, contrafuertes y bóveda se ha debido limitar a lo que podría considerarse una primera aproximación a su proyecto, pues el detalle correspondiente y algunos aspectos de mayor profundidad en el análisis de esfuerzos y deformaciones quedan definitivamente fuera del alcance de un curso introductorio a la ingeniería de presas, como es el que dio origen a estas notas. Para profundizar más en el estudio de estas estructuras, deberá el lector remitirse a las numerosas obras existentes, como las indicadas en la bibliografía que se añade al final del texto.

El capítulo VI se refiere a las estructuras de derivación, y en lo particular a las presas que se construyen con esta finalidad. Se hace referencia a las principales condiciones de su diseño hidráulico y se ilustran algunos de los tipos más usuales.

Por último, el capítulo séptimo se dedica a señalar algunas ideas sobre la conservación y el mantenimiento de las presas, con la intención de hacer notar la importancia que estas actividades deben tener.

Este trabajo sale a la luz sin más pretensiones que la de servir de alguna utilidad a los estudiantes interesados en el apasionante campo de las presas. Estamos conscientes de que el texto deberá recibir numerosas mejoras para tratar a entera satisfacción los diferentes temas explicados en él, lo que podrá realizarse en un futuro próximo si el público dispensa a esta obra una acogida favorable.

Suplicamos a los lectores su benevolencia y les rogamos nos hagan saber las observaciones y sugerencias concretas que nos puedan auxiliar a mejorar estos apuntes, con el objeto de que puedan ser tomadas en cuenta en una siguiente revisión.

Los autores

Ciudad Universitaria, 1981

I. ASPECTOS GENERALES

I.1 Función de la obra

En general, se puede decir que las funciones de una presa son:

- a) Almacenar agua (presas de almacenamiento),
- b) levantar el nivel del agua (presas de derivación) o
- c) ambas.

Para almacenar el agua se cierra el paño a un río y se obliga a que el agua se acumule sobre el valle aguas arriba; este mismo hecho provoca un remanso que facilita la derivación del agua para el uso deseado.

Los objetivos de una presa se pueden agrupar en dos grandes áreas:

- a) Aprovechamiento
- b) Defensa

A continuación se presentan una serie de objetivos, debiendo notar que no son excluyentes, es decir, una presa puede estar diseñada para el logro de varios de ellos a la vez. Asimismo, se hace notar que la lista no pretende ser exhaustiva.

Aprovechamiento:

- a) Riego o regadío
- b) Abastecimiento de agua
- c) Producción de energía eléctrica
- d) Navegación
- e) Esparcimiento
- f) Acuicultura
- g) Entarquinamiento

Defensa:

- i) Control de avenidas
- j) Control de azolves

I.2 Aspectos económicos

El costo de la obra es importante, en relación con los beneficios que de ella se esperan. Es conveniente realizar un estudio económico de las alternativas técnicamente factibles y escoger la que tenga un costo total mínimo esperado, si todas ellas pueden producir los mismos beneficios. Este costo puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$C_t = \sum_i P(C_i)$$

donde:

C_t = es el costo total esperado

C_i = es el costo en el año i (por inversiones en obras, costos de operación y conservación, indemnizaciones, etc)

$P(C_i)$ = es el valor presente de C_i

Usualmente, la comparación se hace sobre la base de los presupuestos de construcción y equipo, adicionados de las indemnizaciones.

I.3 Aspectos legales

Aunque no compete directamente al ingeniero el hacer consideraciones de tipo legal, es muy conveniente que sepa que existe un conjunto de leyes que rigen la prioridad en el uso del agua, las zonas federales en ríos y en playas de lagunas y océanos, así como a las áreas susceptibles de ser empleadas como vaso de almacenamiento.

I.4 Estudios hidrológicos

Se llevan a cabo estudios hidrológicos que son necesarios para el proyecto de una presa, con el objeto de proporcionar los datos de proyecto, tales como: capacidades (de azolves, muerta, útil, de control de avenidas, de regularización sin control o superalmacenamiento), niveles (muerto, mínimos y máximos de operación) y gastos de diseño (de las obras de toma, de desvío, de control de avenidas y de desagüe de excesencias). También se llevan a cabo estudios sobre el nivel freático en la boquilla y en el vaso, el agua subterránea y calidad del agua.

I.5 Estudios ecológicos

Un ecosistema puede definirse como el conjunto de organismos vivos y factores abióticos (no vivos) contenidos en un área o volumen dado en la naturaleza, que interactúan de tal manera que hay un flujo continuo de energía dentro del conjunto. Por lo común los ecosistemas se encuentran en situación de equilibrio, cada especie tiene relaciones bien definidas con los demás y las tramas y cadenas alimenticias están bien establecidas. Es conveniente mantener el equilibrio de los sistemas ecológicos que nos benefician, por eso es muy importante realizar un estudio cuantitativo y cualitativo del proyecto de acuerdo a los objetivos de la presa, tratando de conservar dicho equilibrio. Este estudio debe formar parte de los que analicen la factibilidad del proyecto.

I.6 Elementos de un aprovechamiento hidráulico superficial (ver fig I.1)

Cuenca fluvial

Es el área tributaria hasta un punto determinado sobre una corriente, y está separada de las cuencas adyacentes por el partearguas.

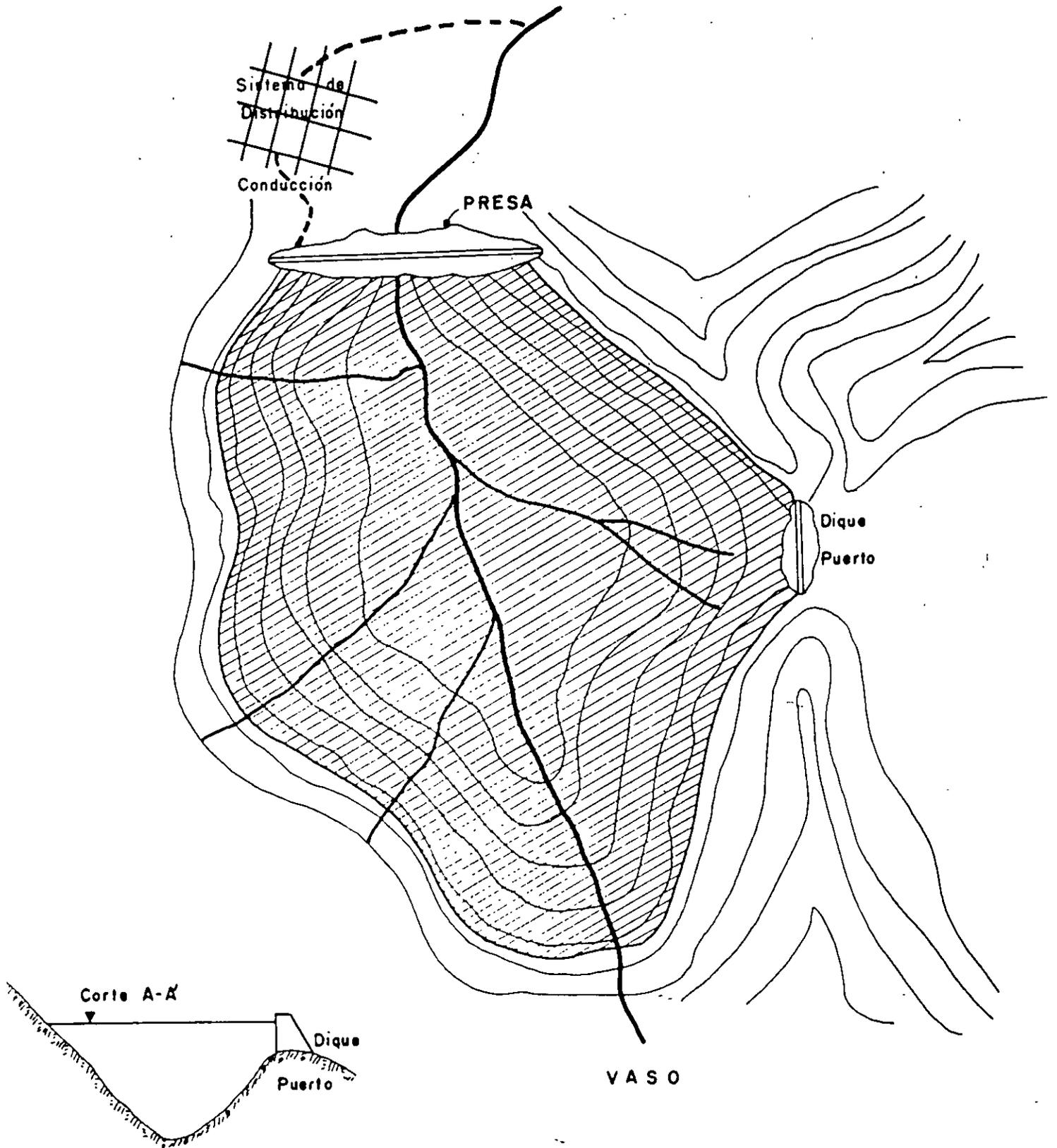


Fig 1.1 Elementos de un aprovechamiento hidráulico superficial y algunas estructuras de presas.

Vaso de almacenamiento o embalse

Es una ampliación del valle por donde escurre una corriente, susceptible de cerrarse por medio de una presa, para acumular sus aguas.

Boquilla-Estrechamiento terminal del vaso

1.7 La presa y sus estructuras auxiliares

Presa. Obstáculo construido al paso de la corriente. Fig 1.1

Obra de toma. Estructura que permite la extracción de agua del embalse para los fines deseados. Fig 1.2

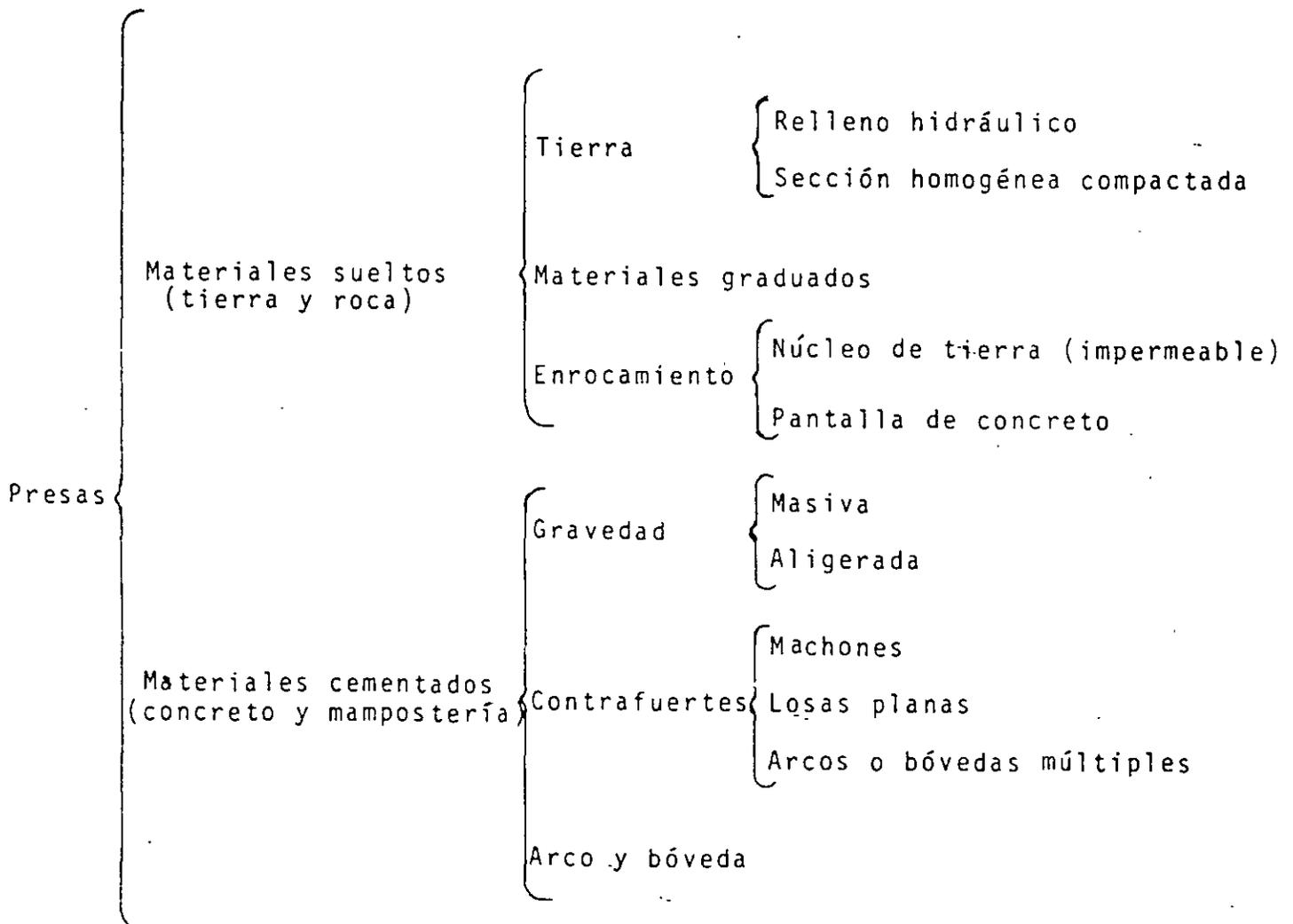
Obra de excedencias. Estructura que permite que los excedentes de agua pasen de nuevo a la corriente, sin peligro para la presa. Fig 1.2.

Obra de control. Permite el manejo de los excedentes, para proteger zonas aguas abajo.

Obra de desvío. Son obras de carácter temporal, que tienen por objeto controlar adecuadamente la corriente durante la construcción de la presa. Fig 1.2.

1.8 Clasificación de las presas

Existen varias clasificaciones de las presas: atendiendo a su altura, a sus funciones o a otras características, sin embargo la clasificación más común es de acuerdo a sus materiales de construcción y a su concepción estructural, que es la que se cita a continuación:



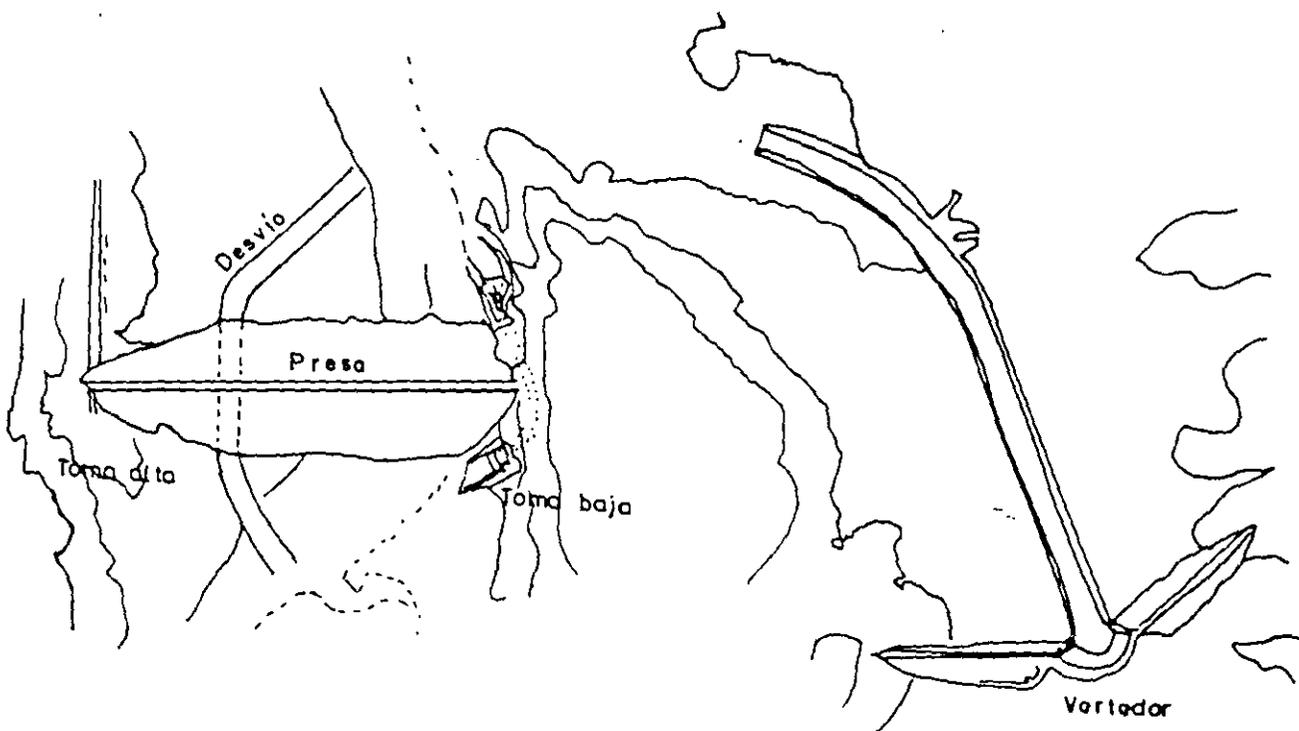


Fig 1.2 Estructuras auxiliares de una presa

I.9 Algunas secciones típicas de presas

A continuación se presentan algunas secciones, así como la planta de cada una de ellas. También se anexa en cada caso una nomenclatura relacionada con la sección o planta.

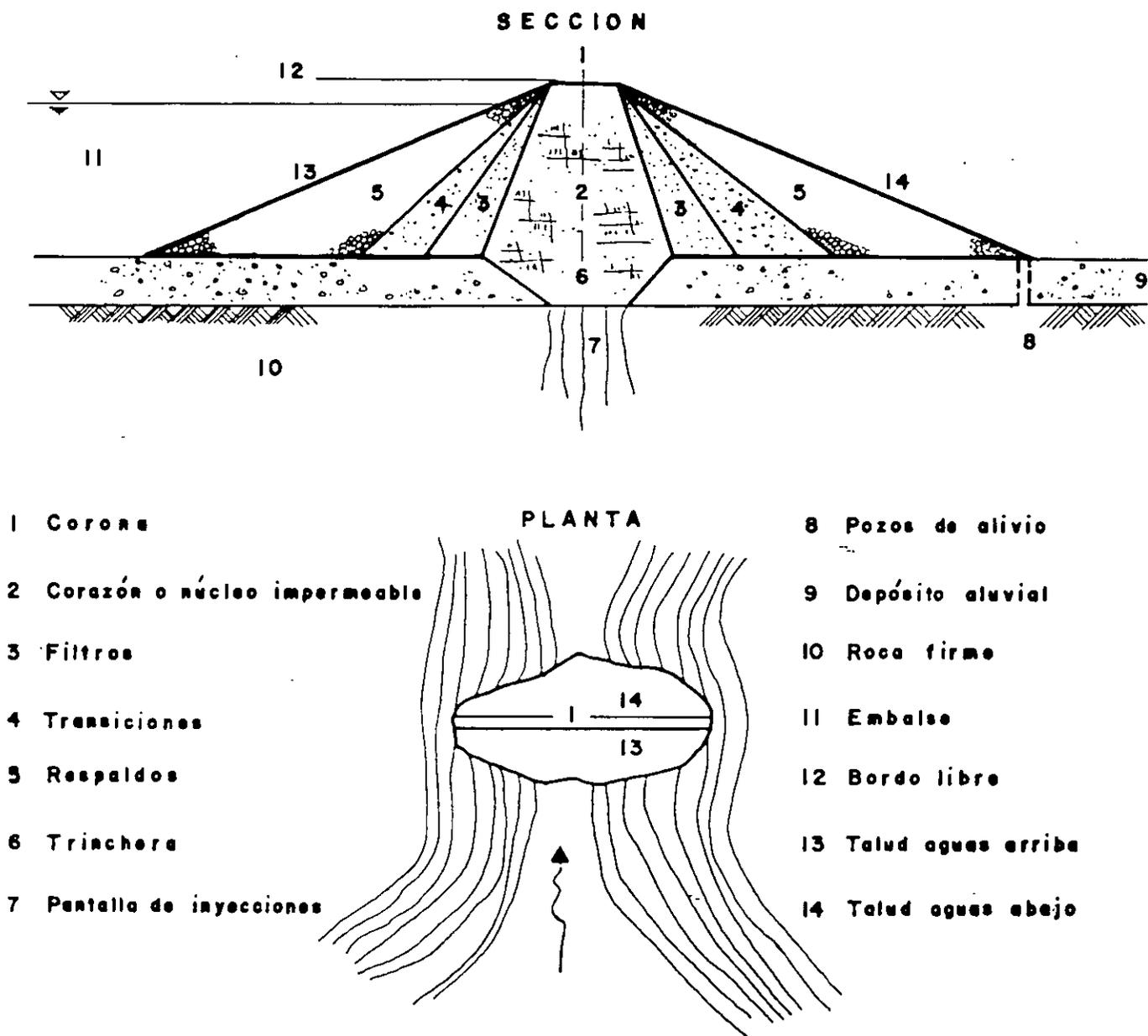


Fig 1.3 Presa de materiales graduados, tomada de la referencia (1).

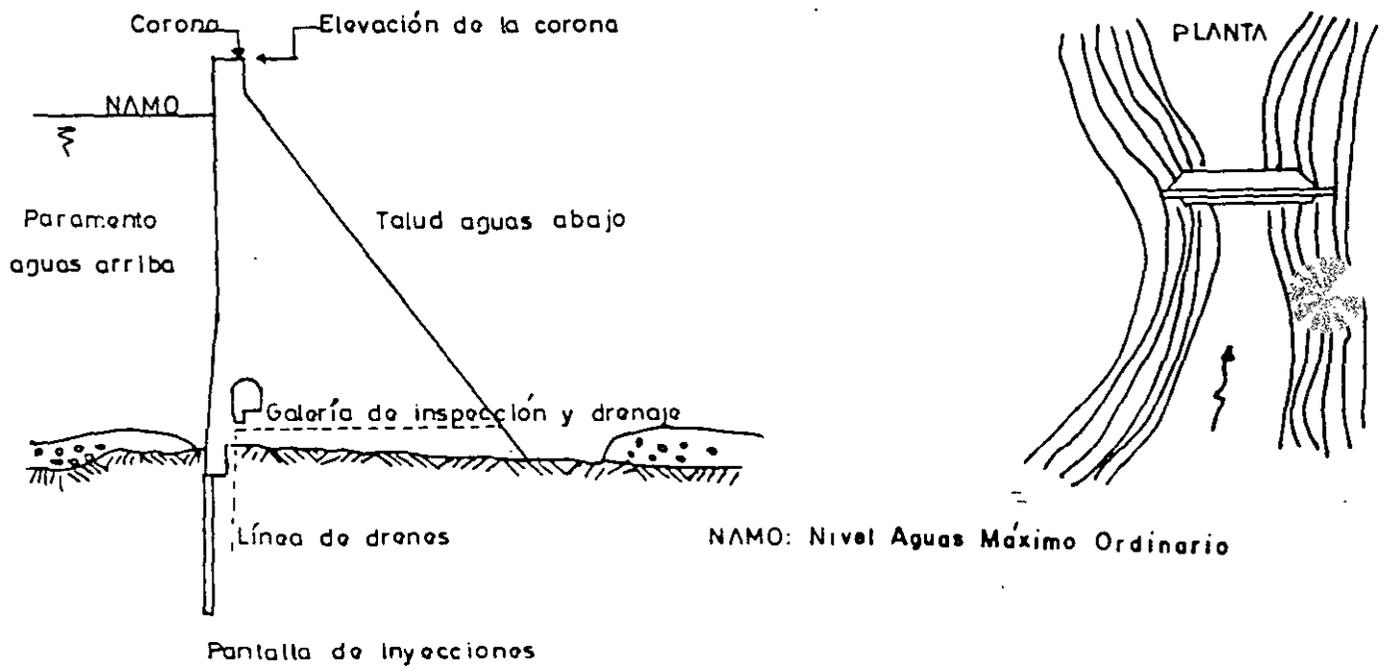


Fig 1.4 Presa de gravedad

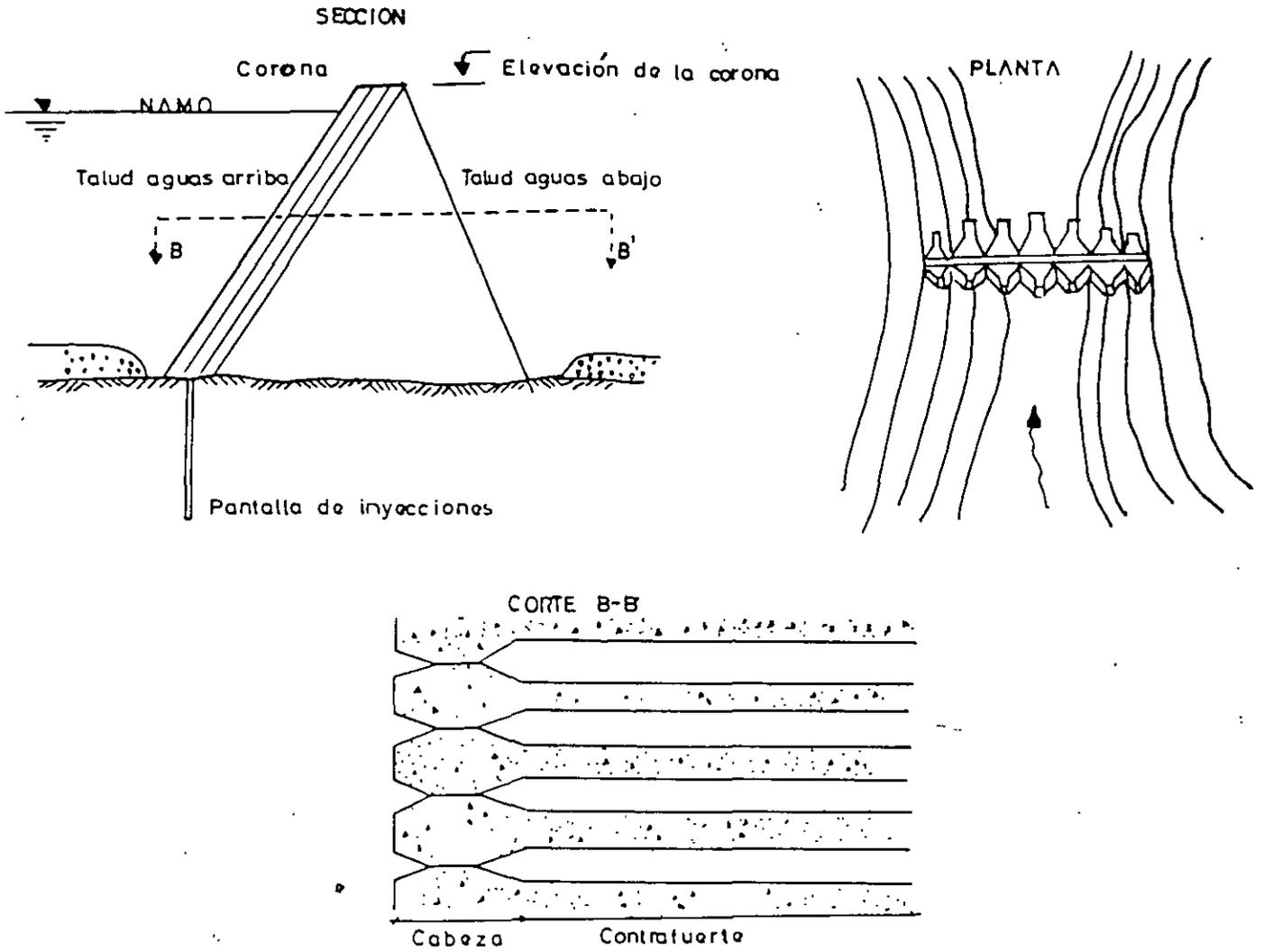


Fig 1.5 Presa de contrafuertes

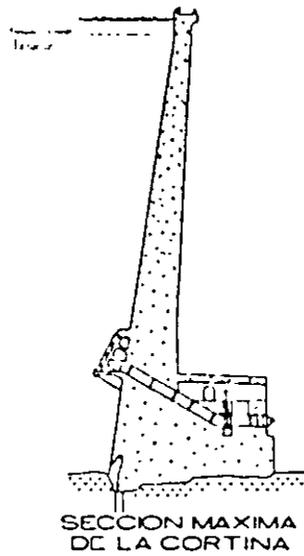
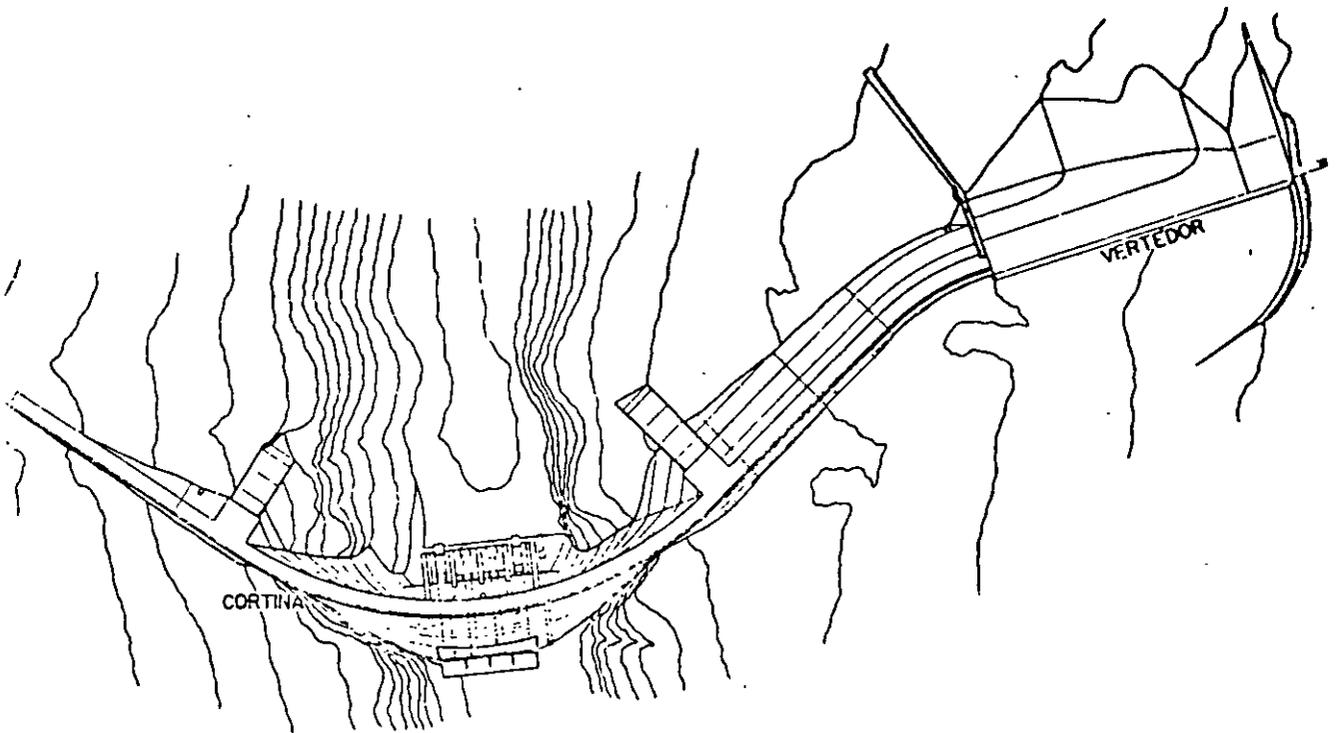


Fig. 1.6 Presa tipo arco gravedad

1.10 Estudios preliminares

1.10.1 Algunas consideraciones sobre la boquilla, la cimentación y el vaso.

Una vez que los estudios hidrológicos permiten recomendar la construcción de una presa, dos aspectos importantes deben considerarse para seleccionar el sitio de presa o boquilla; ellos son: la topografía y la geología del lugar en estudio.

Una vez hecho un reconocimiento, preferentemente aéreo, (muchas veces es conveniente complementarlo con reconocimientos terrestres, sobre todo en las zonas que pudieran ocasionar duda, por ejemplo: zonas arboladas) se fijarán los monumentos para apoyar los levantamientos topográficos, es necesario también contar con controles horizontales y verticales establecidos por cualquier sistema de triangulación, la longitud de los lados así como las escalas de los planos deberán establecerse de acuerdo con el tipo de terreno y las dimensiones del mismo, también será importante construir un sistema de coordenadas de la región en estudio.

Simultáneamente a los estudios topográficos es conveniente iniciar los geológicos, algunos datos de este tipo que son necesarios son:

- a) Mapa geológico. Existe un mapa geológico de la República Mexicana, que sirve de auxiliar al ingeniero para te

ner una visión general del tipo y edad de las rocas en la región de estudio, ver fig 1.7. Mejores son las cartas CETENAL (ahora DETENAL), 1:50 000.

- b) Secciones transversales geológicas
- c) Análisis de las formaciones geológicas, poniendo especial atención en zonas de calizas cavernosas, gravas, depósitos glaciales permeables, depósitos de sal o cualquier otra que pueda afectar la viabilidad de la presa.
- d) Nivel freático
- e) Manantiales en la zona
- f) Localización de afloramientos de roca
- g) Resultados de sondeos con posteadora o pozos de prueba, y/o perforaciones con broca de diamante y recuperación de corazones, en la zona de cimentación.
- h) Muestras del suelo y subsuelo en el vaso
- i) Fallas, fracturas, echado de las rocas
- j) Localización de los materiales con que se va a construir la cortina.

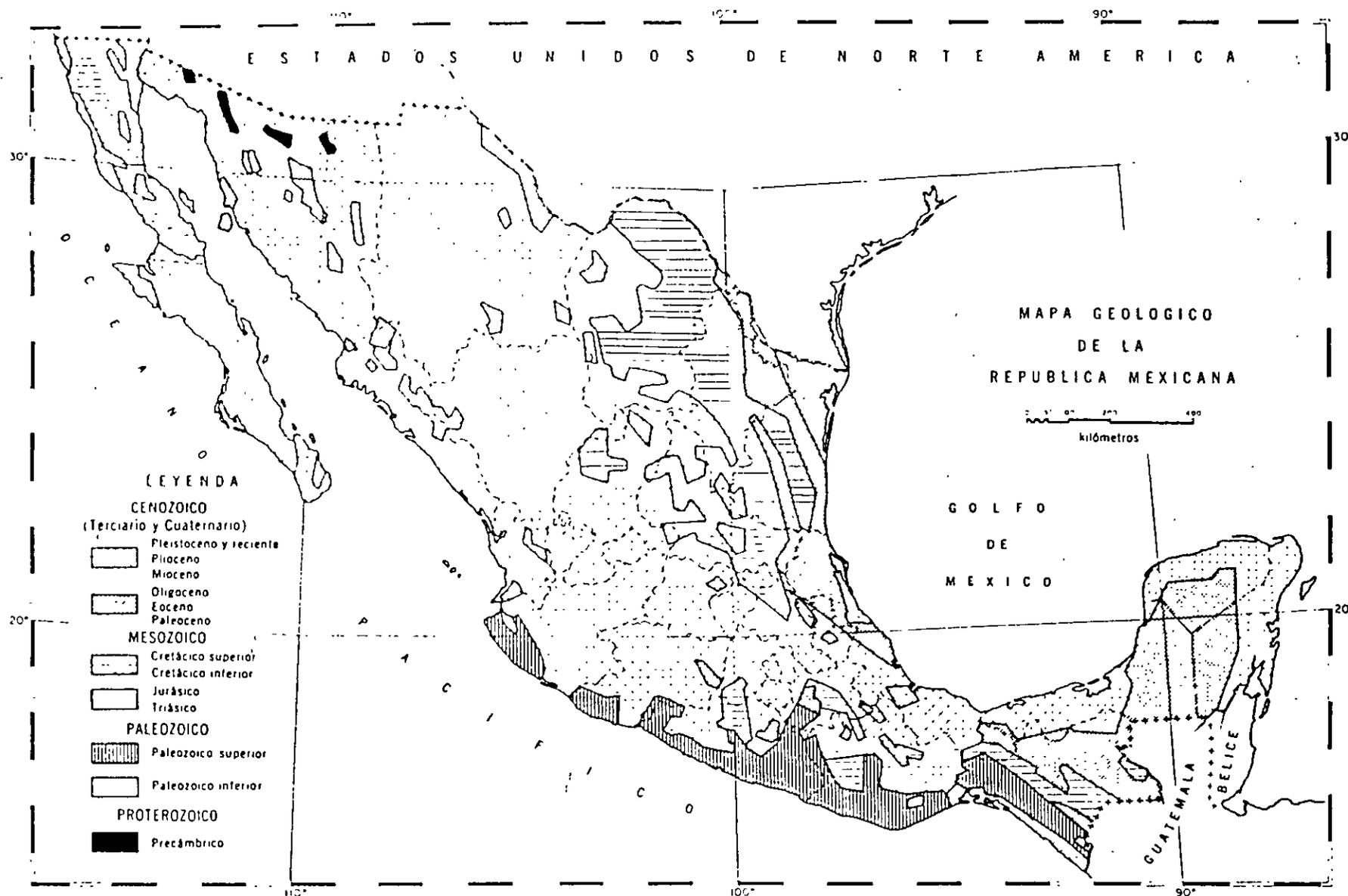


Fig 1.7 Mapa geológico de la República Mexicana

La forma de la boquilla influye en la selección del tipo de presa, una boquilla amplia con taludes muy tendidos será propicia para la construcción de una presa de tierra, gravedad, ó contrafuertes, cosa que no sucede en una boquilla muy estrecha ya que debido a la corta distancia de presa construida sobre los taludes, estará influenciada por el comportamiento de los mismos, pudiendo provocar tensiones y como consecuencia fisuras en una presa de tierra. En general, deberá tomarse en cuenta el efecto de las condiciones de frontera, no siendo propio el disponer estructuras cuyo trabajo sea totalmente bidimensional y que transmitan las cargas a la cimentación únicamente en planos verticales; es más correcto proponer estructuras que trabajen (y se calculen) tomando en cuenta las condiciones de apoyo en tres dimensiones (presas de gravedad con juntas inyectadas; presas en arco y bóveda).

Son problemas muy importantes el flujo del agua y las fallas por efectos dinámicos en la cimentación; estos efectos se estudiarán en otros capítulos, ahora se citarán sólo algunas consideraciones geológicas. La transmisión de esfuerzos a la cimentación y la capacidad de ésta influyen directamente en la selección del tipo de presa. En general, se puede decir que una presa de arco requerirá una mejor calidad de terreno que una de contrafuertes, y ésta que una de gravedad y finalmente, la de gravedad necesita mejores condiciones que una de tierra, debido en parte a que la primera tiene una menor área de apoyo.

La dirección de los echados (sentido de las capas de roca) también es determinante para efectos de selección obsérvese la fig 1.8.

La topografía influye determinadamente para saber la capacidad del vaso, por medio de sus curvas de área y capacidades, proporcionando un criterio de selección; además se deben considerar aspectos geológicos que puedan ser factores de selección, como sitios de posibles fugas o deslizamientos de taludes.

1.10.2 Tipo, cantidad y localización de materiales

Dentro de los reconocimientos geológicos, deben localizarse y describirse con detalle los materiales que se propone usar. Una vez seleccionados los bancos y otras posibles fuentes de materiales, debe realizarse un estudio económico comparativo, donde se consideran distancias de acarreo y costos de obtención (compra o extracción y proceso de los materiales) y seleccionar la opción de costo mínimo. Otro aspecto importante a considerar, es la factibilidad de obtener mano de obra en la región de construcción.

1.10.3 Acceso a la obra

Se deben localizar con todo cuidado los caminos de acceso a la obra, el campamento para trabajadores, la posibilidad de llevar hasta el lugar la energía requerida por la maquinaria

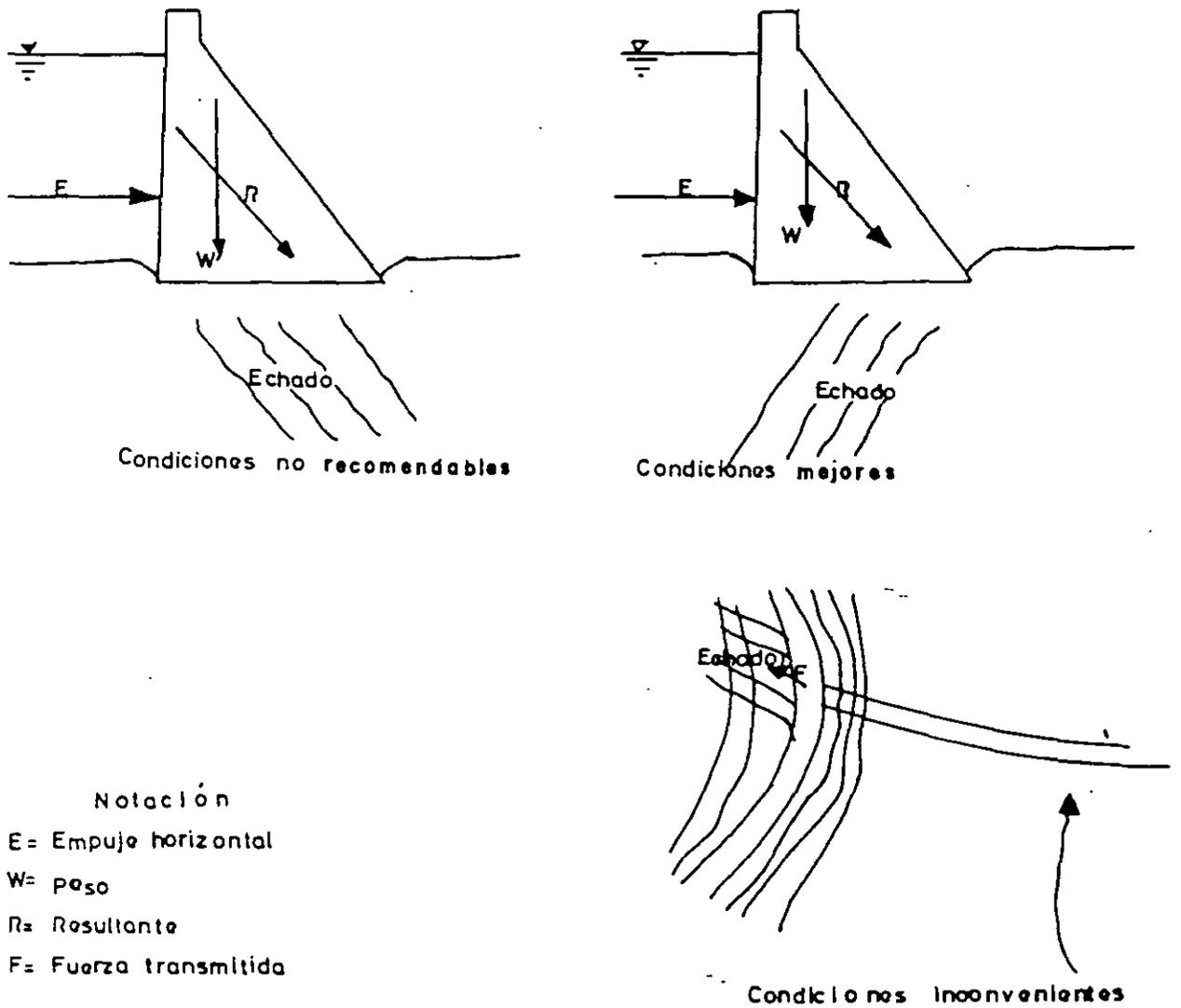


Fig I.8 Influencia de los echados sobre los criterios de selección de una cortina.

y el campamento, determinar distancias a estaciones de ferrocarriles o a cualquier otro punto de interés para los fines constructivos.

1.10.4 Características sismológicas

Debe considerarse siempre la posibilidad de temblores en la región de interés, para incrementar las cargas y los esfuerzos de acuerdo al reglamento de la región y al tipo de análisis que se realice.

1.10.5 Climatología

Conocer las condiciones climatológicas, es importante para el correcto diseño de la presa, así como para la programación de las etapas de construcción. La lluvia por ejemplo, puede afectar: al diseño de las obras de desvío; a la construcción de presas de tierra o enrocamiento, ya que sería muy difícil el control del contenido del agua durante la compactación, además que esto mismo originaría grandes aumentos de la presión de poro; en una presa de concreto, influiría sobre el revenimiento, y así se podrían citar muchos problemas más ocasionados por la lluvia. En algunas regiones donde el clima es extremo, las presas de concreto no diseñadas adecuadamente podrían sufrir desintegración por intemperismo.

II. PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

II.1 Presas de relleno hidráulico

Este tipo de presas debe su nombre a los procesos de obtención, conducción y colocación de materiales por medios hidráulicos. El método constructivo es el siguiente:

Los materiales en el banco son atacados por medio de chiflones de agua, y una vez obtenidos son conducidos a la boquilla por medio de corrientes de agua con una velocidad alta (en función del tamaño máximo del material). Para colocarlos se construye un estanque en el centro del terraplén, y por medio de canales con una distribución y pendiente determinadas se logra la colocación de los materiales más gruesos en los

taludes exteriores. La sedimentación hará que los materiales se vayan colocando en orden decreciente de diámetro, quedando los más finos en el centro, para formar así el corazón impermeable. Fig II.1

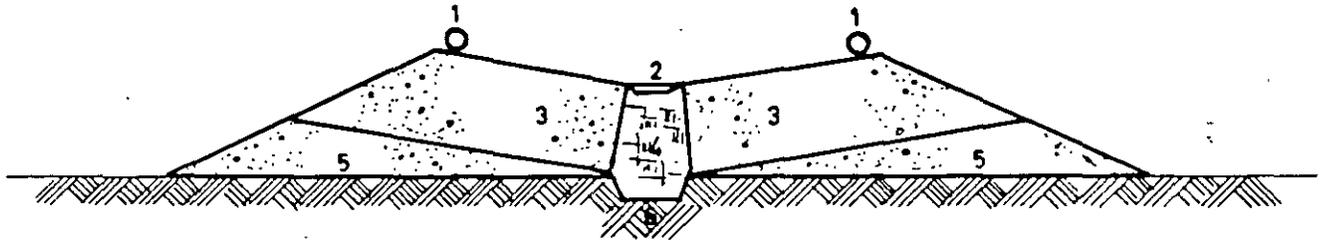


Fig II.1 Construcción de una presa de relleno hidráulico

- 1 Tubería de conducción
- 2 Estanque
- 3 Relleno hidráulico
- 4 Corazón impermeable
- 5 Material colocado en seco
- 6 Trinchera

Como transportar el material del banco al terraplén por medios hidráulicos no siempre es factible, puede explotarse el material por cualquier otro procedimiento y transportarlo en camiones hasta el terraplén, donde se continuará el procedimiento en la forma que ya se indicó; a este tipo de terraplén se le llama presa de relleno semihidráulico.

Esta clase de presas requiere un control estricto de la pendiente de los canales, pues un error en ello implica una distribución de materiales distinta a la proyectada.

Como los materiales son colocados en estado suelto, su resistencia al esfuerzo cortante es menor que el de las presas de materiales compactados y, por lo tanto, son más susceptibles de fallar por deslizamiento, licuación, etc, por lo cual sus taludes son generalmente más tendidos.

II.2 Presas de sección homogénea

Esta clase de presas se construyen con un solo tipo de material, a excepción de las partes que necesitan protección, como puede ser el caso de los taludes o la corona. Son recomendables donde existe la cantidad necesaria de un material suficientemente impermeable para retener el agua, y si resultan más económicas que otras. Fig II.2

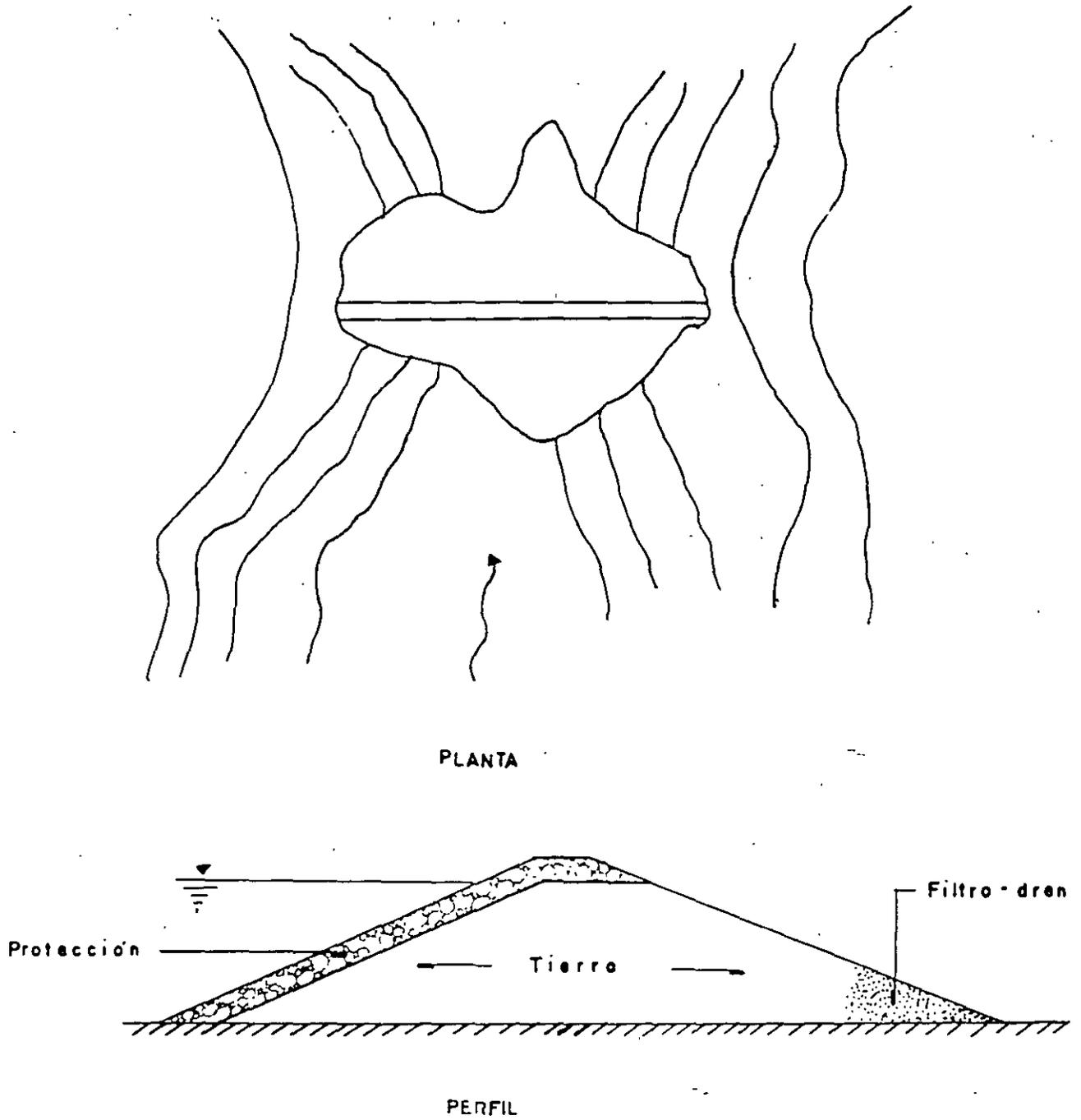


Fig II.2 Presa de sección homogénea.

El talud aguas arriba de este tipo de presas debe ser lo suficientemente tendido para evitar su deslizamiento cuando se presente un vaciado rápido; el talud aguas abajo debe garantizar la estabilidad de la presa.

A través del cuerpo de la presa pasarán filtraciones que aparecerán en el talud aguas abajo, Fig II.3, ocasionando, además de la pérdida de agua, posibilidades de tubificación. Debido a este problema se pretende controlar el sitio donde afloren las filtraciones; esto se logra construyendo partes de material que pueda servir como filtro y que proporcionarán el drenaje deseado. Figs II.4 y II.5

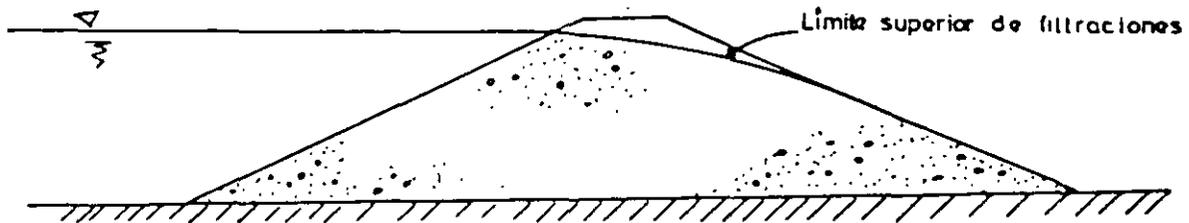


Fig II.3 Presa completamente homogénea

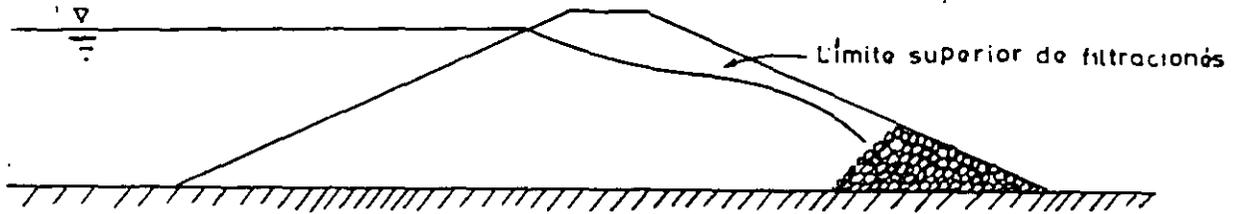


Fig II.4 Presa homogénea con filtro de pie de presa

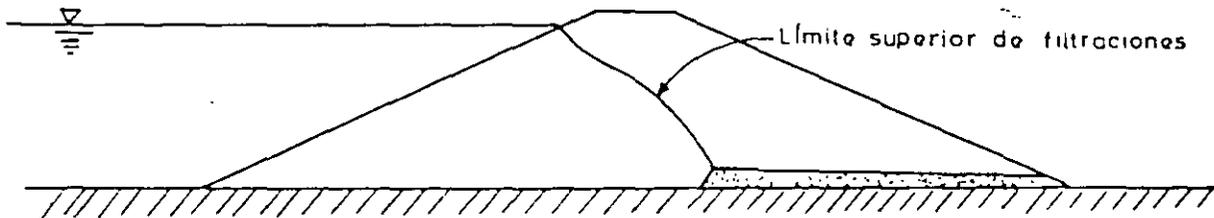


Fig II.5 Presa homogénea con filtro en delantal

II.3 Presas de materiales graduados

Este tipo de presas consta de un núcleo central impermeable y de zonas de permeabilidad creciente del centro hacia los taludes. La zona permeable de aguas arriba proporciona estabilidad en los vaciados rápidos y la zona permeable aguas abajo actúa como dren para abatir el límite superior de las filtraciones y como respaldo estabilizante. Este tipo de presas son de las que más se han construido en nuestro país.

Fig II.6

II.4 Presas de enrocamiento

En este tipo de presas, como su nombre lo indica, el material del cuerpo es rocoso (agrupando en este término material granular grueso, desde gravas y arenas hasta rocas grandes). Para evitar filtraciones existen varias alternativas: colocar losas de concreto en el paramento aguas arriba

Fig II.7, poner un núcleo de material impermeable o construir un muro de concreto o mampostería en el centro de la sección.

II.5 Elementos de Mecánica de Suelos útiles para el diseño de una presa de tierra

Antes de iniciar los comentarios acerca del diseño de los elementos de una presa de tierra, es necesario tener presente una serie de propiedades de los materiales que formarán

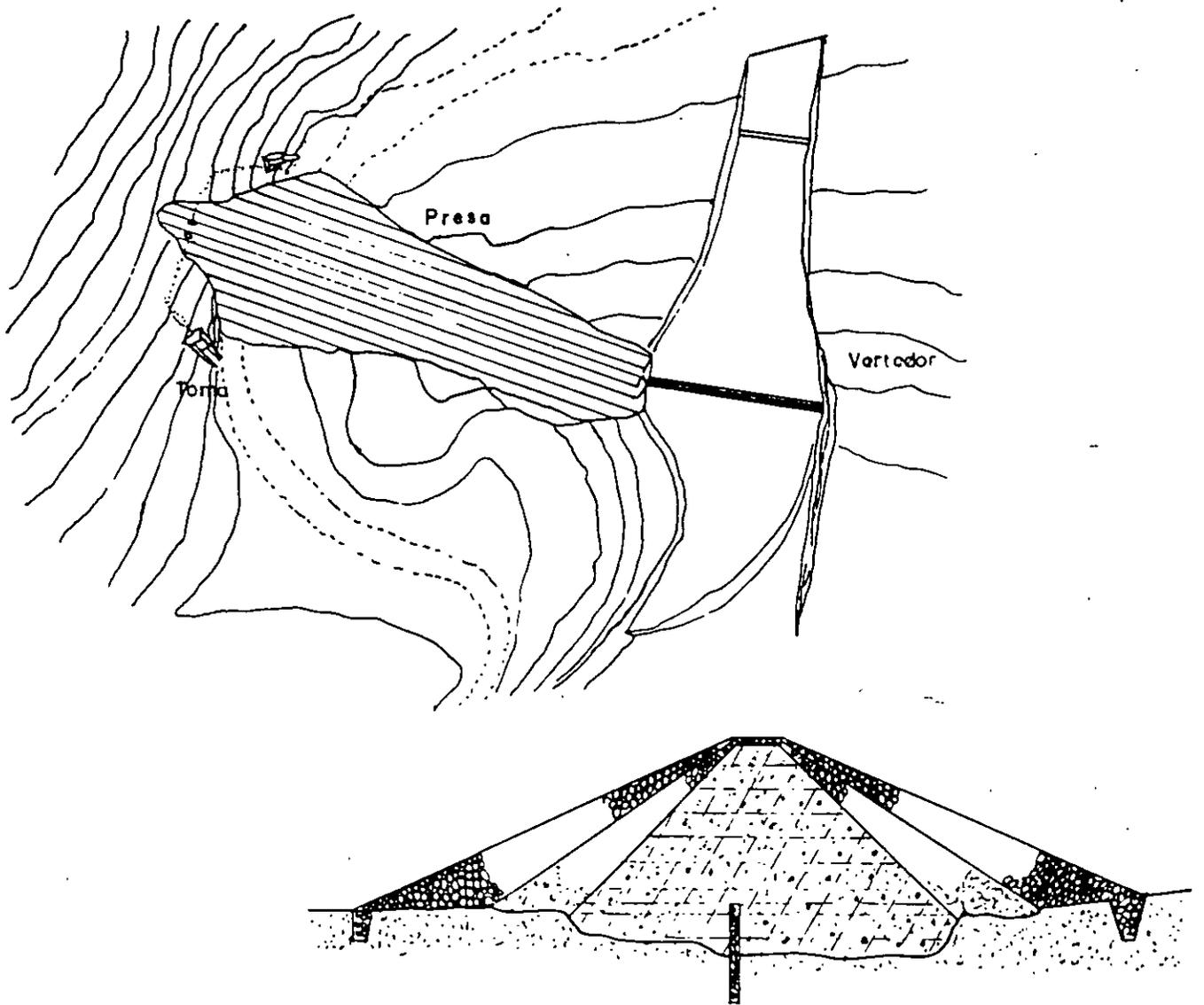


Fig II.6 Presa de materiales graduados

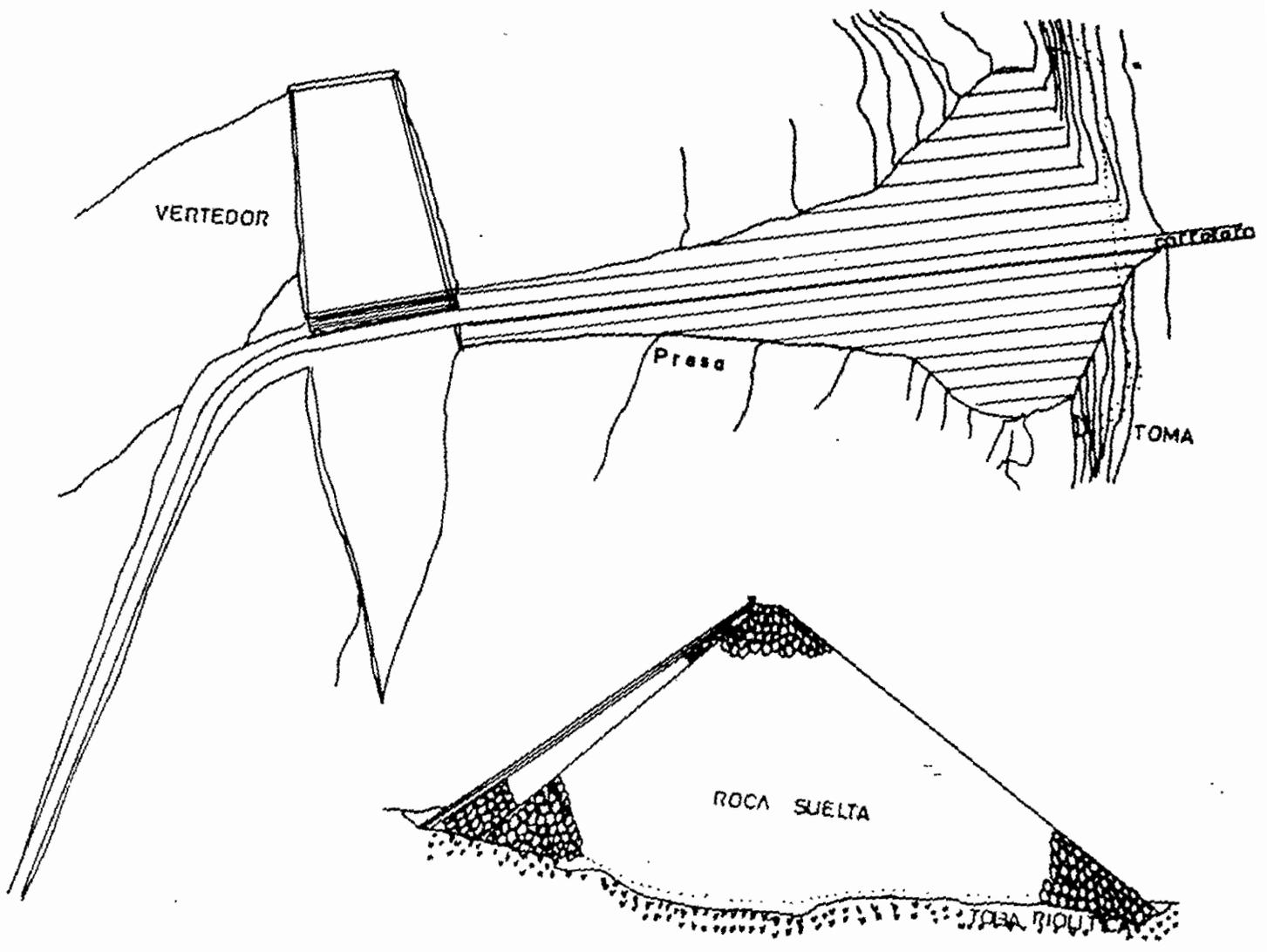


Fig II.7 Presa de enrocamiento

el cuerpo de ella y de los que existen en la cimentación; es te es el objeto del siguiente resumen sobre mecánica de suelos.

De las clasificaciones de suelos existentes, en nuestro país se ha adoptado el "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos" (SUCS), que se basa en las características granulométricas y en las propiedades plásticas del suelo.

II.5.1 Granulometría

Mucho tiempo se pensó que las propiedades mecánicas de un suelo dependían directamente del tamaño de sus partículas. Sin embargo, solamente en suelos gruesos la granulometría podría revelar algo acerca de las propiedades de los suelos; es decir, el comportamiento mecánico e hidráulico está de finido más por la compacidad y orientación de los granos que por su tamaño.

Se dice que se conoce la granulometría o textura de un suelo cuando se sabe la proporción relativa de tamaños en peso. Esta granulometría se representa gráficamente en la llamada "curva granulométrica", que se construye de la siguiente manera:

El suelo que se analiza se hace pasar a través de una serie de mallas o tamices cuyas aberturas se conocen, como las que se indican en la tabla II.1; en cada una de ellas se retendrán partículas cuyo tamaño es mayor que la abertura de la malla que lo retiene y menor que la inmediata superior. El material retenido se va pesando para obtener una proporción relativa de los tamaños del suelo y los resultados se representan en papel semilogarítmico: en el eje horizontal, el logarítmico, se localizan los diámetros de las partículas, y en el vertical, los porcentajes acumulados correspondientes a dichos diámetros. Fig II.8

En la práctica se emplean comunmente términos como: grava, arena, limo y arcilla para designar distintos tamaños de materiales; sus límites son convencionales, en las tablas II,2 y II.3 se presentan la Clasificación Internacional y la Clasificación M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology).

Malla núm	Abertura pulg	Abertura mm
	3.0	76.2
	2.0	50.8
s/n	1.050	26.67
	0.742	18.85
	0.525	13.33
	0.371	9.423
3	0.263	6.680
4	0.185	4.699
6	0.131	3.327
8	0.093	2.362
9	0.078	1.981
10	0.065	1.651
14	0.046	1.168
20	0.0328	0.833
28	0.0232	0.589
48	0.0116	0.295
60	0.0097	0.246
100	0.0058	0.147
150	0.0041	0.104
200	0.0029	0.0074

El número de malla corresponde al número de hilos por pulgada que la forman.

TABLA II.1 Abertura de mallas del sistema Tyler.

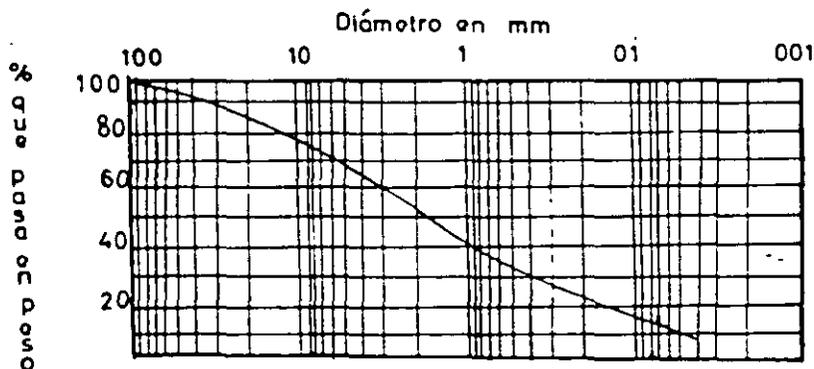


Fig II.8 Curva granulométrica de un suelo

Tamaño en mm

2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla	Ultra-arcilla (coloides)

TABLA II.2 Clasificación Internacional

Tamaño en mm

2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	fino	Gruesa	Media	Fina (coloide)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

TABLA II.3 Clasificación M.I.T.

La forma de la curva da una idea inmediata de la distribución granulométrica, por ejemplo, un suelo con partículas de un sólo tamaño, estará representado por una línea vertical y se llamará suelo uniforme, una curva muy tendida representará un suelo con gran variedad de tamaño y se llamará suelo bien graduado.

Para medir la uniformidad de un suelo, se usa el coeficiente de uniformidad:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

donde:

D_{60} = Tamaño tal que el 60% de las partículas del sue
lo , en peso, es igual o menor

D_{10} = Se le ha llamado diámetro efectivo; y es el tamaño
tal que sea igual o mayor que el 10% del suelo, en
peso.

Otro coeficiente importante es el coeficiente de curvatura defi-
nido como:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

donde:

D_{30} es definido en forma similar a los diámetros ante-
riores.

La granulometría de suelos finos se realiza en el laboratorio por
medio de sedimentación, basándose en la ley de Stokes, que da la
velocidad con que cae una esfera de peso específico y diámetro co
nocido, a través de un líquido.

II.5.2 Plasticidad

Plasticidad es la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Para medir la plasticidad de las arcillas existen varios criterios; el más conocido es el que desarrolló Atterberg, quien hizo notar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino que depende directamente del contenido de agua.

Atterberg definió los estados de consistencia, que en orden decreciente de contenido de agua son los siguientes:

- a) Estado líquido, presenta propiedades de una suspensión.
- b) Estado semilíquido, con características de un fluido viscoso.
- c) Estado plástico, en cuyo caso el suelo se comporta plásticamente.
- d) Estado semisólido, en que el suelo se parece a un sólido, pero aún disminuye su volumen al secarse.
- e) Estado sólido, el volumen permanece constante, aun cuando se someta a secado.

Las fronteras entre uno y otro estado fueron establecidas también por Atterberg bajo el nombre de límites de consistencia, y son las siguientes:

- a) Límite líquido. Es el contenido de humedad en la frontera entre los estados semilíquido y plástico.
- b) Límite plástico. Es el contenido de humedad en la frontera entre los estados plástico y semisólido.

Dado que estas fronteras limitan el intervalo plástico se les conoce con el nombre de límites de plasticidad; a partir de ellos Atterberg definió otro parámetro, el índice de plasticidad; lo hizo de la siguiente manera:

$$I_p = LL - LP$$

- c) Otros límites son: el de adhesión, el de cohesión y el de contracción; de los tres, sólo el último tiene algún interés ingenieril, definido como el contenido de humedad en la frontera entre los estados semisólido y sólido; es importante porque es el límite en el que ya no hay cambio de volumen al someter a sacado al suelo.

La forma actual de determinación del límite líquido se debe a A. Casagrande, que propuso un método completamente definido para que se obtengan valores similares sin importar el laboratorio en que se realicen las mediciones.

También el límite plástico se puede calcular con facilidad debido al método propuesto por Atterberg y complementado por Terzaghi.

II.5.3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Este sistema divide a los suelos gruesos y los finos por medio de la malla 200, es decir una partícula es gruesa si es mayor que dicha malla y es fina si es menor. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas, en peso, son gruesas, y el suelo será fino si más del 50% de sus partículas, en peso, son finas.

Suelos gruesos: Los suelos gruesos se dividen en dos grupos: gravas y arenas, cuya frontera es la malla No 4; esto es, un suelo grueso será considerado grava si más del 50% de su fracción gruesa es retenido en la malla 4, y es arena en caso contrario.

Para identificar los suelos se emplean dos letras mayúsculas, que son en general las iniciales de los nombres en inglés de los suelos más típicos en cada grupo.

Las gravas, símbolo G (inicial de la palabra gravel) y las arenas cuyo símbolo es S (inicial de la palabra sand), se subdividen en cuatro tipos:

- a) Suelo prácticamente limpio de finos, bien graduado (well graded) símbolo W , por lo tanto se tienen los grupos GW y SW .
- b) Suelo prácticamente limpio de finos, mal graduado (poorly graded) símbolo P . Grupos formados GP y SP .
- c) Suelo con cantidad apreciable de finos no plásticos (M_o y M_{jala} , palabras suecas) símbolo M . Se forman los grupos GM y SM .
- d) Material con cantidad apreciable de finos plásticos (clay) símbolo C . Grupos formados GC y SC .

A continuación se proponen valores de los coeficientes de uniformidad y curvatura para poder lograr una mejor identificación de los grupos de suelos, en algunos casos:

$$\begin{array}{ll} GW: & C_u > 4 \\ & 1 < C_c < 3 \\ SW: & C_u > 6 \\ & 1 < C_c < 3 \\ GP: & C_u < 4 \\ & C_c < 1 \text{ ó } C_c > 3 \end{array}$$

Otras características importantes son:

GM , contienen más del 12% de finos no plásticos, en peso.

SM , contienen más del 12% de finos no plásticos, en peso.

GC , contienen más del 12% de finos plásticos, en peso.

SC, contienen más del 12% de finos plásticos, en peso.

Suelos finos: Se sigue un criterio similar al de la clasificación de suelos gruesos en cuanto a simbología, y ésta es la siguiente:

- a) Limos inorgánicos, símbolo M (del sueco Mo y Mjala)
- b) Arcillas inorgánicas (clay), símbolo C
- c) Limos y arcillas orgánicas (organic), símbolo O

De acuerdo al límite líquido estos suelos se subdividen en dos grupos. Si el límite es menor de 50%, son suelos de media o baja compresibilidad (low compresibility), símbolo L, obteniéndose los grupos ML, CL y OL.

Si el límite líquido es mayor que el 50% el suelo será de alta compresibilidad (high compresibility), símbolo H, formándose los grupos MH, CH y OH.

Existen suelos muy orgánicos, fibrosos y muy compresibles como las turbas y los suelos pantanosos, que forman un grupo independiente cuyo símbolo es Pt (del inglés Peat).

Estos suelos finos suelen representarse en un sistema coordinado $LL-I_p$ en la llamada carta de plasticidad, tabla II.4, para identificar a qué grupo pertenece, y a partir de ello tener una idea de las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo.

En esta carta se representa una línea llamada "A", útil para separar los grupos de suelo, y que se obtuvo experimentalmente, quedando definida por (0,20) y (50,22). La línea B separa los suelos de baja y alta compresibilidad.

En la tabla II.4 se reproduce la clasificación del SUCS con una explicación de las propiedades de los suelos.

II.5.4 Relaciones volumétricas y gravimétricas de los suelos

Definiciones:

Volumen de vacíos. Comprende a las fases líquida y gaseosa.

Volumen de sólidos. Lo constituye la fase sólida.

Suelo totalmente saturado. Aquél en que todo el volumen de vacíos está ocupado por el estado líquido.

Peso específico. Es la relación entre el peso de la sustancia y su volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

donde:

γ = peso específico

W = peso de la sustancia

V = volumen de la sustancia

γ_0 = peso específico del agua destilada a 4°C de temperatura y a la presión atmosférica correspondiente al nivel del mar

Tabla 11.4 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIONES DE SUELOS
(INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION)

PRINCIPALES DIVISIONES DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Se excluyen las partículas mayores de 3/8 in. y pulg.) y se basan las fracciones en peso estimadas)				SÍMBOLOS DE CRÍPTO (1)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 El resto son las máximas, viables a simple vista	GRASAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 (Para clasificación usual puede usarse 1/2, en casos excepcionales a la abertura de la malla N° 4)	ARENAS Menos de 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 (Para clasificación usual puede usarse 1/2, en casos excepcionales a la abertura de la malla N° 4)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Partículas finas)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o ninguno	<p>Desé el nombre típico, indíquense los porcentajes aproximados de grava y arena tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para los suelos malterados agregúese información sobre estructura, estratificación, compactación, resistencia, condiciones de humedad y características de drenaje.</p> <p>EJEMPLO</p> <p>Arena limosa con grava con 30% de grava de partículas duras, angulosas y de 1/16 in. de tamaño máximo, arena gruesa o fina de partículas redondeadas o subangulosas, alrededor de 1/2% de finos no plásticos de baja resistencia en estado seco, compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial (SM).</p>	<p>Coeficiente de uniformidad (C_u), Coeficiente de curvatura (C_c)</p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \text{ mayor de } 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}, \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW</p> <p>Límites de plasticidad abajo de la línea A o L, menor de 4</p> <p>Límites de plasticidad arriba de la línea A con L, mayor de 7</p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \text{ mayor de } 6, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}, \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW</p> <p>Límites de plasticidad abajo de la línea A o L, menor de 4</p> <p>Límites de plasticidad abajo de la línea A o L, mayor de 7</p>
				GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o ninguno		
				GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
				GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		
	ARENAS Menos de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 (Para clasificación usual puede usarse 1/2, en casos excepcionales a la abertura de la malla N° 4)	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Partículas finas)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o ninguno			
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o ninguno			
			SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo			
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla			
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 El resto son las máximas, viables a simple vista	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Partículas finas)	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	<p>Desé el nombre típico, indíquense el grado y carácter de la plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, nombre local y geológico, cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis.</p> <p>Para los suelos malterados agregúese información sobre la estructura, estratificación, compactación, resistencia tanto en estado malterado como remoldeado, condiciones de humedad y drenaje.</p> <p>EJEMPLO</p> <p>Limo arcilloso, casi ligeramente plástico porcentaje reducido de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco en el lugar, limo (ML)</p>	<p>Coeficiente de uniformidad (C_u), Coeficiente de curvatura (C_c)</p> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \text{ mayor de } 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}, \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW</p> <p>Límites de plasticidad abajo de la línea A o L, menor de 4</p> <p>Límites de plasticidad arriba de la línea A con L, mayor de 7</p>	
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres			
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad			
			MH	Limos inorgánicos, limos muy ricos en dióxido de silicio, limos elásticos			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Partículas finas)	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas			
			OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de plasticidad media			
			ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos			
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	SUELOS DE PARTICULAS FINAS (Partículas finas)	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos				

Véase la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo mostradas en la columna de identificación en el campo.
 Determinar los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica dependiendo del porcentaje de limo (basarse que pasa la malla N° 200).
 Los suelos gruesos se clasifican como sigue:
 Más de 50%: GW, GP, SW, SP
 30% a 50%: GM, GC, SM, SC
 0% a 30%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.

EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS

G Grava M Limo O Suelos orgánicos W Bien graduada L Baja compresibilidad
 S Arena C Arcilla R Turba P Mal graduada H Alta compresibilidad

COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO

LÍMITE LÍQUIDO

CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN EL LABORATORIO

Clasificaciones de frontera -- Los suelos que pasen las características de dos grupos se designan combinando dos símbolos. Por ejemplo, GW-GC mezcla de grava y arena bien graduada con cemento arcilloso.
 * Todos los tamaños de las mallas son los U.S. Standard.

γ_w · peso específico del agua en condiciones de trabajo.

γ_m · Peso específico de la masa del suelo

$$\gamma_m = \frac{w_m}{V_m} = \frac{w_s + w_w}{V_m}$$

donde:

w_s = peso de la fracción sólida de la muestra

w_w = peso de la fracción líquida de la muestra

V_m = volumen de la masa

Peso específico de la fase sólida del suelo:

$$\gamma_s = \frac{w_s}{V_s}$$

Peso específico relativo de la masa del suelo, S_m :

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_o} = \frac{w_m}{V_m \gamma_o}$$

Peso específico relativo de la fracción sólida, S_s

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{w_s}{V_s \gamma_o}$$

Relación de vacíos, e :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

donde:

V_v = Volumen de vacíos

V_s = Volumen de sólidos

Porosidad, $n(\%)$:

$$n (\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

Grado de saturación, $Gw(\%)$:

$$Gw(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Contenido de agua o humedad, $w(\%)$:

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Grado de saturación de aire, $Ga(\%)$:

$$Ga(\%) = \frac{V_a}{V_v} \times 100$$

donde:

V_a = Volumen de aire

A continuación se presentan algunas relaciones útiles referentes a suelos saturados:

$$w = \frac{e \gamma_0}{S_\delta \gamma_0}$$

$$e = w S_\delta$$

$$S_m = \frac{S_\delta + e}{1 + e} = \frac{S_\delta (1+w)}{1 + S_\delta w} = n + (1-n)S_\delta$$

$$\gamma_m = S_m \gamma_0 = \frac{S_\delta + e}{1 + e} \gamma_0 = \frac{S_\delta (1+w)}{1 + S_\delta w} \gamma_0 = n + (1-n)S_\delta \gamma_0$$

Relaciones para suelos parcialmente saturados:

$$\gamma_m = \frac{1 + w}{1 + e} \gamma_\delta$$

$$S_m = \frac{1 + w}{1 + e} S_\delta$$

$$G_w = \frac{w S_\delta}{e}$$

Relaciones para suelos sumergidos:

Designaremos por S'_δ , el peso específico relativo de la materia sólida sumergida.

$$S'_\delta = S_\delta - 1 \quad (\text{en ton/m}^3)$$

$$S'_m = S_m - 1$$

$$\gamma_{\Delta}' = S_{\Delta}' \gamma_0 = \gamma_{\Delta} - \gamma_0$$

$$\gamma_m' = S_m' \gamma_0 = \gamma_m - \gamma_0$$

$$\gamma_m' = \frac{S_{\Delta} - 1}{1 + e} \gamma_0 = \frac{S_{\Delta} - 1}{1 + S_{\Delta} w} \gamma_0$$

$$\gamma_m' = \frac{S_{\Delta} - 1}{S_{\Delta}} \gamma_d$$

donde:

$\gamma_d =$ peso específico seco (se presenta cuando $G_w = 0$)

$$\gamma_d = \frac{w_{\Delta}}{V_m}$$

Otra relación útil es la siguiente:

Peso específico saturado (se presenta cuando $G_w = 100\%$)

$$\gamma_{sat} = \frac{w_{\Delta} + w_w}{V_m}$$

Algunos valores típicos de estas relaciones se presentan en la tabla II.5

DESCRIPCION		Porosidad n (%)	Relación de vacíos e	Humedad w (%)	Pesos volumétricos γ_d (ton/m ³) γ_{sat}	
Arena uniforme	Suelta	46	0.85	32	1.43	1.89
	Densa	34	0.51	19	1.75	2.09
Arena bien graduada	Suelta	37	0.60	22	1.65	2.02
	Densa	20	0.25	9	2.12	2.32
Limo	Baja Plast	49	0.95	35	1.38	1.87
	Alta Plast	68	2.16	80	0.85	1.54
Arcilla inorgánica	Blanda	55	1.2	45	1.22	1.77
	Dura	37	0.6	22	1.69	2.07
Arcilla orgánica	B.C.M.O.	66	1.9	70	0.93	1.58
	A.C.M.O.	75	3.0	110	0.68	1.43
Bentonita	Blanda	84	5.2	194	0.43	1.27

B.C.M.O: Bajo contenido de materia orgánica
A.C.M.O: Alto contenido de materia orgánica
Datos tomados de la referencia (2)

TABLA II.5 Porosidad, relación de vacíos, contenido de agua y pesos volumétricos de varios suelos en estado natural.

II.5.5 Permeabilidad

Henri Darcy en 1856 construyó un modelo, ver fig II.9 con el objeto de estudiar las características del flujo de agua a través de filtros.

En forma experimental encontró que las velocidades con que fluye el agua a través de los poros son muy pequeñas, y que el gasto puede expresarse como:

$$Q = \frac{dV}{dt} = k A i \quad \text{cm}^3/\text{seg} \quad (1)$$

donde:

Q = gasto

$\frac{dV}{dt}$ = variación del volumen en el tiempo

k = coeficiente de permeabilidad

A = área total de la sección transversal del filtro en cm^2

i = gradiente hidráulico del flujo medido como:

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

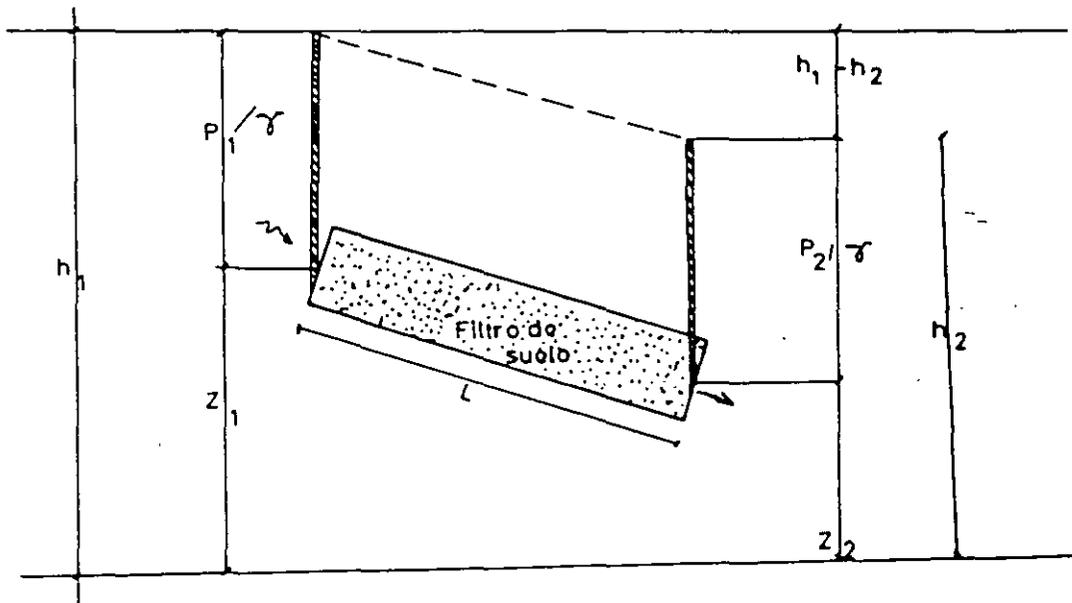


Fig II.9 Modelo de Darcy

Si aplicamos la ecuación del "Teorema de Bernoulli" entre las secciones 1 y 2 del filtro tenemos:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h$$

Como las velocidades son muy pequeñas se pueden despreciar, en tonces:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h$$

Donde los términos:

$$\frac{p_i}{\gamma} + z_i = h_i$$

siendo h_i la altura piezométrica, además $h = h_1 - h_2$ representa la energía transformada en el calor y disipada.

Por otro lado tenemos la ecuación de continuidad:

$$Q = A v \quad (2)$$

Si sustituimos la ecuación 2 en la número 1 obtenemos:

$$v = k i$$

En esta última ecuación podemos observar que la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico, siendo k la constante de proporcionalidad que como ya se dijo se llama coeficiente de permeabilidad con unidades L/T y puede interpretarse como la velocidad de descarga correspondiente a un gradiente hidráulico unitario.

En general se puede decir que los suelos cohesivos, salvo ciertas arcillas, tienen coeficientes de permeabilidad muy bajos, del orden de 10^{-5} a 10^{-9} cm/seg. En México la determinación de la permeabilidad en estos suelos se realiza con permeámetros, de carga constante o variable.

En materiales granulares, debido a la dificultad de obtener muestras inalteradas, los ensayos deben realizarse "in-situ". Los métodos más usados son el de Lefranc y el de Thiem.

Ejemplo II.1 Determinar el orden de magnitud de la cantidad de filtración subterránea por medio de la fórmula de Darcy, para el caso mostrado en la fig II.10

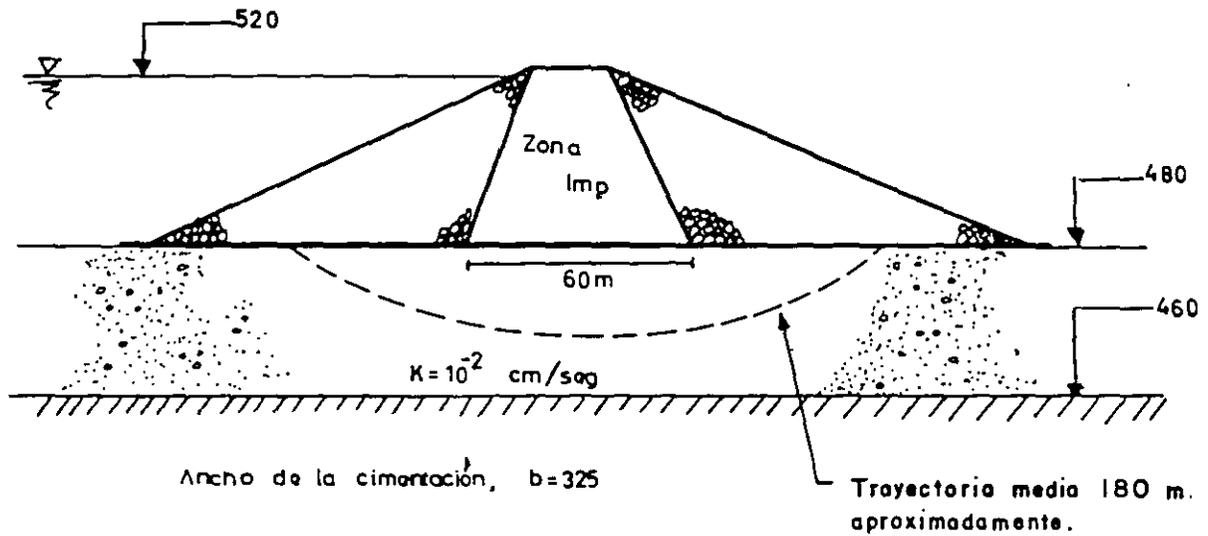


Fig I.10 Datos para el ejemplo II.1

Solución:

$$k = 10^{-2} \text{ cm/seg} = 10^{-4} \text{ m/seg}$$

$$h = \text{elev } 520 - \text{elev } 480 = 40\text{m}$$

$$L = 60 \text{ m}$$

$$i = \frac{h}{L} = \frac{40}{180} = 0.222$$

Profundidad de la cimentación:

$$d = \text{elev } 480 - \text{elev } 460 = 20 \text{ m}$$

Area transversal al flujo:

$$A = b d = 325 \times 20 = 6500 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el gasto de filtración será:

$$Q = k i A = 10^{-4} \times 0.222 \times 6500 = 0.143 \text{ m}^3/\text{seg}$$

II.6 Elementos de una presa de tierra

II.6.1 Corazón impermeable.

Es el elemento de la presa que cierra el paso al agua contenida en el vaso.

Existen varios criterios para el diseño del núcleo impermeable; primero se presentará el propuesto por el U.S.B.R.⁽³⁾.

Definiciones:

- a) Núcleo mínimo. Es aquel construido sobre una cimentación impermeable o sobre una permeable atravesada completamente por una trinchera de tierra impermeable.
- b) Núcleo mínimo para las cimentaciones permeables. Es aquel construido sobre una cimentación permeable parcialmente atravesada por una trinchera de tierra impermeable.
- c) Núcleo máximo. Es el que se construye sobre una cimentación permeable sin dentellón. Fig II.11

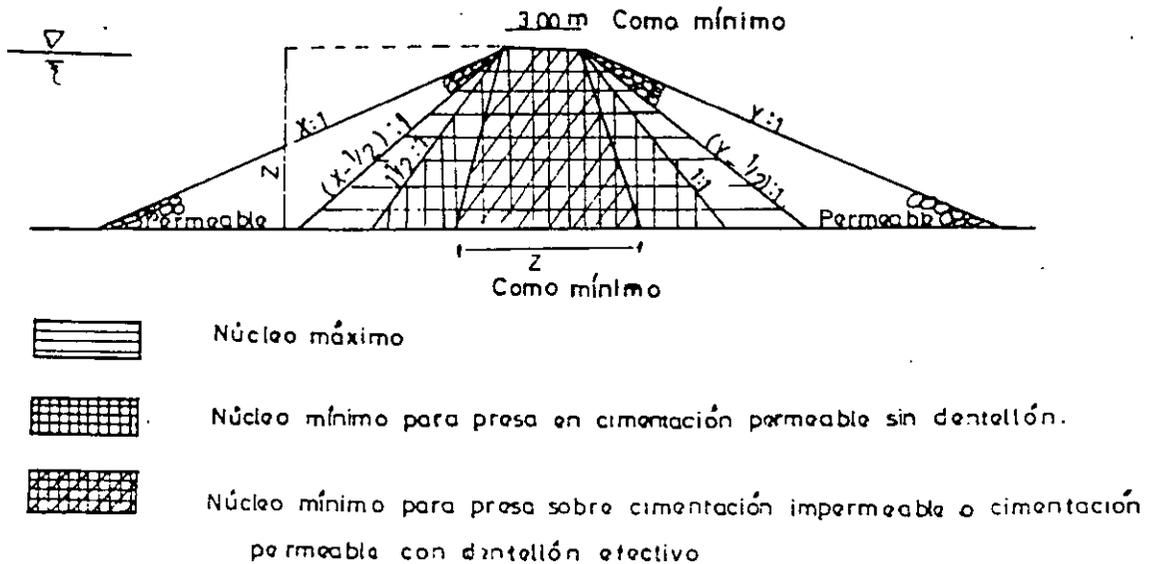


Fig II.11 Variación de tamaños de los núcleos impermeables en los terraplenes compuestos. U.S.B.R. (3)

El ancho de 3m (10') se eligió tomando en consideración la factibilidad de maniobra del equipo de construcción; también se considera que el espesor del núcleo a cualquier elevación no puede ser menor que la altura del terraplén a ese nivel, para que el promedio de la pendiente hidráulica a través del núcleo sea menor que la unidad, pues una pendiente hidráulica mayor produce grandes fuerzas de filtración lo cual implica construcción de filtros de mayor calidad. Por otro lado, si el núcleo fuera más delgado, existiría mayor el peligro de que se rompiera debido a agrietamiento por distintas causas.

Independientemente de este criterio existen varios factores que deben tomarse en cuenta para el diseño del núcleo impermeable. Se preferirá un corazón impermeable delgado porque generalmente será más económico, además las cantidades de material impermeable pueden llegar a ser escasas en el lugar de construcción; las condiciones climatológicas y disponibilidades de tiempo también son factores que influyen en la selección del núcleo.

También deben considerarse qué ventajas y desventajas existen si el corazón es vertical o inclinado. Figs II.12 y II.13

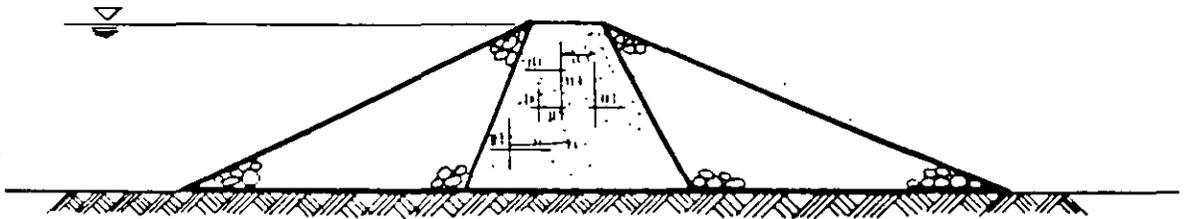


Fig II.12 Colocación vertical del corazón impermeable.

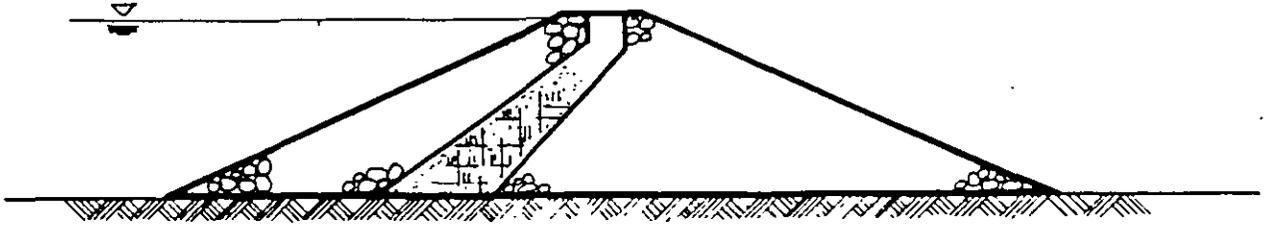


Fig II.13 Colocación inclinada del corazón impermeable.

Algunas consideraciones sobre el corazón colocado vertical - mente:

- a) Brinda mayor protección contra el agrietamiento en la zona de contacto con la cimentación, debido a que ahí existen mayores presiones.
- b) Para un mismo volumen de material el ancho de un corazón vertical es mayor que el de un corazón inclinado.

Aspectos sobre el corazón inclinado:

Una gran ventaja es que permite construir primero la parte del talud aguas abajo, esto es bueno en lugares donde la época seca necesaria para la compactación es corta (por ejemplo, en el caso de ataguías).

II.6.2 Filtros

Cuando el agua fluye a través de un medio poroso, ejerce un empuje dinámico sobre las partículas sólidas, dicho empuje se representa como la fuerza de filtración. Esta fuerza tiende a provocar un desplazamiento de las partículas, que al ser arrastradas formarán tubos, presentándose así el fenómeno llamado tubificación; éste es un problema que puede presentarse en el núcleo impermeable, por lo que debe colocarse un material adecuado del lado aguas abajo del corazón para evitar que las partículas se desplacen.

Un buen filtro debe cumplir dos requisitos:

- a) Que sea más permeable que el material por proteger, para que le sirva como dren.
- b) Que sea lo suficientemente fino para evitar que el material protegido pase a través de sus vacíos.

Estos requisitos se cumplen según investigaciones de K. Terzaghi y G.E. Bertram, en Harvard, verificadas por el U.S.B.R. si se satisface lo siguiente:

$$a) \quad 5 < \frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{15} \text{ Material protegido}}$$

Esto garantiza que la permeabilidad del filtro sea 100 veces mayor que el material por proteger.

$$\text{b) } \frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{15} \text{ Material protegido}} < 40$$
$$\frac{D_{15} \text{ Filtro}}{D_{85} \text{ Material protegido}} < 5$$

Garantizan la imposibilidad de arrastre de finos.

Cuando el material por proteger tiene un alto contenido de grava, las reglas a y b deben aplicarse a la porción de material menor que la malla de 2.54 cm.

c) El material que constituye el filtro debe tener menos de un 5%, en peso, de partículas menores que la malla No 200 y su curva granulométrica debe ser parecida a la del material por proteger, siempre y cuando éste no sea muy uniforme.

Se han establecido espesores mínimos para los filtros, limitados por los problemas constructivos principalmente; lo usual es especificar un espesor mínimo de 1.00 m. El material se tiende en capas horizontales; si se trata de arena, el espesor de las capas será del orden de 15 cm. y si es grava, de 30 cm.

Ejemplo II.2 Determine la capacidad del filtro, en funciones de dren, mostrado en la figura II.14

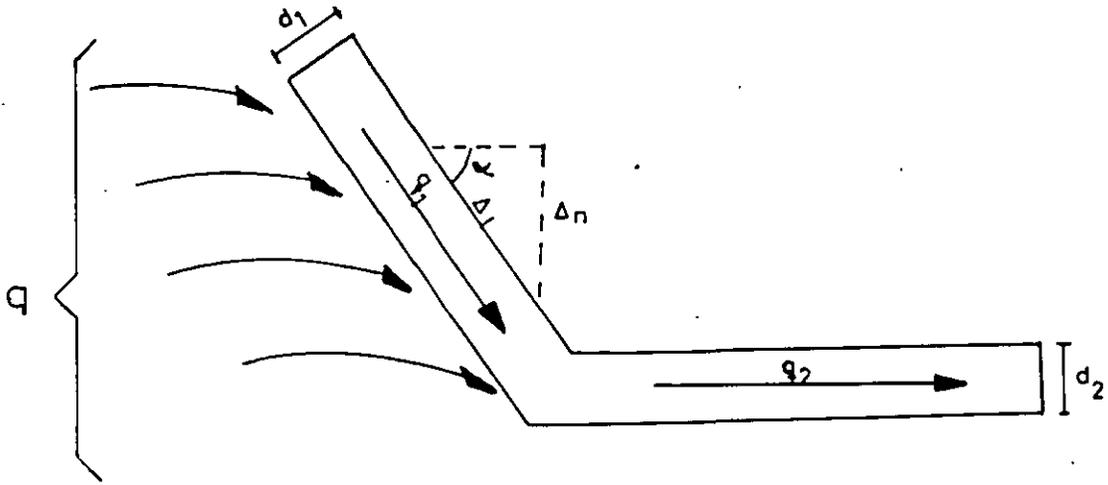


Fig II.14 Filtro en funciones de dren.

El filtro de arena compacta,

Solución:

Primero analicemos la porción inclinada:

De la ecuación de Darcy: $v = k i$ (1)

La ecuación de continuidad será: $q_1 = v_1 A_1$ (2)

Si se considera un ancho unitario: $A_1 = d_1 \cdot 1$ (3)

Para determinar su capacidad, supongamos que se estableciera el flujo en el tramo inclinado, $i = \text{sen } \alpha$

$$v_1 = k \text{ sen } \alpha \quad (4)$$

Si sustituimos 3 y 4 en 2 tendremos:

$$q_1 = k \text{ sen } \alpha \cdot d_1 \text{ (capacidad del filtro)}$$

q_1 debe ser mayor que q para que el filtro no tienda a desbordarse.

Para el filtro horizontal, aplicando la fórmula de Dupuit:

$$q_2 = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2 L}$$

Si $h_2 = 0$ y $h_1 = d_2$, para que el flujo sea sin presión,

$$q_2 = \frac{k d_2^2}{2 L} \quad (\text{capacidad del filtro horizontal})$$

Este último valor deberá compararse con el gasto q de entrada, para aceptar o modificar las dimensiones del dren. Si hay entrada de agua a lo largo de éste, el problema es diferente y debe analizarse de nuevo.

II.6.3 Transiciones

Muchas veces la diferencia de tamaños de los materiales en contacto, por ejemplo en la frontera entre el enrocamiento y un filtro, es tan grande, que puede suceder que los vacíos del enrocamiento sean de tal tamaño que, si hay posibilidad de flujo, el material fino del filtro sea arrastrado a través de ellos, o el caso inverso, que el material del filtro sea tan fino que logre pasar a través del enrocamiento, entonces será necesario colocar entre ellos materiales de transición que

eviten dicha fuga de materiales. Las transiciones, en su caso, deberán cumplir con los requisitos de los filtros.

II.6.4 Respaldos de enrocamiento

Los respaldos de una presa tienen por objeto primordial dar estabilidad a la cortina; además proporcionan protección a los paramentos, sobre todo al de aguas arriba, al defenderlo de los efectos de oleaje. Existen 3 formas de colocar el material:

- a) Enrocamiento colocado a volteo. Consiste en colocar los fragmentos de roca o piedra, descargándolos por volteo desde un altura determinada. La eficacia de estos enrocamientos depende de varios factores: la calidad de la roca, peso y tamaño de las piedras, forma de las rocas, talud de la presa, etc.
- b) Enrocamiento acomodado a mano. En este caso las piedras son colocadas a mano siguiendo un patrón determinado, que ofrezca el mínimo de huecos, este procedimiento es costoso y a veces se emplea en los paramentos de los respaldos.
- c) Enrocamiento compacto. El enrocamiento a volteo tiene algunos inconvenientes debido a que forma una masa suelta,

muy segregada y susceptible de deformaciones por reacomodamiento; debido a ésto se consideró que el enrocamiento debía ser colocado en capas de 1 a 2.5 m, "bandeadas" con tractor pesado; en algunos casos, la limitación del tamaño máximo del enrocamiento a valores comprendidos entre 30 y 60 cm hizo posible reducir el espesor de la capa de 50 a 100 cm, permitiendo incrementar la energía de compactación por unidad de volumen con equipos menos pesados; además se han usado con bastante éxito vibradores mecánicos para llevar al cabo la compactación, debido a la influencia de la vibración sobre los "suelos" granulares.

II.6.5 Trincheras

Cuando el material de la cimentación es muy permeable y además su espesor no es demasiado grande, puede llevarse el corazón hasta el estrato impermeable, por medio de una trinchera,

Fig II.15

Una trinchera es una excavación de gran magnitud; el construir una trinchera trae aparejados otros problemas que pueden influir en el criterio de selección, por ejemplo el bombeo de las filtraciones y la estabilidad de los taludes. El material de relleno y su colocación deben cumplir las mismas especificaciones que las del corazón impermeable.

Otro tipo de trinchera es la llamada pantalla de lodos, ésta es una excavación de una zanja de 1 a 3m de ancho y la profundidad requerida para llegar a la roca. El relleno es una mezcla de arena, grava y bentonita, con una buena graduación; el principal problema que se puede presentar es la segregación del material de relleno.

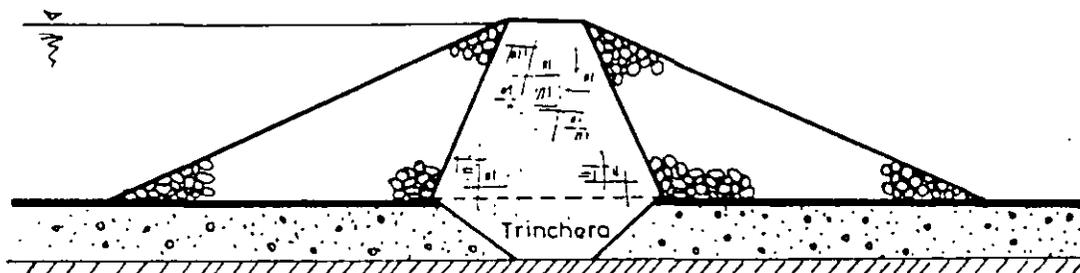


Fig II.15 Trinchera, cuando la profundidad de la cimentación lo permite

II.6.6 Delantales

Cuando la profundidad desde la base de la presa a la roca es grande pero la permeabilidad es baja, una solución al problema de filtraciones y como consecuencia de tubificaciones, es la construcción de delantales impermeables, que no son más que la prolongación del corazón impermeable hacia aguas arriba. Fig II.16

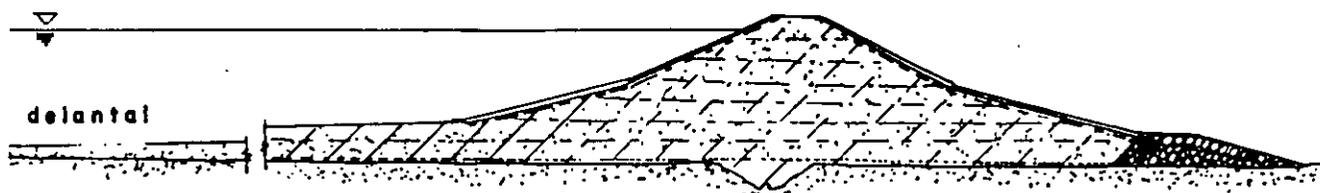


Fig II.16 Presa con delantal

La longitud del delantal dependerá de la altura o carga del embalse y de la permeabilidad y espesor de la cimentación.

II.6.7 Tablaestacados

Cuando la cimentación es permeable y no contiene boleos o materiales de gran tamaño, se pueden usar tablaestacas (las más usuales son las de acero) sin embargo su empleo es escaso.

II.6.8 Pantallas rígidas

Cuando el estrato permeable es muy grande se pueden usar pantallas rígidas, que son obstáculos que parten de una zona impermeable de la presa, hasta la región impermeable de la cimentación. Las pantallas se pueden formar inyectando materiales impermeables o colando pilotes o tableros de concreto.

II.6.9 Pantallas de Inyecciones

En depósitos de aluvión hasta profundidades de más 100 m se pueden usar las pantallas de inyección, Fig II.17, para impermeabilizar dichas cimentaciones.

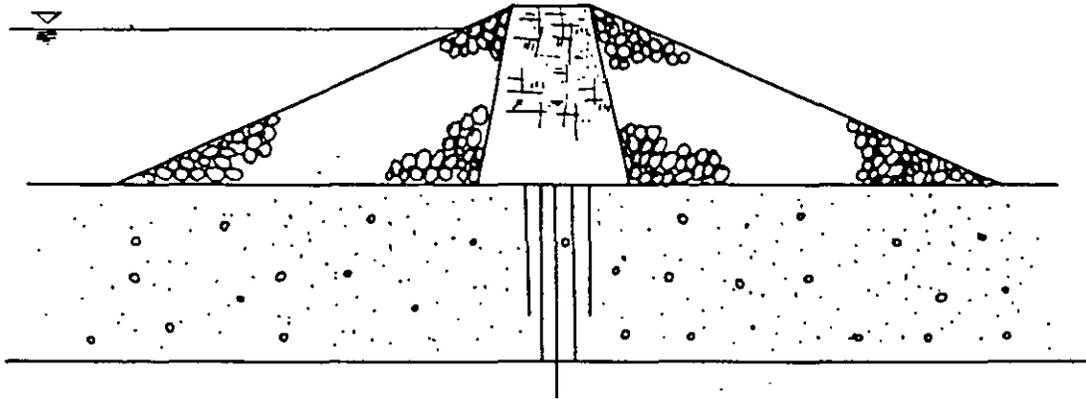


Fig II.17 Pantalla de Inyección

Una cortina de inyecciones se inicia haciendo varias filas de barrenos a distancias de 2 a 3 m, encamisadas para evitar derrumbes. Una vez hecho esto se procede a inyectar el producto seleccionado a presión.

Los productos inyectables son de tres tipos: líquidos, suspensiones inestables y suspensiones estables. Los primeros son soluciones de silicato de sodio con un reactivo, resinas sintéticas o hidrocarburos, los segundos son lechadas de agua y cemento y los últimos son mezclas de arcilla, cemento, arena y

agua.

Las lechadas inestables se usan para tratar rocas fracturadas, las suspensiones estables se emplean para tratar depósitos de aluvión grueso, los productos químicos se usan para llenar huecos de arenas finas, conglomerados o areniscas.

A) Inyección de aluviones

El tratamiento se realiza con mezclas estables. H. Cambefort⁽⁴⁾, estudió dos casos ideales de escurrimiento, que presentamos someramente como ilustración del tipo de problemas que se presentan.

a) En un medio homogéneo e isótropo

Para este caso él obtuvo la siguiente ecuación

$$P_0 - P = \frac{Q\bar{Y}}{CK} = \frac{Qv}{C} \frac{\bar{Y}}{K_0 v_0} \quad (1)$$

donde:

- K = permeabilidad del suelo
- v = viscosidad de la mezcla
- \bar{Y} = peso volumétrico de la mezcla
- P_0 = presión de inyectado
- P = presión del suelo antes del inyectado
- K_0 = permeabilidad para el agua

v_0 = viscosidad para el agua

Q = gasto de la lechada cuando se alcanza la condición de escurrimiento permanente.

C = coeficiente, $C = 4\pi r_0$ si se supone que el flujo es esférico de radio r_0 .

La duración teórica de inyectado " t " será función del radio de acción o penetración, entonces:

$$Q = 4n\pi r^2 \frac{dr}{dt} \quad (2)$$

Resolviendo esta ecuación diferencial tendremos

$$t = \frac{4n\pi(R^3 - r_0^3)}{3Q} \quad (3)$$

donde:

n = porosidad

r_0 = radio de la fuente

R = radio de acción o penetración

La solución gráfica de la ecuación 3 se presenta en la figura II.18

De las ecuaciones 1 y 3 puede determinarse la distancia entre barrenos para formar una pantalla continua.

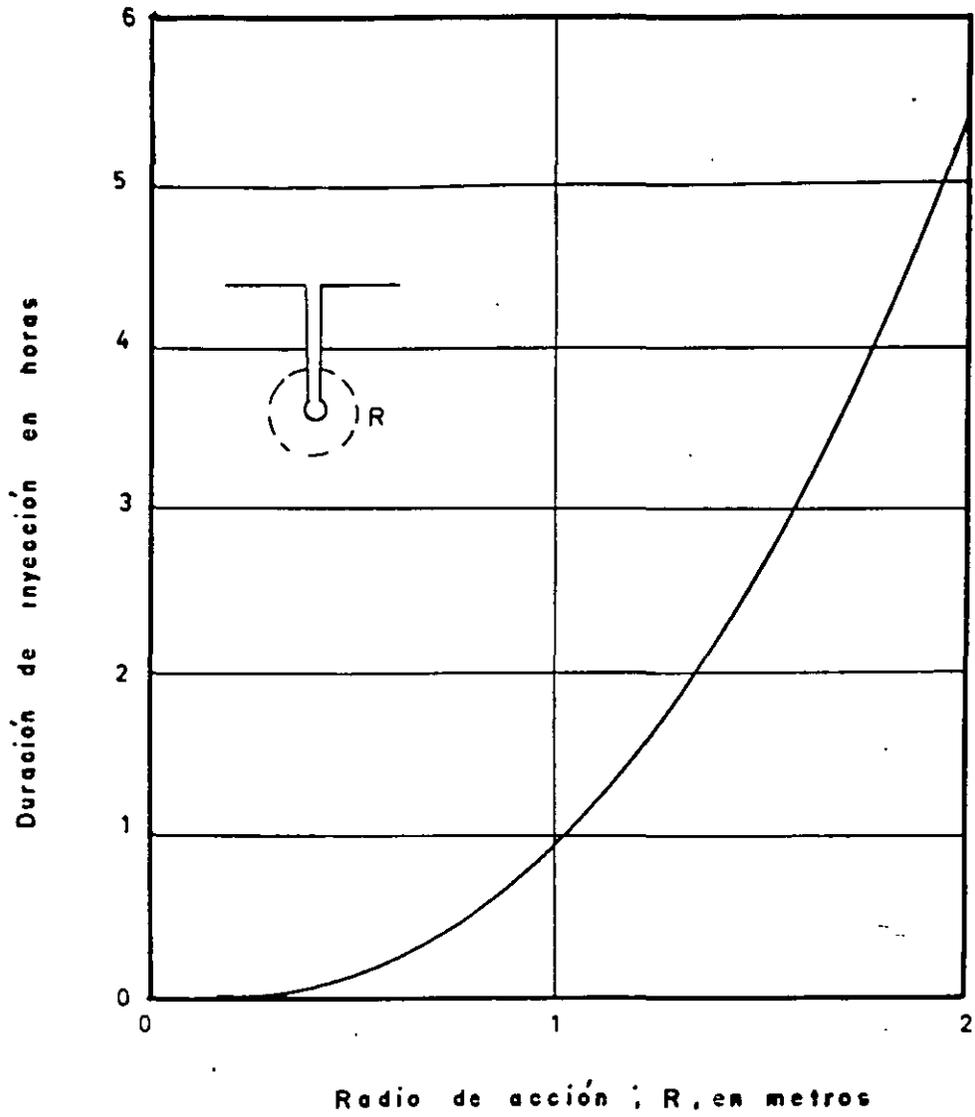


Fig II.18 Avance de la inyección en función del tiempo.

b) Si el suelo es estratificado, cada capa tendrá diferente permeabilidad, por lo tanto la lechada variará de un estrato a otro. Se recomienda entonces la fórmula de Dupuit:

$$P_0 - P = \frac{Q \gamma v}{2 K_0 v_0 e} \ln \frac{R}{r_0} \quad (1)$$

donde:

e = espesor de la capa

los demás términos están definidos en las tres ecuaciones anteriores.

La duración de inyectado se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 2n\pi r e \frac{dr}{dx}$$

Resolviendo esta ecuación diferencial:

$$t = \frac{n \pi e (R^2 - r_0^2)}{Q}$$

siendo r_0 el radio del barrenado.

El procedimiento más usado para inyección en aluviones es el de tubo-manguito, Fig II.19, que a continuación se describe:

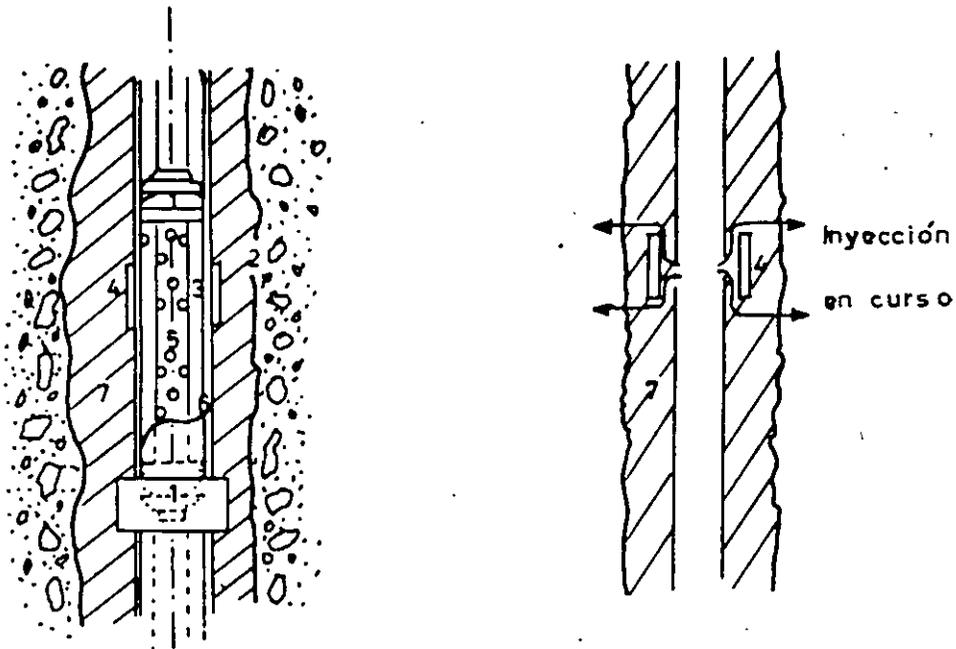


Fig II.19 Inyección de aluviones, método tubo-manguito.

Notación de la figura II.19

1. Obturador doble
2. Pared de la perforación
3. Orificio de inyección
4. Cople de caucho
5. Tubo de inyección
6. Tubo sellado en la perforación
7. Material semi-plástico

Se hace un barreno, generalmente de 7.5 cm de diámetro con la longitud necesaria según la profundidad que se desee tratar, en esta perforación se introduce el tubo-manguito, que es un tubo de acero de 5 cm de diámetro, perforado a cada 30 cm, estas perforaciones son cubiertas con un manguito de hule, en el

espacio entre la pared de la perforación y el tubo-manguito se coloca un relleno con una mezcla de cemento y arcilla, por el tubo-manguito se introduce el tubo inyector que tiene dos obturadores y el tramo comprendido entre ellos perforado. Entonces con una presión que depende de la mezcla arcilla cemento colocada entre el tubo-manguito y la pared del barreno, se produce la rotura de dicho relleno y la lechada penetra en el aluvión. Se desplaza el tubo interior al orificio inmediato superior o inferior y se repite la operación.

Este método tiene la ventaja de que puede seguirse cualquier orden para inyectar estratos a diferentes niveles. Las presiones de inyección varían entre 10 y 30 kg/cm². Debe tenerse un control muy cuidadoso de las presiones, pues se pueden provocar levantamientos por sobrepresiones.

B) Inyección en rocas agrietadas

En muchas ocasiones las grietas se encuentran rellenas de arcilla, arenas o gravas, entonces se debe proceder a limpiarlas por medio de chiflones de aire o agua; una vez limpias o parcialmente limpias, se procede a la inyección.

Las rocas fisuradas son tratadas con suspensiones inestables, generalmente mezclas de agua y cemento. Es importante cuidar la relación agua cemento (A/C), que debe diseñarse para cada caso particular.

La inyección se suspende cuando se presenta el rechazo (presión máxima especificada en función del tipo de roca, fisuración y profundidad) si la relación A/C se hubiera escogido correctamente, para un gasto constante de lechada Q , la presión va creciendo progresivamente hasta llegar al rechazo, como es difícil escoger correctamente la relación A/C ,

H Cambefort ha propuesto un conjunto de reglas basado en el número de Lugeon (1 lugeon = 1 litro por minuto x metro, bajo una presión de 10 kg/cm^2), las reglas para la inyección son las siguientes:

De 1 a 2 lugeons, comenzar el inyectado con A/C = 8 y llegar al rechazo con 4.

De 2 a 5 lugeons, iniciar con A/C = 8, pasar a 4 y obtener el rechazo con 2 si no se alcanza con el anterior valor de A/C.

De 5 a 10 lugeons, empezar el trabajo con A/C= 4 continuar con 2 y si el rechazo no ocurre, aumentar A/C a 1.

II.6.10 Drenes y galerías

Las filtraciones en la cimentación no sólo presentan problemas de pérdida de agua; también producen efectos de subpresión que se traducen en una flotación que equivale a una reducción de peso propio de la presa, entonces es necesario construir un sistema que alivie esas presiones. Rara vez es necesario en el caso de presas de materiales sueltos.

Un sistema de drenaje puede ser desde simples perforaciones desde la superficie a profundidades de 10 o 20 m, hasta la construcción de galerías desde donde se pueden perforar los barrenos para aliviar las presiones, ver fig II.20

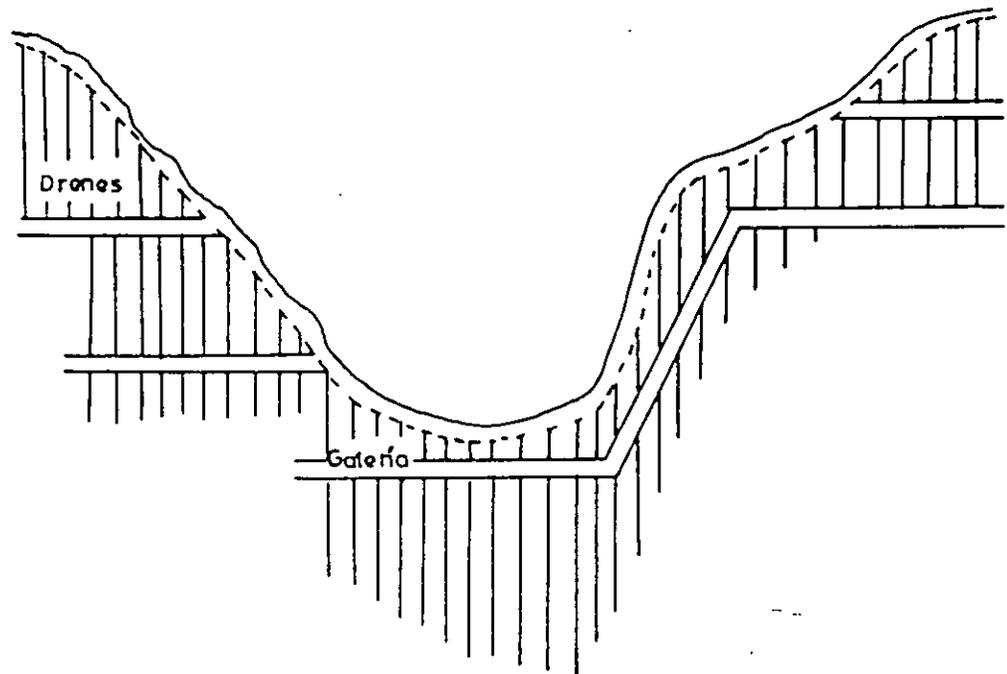


Fig II.20 Sistema de drenes y galerías
(no usual en presas de tierra
y roca)

II.6.11 Pozos de alivio

En casos en que la cimentación de una presa está constituida por estratos donde se alternan capas impermeables con otras permeables, pueden presentarse subpresiones que pueden dañar a las capas impermeables superiores, en este caso, para evitar estas subpresiones se hacen perforaciones verticales de

50 a 100 cm de diámetro; con objeto de evitar derrumbes se introducen tubos con perforaciones, los cuales se rodean de un filtro para impedir que el material externo los tape, éstos son los llamados pozos de alivio que se colocan aguas abajo de la presa, Fig II.21

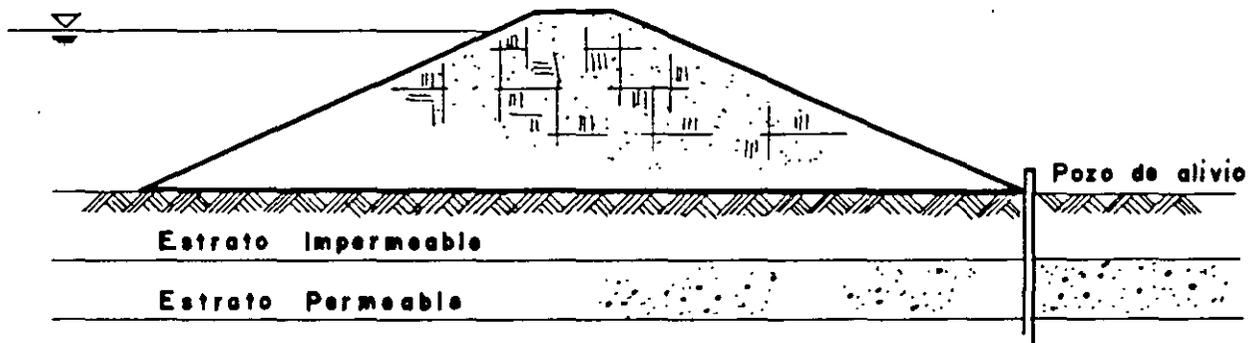


Fig II.21 Pozo de alivio en una presa

II.6.12 Ataguías

Son presas pequeñas o simplemente barreras que se construye para impedir que el agua penetre en la zona de construcción de la presa. Las ataguías pueden tener carácter temporal como es el caso usual de las ataguías de acero, concreto o madera, pero muchas veces estas ataguías son construidas con carácter permanente al integrarse el cuerpo de la presa. Una presa construida en esta forma se presenta en la figura II.22

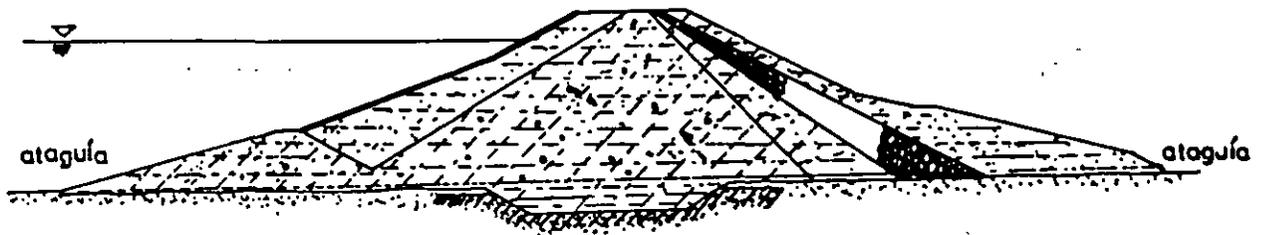


Fig II.22 Presa con ataguías integradas

II.6.13 Conductos a través de la cortina

Los conductos a través de una cortina (generalmente pertenecen a la obra de toma), pueden ocasionar grandes problemas; algunos de ellos son los siguientes:

- a) Fugas a través de juntas o fisuras
- b) Fallas del ducto por deformación diferente al cuerpo de la cortina
- c) Formación de vías para el agua entre la pared del tubo y el terreno o el terraplén de la presa.

Por todos estos problemas deberá evitarse hasta donde sea posible la colocación de ductos a través del cuerpo de la presa, debiendo colocarlos en una trinchera situada sobre el terreno natural, Fig II.23

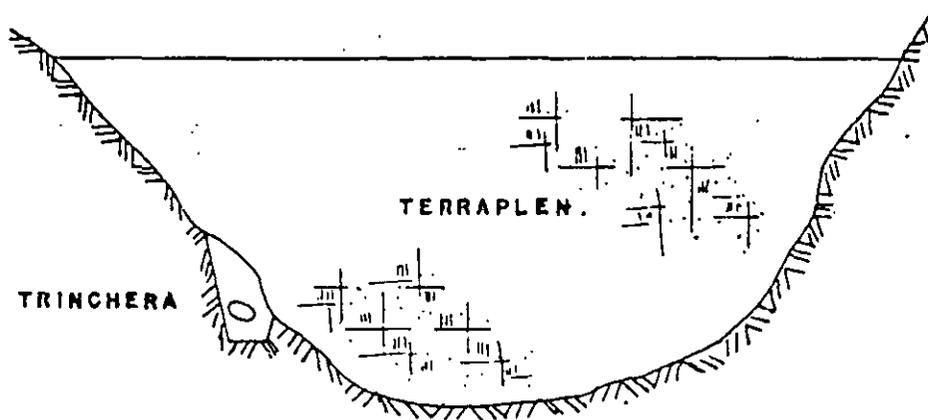


Fig II.23 Colocación aceptable de un con-
ducto bajo el terraplén.

II.6.14 Cresta o corona

La anchura de la corona de una presa de tierra debe ser tal que mantenga la línea superior de filtraciones dentro de la presa, cuando el vaso esté lleno.

La selección del ancho mínimo puede estar regida por factores como: la posibilidad del paso de carreteras o ferrocarriles sobre ella, Fig II.7, la factibilidad de construcción, el tipo de material del cuerpo de la presa o de la altura de la cortina, Basado en este último factor el U.S.B.R propone la siguiente ecuación:

$$B = \frac{h d}{5} + 3.05$$

donde:

B = anchura de la corona en m

h_d = altura de la presa en m

La corona debe cubrirse con algún tipo de material para evitar la posibilidad de erosión, y debe tener bombeo con inclinación hacia el talud aguas arriba, a menos que el talud aguas abajo tenga protección contra erosión tan eficiente como la del talud aguas arriba. Deberán colocarse barandales protectores, alumbrado si es necesario, un retorno en caso de uno de los extremos de la corona no tenga salida, y todo aquello que sea necesario atendiendo a los objetivos de la obra.

Generalmente a las presas de tierra se les dan contraflechas, para que después de los asentamientos de la cimentación y del cuerpo de la presa se siga conservando el bordo libre; tampoco existe un criterio definido; la práctica mexicana utiliza la siguiente fórmula propuesta por el U.S.B.R para presas sobre cimentaciones relativamente incompresibles:

$$C_f = 0.01 h$$

donde:

C_f = contraflecha en m

h = altura de la presa en m

11.6.15 Bordo libre

Se define como la distancia vertical del NAME al punto más bajo de la corona. Es importante la correcta selección del bordo libre en una presa de tierra, ya que éstas no pueden en ningún momento trabajar como estructuras vertedoras*, pues corren el riesgo de falla por erosión. Por lo tanto el cálculo de la avenida de diseño debe ser muy cuidadoso, así como la consideración del oleaje en el vaso; el bordo libre puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$B.L. = H_1 + H_2 + H_3$$

donde:

- B.L. = bordo libre
- H_1 = sobreelevación del agua por efectos del viento
- H_2 = altura de rodamiento de las olas sobre el talud de la presa
- H_3 = altura adicional de seguridad

La sobreelevación del agua por efectos del viento H_1 . Esta sobreelevación se origina cuando el viento sopla sobre la superficie, entonces se ejercen esfuerzos horizontales sobre el agua en la misma dirección del viento. Esto origina una sobreelevación del agua ("marea de viento") en la frontera hacia la cual sopla el viento y una depresión en la frontera don

* Salvo presas pequeñas diseñadas especialmente.

de se origina. Fig II.24

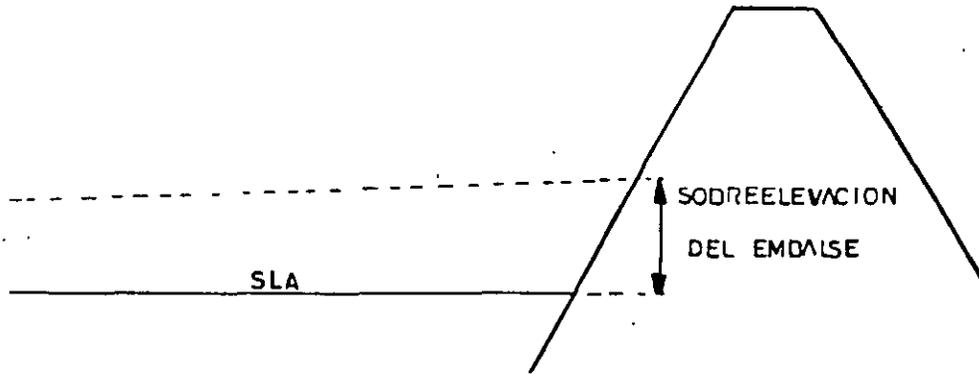


Fig II.24 Sobreelevación del embalse por efecto del viento

Esta sobreelevación puede estimarse con la siguiente fórmula tomada de los trabajos de T. Saville⁽⁵⁾:

$$H_1 = \frac{U^2 F}{62768 D}$$

donde:

- H_1 = sobreelevación del agua por efectos del viento en m
- U = velocidad del viento, en km/h
- F = Fetch o longitud de la superficie de agua sobre la cual el viento actúa, en Km
- D = profundidad media del vaso a lo largo del Fetch en m

$$F = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

donde:

F = longitud del fetch efectivo en km

X_i = longitud efectiva de cada radial en km

α_i = ángulo de cada radial

Ejemplo II.3 Calcular el Fetch efectivo del vaso mostrado en la figura II.25

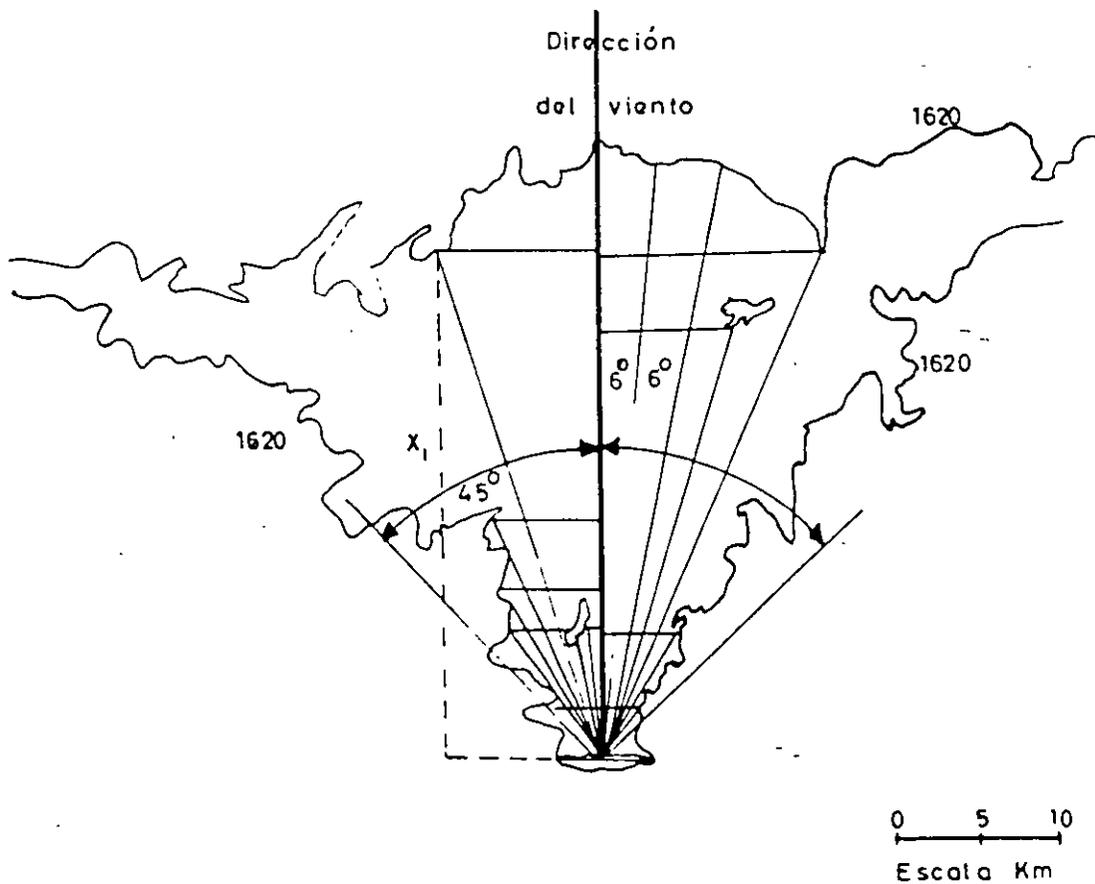


Fig II.25 Cálculo del fetch efectivo

A continuación se analizan algunos de los parámetros citados en la anterior ecuación:

Fetch efectivo: Generalmente se ha considerado como la mayor longitud a partir de la cortina, que puede recorrerse en línea recta sobre el vaso, sin embargo en vasos encañonados el fetch efectivo tendrá una trayectoria curva cuando el viento actúa. T. Saville⁽⁶⁾, propone el siguiente método para el cálculo del fetch efectivo.

En este método se considera que el efecto de cualquier segmento en el fetch se indica mediante la relación entre la longitud real del segmento y la que tendría el fetch sin tomar en cuenta su ancho, es decir esa relación es la proyección de estas longitudes sobre el eje central.

También supone que la efectividad del viento en la generación de olas es proporcional al coseno del ángulo de la dirección del viento promedio, entonces la efectividad total de cada segmento de fetch es proporcional al producto del coseno del ángulo α y la proyección de las longitudes sobre el eje central. La efectividad total del fetch completo es por lo tanto la suma de dichos productos entre la suma de los cosenos. Se acostumbra dividir el embalse en sectores radiales a intervalos de 6° (generalmente se considera un sector de 45° a cada lado del radio central, pues se supone que el viento ya no influye en una área mayor), por lo tanto obtendremos la siguiente ecuación:

Utilizamos la siguiente tabla:

α	$\cos \alpha$	X_i	$X_i \cos \alpha$
42	0.743	3.0	2.229
36	0.809	7.0	5.663
30	0.866	10.5	9.093
24	0.914	15.5	14.167
18	0.951	33.5	31.858
12	0.978	7.5	7.335
6	0.995	9.0	8.955
0	1.000	40.0	40.000
6	0.995	39.0	38.805
12	0.978	39.0	38.142
18	0.951	28.0	26.628
24	0.914	33.0	30.162
30	0.866	8.0	6.928
36	0.809	3.5	2.831
42	0.743	2.0	1.486

TOTALES: 13.512 264.2820

Por lo tanto el fetch efectivo será:

$$F = \frac{264.282}{13.512} = 19.559 \text{ km}$$

Velocidad del viento

La velocidad del viento se mide a 10 m de altura en cada uno de los extremos del fetch. Dicha velocidad se verá afectada por dos factores: un tiempo mínimo de duración y una corrección debida a que generalmente la velocidad es medida sobre

la tierra y no sobre el agua que es lo más indicado. La velocidad afectada por estos factores proporciona la velocidad de diseño del viento U , que es la que se supone produce el oleaje.

En la tabla II.6 se muestran los valores de la relación de la velocidad del viento sobre el agua y sobre la tierra para algunas longitudes de Fetch.

Fetch en km	1.00	3.00	6.00	10.11	15.00
$U_{\text{agua}}/U_{\text{tierra}}$	1.09	1.20	1.27	1.31	1.31

Tabla II.6 Relaciones de velocidad del viento entre la tierra y agua, tomado de la referencia(5)

Cálculo de las características del oleaje. Se llama altura de ola significativa H_s , al promedio pesado del tercio de las olas más altas que se presentan en el sitio bajo estudio.

Las características de una ola son altura, período y longitud Fig II.26

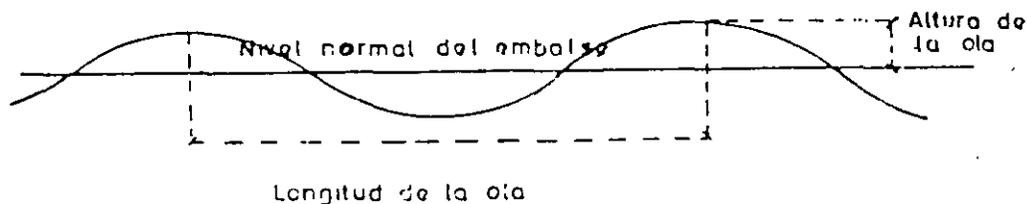


Fig II.26 Longitud y altura de la ola

A continuación se presentan tres ecuaciones para calcular dichas características para la ola significativa H_{Δ} :

a) Altura de la ola significativa:

$$\frac{g H_{\Delta}}{u^2} = 0.0026 \left(\frac{g F}{u^2} \right)^{0.47}$$

donde:

F = longitud del fetch efectivo en km

g = aceleración de la gravedad

H_{Δ} = altura de la ola significativa

u = velocidad del viento integrado

La ecuación es válida en el intervalo:

$$10 < gF/u^2 < 4000$$

b) Período de la ola significativa T_{Δ} , está definido como el intervalo entre dos alturas de ola.

$$\frac{g T_{\Delta}}{u} = 0.46 \left(\frac{g F}{u^2} \right)^{0.28}$$

c) Longitud de la ola significativa. L_{Δ}

$$L_{\Delta} = 1.56 T_{\Delta}^2$$

T_{Δ} está dado en segundos

L_{Δ} se da en metros

Altura de rodamiento de las olas sobre el talud. El rodamiento de una ola depende de los siguientes factores:

- a) Período de la ola
- b) Talud (inclinación del paramento)
- c) Rugosidad de la superficie del paramento
- d) Profundidad del agua al pie del paramento
- e) Dirección del oleaje, relativa a la presa

El rodamiento de la ola sobre el talud se presenta en la figura II.27

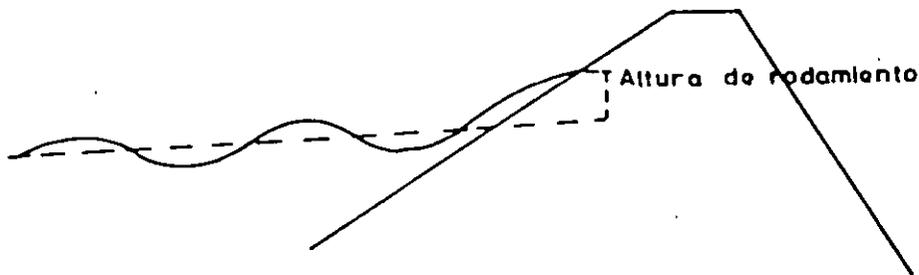


Fig II.27 Altura del rodamiento de una ola sobre el talud

Efectos de la rugosidad de la pendiente. Una ola al chocar contra la presa, rompe y asciende sobre su pendiente (si la hay). La altura de ascenso dependerá de la pendiente, rugosidad, permeabilidad del paramento, así como de las características de la ola H_0/L_0 .

En la figura II.28 se muestran las relaciones entre el ascenso y la altura de la ola R/H_0 , la esbeltez o pendiente de la ola H_0/L_0 y la pendiente del dique. Esta gráfica se obtuvo experimentalmente.

Influencia de la profundidad del agua al pie del dique. Si una ola que se formó en aguas profundas, alcanza la presa sin que haya profundidades menores de un tercio de la longitud de ola se considera que sus características no cambian y entonces en la figura II.34 usaremos $H_0/L_0 = H_s/L_s$.

Si las olas generadas en aguas profundas llegan a la presa en regiones donde el tirante del agua es menor de un tercio a un medio de la longitud de la ola, la altura de la ola H primero tiende a decrecer para después aumentar, mientras que la longitud L decrece constantemente. Si el tirante del agua continua decreciendo, la relación de esbeltez de la ola, H/L , se incrementa hasta que la ola rompe. Se supone que la máxima altura de ola no puede exceder de $0.78 D$, donde D es la profundidad del agua en el área de acción de la ola.

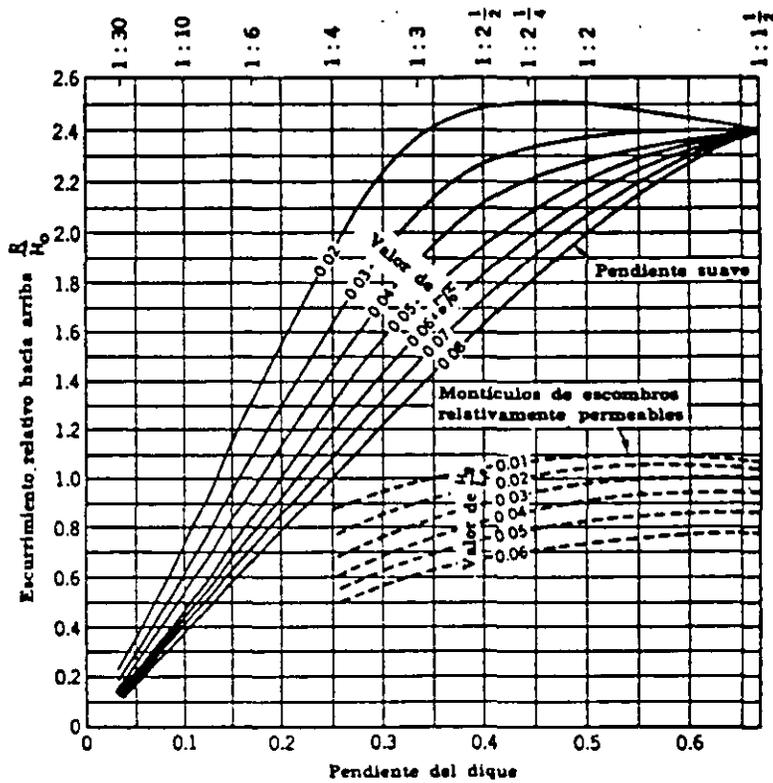


Fig II.28 Relaciones de la ola de escurrimiento hacia arriba contra inclinaciones de la ola y pendientes del dique⁽⁵⁾.

Por lo tanto si la cortina se encuentra en aguas poco profundas, deberán ajustarse las características de la ola ahí generadas para poder calcular el ascenso con la figura II.28

Se pueden presentar dos casos generales:

- a) Puede suceder que en la frontera con la cortina las aguas sean poco profundas ($d < L_s/2$) pero que la altura de la ola significativa sea inferior a 0.78 D. Se considera que las características del oleaje no cambian y por lo tanto en la figura II.28 se usará $H_o/L_o = H_s/L_s$

- b) Pueden suceder las mismas condiciones, sólo que $H_d > 0.78D$
Las características del oleaje cambian en cuanto a su al
tura, la cual se considera igual a $0.78D$. En la figura
II.28 se usará $H_o/L_o = 0.78 D/L_d$

Con los métodos de cálculo usados actualmente se ha notado, que el oleaje producido por sismo es menor que el producido por viento, por lo tanto los diseños de libre bordo se hacen bajo la última consideración (1).

Asentamiento máximo de la cortina. Se deben incluir asentamientos debidos a compresibilidad y pérdida de altura ocasionada por distorsión bajo efectos sísmicos.

II.7 Causas de falla en presas de tierra

II.7.1 Falla por insuficiencia del vertedor

Por ningún motivo en una presa de tierra puede permitirse que el agua sobrepase la cortina y escurra por el talud aguas aba
jo, por este motivo debe construirse una obra hidráulica que permita desechar los excedentes de agua, esa obra se llama ver
tedor de demasías.

Cuando no se ha estimado correctamente el gasto correspondiente
te a la máxima avenida de diseño que debe pasar por el verte
dor, y es sobrepasada, ocurre que la obra no alcanza a desa
ho

gar el agua y ésta puede verterse por sobre la presa, dañando el talud aguas abajo, y por lo tanto existe probabilidad de falla.

II.7.2 Falla por tubificación

Cuando el agua fluye a través de un medio poroso, disipa su energía al vencer las fuerzas viscosas que le oponen las partículas del suelo, de igual forma el agua empuja a las partículas en la dirección del flujo; en el momento en que las partículas son arrastradas se produce el fenómeno de tubificación, cuyo nombre proviene de los tubos que se forman a través del suelo por el efecto mencionado. Una característica de la tubificación es que se inicia en el talud aguas abajo y avanza hacia atrás, Fig II.29, es decir hacia el interior de la presa, pudiendo ocasionar el colapso.

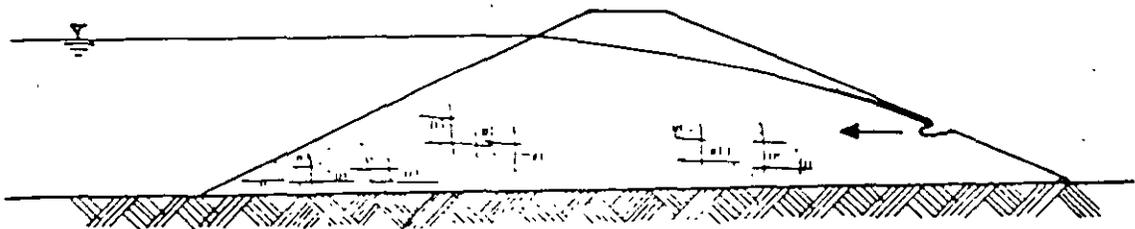


Fig II.29 Avance hacia el interior de la presa de un tubo.

Redes de flujo

Considérese una región de suelo como la mostrada en la figura II.30, a través de la cual fluye agua con velocidad V y cuyas componentes son V_x , V_y , V_z . Supóngase que el régimen se ha establecido.

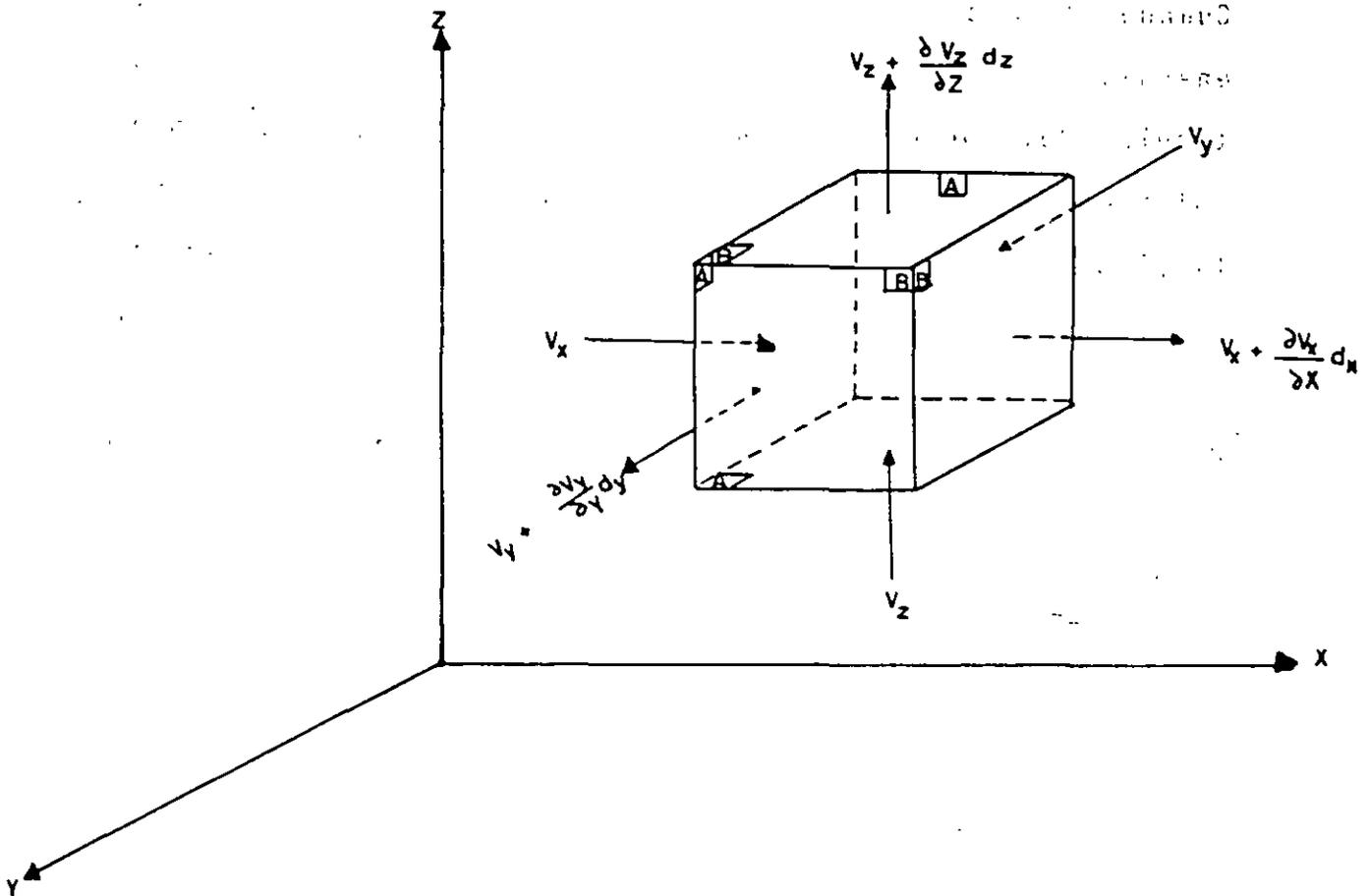


Fig II.30 Región sujeta a flujo tridimensional.

Si arbitrariamente aceptamos que las componentes de velocidades en las caras A, son V_x , V_y , V_z , en las caras B las componentes serán:

$$V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x} dx$$

$$V_y + \frac{\partial V_y}{\partial y} dy$$

$$V_z + \frac{\partial V_z}{\partial z} dz$$

Si aceptamos que el suelo está saturado y es incompresible, de la ecuación de continuidad tendremos:

$$V_x dy dz + V_y dx dz + V_z dx dy = (V_x + \frac{\partial V_x}{\partial x} dx) dy dz + (V_y + \frac{\partial V_y}{\partial y} dy) dx dz + (V_z + \frac{\partial V_z}{\partial z} dz) dx dy$$

Reduciendo términos semejantes:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

Que no es más que la ecuación de continuidad.

Hagamos uso ahora de la Ley de Darcy:

$$V = -K \frac{\partial h}{\partial \ell}$$

El gradiente hidráulico $\frac{\partial h}{\partial \ell}$, también se puede expresar por medio de sus componentes, entonces:-

$$v_x = - K_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_y = - K_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$v_z = - K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

Sustituyendo estas componentes en la ecuación de continuidad

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Si pretendemos hacer un análisis bidimensional, la anterior ecuación se reducirá a:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

Ahora, si el suelo es isótropo respecto a su permeabilidad, tendremos que:

$$K_x = K_y = K$$

Se reducirá aún más nuestra ecuación, quedando:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \nabla^2 h = 0$$

Esta última tiene la conocida forma de la ecuación de Laplace. Introduciendo la función:

$$\phi = - Kh + C,$$

deberá cumplirse que:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

y también, de acuerdo con expresiones anteriores, se tendrá que

$$v_x = \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$v_y = \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

La función solución $\phi(x, y) = cte$, representará una infinidad de funciones, obteniéndose una curva distinta para cada valor diferente de la constante C. A la función $\phi(x, y) = cte$, se le conoce como función de potencial.

Consideramos ahora una función $\psi(x, y) = cte$, llamada función de flujo, que también satisface la ecuación de Laplace:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0$$

y cuyas relaciones con el potencial y la velocidad son:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = v_x \quad ; \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} = - \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = v_y \quad ; \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

Una interpretación geométrica nos permite ver que la familia de curvas $\Psi(x,y) = cte$ es ortogonal a la familia de curvas $\phi(z,y) = cte$.

Analicemos la función:

$$\phi = - Kh + C$$

Si en una curva tenemos que $\phi = cte$ en todos sus puntos, implica que h también será constante, es decir todos los puntos de esa curva tendrán la misma carga hidráulica y las llamaremos líneas equipotenciales.

Se puede demostrar que la trayectoria del agua tiene como ecuación $\Psi(x,y) = cte$, por lo tanto podemos inferir que la función $\psi(x,y) = cte$, nos representa la trayectoria física del agua. Las curvas $\Psi(x,y) = cte$, coinciden con las líneas de corriente o de flujo.

Debido a lo complejo que es obtener una solución puramente matemática, se ha recurrido a la solución gráfica que exige se cumplan dos condiciones:

- a) Guardar la ortogonalidad de las dos familias de curvas
- b) Delimitar las condiciones de frontera

Trazo de una red de flujo

Como se trata de un método práctico, deberán dibujarse sólo algunas líneas del número infinito de ellas en la región en estudio.

Existen dos recomendaciones generales:

- a) Las líneas de flujo deberán trazarse de tal manera que el gasto que pase por entre cada dos de ellas sea el mismo (Δq)
- b) Las líneas equipotenciales se trazan tratando que la caída de potencial entre cada dos de ellas sea la misma (Δh) Fig II.31

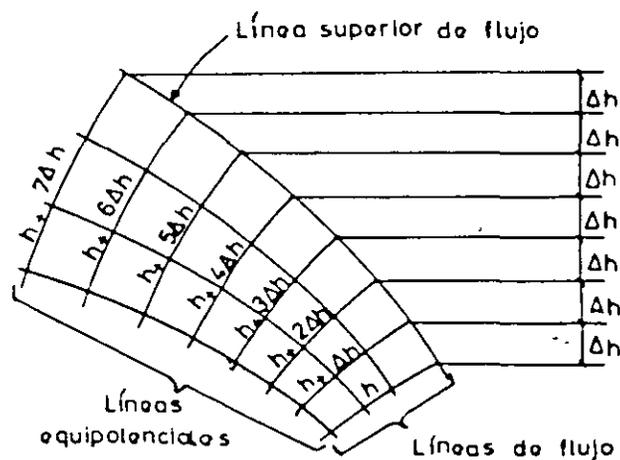


Fig II.31 Trazo de una red de flujo.

El gasto total de filtración puede calcularse con la ecuación:

$$q = K h F_f$$

donde:

K = permeabilidad

h = carga hidráulica

$$F_f = \frac{n_f}{n_e}$$

n_f = número de canales de flujo de la red (canal de flujo: región entre dos líneas de flujo)

n_e = número de caídas de potencial en la red

Delimitación de las condiciones de frontera: Como ya se dijo un requisito para trazar la red es conocer sus fronteras; en presas de tierra ésto no es fácil, ya que no todas las fronteras son fácilmente determinables. Sea la presa de la figura II.32

La línea AB es una línea equipotencial, por tener todos sus puntos la misma carga hidráulica total. La línea AC es una línea de flujo ya que es el límite entre un material permeable y uno impermeable, y por lo tanto el agua en su recorrido la seguirá.

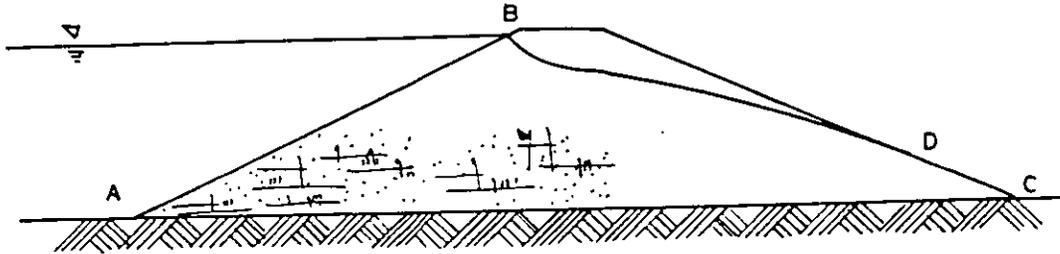


Fig II.32 Delimitación de las condiciones de frontera.

No es fácil determinar las líneas BD y DC porque el punto D no se conoce a priori.

La línea BD debe entrar a la presa formando un ángulo de 90° por lo tanto en el punto B podremos saber como se inicia la línea de corriente superior. Existen casos en que el ángulo del talud aguas arriba es mayor que 90° y habrá que hacer algunas consideraciones adicionales, que no se verán aquí. En la fig II.33 se presenta la forma de entrada de la línea superior de corriente.

Para determinar el punto D, es decir el punto de salida de la línea de corriente superior se demuestra que cuando el ángulo del talud aguas abajo es menor o igual a 90° , la línea de corriente superior debe salir tangente a dicho talud. Fig II.34



Fig II.33 Entrada de la línea superior de corriente

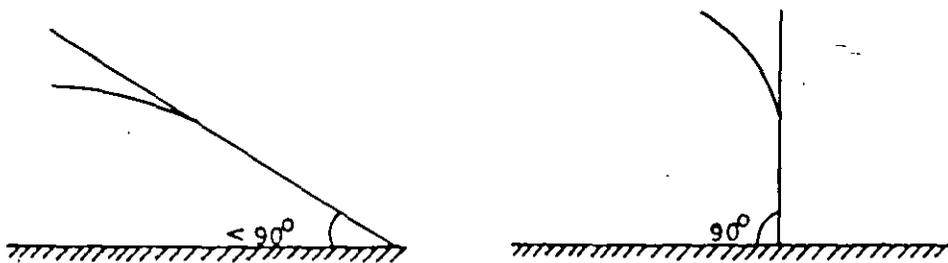


Fig II.34 Salida de la línea superior de corriente

Para poder determinar la posición del punto D, es necesario conocer primero la línea de corriente superior, aquí se presentará la solución propuesta por Kozeny⁽⁷⁾ para ángulos $\alpha = 180^\circ$ fig II.35, donde α es el ángulo medido en la horizontal del lugar. Para este caso existe una solución rigurosa de la ecuación de Laplace, que son un conjunto de parábolas correspondientes a las líneas de flujo y a las equipotenciales, con foco común, en A, Fig II.36, la ecuación de la línea de corriente superior, referida a un sistema de ejes rectangulares con origen en el foco A es:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0}$$

donde:

y_0 = ordenada en el origen, de coordenadas de la línea de corriente superior

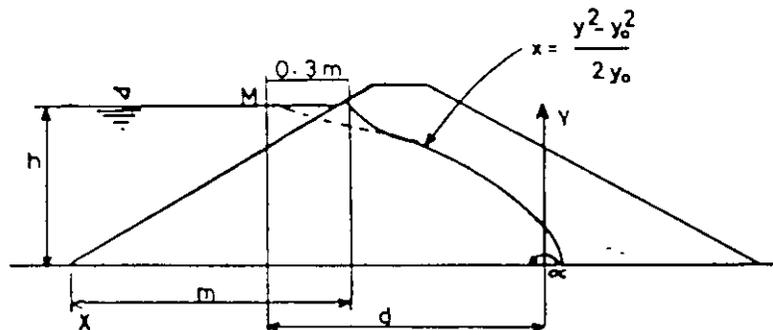


Fig II.35 Posición de la línea de corriente superior.

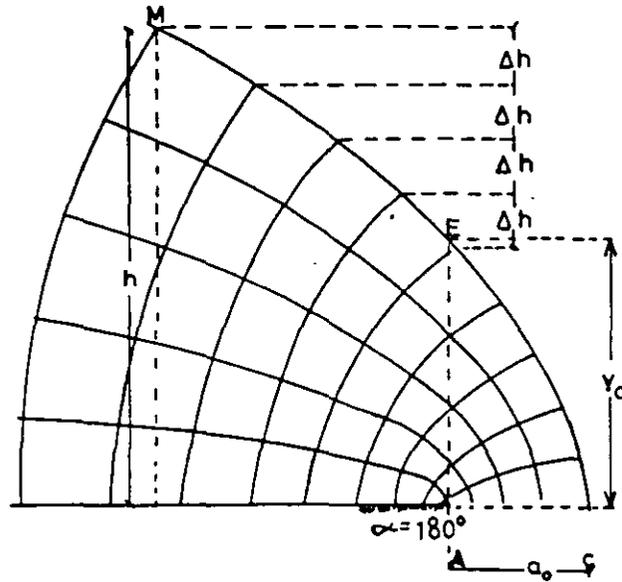


Fig II.36 Solución de Kozeny

En la solución se supone conocido un punto M de coordenadas d y h ver fig II.35 entonces se pueden calcular los valores a_0 y y_0 , ver fig II.36, siendo:

$$a_0 = \frac{u_0}{2} = \frac{1}{2}(\sqrt{d^2 + h^2} - d)$$

Es de gran utilidad práctica el trazo de la parábola básica de Kozeny, a continuación se describirá el procedimiento para ello:

El problema puede plantearse tratando de pasar una parábola por el punto M y que tenga su foco en el punto A, ver fig II.37.

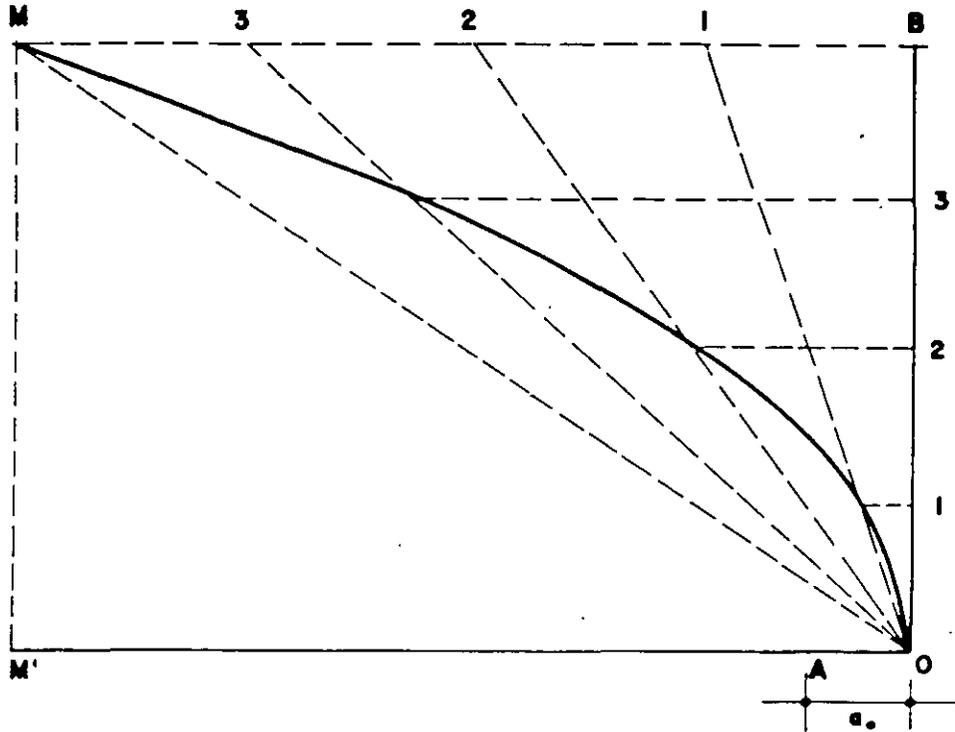


Fig II.37 Método para el trazo de la parábola básica de Kozeny (o de cualquier parábola).

La distancia a_0 se puede calcular con la fórmula:

$$a_0 = \frac{1}{2} (\sqrt{d^2 + h^2} - d)$$

Con esto se puede conocer el punto 0, por 0 se traza una vertical que corta a una horizontal que pasa por el punto M, los segmentos OB y MB se dividen en el mismo número de partes, ahora se trazan líneas rectas que unen 0 con cada uno de los puntos de división del segmento BM, trácense horizontales por las divisiones de OB que intercepten a las rectas que salen de 0, estos nuevos puntos corresponden precisamente a la parábola.

A. Casagrande extendió el estudio de la parábola básica de Kozeny, para ángulos α entre 60° y 180° y poder definir el punto de salida B. Para explicarlo se hará uso de la fig II.38

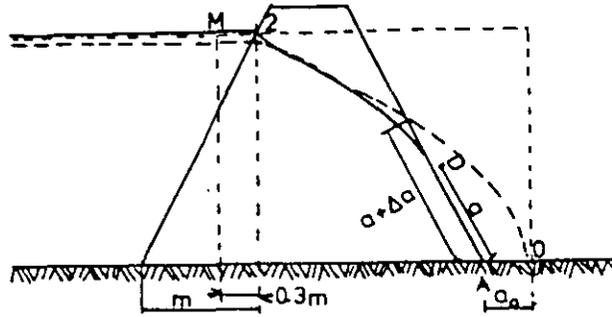


Fig II.38 Solución de A Casagrande para el punto D de salida.

Primero se traza la parábola básica, colocando el foco en el punto A, el punto O se situa calculando a_0 como se ha definido anteriormente, este trazo puede hacerse haciendo uso del método citado anteriormente.

El siguiente paso es definir el punto D por medio de la distancia a . A. Casagrande, después de dibujar las redes de flujo para diferentes ángulos α comprendidos entre 60° y 180° y comparada la distancia $a' = a + \Delta a$ entre el pie del talud aguas abajo y la intersección de la parábola básica y dicho talud con la correspondiente distancia a entre el pie del talud y el punto D, entre a y a' , obtuvo una relación que permite

obtener a ; esta relación expresada en la forma $a/(a+\Delta a)$ es la que aparece en la fig II.39

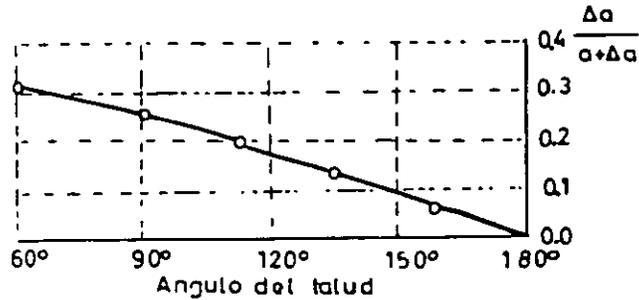


Fig II.39 Corrección de A. Casagrande para la obtención del punto de salida D, de la línea de corriente superior.

Una vez que se conoce el punto D, se traza a mano la corrección a la parábola básica de Kozeny recordando que debe ser tangente al talud aguas abajo

Disponiendo de la red de flujo se puede calcular el gradiente hidráulico y juzgar el peligro de tubificación para tomar las medidas necesarias.

II.7.3 Agrietamiento de la cortina

Las causas de agrietamiento en presas son muchas y muy diversas: construcción deficiente, condiciones topográficas malas, condiciones geológicas poco aceptables, consolidaciones del material al primer llenado y a largo plazo, asentamien-

tos diferenciales debidos a irregularidades de compactación en la cimentación, conductos enterrados u otros; deformaciones por su propio peso, llenados rápidos, sismo, etc.

Las grietas se clasifican como sigue:

- a) Transversales. Arista de la grieta, transversal con respecto al eje de la presa
- b) Longitudinales. Arista de la grieta longitudinal con respecto al eje de la presa

Otra clasificación es la siguiente:

- a) Interiores al cuerpo de la presa
- b) Exteriores al cuerpo de la presa

Las grietas más peligrosas son las transversales, ya que aún cuando midan de 1 a 2 cm son buenos conductos para el agua provocando erosión de sus paredes.

La prevención del desarrollo de asentamientos diferenciales está íntimamente relacionada con la posibilidad de aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los terraplenes integrales del cuerpo de la cortina, es por eso que, a continuación se presentan las ideas básicas sobre compactación.

Compactación. Al compactar un suelo se aumenta su resistencia y se disminuye su compresibilidad.

P.R. Proctor propuso un método para controlar la compactación de terraplenes: Si a un suelo se le aplica cierta energía de compactación, el peso específico varía con el contenido de humedad, como se muestra en la figura II.40

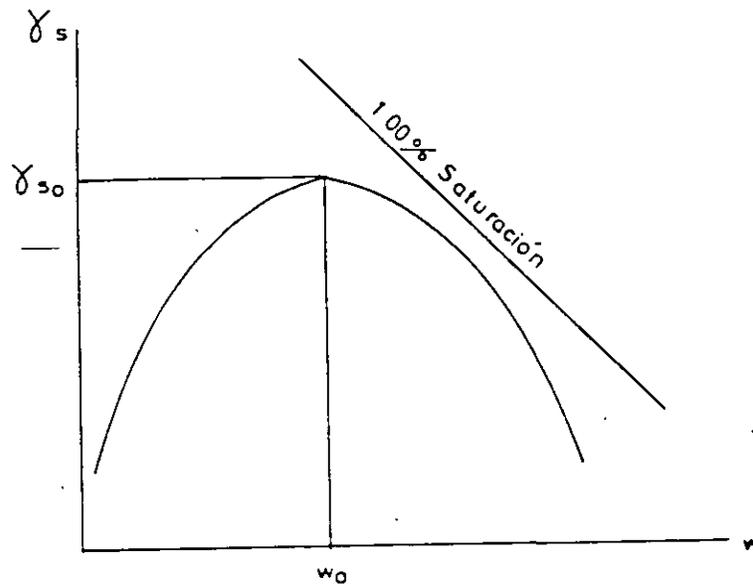


Fig II.40 Curva proctor típica y curva de saturación.

En la anterior figura puede verse que existe un contenido de humedad y una energía de compactación tales, que hacen que el peso volumétrico sea máximo, él les llamó humedad óptima w_0 y peso volumétrico seco óptimo γ_{s0} .

Para pruebas de laboratorio propuso un ensaye que consiste en colocar dentro de un recipiente cilíndrico de ciertas dimensiones, (aunque no tiene influencia en los resultados el variar las medidas si se conservan constantes la energía de compactación y la relación del diámetro del pistón y el espesor de la capa), tres capas iguales del suelo húmedo, cada una de las cuales era compactada por un cierto número de golpes "firmes", dados con un martillo. Esta prueba ha sido modificada en cuanto al número de golpes y capas, altura de caída y peso del martillo como se muestra en la tabla II.7

N O R M A	Peso martillo kg	Altura caída cm	No golpes por capa	No capas	Energía Compact kg cm/cm ³
Proctor modificada	4.54	45.7	25	5	27.70
Proctor Standard	2.50	30.5	25	3	5.48
Proctor SOP Méx.	2.50	30.0	30	3	6.36
S.R.H. México	2.50	33.5	28	3	7.10

Tabla II.7 Normas de compactación para prueba dinámica de laboratorio.

La energía de compactación puede calcularse con la ecuación:

$$E = \frac{W H Nq}{V}$$

donde:

E = energía específica de compactación en kg cm/cm^3

W = peso del martillo en Kg .

H = altura de caída en cm

V = volumen total del suelo compactado

N_g = No de golpes

En la construcción, se acostumbra tender capas de 15 a 30 cm de espesor, compactándolas con pasadas repetidas de un equipo de compactación que puede ser:

- a) Rodillo liso
- b) Rodillo "pata de cabra" (el más usual para suelos cohesivos)
- c) Rodillo neumático
- d) Rodillo vibratorio

Control de campo. En suelos impermeables se lleva a cabo por medio del grado de compactación, C :

$$C = \frac{\gamma_s}{\gamma_{s0}} \times 100$$

donde:

γ_s = peso volumétrico seco

γ_{s0} = peso volumétrico seco óptimo

En gravas y arenas permeables, por medio de la compacidad relativa, C_r :

$$C_c = \frac{\frac{1}{\gamma_s \text{ m\u00edn}} - \frac{1}{\gamma_s}}{\frac{1}{\gamma_s \text{ m\u00edn}} - \frac{1}{\gamma_s \text{ m\u00e1x}}} \times 100$$

donde:

$\gamma_s \text{ m\u00edn}$ = peso volum\u00e9trico seco m\u00ednimo, para el estado m\u00e1s suelto

$\gamma_s \text{ m\u00e1x}$ = peso volum\u00e9trico seco m\u00e1ximo, para el estado m\u00e1s compacto

γ_s = peso volum\u00e9trico seco del material compactado en el terrapl\u00e9n

La relaci\u00f3n entre el n\u00famero de pasos y el grado de compactaci\u00f3n se muestra en la fig II.41

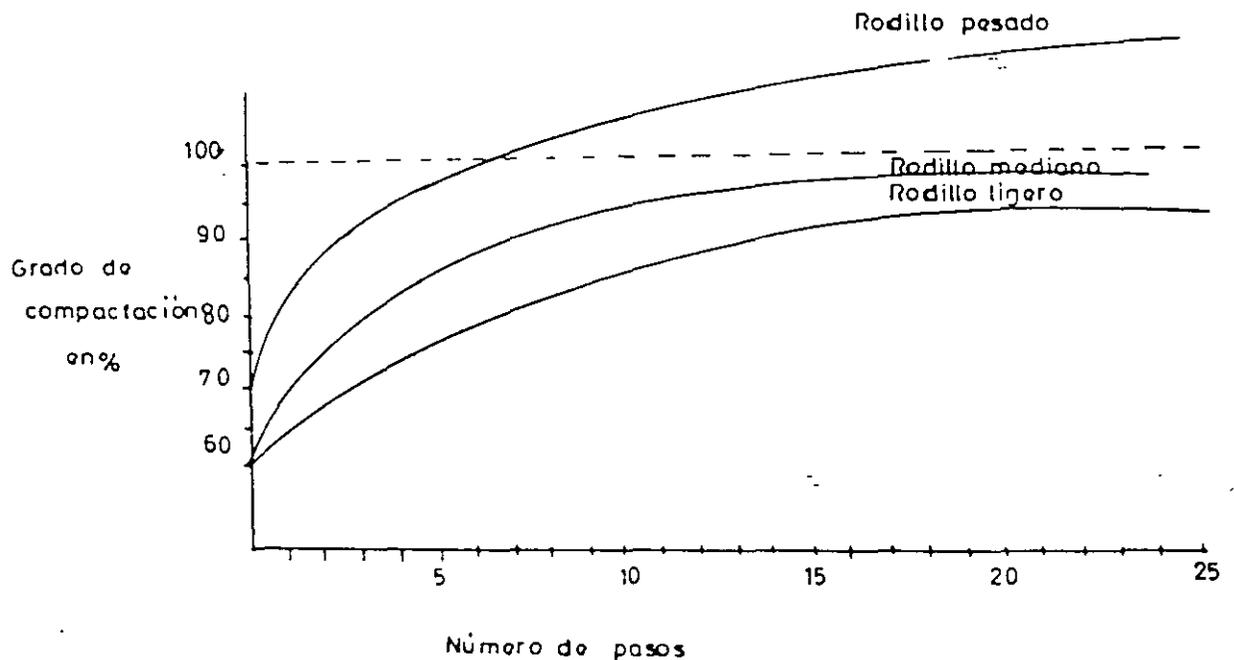


Fig II.41 Efecto del n\u00famero de pasadas de rodillo sobre el grado de compactaci\u00f3n.

II.7.4 Falla por estabilidad de taludes.

Existen tres tipos de fallas de deslizamiento de taludes que son:

Fallas durante la construcción. Estadísticamente se ha notado que este tipo de fallas son las menos frecuentes. Generalmente se han presentado cuando la cimentación está formada por arcillas blandas sobre las que se forman las superficies de fallas, estos deslizamientos pueden ser rápidos, de acuerdo al tipo de material, generalmente son lentas cuando el material es homogéneo, y rápidas cuando existen estratificaciones que favorecen el movimiento. La solución a estos problemas se logra abatiendo las presiones de poro de la cimentación.

Fallas durante la operación. Estas fallas pueden ser superficiales o profundas. Estas últimas se relacionan con el flujo de agua a través del cuerpo de la presa y de la cimentación, debido al incremento de presiones de poro.

Las fallas de tipo superficial pueden estar relacionadas con agentes intemperizantes, como la lluvia, el hielo, el viento.

Fallas después de un vaciado rápido. Se considera un vaciado rápido a un descenso del agua del orden de 20 a 30 cm por día, en general, se dice que hay vaciado rápido si el agua desciende más rápido que la velocidad con que se disipan los

excesos de presión de poro de suelo. Por lo tanto después de un vaciado rápido se tiene el peligro de falla debido a las altas presiones neutrales que existen en el talud a aguas arriba. El problema se incrementa porque el efecto estabilizador del peso del agua desaparece.

Análisis. Método Sueco

Hipótesis:

- a) Se supone una falla circular
- b) El análisis es bidimensional, correspondiente a un estado de deformación plana.
- c) Se acepta la ley de resistencia de Mohr-Coulomb
- d) La resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en toda la superficie de falla.
- e) No hay interacción entre las dovelas

A) Suelos puramente cohesivos

La ley de resistencia al esfuerzo cortante:

$$\tau = c$$

donde:

c = cohesión

Sea la figura II.42, podemos observar que las fuerzas que producen el deslizamiento son el peso del área ABCA por unidad de ancho, está área esta definida por el arco circunferencial del centro O y radio R (trazado arbitrariamente), también se deberán considerar las sobrecargas que puedan existir.

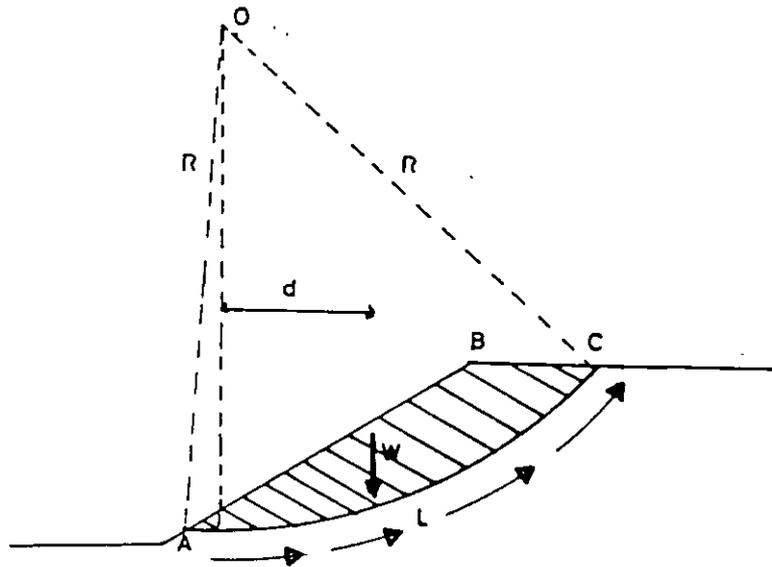


Fig II.42 Método Sueco aplicado a un suelo puramente cohesivo.

Si tomamos momentos con respecto a un eje normal a través de O, como se ve en la figura II.42 tendremos:

$$Mm = W d$$

donde:

$$Mm = \text{momento motor}$$

Las fuerzas que se oponen al deslizamiento, son las producidas por la cohesión a través de toda la superficie de falla; tomando momentos con respecto al mismo eje:

$$M_r = c \ell R$$

donde:

M_r = momento resistente

En el momento de falla incipiente tendremos:

$$M_m = M_r$$

$$W d = c L R$$

Definimos como factor de seguridad F.S.:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m}$$

$$F.S. = \frac{c L R}{W d}$$

La mecánica de cálculo es la siguiente:

Se calculan F.S. para varias superficies de falla, y se comparan con un valor de 1.5 que se considera suficiente para asegurar la estabilidad del talud.

B) Suelos con fricción y cohesión

Ley de la resistencia al esfuerzo cortante:

$$\delta = c + \sigma \tan \phi$$

En este caso el método de análisis más usado es el de Fellenius que se puede resumir así:

1. Propóngase un círculo de falla. Fig II.43
2. Divídase en dovelas el círculo elegido. Fig II.43

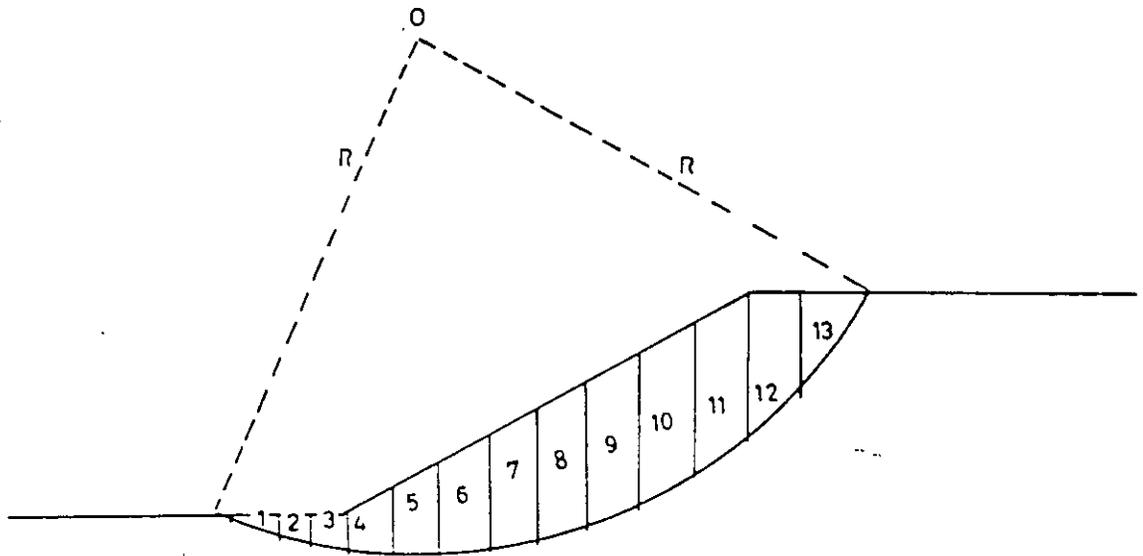


Fig II.43 Círculo de falla dividido en dovelas.

Analícemos por ejemplo la dovela 8. Su peso será w_8 y existirán dos fuerzas de reacción: una normal N_8 y una tangencial T_8 , además por la acción de las dovelas adyacentes se presentarán las fuerzas normales P_7 y P_9 y las tangenciales T_7 y T_9 .

De la hipótesis e), se sigue que P_7 y P_9 se contrarrestan y el momento producido por T_7 y T_9 se desprecia, por lo tanto el equilibrio de la dovela se establece con las fuerzas w_8, N_8 y T_8 , Fig II.44

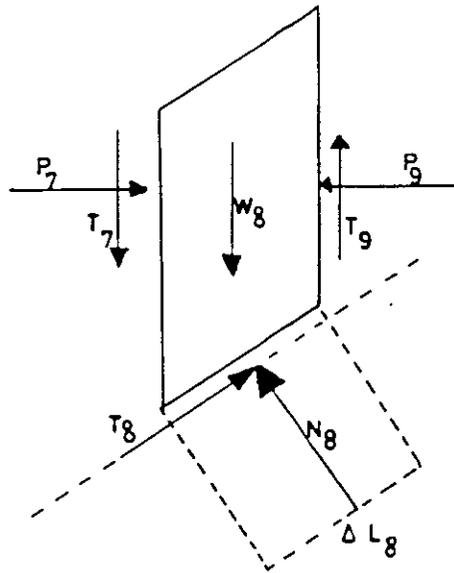


Fig II.44 Equilibrio de la dovela No 8

3. Calcúlese el momento motor de todas las dovelas, será por lo tanto:

$$Mm = R \sum T_i$$

Las fuerzas normales N_i , no producen momentos porque su línea de acción pasa por 0.

4. Obténgase el momento resistente :

$$M_r = R \delta_i L_i$$

5. Determinese el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum \delta_i \Delta L_i}{\sum T_i}$$

6. Compárese el F.S. con el valor de 1.5, que se ha fijado empíricamente, debiendo ser mayor el F.S.

C) Suelos estratificados

Considérese el caso mostrado en la fig II.45

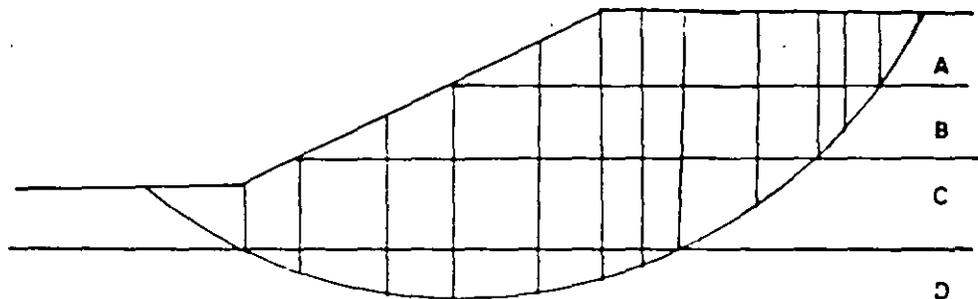


Fig II.45 División de dovelas de un suelo estratificado.

Donde los suelos A,B,C,D tienen diferentes leyes de resistencia al esfuerzo cortante:

$$s = c + \sigma \tan \phi$$

Se procederá de manera semejante al caso anterior, debiendo cuidar que ninguna base de dovela caiga entre dos estratos para facilitar los cálculos. Para obtener el peso de cada dovela, se calcularán las sumas parciales, multiplicando la parte del área de la dovela que caiga en cada estrato por el peso específico correspondiente.

El análisis de estabilidad de taludes, también incluye análisis por sismo y por fuerza de filtración, a continuación se presentan los factores de seguridad para las combinaciones de análisis más frecuentes:

Condiciones iniciales, presa vacía:

$$F.S. = \frac{\sum N_i \tan \phi + c L}{\sum T_i}$$

Presa con flujo de agua (sujeta a fuerzas de filtración)

$$F.S. = \frac{\sum (N_i - U_i) \tan \phi + c L + N_H \tan \phi}{\sum T_i + T_H}$$

donde:

U_i = fuerza de subpresión en la dovela i . Este valor se

obtiene calculando la presión de poro u , por medio de la red de flujo, en el punto en que se descomponen las fuerzas actuantes, entonces:

$$u_i = u_i l_i$$

siendo:

L_i = longitud de la base de la dovela i

N_H, T_H = componentes normal y tangencial del empuje hidrostático sobre el corazón

Presa con flujo de agua y sismo:

$$F.S. = \frac{\Sigma(N_i - u_i - \Delta N_i) \tan \phi + c L + N_H \tan \phi}{\Sigma(T_i + \Delta T_i) + T_H}$$

donde:

ΔN_i = componente normal de una fuerza horizontal actuando en la base de la dovela, cuya magnitud es:

$$F = C W$$

donde:

C = $\frac{\text{aceleración máxima del sismo}}{\text{aceleración gravitacional}}$

ΔT_i = componente tangencial de una fuerza horizontal actuando en la base de la dovela, calculada en igual forma que la anterior (puesto que es la misma) Fig II.46

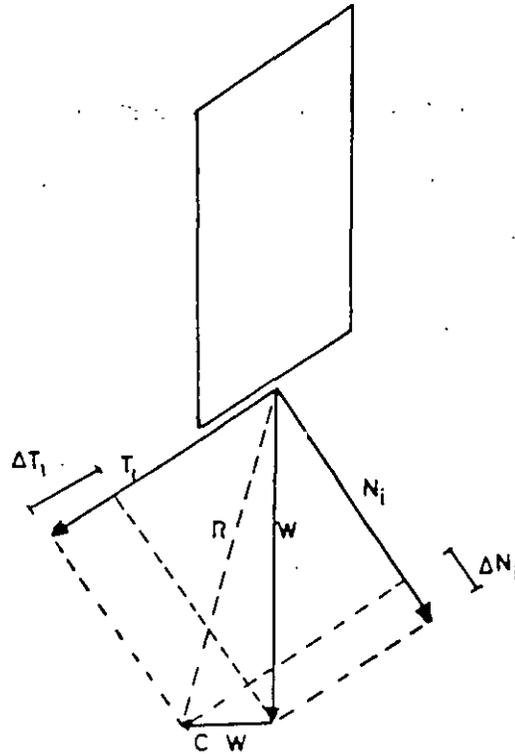


Fig II.46 Incremento de las fuerzas tangenciales y normales debidas a sismo.

Solución gráfica del método sueco:

1. Elíjase un número arbitrario de puntos a lo largo del probable círculo de falla, procurando escoger entre ellos, aquellos cuya vertical pase por los puntos de cambio de pendiente en el talud o los puntos donde cambia el material o se intercepta a la línea de saturación.
2. Por cada uno de los puntos elegidos trácese la vertical que intercepte al talud y al círculo, prolongándola hasta interceptar a una línea horizontal AB.
3. A escala, determínese la altura h del material comprendido

entre el talud y el círculo de falla; para cada punto multiplíquese por el peso volumétrico para obtener el valor γh ; pudiendo ser γh formado por varias partes cuando se interceptan diferentes materiales con distinto peso volumétrico. El valor final de γh será la suma de los valores individuales de cada uno de los materiales interceptados en la línea vertical que pasa por el punto en cuestión. Llévase en cada punto del círculo, a una escala arbitrariamente elegida, el valor γh correspondiente y descompóngase cada uno de estos vectores en una componente normal y otra tangencial al círculo, utilizando como guía el radio del círculo.

4. Teniendo a escala los valores $\gamma h \cos \alpha$ (α ángulo entre la normal y el peso) y $\gamma h \sin \alpha$, represéntese gráficamente y a la misma escala sobre la línea horizontal AB, en la proyección del punto correspondiente. Unanse los puntos obtenidos con una curva. De igual manera puede hacerse un diagrama de las presiones de poro, calculadas para cada punto a partir de la línea de saturación, previo trazo de la red de flujo.

5. Mídase con un planímetro, cada área bajo las curvas y se obtendrán así los valores necesarios para calcular el F.S.

Condiciones de trabajo en una presa de tierra. Desde la iniciación de la construcción de una presa hasta cuando está funcionando, los materiales que la constituyen son sometidos a diferentes condiciones de esfuerzo que van cambiando a través del

tiempo. Estos estados se pueden agrupar en tres condiciones:

- a) Condiciones iniciales
- b) Condiciones finales
- c) Condiciones de vaciado rápido

a) Condiciones iniciales. Se presentan cuando la presa está recién terminada en su construcción. Los materiales están sujetos a compresión, con una cierta relación de vacíos y un grado de saturación inferior al 100%. En el material impermeable del corazón, aún no se habrá disipado la presión de poro y para análisis del talud, en el laboratorio se analizarán los materiales con pruebas triaxiales de tipo rápido; los materiales permeables, por el contrario disiparán rápidamente la presión de poro.

b) Condiciones finales: Con el paso del tiempo tanto los materiales permeables de aguas arriba como los impermeables, estarán completamente saturados, los materiales impermeables se consolidarán o expandirán por los esfuerzos impuestos por las fuerzas de filtración y el peso propio. En el laboratorio se efectuarán pruebas triaxiales del tipo drenada rápida, efectuada con especímenes saturados.

- c) Para condiciones de vaciado rápido, se realizará el análisis siguiendo los mismos criterios que para condiciones finales.

Ejemplo II.3 Efectuar el análisis de la estabilidad de la cortina cuya sección se presenta, para condiciones iniciales.

Solución: Consideraremos el agua al NOT, y los resultados de la prueba rápida. A continuación se da la representación gráfica y las tablas de cálculo.

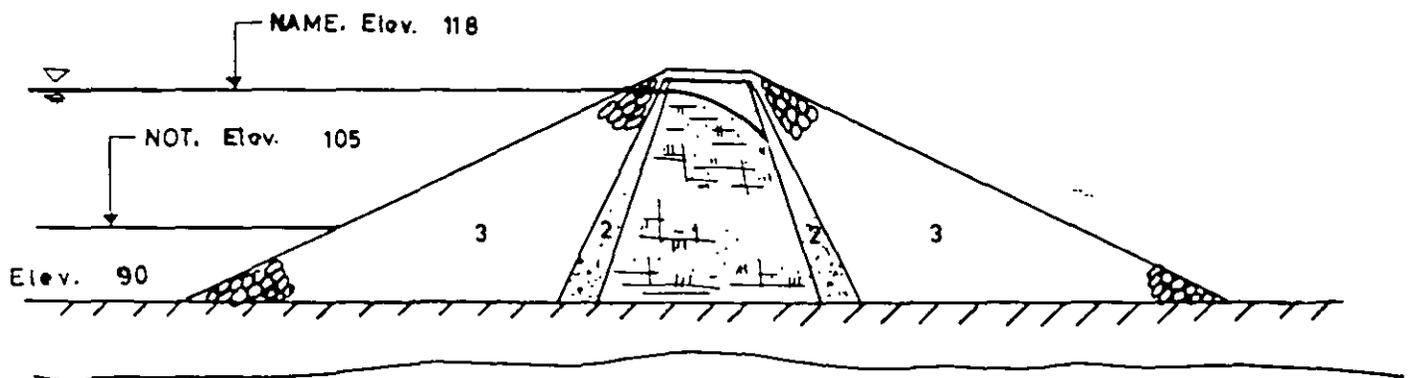


Fig II.47 Sección cortina

- 1 Material impermeable
- 2 Grava y arena bien graduada, compactado al 95% proctor
- 3 Enrocamiento

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES

C O N C E P T O		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Densidad		2.695		
P R O C T O R	Peso vol seco T/m ³	1.749		
	Humedad óptima %	17.30		
	Peso vol húmedo T/m ³			
	Peso vol saturado T/m ³			
	Relación de vacíos			
P U E B A R A P I D A	Peso vol seco T/m ³	1.649	2.038	1.600
	Humedad %	22.85	12.53	
	Peso vol húmedo T/m ³	2.026	2.293	1.900
	Peso vol saturado T/m ³	2.037	2.293	1.900
	Relación de vacíos	0.634	0.343	
	Compactación %	94.3		
	Grado de saturación %	97.01	100.0	
	Angulo de fricción Int	10°	45°	40°
	Cohesión T/m ²	3.0	0.0	0.0

Tabla II.8 Propiedades mecánicas de los materiales

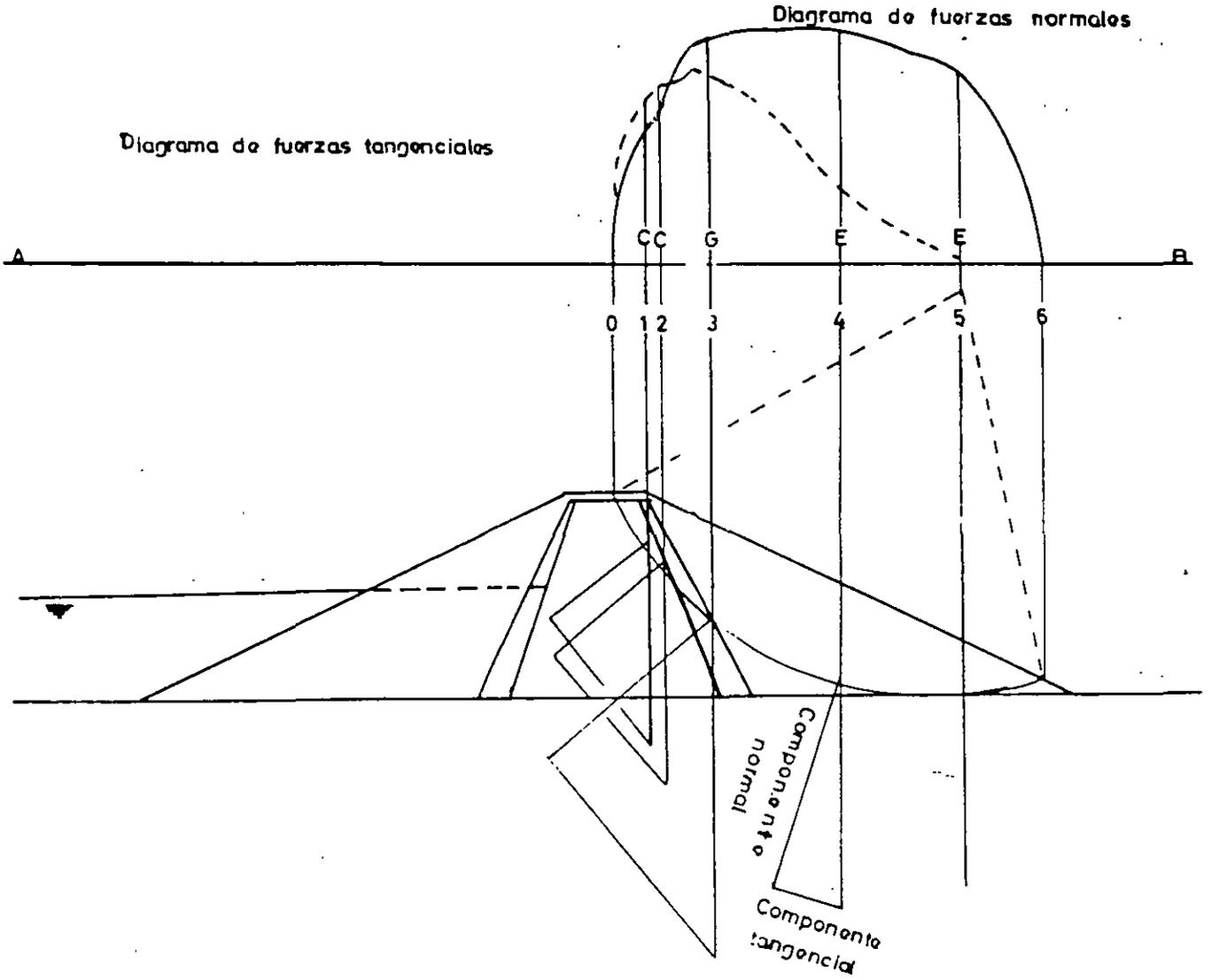


Fig II.48 Solución gráfica para análisis de estabilidad de taludes.

Dovela No	Altura m	Peso volumétrico Ton/m ³	Peso parcial Ton	Peso total Ton
1	1	1.600	1.600	15.959
	3	2.038	6.114	
	5	1.649	8.245	
2	5	1.600	8.00	18.190
	5	2.038	10.190	
3	14	1.600	22.400	22.400
4	11	1.600	17.600	17.600
5	9	1.600	14.400	14.400

Tabla II.9 Cálculo del peso de las dovelas

Calcularemos ahora las áreas sobre la línea AB en la fig. II.48:

Áreas de las dovelas que caen sobre el corazón impermeable
(Suma de fuerzas normales) $N_c = 34.375$

Área de las dovelas que caen sobre el filtro:
(Suma de fuerzas normales) $N_f = 20.00$

Área de las dovelas que caen sobre el enrocamiento (suma de fuerzas normales) $N_e = 398.750$

Area del diagrama de fuerzas tangenciales (suma de fuerzas tangenciales) $T = 215.625$

Si recordamos la definición de factor de seguridad:.

$$F.S. = \frac{\sum N_i \tan \phi + c L}{\sum T_i}$$

Vemos que contamos con todos los elementos necesarios para calcular dicho F.S.

Cálculo de $N_i \tan \phi$:

$$\begin{aligned} 34.375 \times \tan 10^\circ &= 6.061 \\ 20.000 \times \tan 45^\circ &= 20.000 \\ 398.75 \times \tan 40^\circ &= \underline{334.590} \\ \sum N_i \tan \phi &= \underline{360.650} \end{aligned}$$

Ahora calculemos: $c L$

$$c L = 3 \times 5.235 = 15.705$$

Sabemos que $T_i = 215.625$, por lo tanto:

$$F.S. = \frac{360.650 + 15.075}{215.625} = 1.74$$

Como $1.74 > 1.50$, podemos ver que éste no es un círculo de falla crítico.

Nótese que no se han indicado unidades en las áreas calculadas, debemos cuidar solamente que todo el cálculo se haga a la misma escala.

Este análisis ha sido hecho para un radio $R = 50$ m, deberá probarse con otros hasta obtener el que arroje el FS mínimo; si sigue siendo mayor que el permisible, la presa es segura.

En la tabla II.10 se muestran los valores mínimos de los factores de seguridad que se permiten, para cada caso crítico:

Caso crítico	Factor de seguridad	Esfuerzo cortante obtenido con la prueba
Al terminar la construcción	1.3	Rápida no drenada
Abatimiento rápido:		
Nivel aguas máximas	1.0	Rápida consolidada
Nivel de aguas normales	1.2	Rápida consolidada
Llenado parcial	1.5	Rápida consolidada
Flujo establecido	1.5	Rápida consolidada Consolidada lenta
Para temblor	1.0	Esfuerzo cortante para el caso sin temblor

Tabla II.10 Factores de seguridad y pruebas para obtener el esfuerzo cortante en cada caso, según la referencia 8. --

Método de la Cuña ⁽⁸⁾

En este método se considera a la parte deslizante del talud dividida en cuñas, el método se emplea en dos casos:

- a) Cuando la cimentación es roca que se considera no se puede ver envuelta en la falla, entonces se divide esta en dos cuñas, la superior se llama actuante o activa y la inferior resistente o pasiva, fig II.49

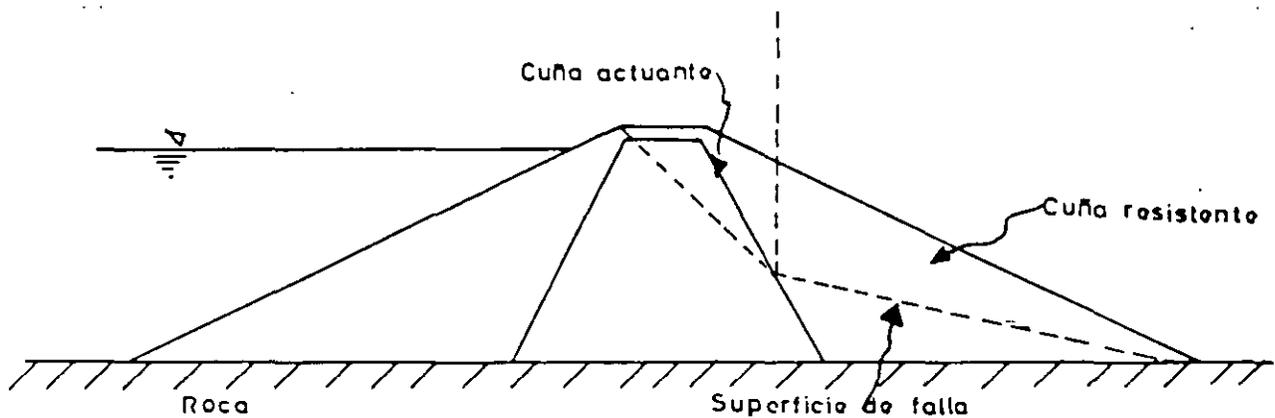


Fig II.49 División de la falla en dos cuñas.

b) Cuando existe un estrato débil en la parte superior de la cimentación, entonces es común dividir la falla en tres cuñas, las dos citadas anteriormente y una intermedia que se denomina bloque deslizando, Fig II.50

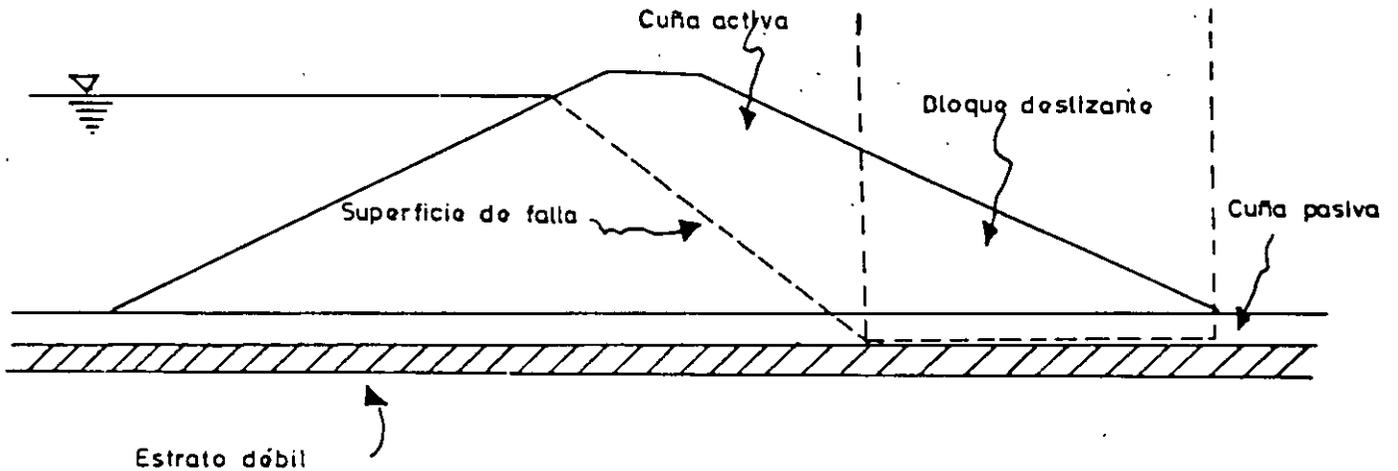


Fig II.50 División de la falla en tres cuñas.

En ambos casos el análisis debe hacerse considerando que existe interacción entre las cuñas o dovelas, tomando en cuenta todas las fuerzas actuantes; incluyendo la producida por la acción del agua; el factor de seguridad se calculara como sigue:

$$FS = \frac{\sum R}{\sum T}$$

donde:

ΣR = es la suma de las fuerzas resistentes

ΣT = es la suma de las fuerzas actuantes..

A continuación se presenta el método para el caso en que la falla se ha dividido en tres cuñas, fig II.51

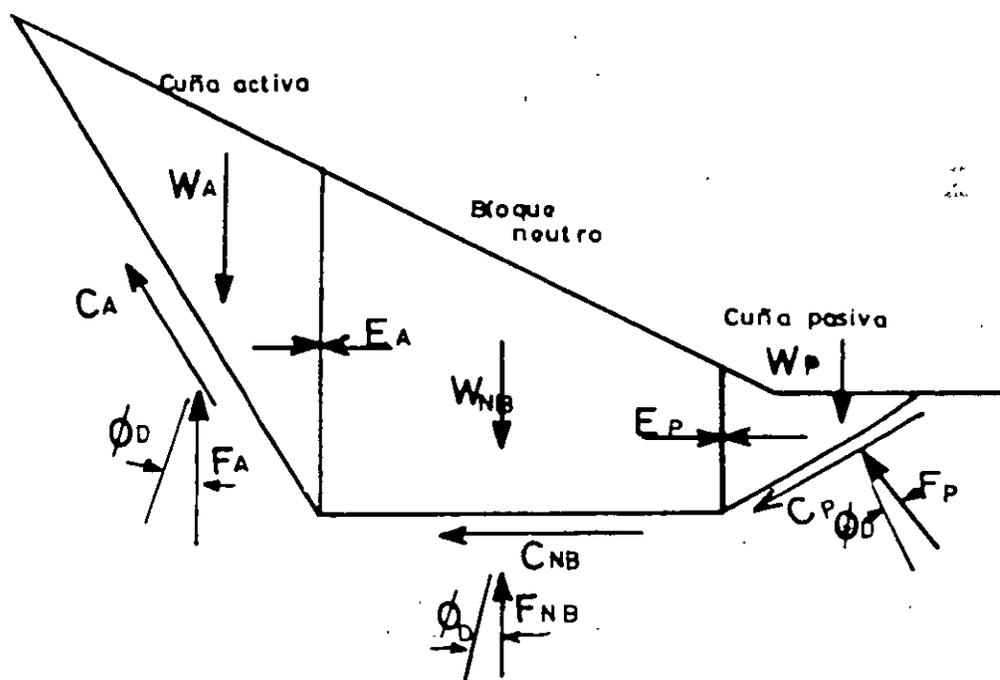


Fig II.51 Sección de falla dividida en tres cuñas.

Las fuerzas que actúan en las tres cuñas se muestran en las figuras II.52, II.53 y II.53'.

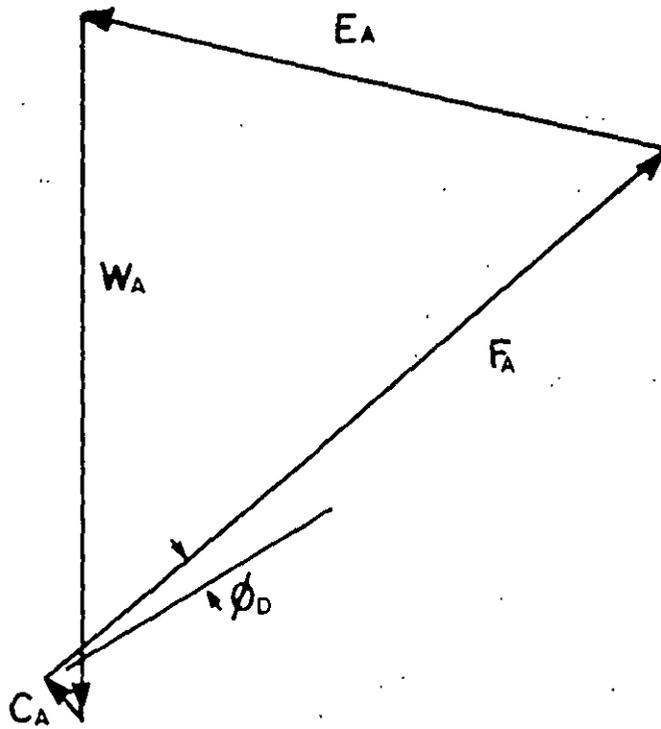


Fig II.52 Diagrama vectorial de la cuña activa.

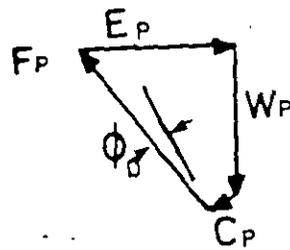


Fig II.53 Diagrama vectorial de la cuña pasiva.

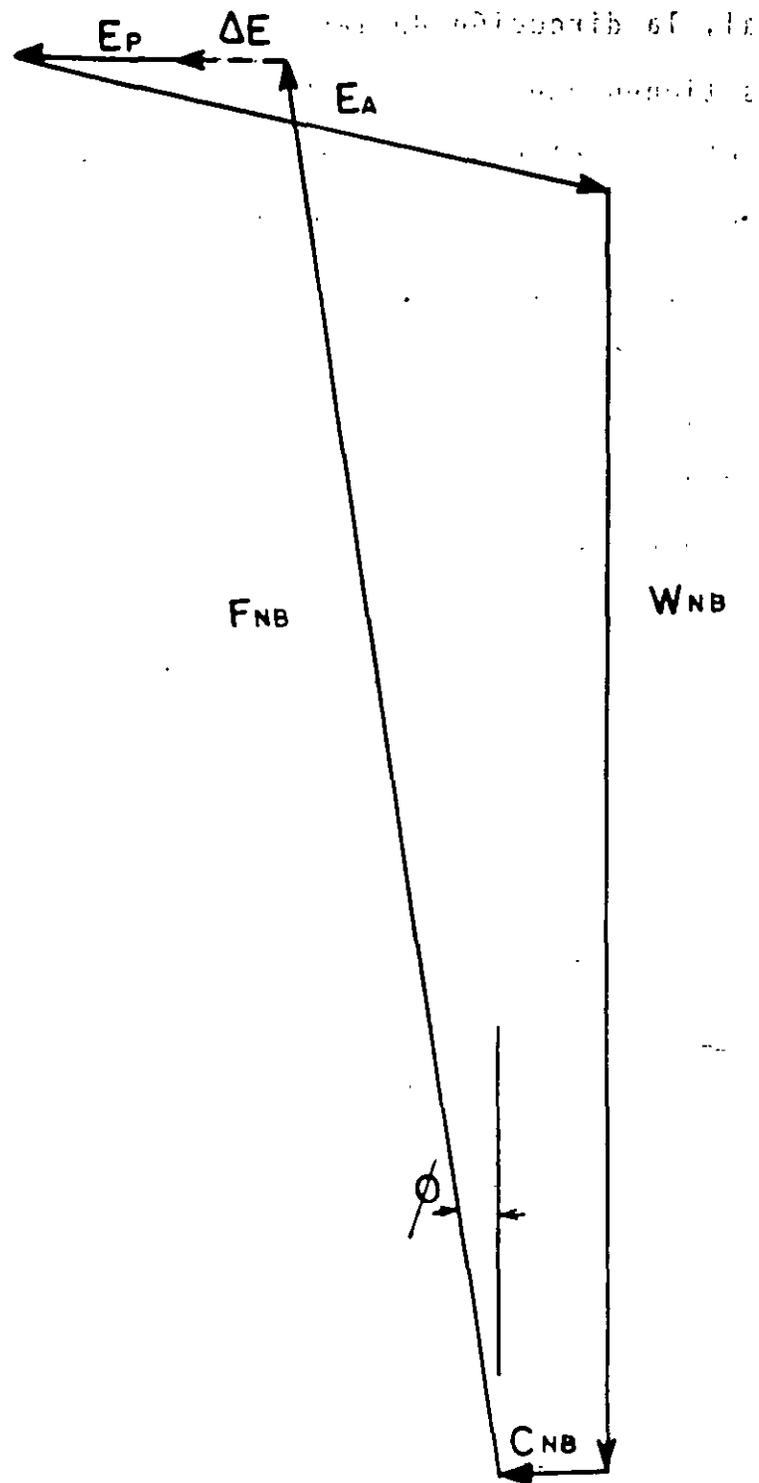


Fig II.53' Diagrama vectorial de la cuña neutra.

En general, la dirección de las fuerzas que obran sobre las fronteras tienen que suponerse. Si la frontera vertical entre la cuña activa y el bloque deslizante se localiza en el centro o abajo del centro del talud de la cortina, la dirección de la fuerza E_a , se supone paralela al talud de la cortina. Si esta frontera se localiza cerca de la parte superior de la cortina, se considera una dirección horizontal para la fuerza E_a . Si la frontera vertical se encuentra en una parte intermedia entre el centro y la parte superior de la cortina se supone un ángulo intermedio. La dirección del empuje de tierra E_p , sobre la frontera vertical entre la cuña pasiva y el bloque deslizante, se considera paralela al talud de la cortina, si la frontera se encuentra cerca del centro del talud. Si se localiza en el pie, o cerca del pie del talud, la dirección del empuje E_p se considera horizontal.

Los empujes E_a y E_p , se calculan con la Teoría de Rankine⁽⁹⁾ como sigue:

$$E_a = \frac{\gamma h^2}{2} K_a$$
$$E_p = \frac{\gamma h^2}{2} K_p$$

donde:

E_a = empuje activo

γ = peso volumétrico del suelo

h = profundidad, medida en el plano vertical

K_a = coeficiente activo del empuje de tierras de Rankine

E_p = empuje pasivo

K_p = coeficiente pasivo del empuje de tierras de Rankine

La magnitud de los valores desarrollados para la cohesión y fricción interna que se usarán a lo largo de las superficies se controlan por el factor de seguridad supuesto, F.S., de tal manera que:

$$C_d = \frac{C}{F.S.}$$

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi}{FS}$$

donde:

C = cohesión por unidad superficial

C_d = cohesión desarrollada por unidad superficial

ϕ = ángulo de fricción interna

ϕ_d = ángulo de fricción interna desarrollada

El procedimiento gráfico de cálculo es el siguiente:

- a) Determinar E_a y E_p para las cuñas activa y pasiva respectivamente
- b) Calcular w_{nb} (peso del bloque deslizante)
- c) Obtener el valor de C_{nb} (fuerza de cohesión en la base del

bloque deslizando) fig II.52

- d) Determinar F_{nb} (fuerza normal de reacción del estrato inferior del bloque deslizando, fig II.52
- e) Intégrese el diagrama vectorial del bloque neutro, fig II.53.

En esta última figura debe notarse que para cerrar el diagrama de vectores, se ha hecho uso del vector ΔE , el equilibrio se presentará cuando $\Delta E = 0$.

Entonces el proceso consiste en suponer varios factores de seguridad hasta encontrar la situación de equilibrio, en ningún caso el FS debe ser menor que 1.5

Una forma analítica de solución, es por medio de la ecuación:

$$F.S. = \frac{R}{E_a - E_p}$$

donde:

R = es la fuerza de resistencia al deslizamiento desarrollada en la base del bloque deslizando, calculada como:

$$R = C_{nb} + (W_{nb} - U_{nb}) \tan \phi_d$$

donde:

C_{nb} = fuerza de cohesión a lo largo de la superficie del bloque deslizando

W_{nb} = peso del bloque deslizando

U_{nb} = fuerza de subpresión en el bloque deslizando

II.7.5 Falla por licuación.

Se entiende por licuación de un suelo, a la pérdida de su resistencia al esfuerzo cortante, temporal o definitiva. Este fenómeno se presenta en arcilla saturada muy sensible, en arenas sueltas secas y en las arenas finas saturadas. La licuación se presenta cuando actúa una sollicitación brusca sobre el suelo, por ejemplo un sismo, un impacto, vibraciones, etc. Cuando se presenta licuación en una presa de tierra, sus taludes se derrumban volviéndose muy irregulares y muy tendidos.

II.8 Algunas consideraciones sobre la construcción

La construcción de una presa abarca cuatro partes, en términos generales:

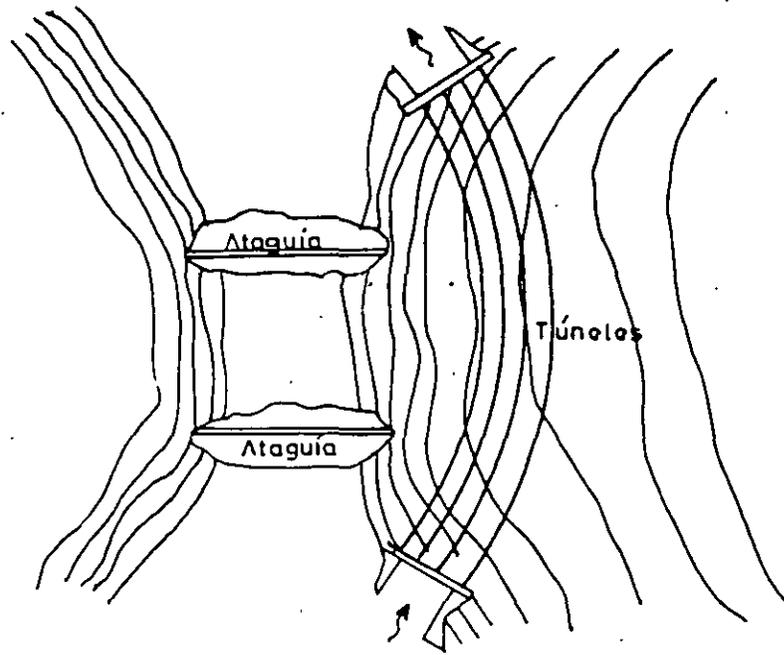
- a) Desviación del río y limpia de la cimentación
- b) Excavación de trincheras a través de depósitos permeables (si son necesarias)
- c) Tratamiento de la cimentación

- d) Colocación de los materiales constituyentes del cuerpo de la presa.

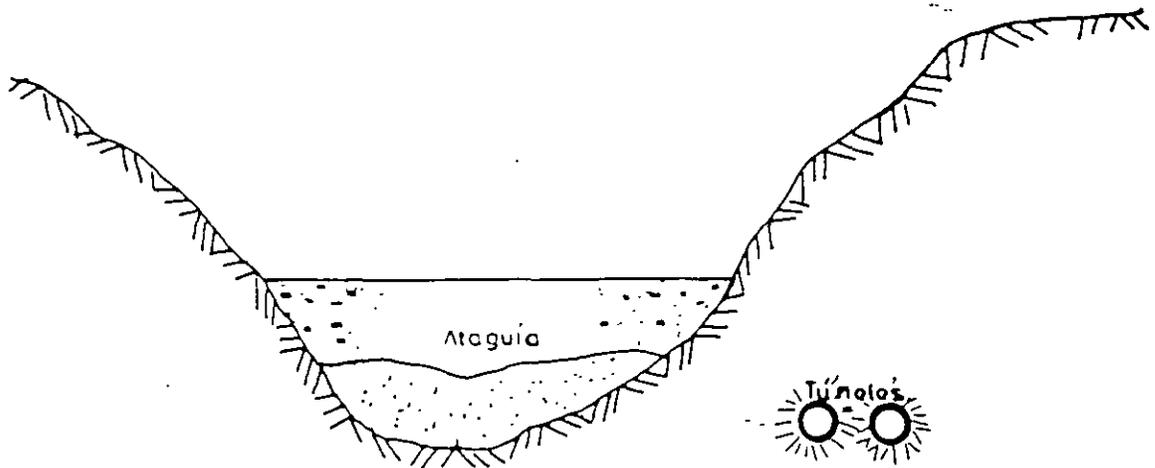
Desviación del río. Para poder llevar al cabo la construcción del terraplén es necesario que la corriente no afecte dicha obra, para ello se desvía. Las dos formas más comunes son: empleo de túneles o tajos de desvío. Los túneles se construyen en una ladera o algún lugar apropiado de acuerdo a la topografía, pueden emplearse posteriormente como obras de toma, Fig II.54; el tajo de desvío no es más que un canal a cielo abierto construido en una ladera o a través del terraplén, Fig II.55

Una vez hecha la obra de desvío, se deben construir las ataguías para encauzar el agua. Es recomendable no abusar del empleo de explosivos en la construcción de estas obras, pues pueden causar fisuramiento de la roca de la cimentación.

La limpia de la cimentación tiene por objeto garantizar el contacto entre los materiales de la presa y los materiales de la cimentación de buena calidad. Debe eliminarse por medio de excavación la tierra vegetal u otros materiales que no tengan la calidad necesaria. No se puede hablar en general de la profundidad de excavación para limpia, pues dependerá de las condiciones particulares de cada caso.



PLANTA



PERFIL

Fig II.54 Obra de desvío en túnel.

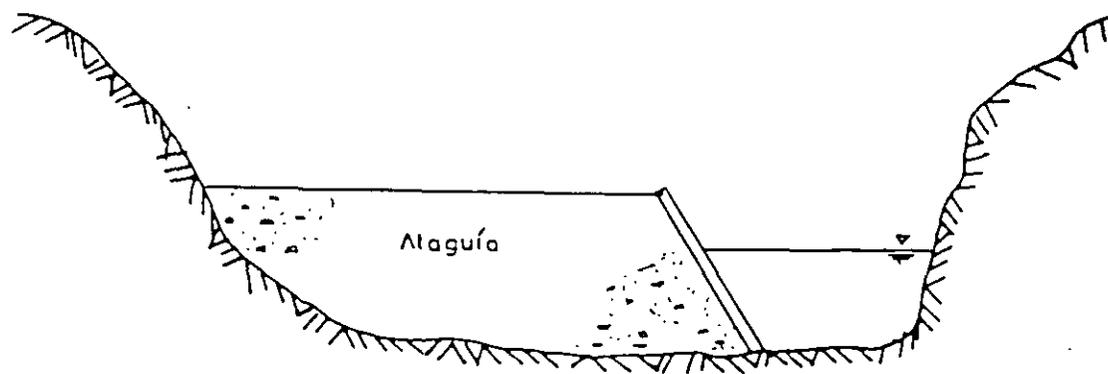
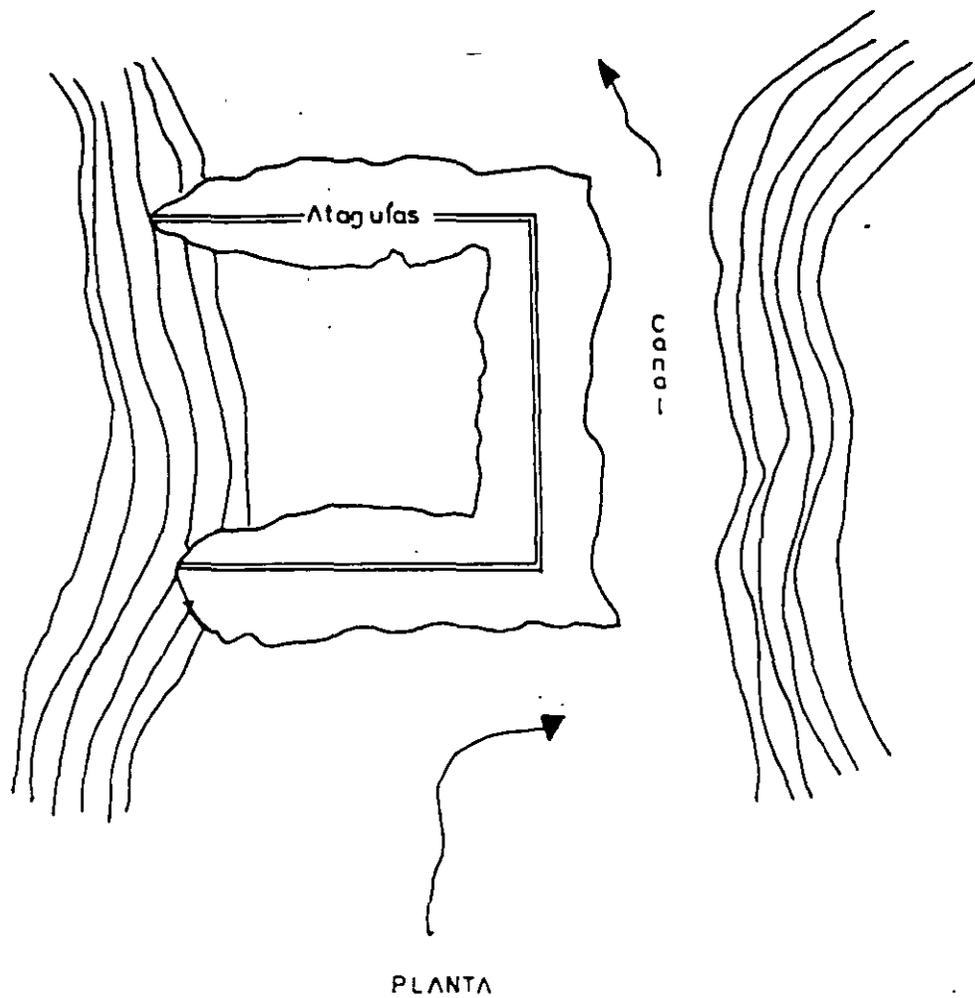


Fig II.55 Obra de desvío en tajo.

Excavación de trincheras. Cuando es necesario construir una trinchera, se deberá excavar en el material depositado por el acarreo del río; ésto trae aparejado el problema de filtraciones hacia el interior de la excavación; cuando la profundidad es pequeña el problema se puede solucionar por medio de bombeo, pero se incrementa cuando las profundidades son grandes. En estos casos se emplean sistemas que interceptan las filtraciones, sin permitir que lleguen al talud de la excavación, aumentando además la estabilidad de éste al eliminar las fuerzas de filtración. Existen dos procedimientos para hacerlo:

- a) Instalación de bombeo desde el exterior del talud de la excavación, Fig II.56
- b) Construcción de pantallas impermeables antes del talud de la excavación, Fig II.57

Tratamiento de la cimentación. Muchas veces es necesario mejorar las condiciones de la cimentación sobre todo en lo que se refiere a permeabilidad y compresibilidad, el problema de la permeabilidad y su solución se ha tratado ya en este mismo capítulo.

Si la presa se construye sobre estratos de arcilla blanda, que no fuera factible eliminar, es conveniente consolidarlos, el proceso de consolidación se logra por medio del peso propio del terraplén, debiendo colocarse drenes en la cimentación para accele

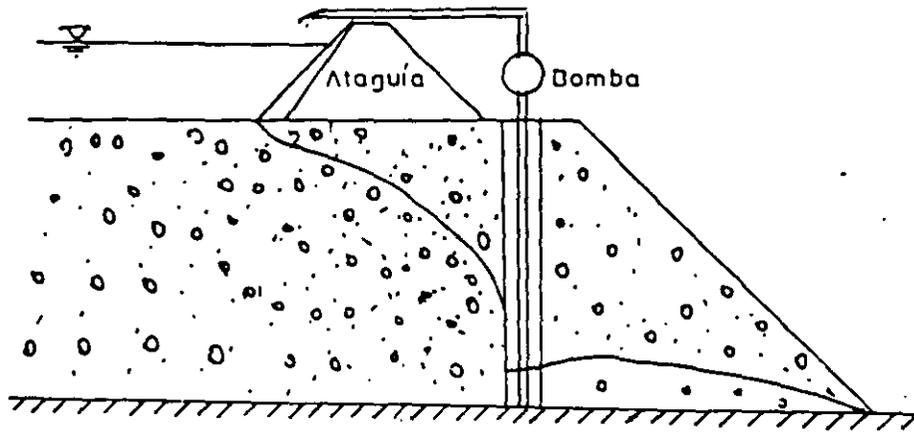


Fig II.56 Intercepción de filtraciones por medio de bombeo.

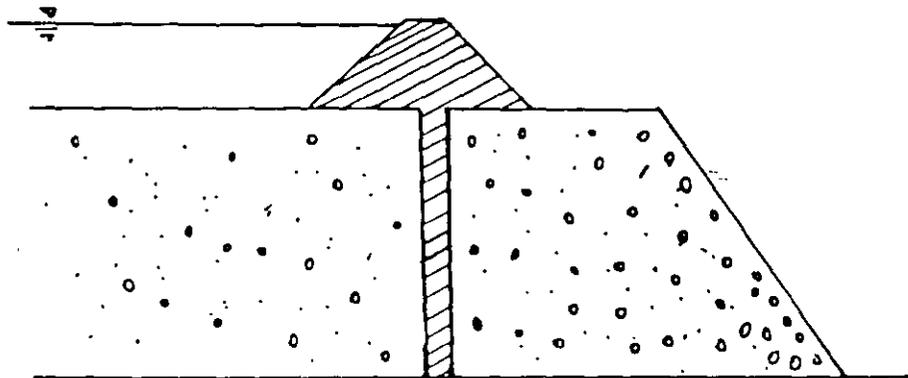


Fig II.57 Intercepción de filtraciones por medio de pantalla.

rar el proceso.

- d) Colocación de los materiales en el terraplén. La colocación de materiales deberá hacerse siguiendo estrictamente las especificaciones del proyectista.

Existen especificaciones establecidas, por ejemplo en nuestro país por SRH. A continuación se citan dos de ellas:

En material permeable y semipermeable, el grado mínimo de compactación será de 95%, la humedad deberá ser la óptima, referidos ambos datos a la prueba de compactación dinámica de acuerdo con la norma S.R.H.

En zonas permeables de la cortina, la compacidad relativa debe ser mayor del 70%.

III. PRESAS DE GRAVEDAD

III.1 Introducción

Una presa de gravedad es aquella cuya estabilidad frente a las fuerzas externas actuantes sobre ella, se debe fundamentalmente a la fuerza de su peso propio. La figura III.1 nos muestra una sección y una planta de una presa de gravedad.

III.2 Estabilidad de una presa de gravedad

Los tres factores que atentan contra la estabilidad de una presa de gravedad son:

- a) El vuelco
- b) El deslizamiento

c) Los esfuerzos excesivos

a) El vuelco.

Bajo la acción de las fuerzas externas las presas de gravedad tienden a girar alrededor de su pie (Fig. III.2). Evidentemente, antes de que la presa llegara a voltearse como cuerpo rígido, tendrían que haber fallado sus materiales por tensión (en el talón) o por aplastamiento (en el pie).

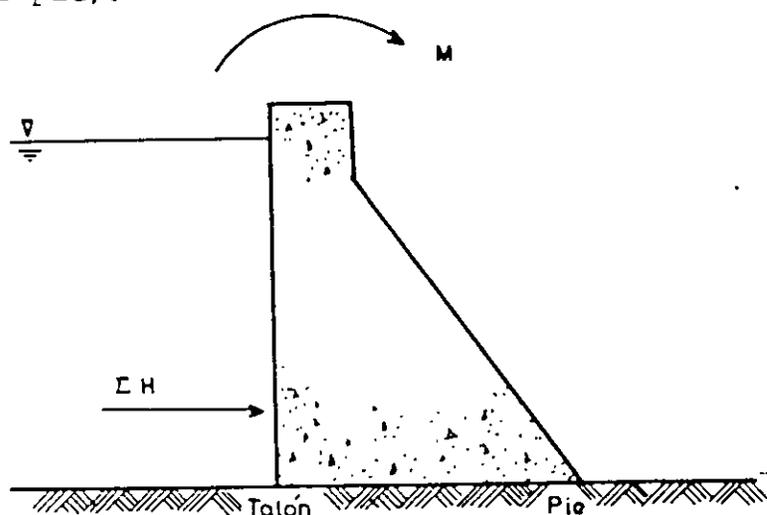


Fig. III.1 Tendencia al giro alrededor del pie de la presa debido a fuerzas externas.

b) El deslizamiento.

La fuerza horizontal ΣH , tiende a desplazar en dirección horizontal a la presa, las fuerzas resistentes son las producidas por la fricción y por la resistencia al corte del concreto o la cimentación. Fig III.3 Obvia-

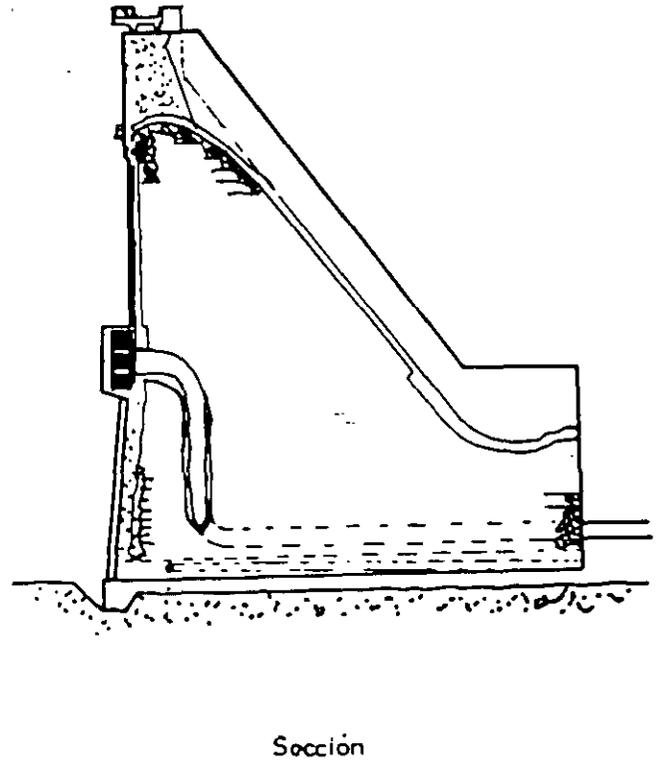
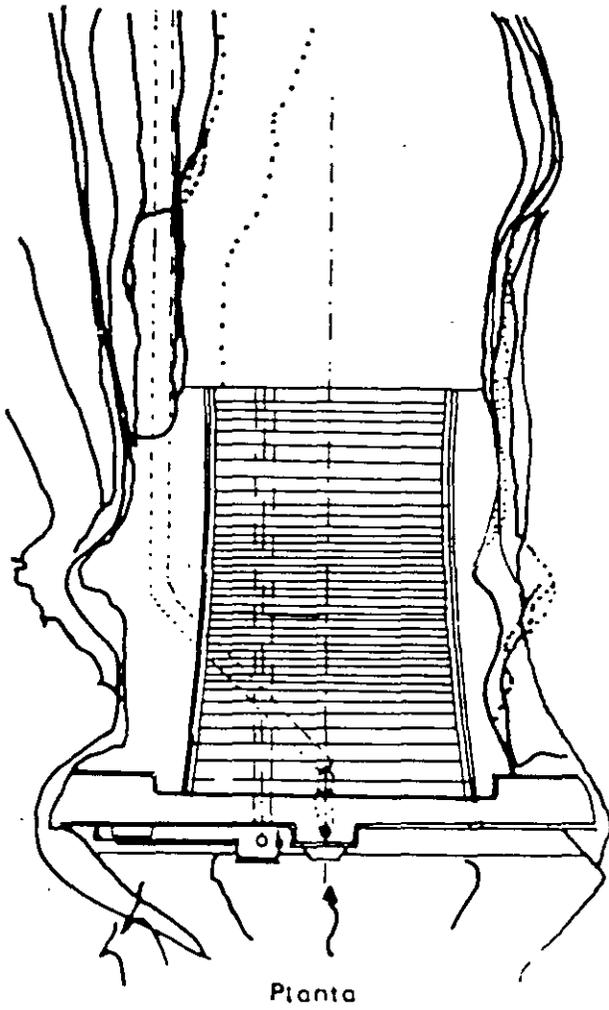


Fig.III.2 Presc de gravedad

te, antes que la presa deslizara como cuerpo rígido, habrían fallado sus materiales (o la liga con la cimentación, o esta última) por esfuerzo cortante.

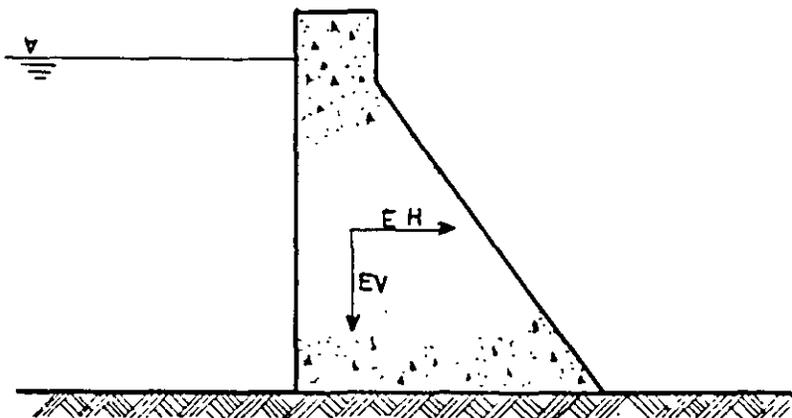


Fig. III.3 Deslizamiento de la presa.

c) Esfuerzos excesivos.

Como hemos visto, la falla de la estabilidad de la estructura irá asociada siempre a la ruptura de sus materiales por esfuerzos excesivos, por lo que nuestra atención debe enfocarse a mantenerlos dentro de límites aceptables. En general, sin embargo, al menos en lo que respecta a la compresión, es relativamente fácil cumplir con esa condición, pues los esfuerzos en el concreto de las presas, inducidos por fuerzas externas son normalmente muy bajos si el diseño ha sido elaborado con el suficiente cuidado.

Analícemos el talud que en una presa nos garantiza estabili

dad y ausencia de tensiones.

Sea un muro triangular como el mostrado en la Fig III.4

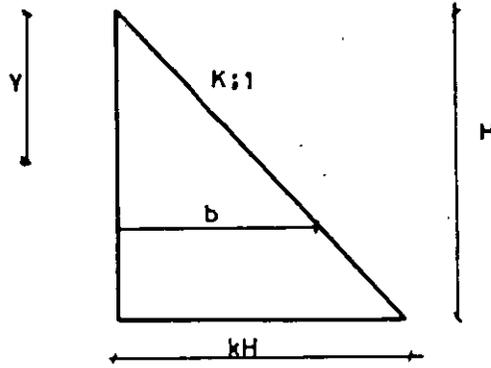


Fig. III.4 Muro triangular.

El grueso $b = k y$, aumenta con la profundidad.

El volumen será:

$$V = \int_0^H b \, dy = \int_0^H k y \, dy = \frac{k y^2}{2}$$

Este volumen es unitario (por unidad de grueso del muro).

Por otro lado podemos ver que el peso es proporcional al volumen:

$$W = \gamma_m V$$

Ahora supongamos que este muro está sometido al empuje del agua. Fig III.5

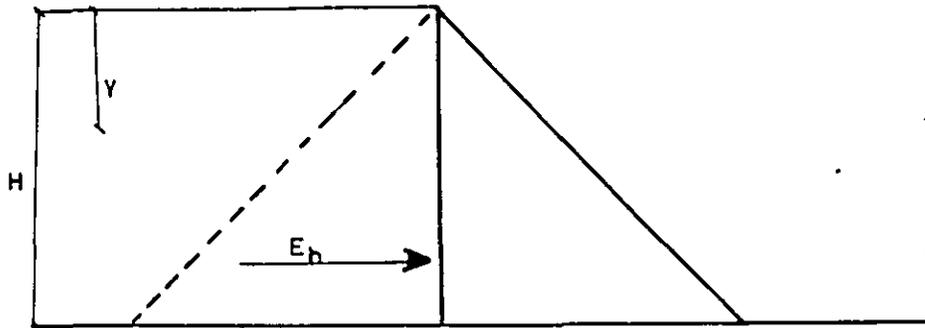


Fig. III.5 Muro triangular sometido a empuje hidrostático.

Consideremos el problema bidimensional, que el suelo es indeformable y que el agua no puede introducirse entre el piso y el muro a menos que éste se levante.

El empuje hidrostático tiende a arrastrar al muro hacia aguas abajo y a voltearlo alrededor del pie de la presa, fijémonos por ahora sólo en este último efecto. Si no hay liga entre el muro y el piso, la tendencia al volteo inducirá una posibilidad de levantar el talón del muro; lo que facilitaría la introducción del agua entre él y el piso, esta agua producirá un empuje hacia arriba (flotación o subpresión) que tendría también momento volteante respecto al pie de la presa empeorando las condiciones de estabilidad del muro.

Será entonces conveniente, en principio, evitar toda separación del muro del piso, es decir, evitar toda posible ten-

si3n (tracci3n) en el tal3n. Esto puede lograrse si el pe-
so del muro produce esfuerzos de compresi3n tales que con-
trarresten la tensi3n en el tal3n.

Continuemos con la Fig. III.6 donde vemos el muro y su co-
rrespondiente diagrama de esfuerzos.

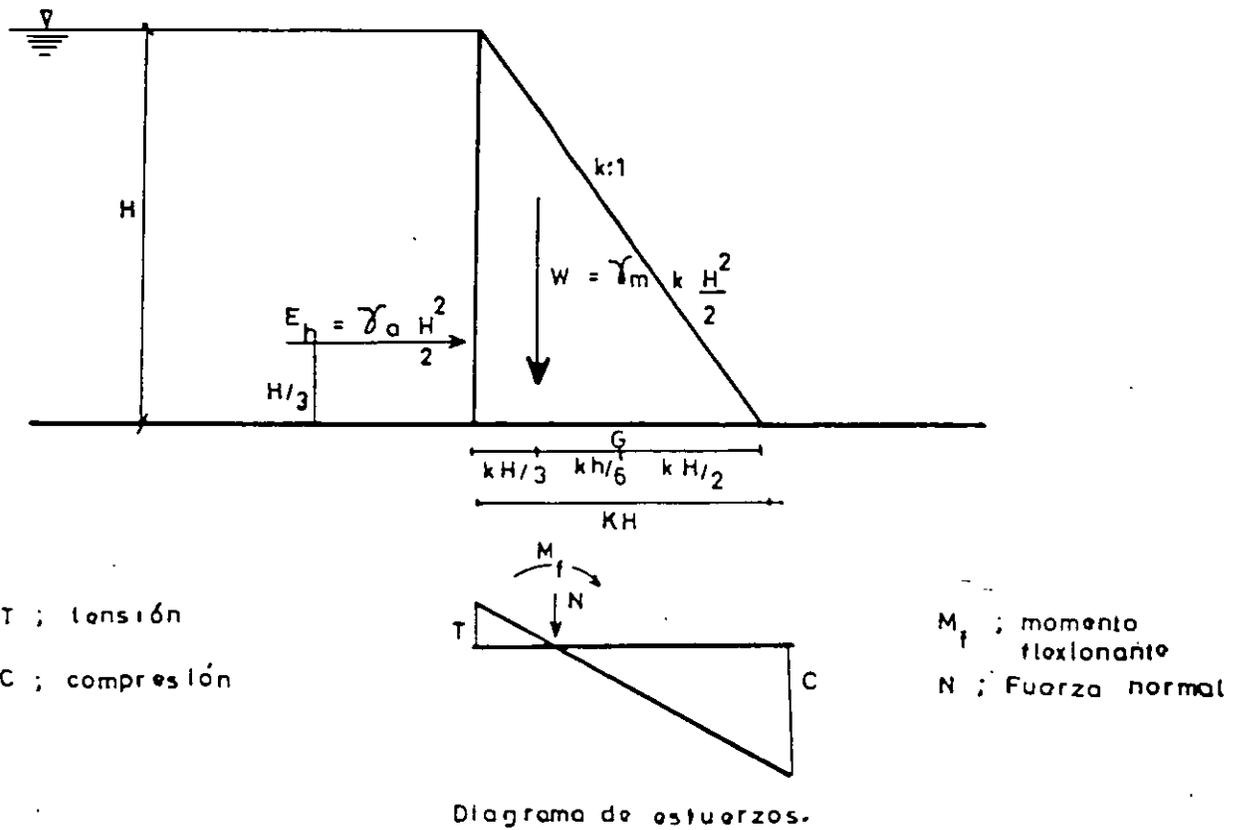


Fig. III.6 Muro sometido a empuje hidrost3tico y diagrama de esfuerzos.

La condici3n deseada es que $T = 0$, el diagrama de esfuerzos ser3a el que se muestra en la Fig. III.7.



Fig. III.7 Diagrama de esfuerzos sin tensiones

El momento flexionante M_{δ} será:

$$M_{\delta} = E_h D_E - W D_W = \gamma_a \frac{H^2}{2} \frac{H}{3} - \gamma_m k \frac{H^2}{2} k \frac{H}{6}$$

Donde:

D_E = Distancia de E_h al centro de gravedad G.

D_W = Distancia de W al centro de gravedad G.

Consideremos el sentido que tiende a producir tensiones en talón, como positivo.

La fuerza normal N , será:

$$N = W = \gamma_m k \frac{H^2}{2}$$

En el talón el momento produce una tensión:

$$\sigma_t = \frac{M_{\delta} X_t}{I_G}$$

Siendo:

$$X_t = k H/2$$

$$I_G = \frac{1 (k H)^3}{12}$$

$$\sigma_t = \frac{k H}{2} \frac{12}{(k H)^3} \left(\gamma_a \frac{H^3}{6} - \gamma_m k^2 \frac{H^3}{12} \right)$$

Simplificando y aceptando que $\gamma_a = 1 \text{ ton/m}^3$

$$\sigma_t = \frac{H}{k^2} \left(1 - \gamma_m \frac{k^2}{2} \right)$$

La compresión es $N = W$, es uniforme y vale:

$$\sigma_c = \frac{N}{A} = \frac{\gamma_m k H^2}{2} \frac{1}{k h} = \gamma_m H/2$$

Si deseamos que $T = 0$, deben igualarse σ_t y σ_c

$$\gamma_m \frac{H}{2} = \frac{H}{k^2} \left(1 - \gamma_m \frac{k^2}{2} \right)$$

$$\gamma_m k^2 = 2 - \gamma_m k^2$$

$$k^2 = 1/\gamma_m$$

$$k = \sqrt{1/\gamma_m} \quad \text{Se considera } \gamma_m \text{ en ton/m}^3$$

Esta fórmula nos da el talud mínimo que haría sostenerse

al muro por su propio peso y sin permitir tensiones.

Como γ_m para el concreto es 2.4 ton/m^3

$$k = \sqrt{1/2.4} = 0.645 \quad \text{Ver Fig. III.8}$$

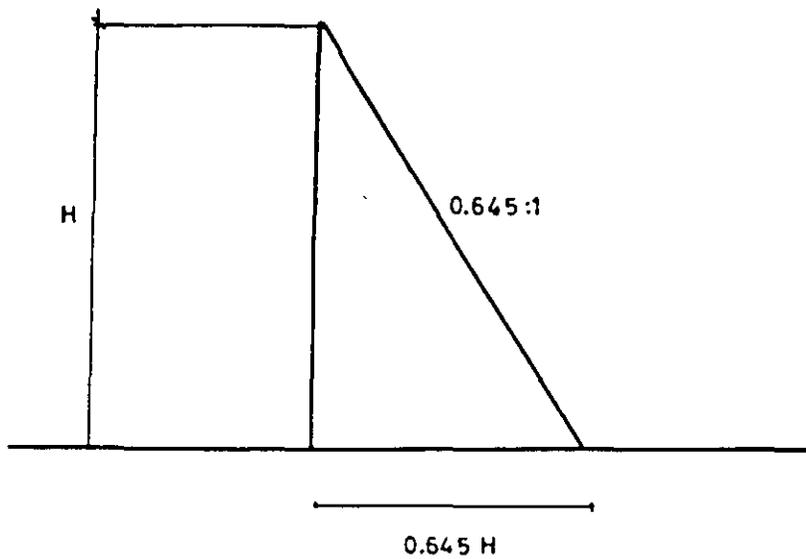


Fig. III.8 Talud mínimo para una presa sin sub presión.

El volumen será:

$$V = k \frac{H^2}{2} B = 0.322 H^2 B$$

Siendo δ el espesor.

Si se permitiera que el agua produjera subpresión al filtrarse, tendríamos la situación que se ilustra en la Fig. III.9, la variación de la subpresión es lineal, pues corresponde al gradiente hidráulico debido sólo a pérdidas por fricción; que son proporcionales a la longitud del camino recorrido por el agua.

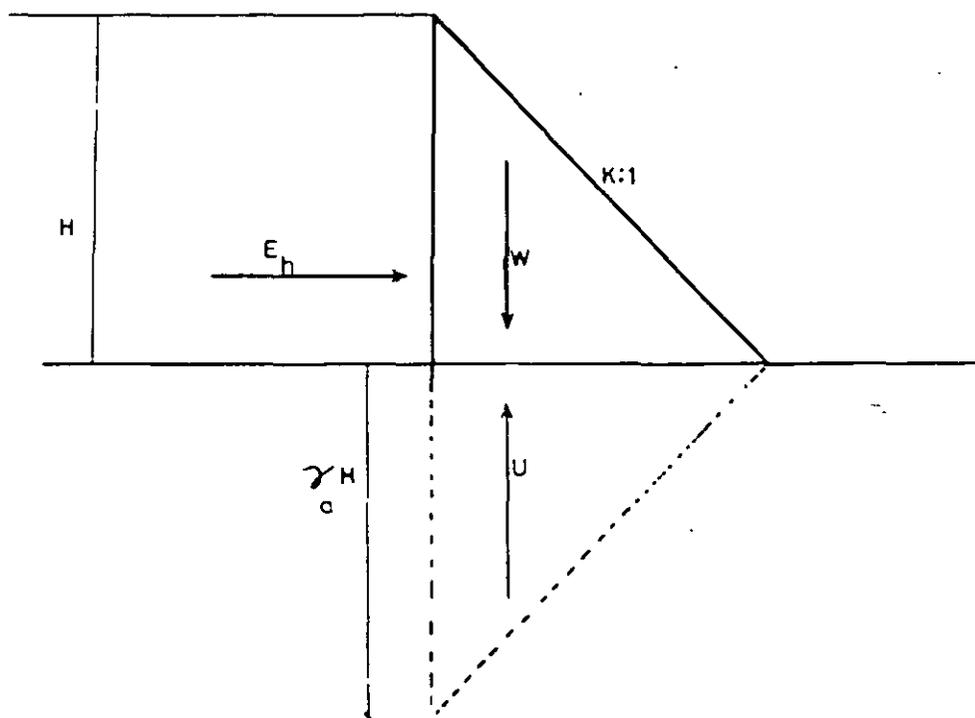


Fig. III.9 Diagrama de un muro con empuje hidrostático y con subpresión.

El agua filtrada produce una fuerza hacia arriba:

$$U = k \frac{H^2}{2}$$

y un momento respecto al talón:

$$M_u = \frac{k H^2}{2} \frac{k H}{6} = \frac{k^2 H^3}{12}$$

El momento que produce tensión en el talón es el que resulta del caso anterior, agregándole M_u , y se obtiene:

$$\sigma_t = \frac{H}{k^2} \left[J - \frac{(\gamma_m - J) k^2}{2} \right]$$

$$\sigma_c = \frac{(\gamma_m - J) H}{2}$$

Y finalmente al igualar las dos ecuaciones anteriores obtenemos:

$$k = \sqrt{\frac{J}{\gamma_m - J}}$$

Que es la fórmula que proporciona la estabilidad con un talud mínimo ante la presencia de subpresión triangular.

Si $\gamma_m = 2.4 \text{ ton/m}^3$ (para concreto)

$$k = \sqrt{J/1.4} = 0.845$$

Puede verse la importancia de la subpresión, pues al actuar como se ha supuesto ocasionaría la necesidad de incrementar

el volumen de la presa en un 31% $\frac{0.845 - 0.645}{0.645} = 0.31$)

III.3 Medidas para reducir la subpresión.

- a) Tratar de reducir las filtraciones a través de la cortina, entre ella y la cimentación y a través de ésta, por medio de impermeabilización, la que produciría grandes pérdidas de carga (y la consiguiente reducción de presión) en el agua que llegara a filtrarse.
- b) Tratar de aliviar la presión del agua que llegue a filtrarse, por medio de drenaje.

Para lograr la medida a) se recomienda lo siguiente:

Cuidar la calidad uniforme del concreto para evitar huecos, grietas o disgregaciones que faciliten la intromisión del agua en el cuerpo de la cortina. En presas de mampostería, controlar la calidad de la piedra, de la mezcla de junteo y de la colocación. En caso necesario (así como para corregir presas ya construidas) puede inyectarse lechada de cemento en las zonas que resulten permeables.

Sin embargo: el concreto no es totalmente impermeable, y el agua puede filtrarse a través de él, aunque tarde un tiempo muy largo. Recuérdese que una grieta o una caverna originan subpresión.

Debe cuidarse la calidad de la unión presa-cimentación; para ésto debe limpiarse perfectamente la superficie de desplante, tratando de que quede rugosa y controlando la primera capa de concreto colocado.

También se usan pantallas de impermeabilización por inyectado. Se habrá retirado el aluvión o los depósitos de talud ("escombro"). La roca alterada, normalmente debe retirarse (dependiendo del grado de alteración y de sus características de resistencia e impermeabilidad).

La roca fracturada, que usualmente queda como superficie de desplante, es un medio que puede permitir filtraciones de importancia, en este caso debe inyectarse para impermeabilizarla.

Generalmente se usa una pantalla profunda de inyecciones, que se lleva a una profundidad de entre 0.5 y 0.7 H , siendo H la altura del nivel máximo aguas arriba, salvo que se hayan detectado posibles vías de agua a mayor profundidad; la pantalla se complementa con una carpeta de inyecciones de consolidación o amacise. Fig. III.10.

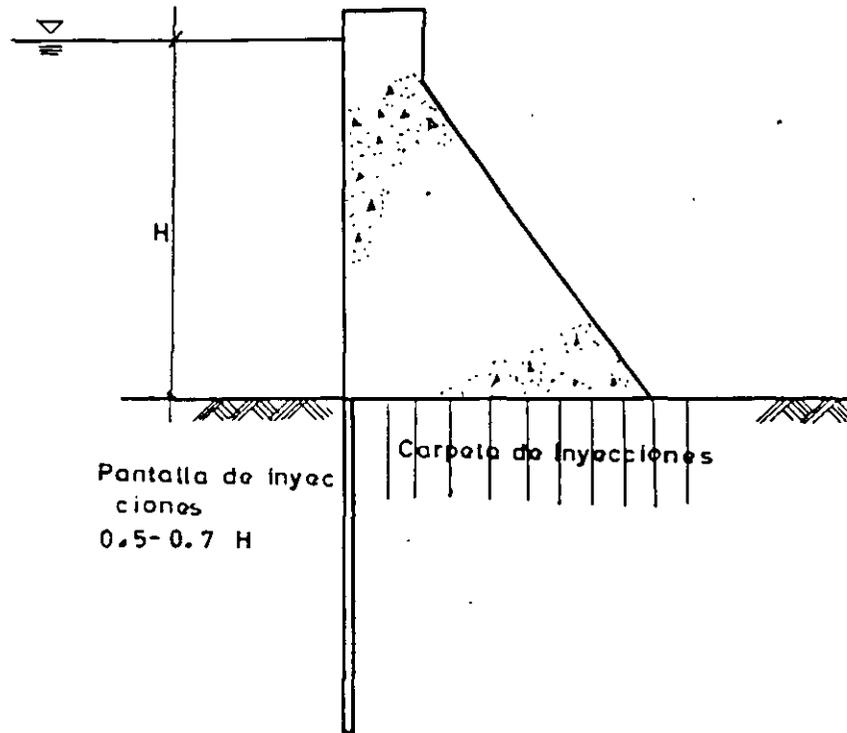


Fig III.10 Pantalla y carpeta de inyecciones

Sobre inyecciones ya se habló en el capítulo II, sólo queda agregar que se puede inyectar cuando la presa está parcialmente construida con el objeto de darle peso a la roca. Fig. III.11.

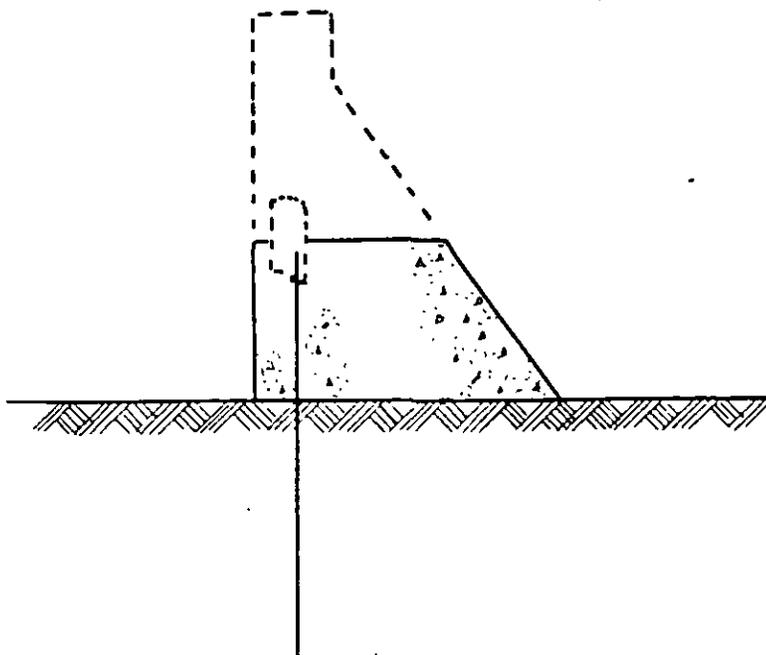


Fig. III.11 Inyección desde la galería de la presa parcialmente construída.

Para aliviar la presión del agua, medida b), se utiliza el drenaje en la presa. En la figura III.12 se presentan algunos detalles de un posible sistema de drenaje.

III.4 Cargas en una presa de gravedad

III.4.1 Peso propio

El peso propio se calculará con la ecuación $W = \gamma_m V$, siendo γ_m para el concreto 2.4 ton/m^3 ; para la mampostería el valor es cercano a 2.2 ton/m^3 (dependiendo de la densidad de la piedra usada); generalmente se desprecian en el cálculo las

galerías y los volados de la corona, pero si se toman en cuenta el peso de las pilas, puentes, compuertas y sus mecanismos, considerando cada peso parcial en su línea de acción Fig. III.13.

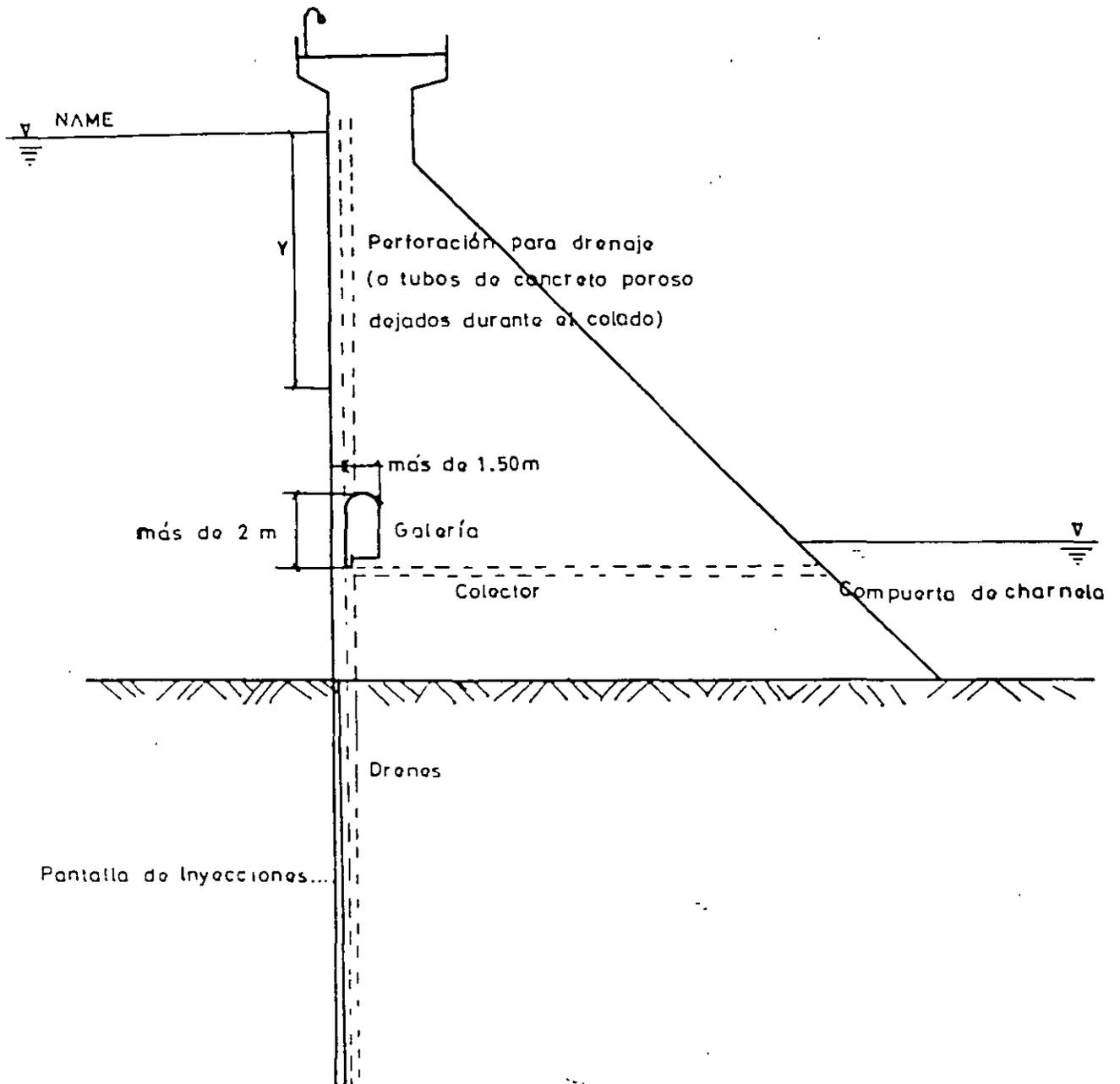


Fig. III.12 Detalles de un sistema de drenaje en una presa de gravedad.

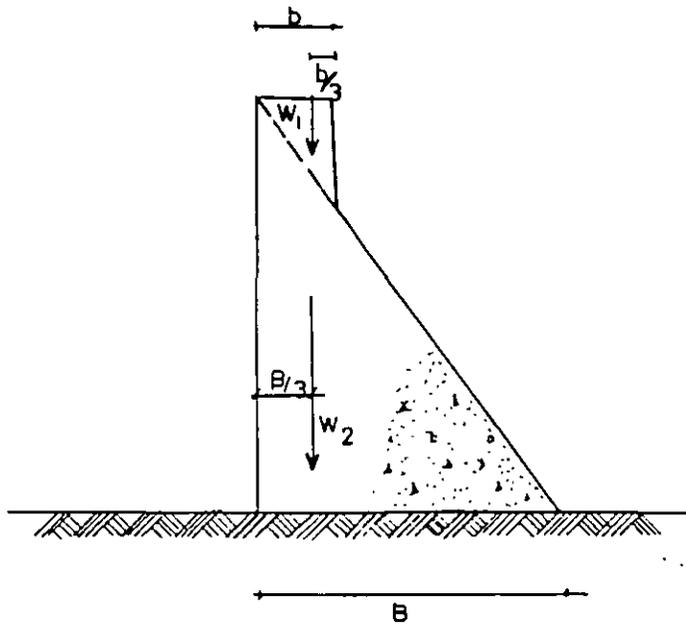


Fig. III.13 Pesos parciales en su línea de acción.

III.4.2. Empujes hidrostáticos.

Primeramente definiremos algunos términos, en la figura III.14.

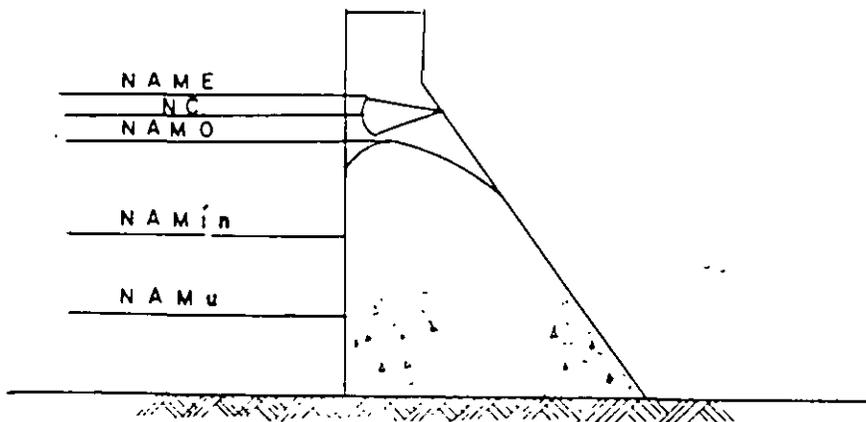


Fig. III.14 Niveles del agua característicos en una presa.

NAME: Nivel de aguas máximo extraordinario (vertedor de excedencias derramando a máxima capacidad].

NC: Nivel de control. Máximo nivel al que pueden controlarse las extracciones por cualquier salida.

NAMO: Nivel de aguas máximo ordinario. Nivel máximo de almacenamiento para aprovechamiento (llamado también "Nivel de Conservación").

NAMin: Nivel mínimo de operación de la toma a gasto de diseño. (nivel mínimo de operación normal).

NAMu: Nivel de aguas muertas. Nivel debajo del cual no se puede extraer el agua normalmente por no haber ninguna salida bajo él.

En el cálculo de estos empujes se hacen dos hipótesis:

- a) El peso específico del agua es de 1 ton/m^3
- b) Es válida la ley de Pascal: "La presión actúa en cada punto con igual magnitud en todas las direcciones y sentidos; los empujes resultantes son normales a las superficies sobre las que actúan"

III.4.3. Empuje de azolves.

Los azolves que acarrea la corriente se depositan en el vaso y ejercen empujes en el paramento aguas arriba de la presa, que son mayores que los empujes hidrostáticos.

Cuando el paramento aguas arriba tiene algún talud, Fig. III.15, el empuje horizontal Dh será el producido por el suelo y el empuje vertical Dv será el peso del suelo y se calculan con las fórmulas:

$$Dh = \frac{\gamma' h_d}{2} \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi} \quad (\text{empuje activo según Rankine})$$

Donde:

γ' peso del material sumergido

ϕ ángulo de fricción interna

h_d profundidad de la capacidad de azolves.

Para diseños preliminares el USBR recomienda:

$$Dh = \frac{\gamma' h_d^2}{2} \quad \text{con } \gamma' = 0.36 \text{ ton/m}^3$$

$$Dv = \text{peso de la cuña con } \gamma' = 0.92 \text{ ton/m}^3$$

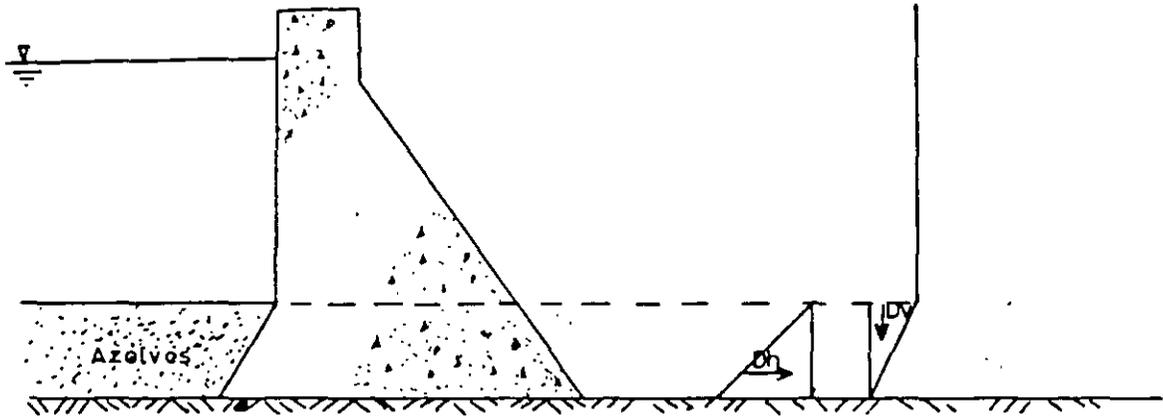


Fig. III.15 Empuje por azolves en una presa de gravedad.

Determinación del NAMu. Partamos de las figuras III.16 y III.17

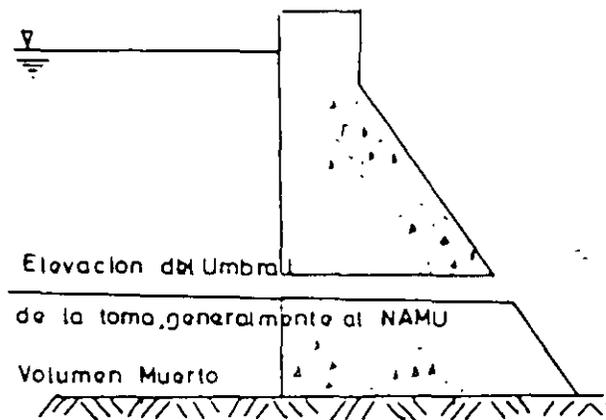


Fig. III.16 Umbral de la obra de toma.

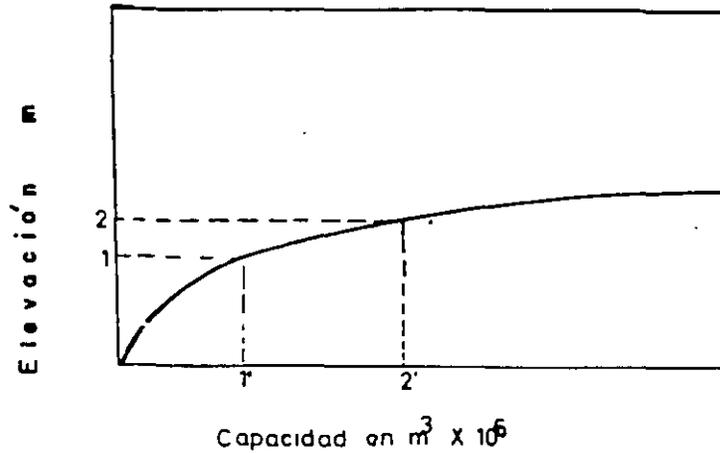


Fig III.17 Curva elevaciones capacidades

Sean:

- 1 Nivel del umbral de la toma (generalmente igual al NAMU)
- 1' Volumen (capacidad) bajo el umbral de la toma (generalmente igual al volumen muerto).
- 2 Elevación a la capacidad de azolves.
- 2' Capacidad de azolves.

El valor de 2' se fija de la siguiente manera:

Promediar el contenido de sedimentos medido en la estación hidrométrica cercana, en volumen anual, e incrementarlo en un porcentaje (del 5 al 30%) debido al arrastre de fondo.

Se fija una "vida útil" de la presa (período de diseño u horizonte económico).

El producto de ambas cantidades da la capacidad de azolves de diseño. Para fijar el NAMu, usualmente aceptado como nivel de azolves junto a la cortina, un procedimiento posi -

ble es el siguiente:

1' Se toma como un 50 al 70% de 2' y se obtiene 1 leyéndolo en la curva de elevaciones-capacidades.

Si 1 resulta menos que $2/3$ de 2, se pone $1 = 2/3$ de 2 y 1' lo que resulte.

Estas reglas se basan en el hecho de que el azolve no se deposita totalmente en capas horizontales y en que una parte importante (la de grano grueso) queda en la cola del vaso.

III.4.4. Empuje por hielo.

El hielo (en los sitios en que puede ocurrir el congelamiento de la S.L.A.) produce un empuje debido a su dilatación. En general se considera que el empuje actúa en la superficie libre del agua, con un valor de 15 ton por metro de espesor de la tajada de cortina que se analiza.

III.4.5. Sismo

Los sismos comunican aceleraciones a las presas que pueden aumentar las presiones del agua sobre ellas, así como los esfuerzos dentro de ellas mismas. Así se producirán fuerzas horizontales que actuarán en el paramento arriba y se producirán también fuerzas verticales que se traducen en choques

de la cimentación hacia abajo. No cabe dentro del alcance de estos apuntes discutir métodos dinámicos, por lo que sólo presentaremos el análisis pseudo-estático. La discusión anterior se ilustra en la figura III.18.

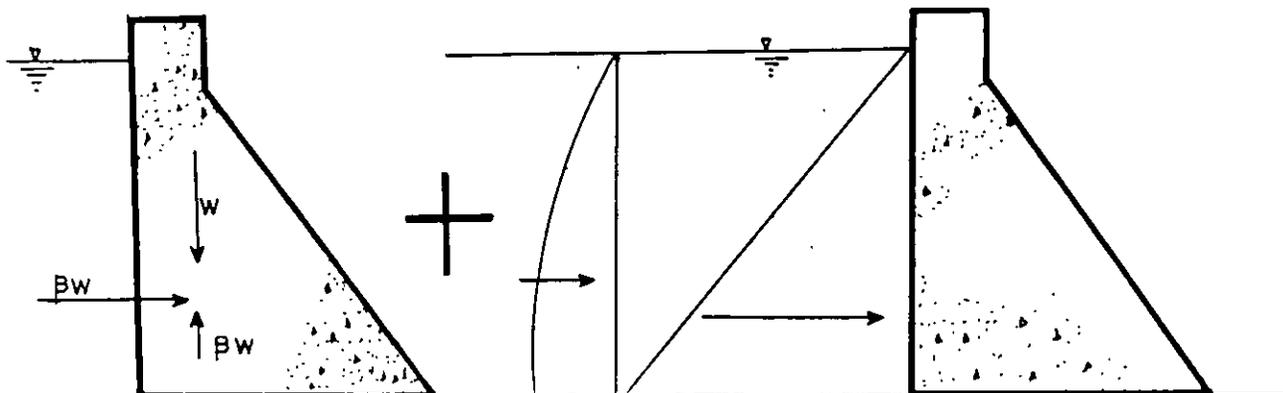


Fig III.18 Combinación de cargas producidas por sismo.

En esta figura los parámetros se definen como sigue:

$$\beta < 1$$

(puede ser distinto para sismo horizontal que para vertical; por otra parte, usualmente no se consideran ambos tipos de sismo simultáneamente).

$$g = 9.8 \text{ m/seg}^2$$

El diagrama parabólico es el empuje hidrostático adicional ocasionado por el efecto del sismo sobre el agua.

β es del orden de 0.05 a 0.15 en la mayor parte de las normas.

En algunos casos, el valor de β se ha tomado variable, para la presa, siendo β de la presa en la cimentación igual al β regional; β en la corona igual al doble o al triple del β regional. Fig. III.19.

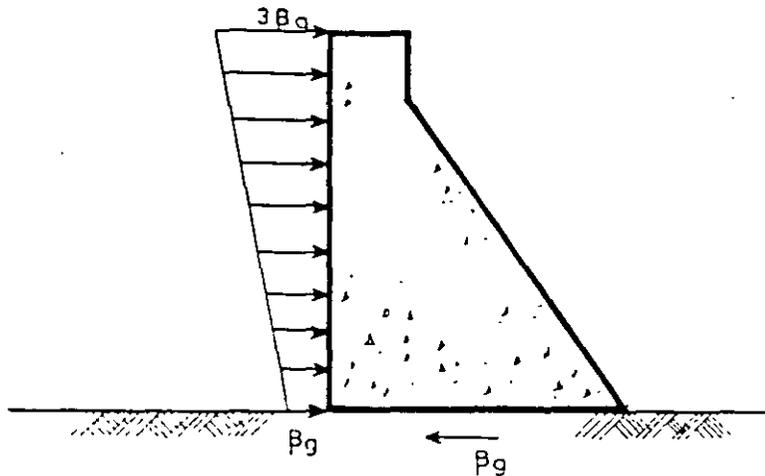


Fig. III.19 Criterio que considera las aceleraciones diferentes en cada nivel.

Para calcular el empuje del agua por sismo (análisis pseudo-estático) se aplican las siguientes fórmulas (debidas a Zangar):

$$P_{sismo} = C \gamma_a k H$$

Donde:

k coeficiente sísmico del lugar o de la presa

C coeficiente del agua.

C_m coeficiente máximo.

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right) + \sqrt{\frac{h}{H} \left(2 - \frac{h}{H} \right)} \right] \text{ Ver figura III.20}$$

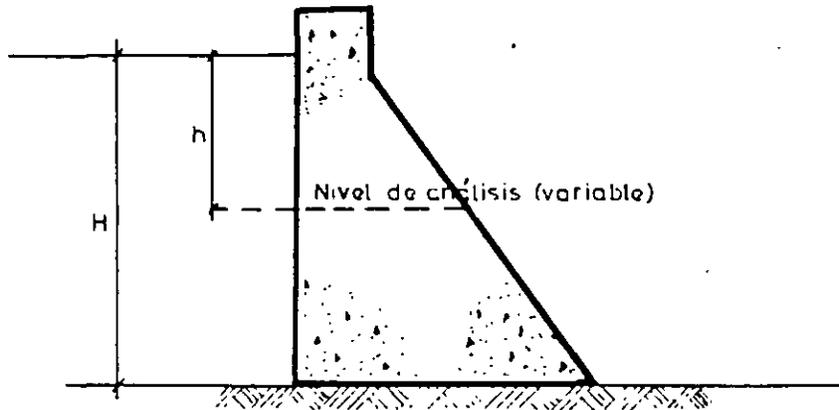


Fig. III.20 Variables que intervienen en el análisis del empuje del agua por sismo.

El valor de C_m se calcula con la tabla III.1, ver fig III.21

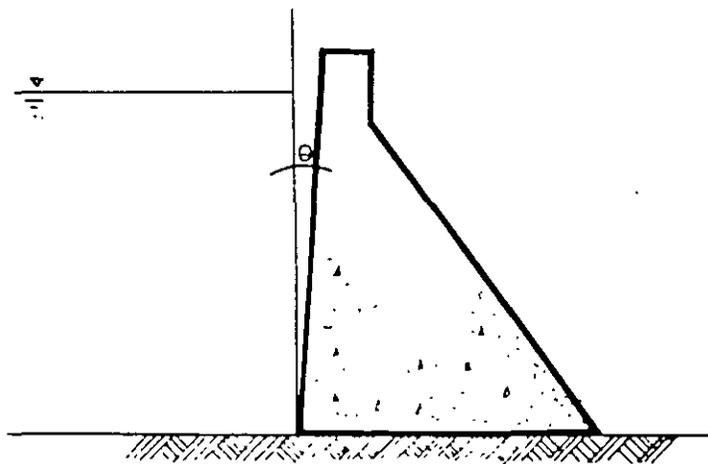


Fig. III.21 Angulo del paramento aguas arriba para cálculo de C_m .

θ	C_m
0°	0.726
10°	0.670
20°	0.600
30°	0.540

Tabla III.1 Valores de C_m para diferentes ángulos.

Si el paramento aguas arriba es vertical, puede usarse:

$$P_{sismo} = \frac{7}{8} \gamma_a k \sqrt{Hh}$$

Para el cálculo del empuje "hidrostático dinámico" total para cada nivel (analizaremos varios) se emplea la siguiente ecuación.

$$Esa = a \frac{C_m}{2} \gamma_a k H^2 \sec \theta$$

Aplicando a una profundidad $hsa = b h$

donde los parámetros a y b se dan en la tabla III.2

h/H	a	b
0.0	0.00	0.389
0.1	0.04	0.385
0.2	0.11	0.383
0.3	0.22	0.383
0.4	0.34	0.384
0.5	0.50	0.385
0.6	0.69	0.388
0.7	0.86	0.390
0.8	1.05	0.394
0.9	1.24	0.397
1.0	1.43	0.402

Tabla III.2 Valores de los parámetros a y b ,

III.4.6. Subpresión

Cuando se construyen drenes, el diagrama original de subpresiones se abate como se muestra en la fig. III.22.

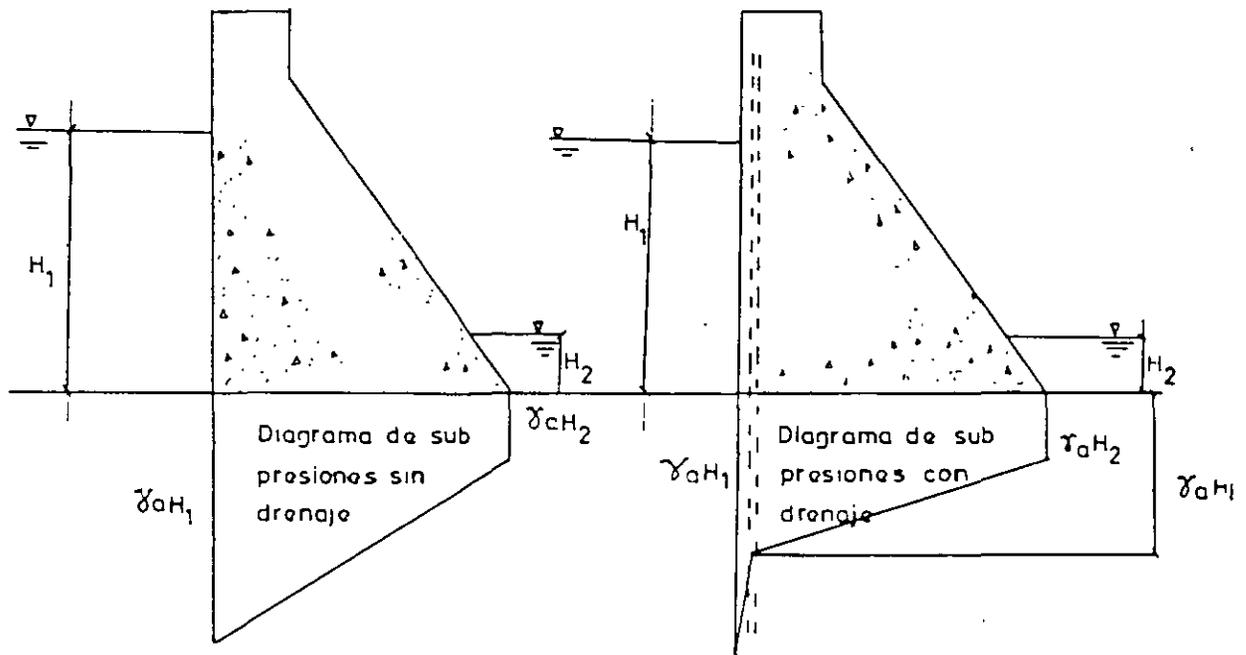


Fig. III.22 Diagramas de subpresión

El valor de H_c según el USBR (1975) se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_c = H_2 + 0.33 (H_1 - H_2)$$

Ejemplo III.1 Calcular las fuerzas que actúan en la sección mostrada en la figura III.23.

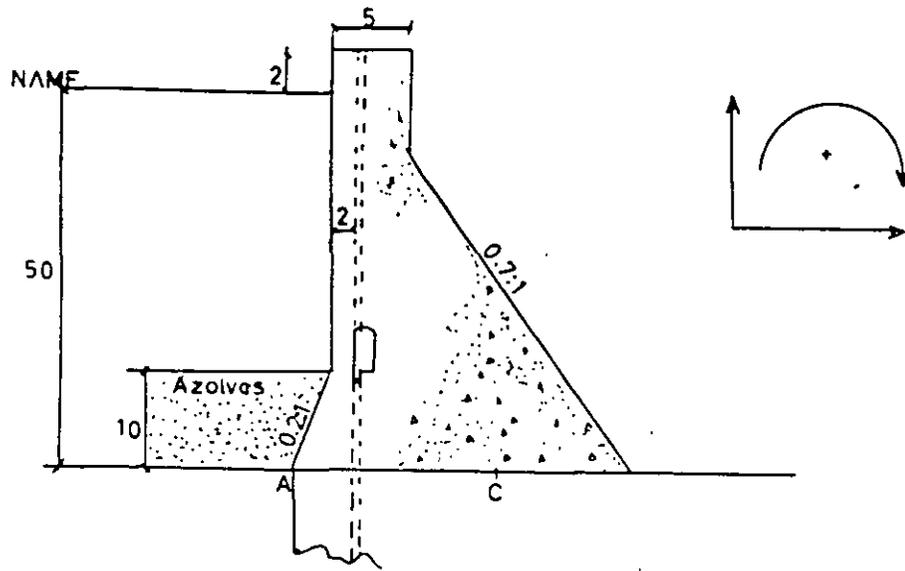


Fig. III.23 Sección para el ejemplo III.1

En la figura III.24 se muestra el diagrama de cuerpo libre de la presa.

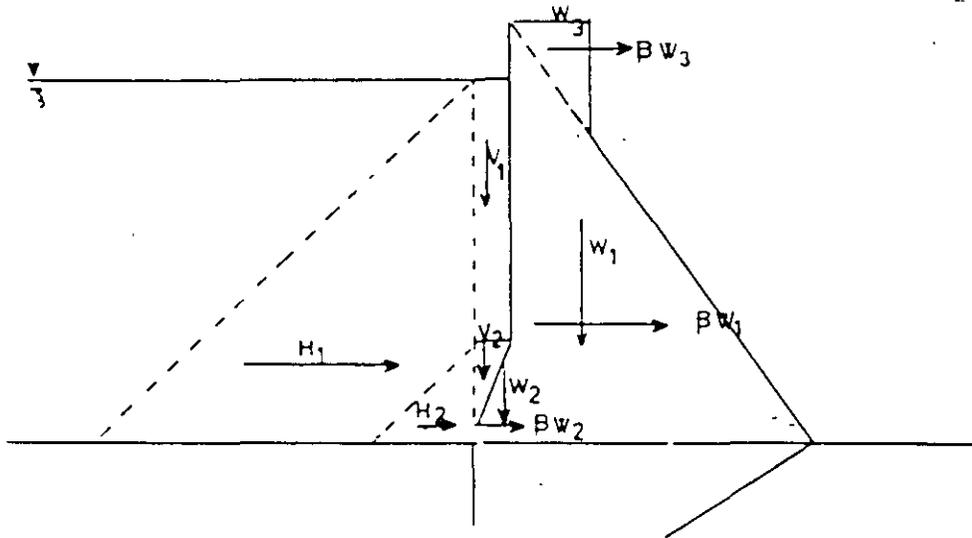


Fig. III.24 Diagrama de cuerpo libre de una presa de gravedad.

Empuje hidrostático:

$$H_1 = \frac{\gamma H^2}{2} = \frac{1 \times 50^2}{2} = 1250 \text{ ton}; \quad y_1 = 16.67 \text{ m (distancia al punto A)}$$

Azolve:

$$H_2 = \frac{\gamma_{\text{azolves}} H^2}{2} = \frac{0.36 \times 10^2}{2} = 18 \text{ ton} \quad y_2 = 3.33 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{2 \times 10}{2} \times 0.92 = 9.2 \text{ ton}; \quad x_2 = 0.67 \text{ m}$$

Peso del agua:

$$V_1 = \frac{(50 + 40)}{2} \times 2 = 90 \text{ ton}; \quad x_1 = 0.963 \text{ m}$$

Peso propio:

$$W_1 = \frac{52 \times .7 \times 52}{2} \times 2.4 = 2271 \text{ ton}; \quad x_{w_1} = \frac{1}{3} \times 52 \times .7 + 2 = 14.13 \text{ m}$$

$$W_2 = \frac{2 \times 10}{2} \times 2.4 = 24 \text{ ton}; \quad x_{w_2} = 1.33 \text{ m}$$

$$W_3 = \frac{5 \times 5/.7}{2} \times 2.4 = 42.9 \text{ ton}; \quad x_{w_3} = 2 + 3.33 = 5.33 \text{ m}$$

Subpresión: Ver figura III.25

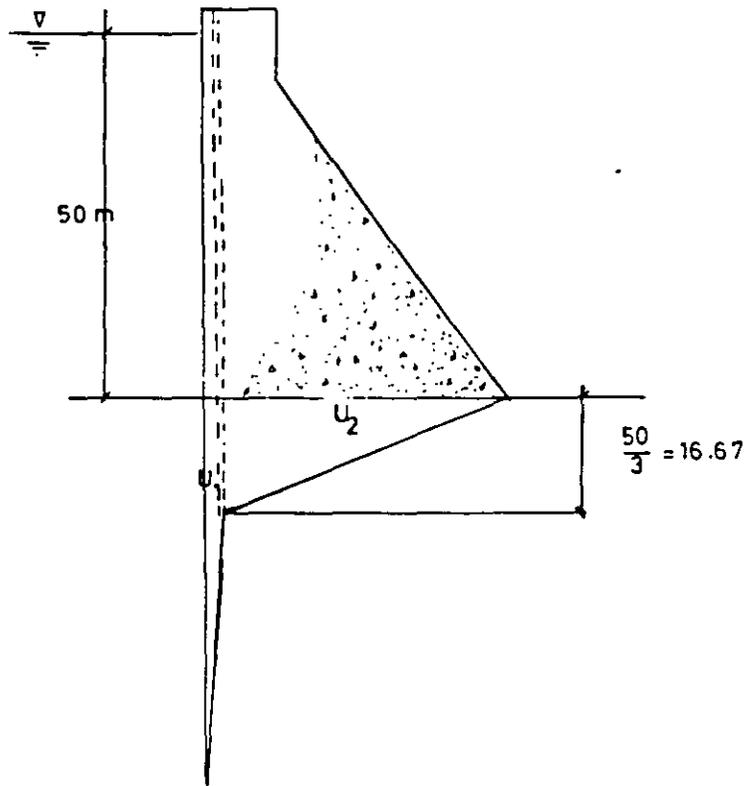


Fig. III.25 Diagramas de subpresión

$$u_1 = \frac{50 + 16.67}{2} \times 4 = 133 \text{ ton}; \quad x_{u_1} = 1.67 \text{ m}$$

$$u_2 = \frac{16.67 (52 \times .7) - 2}{2} = 287 \text{ ton}; \quad x_{u_2} = 15.47 \text{ m}$$

Sismo en el cuerpo de la presa:

Considérese $\epsilon = 0.1$ y constante en toda sección

$$\epsilon w_1 = 0.1 \times 2271 = 227.1 \text{ ton}$$

$$\epsilon w_2 = 0.1 \times 24 = 2.4 \text{ ton}$$

$$\epsilon w_3 = 0.1 \times 42.9 = 4.29 \text{ ton}$$

$$y_{\Delta 1} = 17.33 \text{ m}$$

$$y_{\Delta 2} = 3.33 \text{ m}$$

$$y_{\Delta 3} = 49.62 \text{ m}$$

Sismo en el agua:

$$Esa = a \frac{Cm}{2} \gamma_a k H^2 \sec \theta$$

$$Esa = 1.43 \times \frac{.726}{2} \times 1 \times .15 \times 50^2 \times \sec 0^\circ = 194.66 \text{ ton}$$

$$hsa = b H = .402 \times 50 = 20.1 \text{ m}$$

Obtengamos las resultantes de las fuerzas:

Empuje hidrostático y azolve horizontal:

$$H_1 = 1250 \text{ ton}; \quad y = 16.67 \text{ m}$$

$$H_2 = 18 \text{ ton}; \quad y = 3.33 \text{ m}$$

$$R = 1250 + 18 = 1268 \text{ ton} \quad \text{Hacia la derecha}$$

$$M = 1250 \times 16.67 + 18 \times 3.33 = 20\,897.44$$

$$a = \frac{M}{R} = \frac{20\,897.44}{1268} = 16.48 \text{ m}$$

Peso del agua y azolve vertical:

$$V_1 = 90 \text{ ton}; \quad x = .963 \text{ m}$$

$$V_2 = 9.2 \text{ ton}; \quad x = .67 \text{ m}$$

$$R = 99.2 \text{ ton} \quad \text{Hacia abajo}$$

$$M = 90 \times .963 + 9.2 \times .67 = 92.834$$

$$a = \frac{92.834}{99.2} = 0.935 \text{ m}$$

Peso propio.

$$W_1 = 2271 \text{ ton}; \quad x = 14.13 \text{ m}$$

$$W_2 = 24 \text{ ton}; \quad x = 1.33 \text{ m}$$

$$W_3 = 42.9 \text{ ton}; \quad x = 5.33 \text{ m}$$

$$R = 2337.9 \text{ ton} \quad \text{Hacia abajo}$$

$$M = 2271 \times 14.13 + 24 \times 1.33 + 42.9 \times 5.33 = 32439.8$$

$$a = \frac{32349.807}{2337.9} = 13.837 \text{ m}$$

Sismo en la presa:

$$R = 227.1 + 2.4 + 4.29 = 233.79 \text{ ton}$$

$$M = 227.1 \times 17.33 + 2.4 \times 3.33 + 4.29 \times 49.62 = 4156.5 \text{ ton-m}$$

$$a = \frac{M}{R} = \frac{4156.5}{233.79} = 17.77 \text{ m}$$

Subpresiones:

$$U_1 = 133 \text{ ton}; \quad x = 1.67 \text{ m}$$

$$U_2 = 287 \text{ ton}; \quad x = 15.47 \text{ m}$$

$$R = 420 \text{ ton} \quad \text{Hacia arriba}$$

$$M = 133 \times 1.67 + 287 \times 15.47 = 4662 \text{ m}$$

$$a = \frac{4662}{420} = 11.1 \text{ m}$$

Debe hacerse una revisión de los esfuerzos efectivos en el extremo (de la base de la presa) aguas arriba sin considerar la subpresión y compararlos con ésta, si la subpresión resultara mayor se supone que se formará una grieta horizontal que llegará hasta el punto en que los esfuerzos efectivos y subpresión son iguales, a partir de este punto hacia aguas abajo se delimitará la sección donde se apoya la pre-

sa, ver figura III.26.

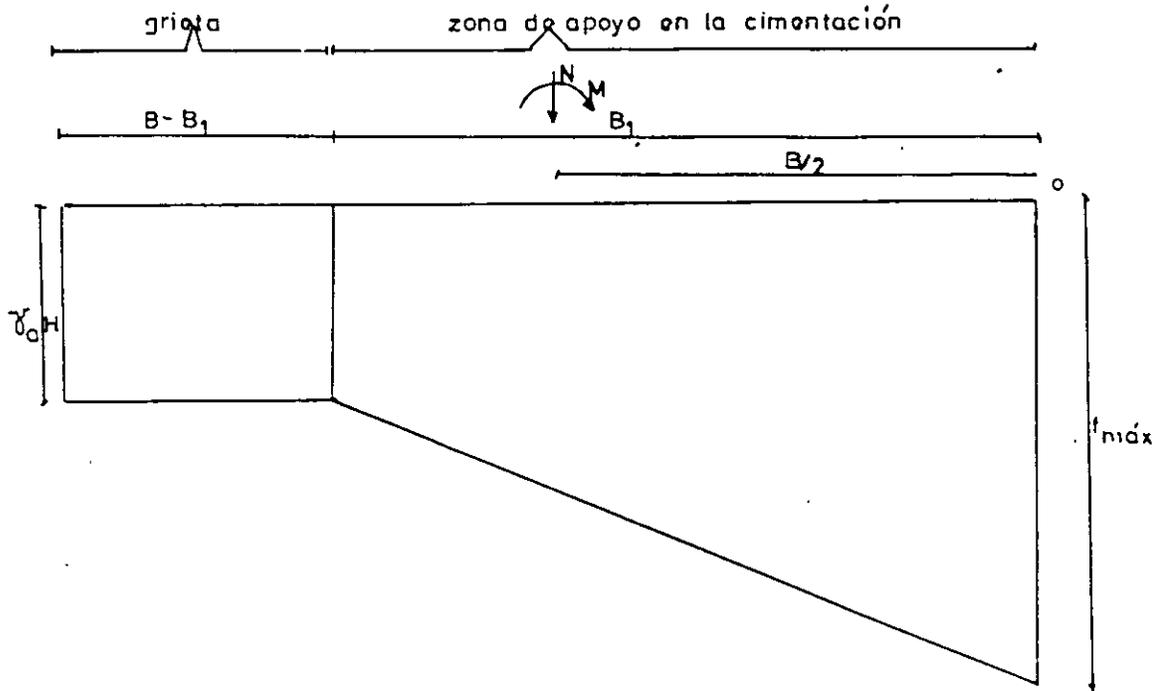


Fig. III.26 Diagrama de esfuerzos efectivos.

De la figura III.26:

$$F_v = 0, \text{ implica que: } N = \gamma_a H (B - B_1) + \frac{\gamma_a H + \delta_{\max}}{2} B_1$$

$M_o = 0$, implica que:

$$M - \frac{N B}{2} + \gamma_a H (B - B_1) \frac{(B + B_1)}{2} + \frac{1}{3} \gamma_a H B_1^2 + \delta_{\max} \frac{B_1^2}{6} = 0$$

De las dos anteriores ecuaciones se obtiene:

$$B_1 = \frac{3}{2} \frac{N B - 2 M - \gamma_a H B^2}{N - \gamma_a H B}$$

$$\delta_{\max} = \gamma_a H + 2 \frac{N - \gamma_a H B}{B_1}$$

Ejemplo III.2 Calcular la superficie sobre la cual se apoya la presa, cuya sección se muestra en la figura III.27.

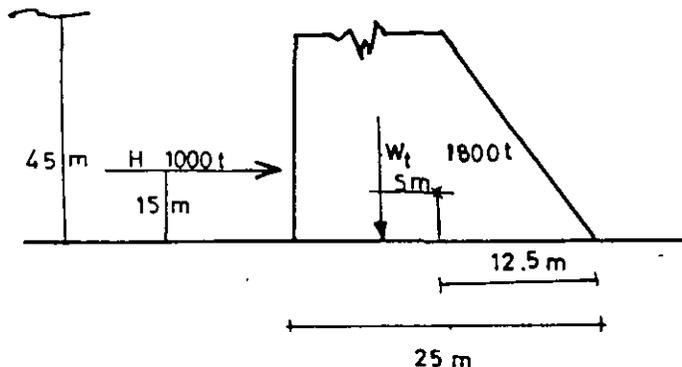


Fig. III.27 Sección de la presa del problema III.2

De la figura III.27 tenemos que:

$W_t = 1800 \text{ ton}; \quad \bar{x} = 5 \text{ m}$ a la izquierda del centro de gravedad.

$H_t = 1000 \text{ ton}; \quad \bar{y} = 15$ sobre el centro de gravedad.

El área será:

$A = 25 \times 1 = 25 \text{ m}^2$ Recuérdese que es por unidad de ancho el análisis.

El momento de inercia I será:

$$I = \frac{1 \times (25)^3}{12} = 1302 \text{ m}^4$$

El momento con respecto al centro de gravedad:

$$M = - 1800 \times 5 + 1000 \times 15 = 6000 \text{ ton-m}$$

Calculemos los esfuerzos efectivos:

$$y_{m\acute{a}x} = 12.50 \text{ m}$$

$$\delta_{BA} = \frac{N + M}{A - I} y_{m\acute{a}x}$$

$$\delta_B = \frac{1800}{25} + \frac{6000}{1302} \times 12.5 = 129.603 \text{ ton/m}^2 \text{ (compresi3n)}$$

$$\delta_A = \frac{1800}{25} - \frac{6000}{1302} \times 12.5 = 14.396 \text{ ton/m}^2 \text{ (compresi3n)}$$

Sabemos que el valor de la subpresi3n es $\gamma_a H = 45 \text{ ton/m}^2$ y si la comparamos con los valores de δ_A y δ_B , vemos que δ_A es menor, lo cual implica que la presa estar3 apoyada en el agua, determinemos la longitud de la grieta, ver figura III.28.

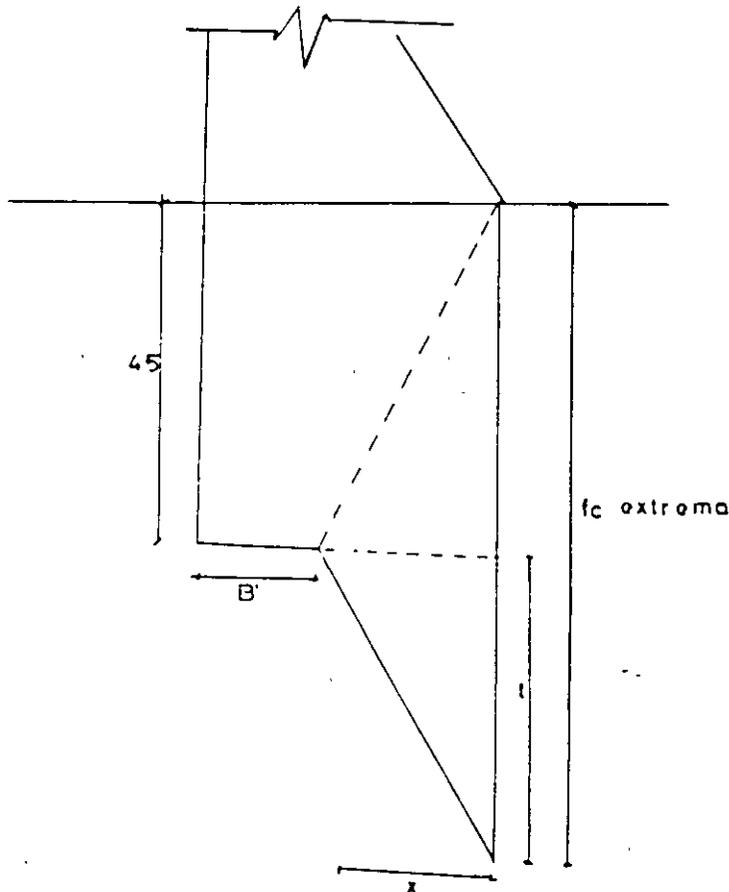


Fig. III.28 Diagrama de esfuerzos efectivos.

De la figura III.28:

$$F_v = 0; 1800 = 45 \times 25 + \frac{t \cdot x}{2} \dots\dots\dots 1$$

$$M_{talón} = 0; 1000 \times 15 + 1800 \times 7.5 = 45 \times 25 \times 12.5 + \frac{x \cdot t}{2} (25 - x/3) \dots\dots\dots 2$$

De la ecuación 1:

$$t \cdot x = 1350 \text{ ton} \dots\dots\dots 3$$

De la ecuación 2:

$$12.5 \times t - \frac{x^2}{6} t = 14437.5 \dots\dots\dots 4$$

Sustituyendo 3 en 4:

$$\frac{x^2}{6} t = 2437.5 \dots\dots\dots 5$$

De las ecuaciones 3 y 5:

$$x = 10.883 \text{ m} \dots\dots\dots 6$$

Sustituyendo 6 en 3:

$$t = 124.615 \text{ ton/m}^2 \text{ y } \sigma_c = 124.6 + 45 = 169.6 \text{ ton/m}^2$$

Las hipótesis y la forma de hacer esta revisión varían según las normas que se sigan, pero el ejemplo anterior da una idea de los conceptos principales que intervienen y de una manera de tomar en cuenta la posibilidad de agrietamiento debido a sismos. Evidentemente, si esta posibilidad existe, la presa debe ser estable aun ante la presencia de la grieta,

lo cual implica que los esfuerzos internos deben mantenerse dentro de los límites admisibles con los factores de seguridad aceptados previamente, aun si la estructura se apoya tan solo en la parte de aguas abajo de la grieta (B, en la figura III.26). Así mismo, debe resistir al deslizamiento apoyada solamente sobre esa parte.

III.5 Cálculo de esfuerzos principales

El siguiente paso es calcular los esfuerzos verticales sobre planos horizontales utilizando la fórmula de la escuadría a flexocompresión, tomando en cuenta las fuerzas que se han descrito en los párrafos anteriores (para distintos niveles Z), fig. III.29.

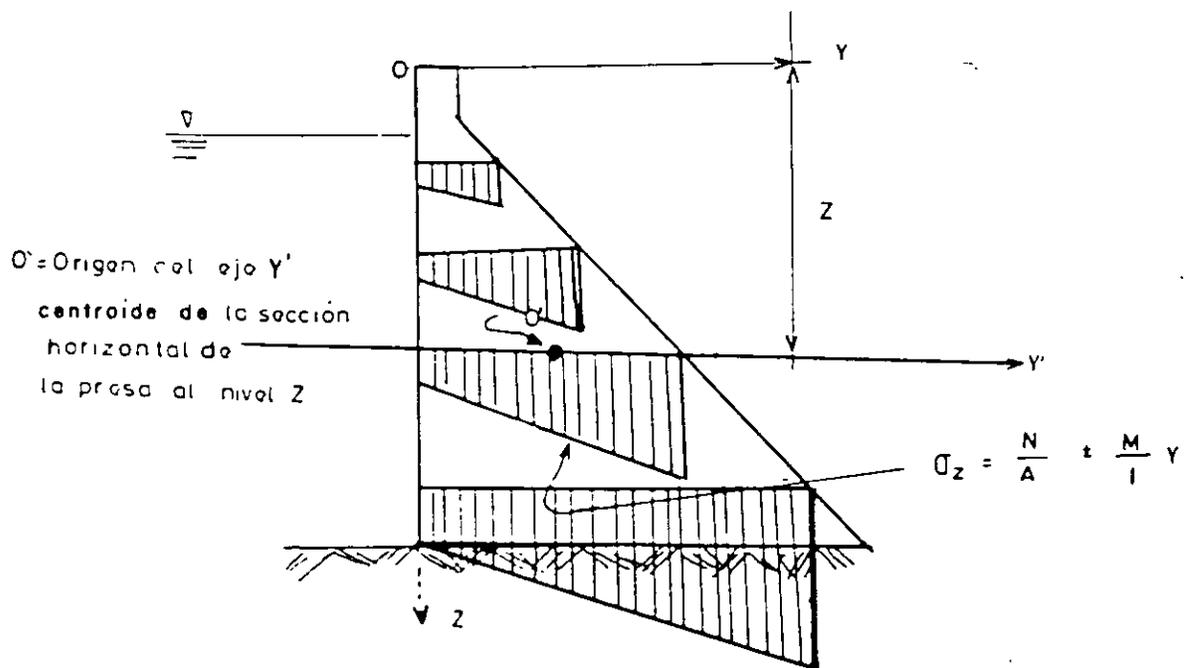


Fig. III.29 Esfuerzos verticales.

A continuación, se deben calcular los esfuerzos cortantes en planos verticales, luego los horizontales y, por último, los esfuerzos normales horizontales sobre planos verticales. Para esto se puede utilizar el procedimiento que se desarrolla en el cuadro siguiente:

III.5.1 Esfuerzos en presas de gravedad, incluidos los efectos de existencia de agua en ambos paramentos y sismo.

Esta es una adaptación de la Parte II "Methods of Analysis, The Gravity Method of Stress and Stability Analysis". USBR, 1975.

III.5.1.1. Cambio en la presión del agua debido a efectos de sismo horizontal P_E .

$$P_E = C \gamma \lambda Z$$

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{h}{Z} \left(2 - \frac{h}{Z} \right) + \sqrt{\frac{h}{Z} \left(2 - \frac{h}{Z} \right)} \right]$$

Donde:

- C = coeficiente del agua.
- λ = coeficiente sísmico del lugar o la presa.
- γ = peso volumétrico del agua en el embalse.
- Z = altura total de la presa.
- h = altura de la sección en análisis.

C_m = coeficiente máximo, ver tabla III.1 y fig.

III.21

III.5.1.2. Esfuerzos normales en un plano horizontal, σ_z

$$\sigma_z = a + b y$$

$$a = \sigma_{zd} = \frac{\Sigma W}{T} - \frac{6 \Sigma M}{T^2}$$

$$b = \frac{1.2 \Sigma M}{T^3}$$

Donde:

σ_{zd} = esfuerzo normal en el paramento aguas abajo.

ΣW = suma de fuerzas verticales sobre la sección.
en estudio.

ΣM = suma de momentos.

T = ancho de la presa.

y = distancia recorrida en la dirección de T a
partir del C.G. de la presa. Ver Fig. III.29

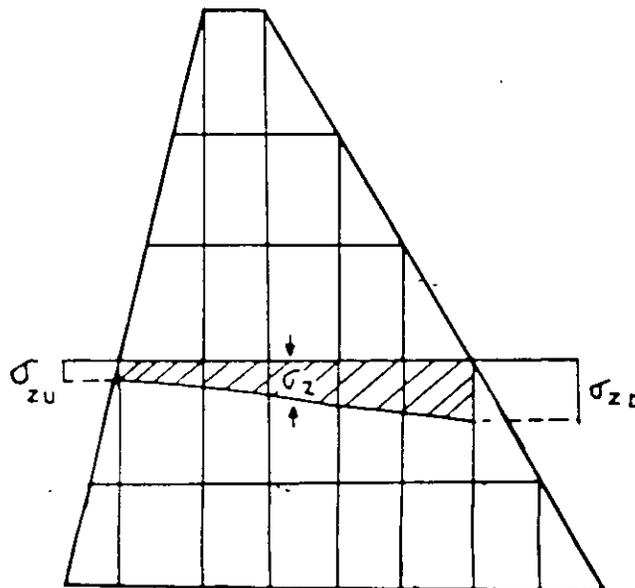


FIG. III.30 Esfuerzos normales en un plano horizontal.

III.5.1.3. Esfuerzos cortantes en un plano horizontal o vertical, $\zeta_{yz} = \zeta_{zy}$

$$\zeta_{zy} = \zeta_{yz} = a_j + b_j y + c_j y^2$$

$$a_j = \zeta_{zyd} = (\sigma_{zd} - p' \pm p'_E) \tan \phi_d$$

$$b_j = - \frac{J}{T} \left(\frac{\delta \Sigma V}{T} + 2 \zeta_{zyu} + 4 \zeta_{zyd} \right)$$

$$c_j = \frac{J}{T^2} \left(\frac{\delta \Sigma V}{T} + 3 \zeta_{zyu} + 3 \zeta_{zyd} \right)$$

Se debe revisar para $y = T$

$$\zeta_{zyu} = - (\sigma_{zu} - P \pm p'_E) \tan \phi_u$$

Nota: (T Use (+) si la aceleración horizontal de la cimentación es hacia aguas arriba).

(≡ Use (-) si la aceleración horizontal de la cimentación es hacia aguas abajo).

Las notaciones empleadas indican lo siguiente:

- P presión hidrostática en el paramento aguas arriba.
- p' presión hidrostática en el paramento aguas abajo.
- P'_E Cambio de presión por sismo aguas abajo.
- ΣV Suma de fuerzas horizontales sobre la sección

ϕ Angulo entre la cara de un paramento y la vertical.

Los subíndices u y d , indican condiciones aguas arriba y aguas abajo respectivamente. Ver fig. III.31.

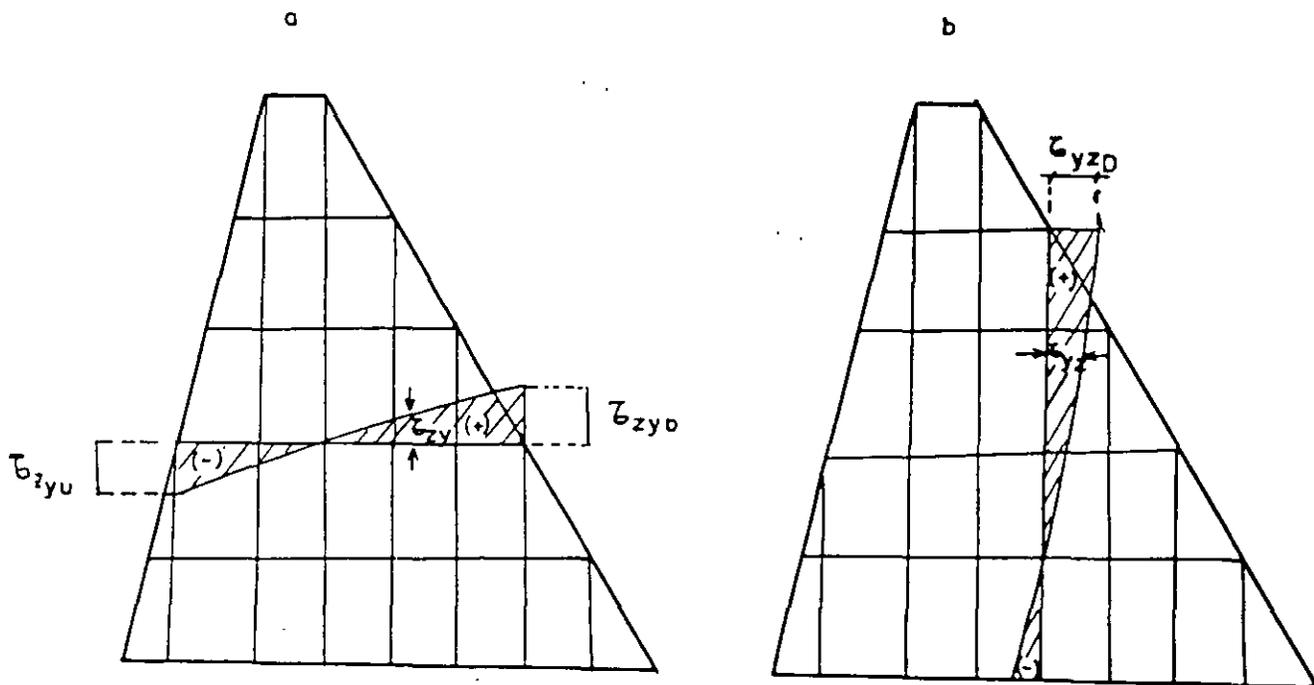


Fig. III.31 a) Esfuerzos cortantes en un plano horizontal.

b) Esfuerzos cortantes en un plano vertical.

III.5.1.4. Esfuerzos normales en un plano vertical, σ_y

$$\sigma_y = a_2 + b_2 y + c_2 y^2 + d_2 y^3$$

$$a_2 = \sigma_{yd} = a_1 \tan \phi_d + p' \pm \frac{P'_E}{E}$$

$$b_2 = b_1 \tan \phi_d + \frac{\partial a_j}{\partial z} \pm \lambda w_c$$

$$\frac{\partial a_j}{\partial z} = \tan \phi_d \left[\frac{\partial \sigma_{zd}}{\partial z} - \omega^o \pm \frac{T \partial p'_c}{\partial z} \right] + \frac{\partial \tan \phi_d}{\partial z} (\sigma_{zd} - p' \pm \frac{T}{\gamma} p'_E)$$

(ω^o será omitido si no hay agua en el paramento aguas abajo).

$$\frac{\partial \sigma_{zd}}{\partial z} = \omega_c + \tan \phi_u \left(\frac{12 \Sigma M}{T^3} + \frac{2 \Sigma W}{T^2} - \frac{2p}{T} \pm \frac{2P_E}{T} \right) + \tan \phi_d$$

$$\left(\frac{12 \Sigma M}{T^3} - \frac{4 \Sigma W}{T^2} + \frac{4p'}{T} \pm \frac{4P'_E}{T} \right) - \frac{6 \Sigma V}{T^2}$$

$$\frac{\partial P'_E}{\partial z} = \frac{(P'_E - P'^*_E)}{\Delta z}$$

$$\frac{\partial \tan \phi_d}{\partial z} = \frac{\tan \phi_d - \tan \phi_d^*}{\Delta z}$$

$$C_2 = C_j \tan \phi_d + \frac{1}{z} \frac{\partial b_j}{\partial z}$$

$$\frac{\partial b_j}{\partial z} = - \frac{1}{T^2} \left[6 \left(\frac{\partial \Sigma M}{\partial z} \right) - \frac{\partial T}{\partial z} \left(\frac{12 \Sigma V}{T} + 2 \zeta_{zyu} + \right. \right.$$

$$\left. + 4 \zeta_{zyd} \right] - \frac{1}{T} \left[2 \left(\frac{\zeta_{zyu}}{z} \right) + 4 \left(\frac{\zeta_{zyd}}{z} \right) \right]$$

$$\frac{\partial \Sigma V}{\partial z} = - (p - p' \pm \lambda \omega_c T \pm P_E \pm P'_E)$$

$$\frac{\partial T}{\partial Z} = \tan \phi_u + \tan \phi_d$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tau_{zyu}}{\partial Z} &= \tan \phi_u \left(w^o - \frac{\partial \sigma_{zu}}{\partial Z} + \frac{T \partial P_E}{\partial Z} + \right. \\ &+ \left. \frac{\partial \tan \phi_u}{\partial Z} (P_+ - P_E - \sigma_{zu}) \right) \end{aligned}$$

(° W será omitido si no existe agua en el paramento aguas abajo).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial Z} &= w_c + \tan \phi_u \left(\frac{4P}{T} + \frac{4P_E}{T} - \frac{4\Sigma W}{T^2} - \frac{12\Sigma M}{T^3} \right) + \\ &+ \tan \phi_d \left(\frac{2\Sigma W}{T^2} + \frac{2P'_E}{T} - \frac{2P'}{T} - \frac{12\Sigma M}{T^3} \right) + \frac{6\Sigma V}{T^2} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \tau_{zyd}}{\partial Z} = \frac{\partial a_j}{\partial Z}$$

$$\frac{\partial P_E}{\partial Z} = \frac{(P_E - P_E^*)}{\Delta Z}$$

$$\frac{\partial \tan \phi_u}{\partial Z} = \frac{\tan \phi_u - \tan \phi_u^*}{\Delta Z}$$

$$d_2 = \frac{1}{3} \frac{\partial C_j}{\partial Z}$$

$$\frac{\partial C_j}{\partial Z} = \frac{1}{T^3} \left[6 \left(\frac{\partial \Sigma V}{\partial Z} - \frac{\partial T}{\partial Z} \left[\frac{18 \Sigma V}{T} + 6 \zeta_{zyu} + 6 \zeta_{zyud} \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{T^2} \left[3 \left(\frac{\partial \zeta_{zyu}}{\partial Z} \right) + 3 \left(\frac{\partial \zeta_{zyd}}{\partial Z} \right) \right] \right]$$

Se debe revisar para $y = T$

$$\sigma_{yu} = \left(P \pm \frac{T}{P_E} - \zeta_{zyu} \tan \phi_u \right)$$

Donde:

w = peso volumétrico del agua en el paramento a guas
abajo.

w_c = peso volumétrico del concreto.

El asterisco (*) indica que la cantidad debe ser determi-
nada en un plano horizontal a una distancia ΔZ sobre la
sección en análisis. Ver Fig. III.32

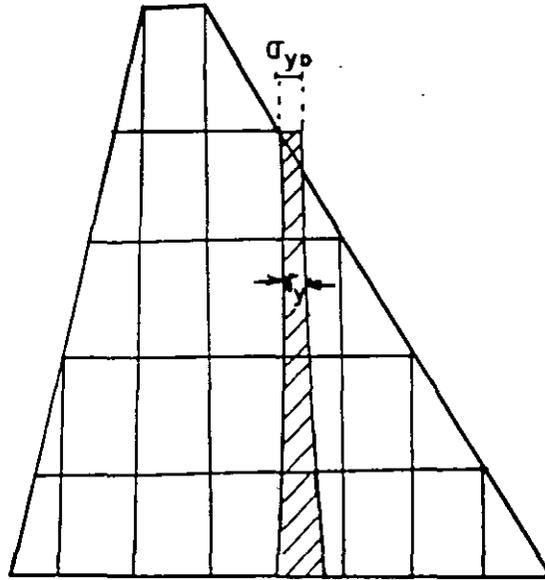


Fig. III.32 Esfuerzos normales en un plano vertical.

III.5.1.5. Magnitud de esfuerzos principales σ_{p_1} , σ_{p_2}

$$\sigma_{p_1} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{zy})^2}$$

Si $(\sigma_z - \sigma_y) > 0$, use (+)

Si $(\sigma_z - \sigma_y) < 0$, use (-)

Alternando los signos se obtiene σ_{p_2} el cual es perpendicular a σ_{p_1} .

Se debe revisar para el paramento aguas arriba

$$\sigma_{p_1} \text{ o } \sigma_{p_2} = \sigma_{zu} \sec^2 \phi_u - (P \pm P_E) \tan^2 \phi_u$$

y para el paramento aguas abajo.

$$\sigma_{p_1} \text{ o } \sigma_{p_2} = \sigma_{zd} \sec^2 \phi_d - [P' \pm P'_E] \tan^2 \phi_d$$

Ver figura III.33

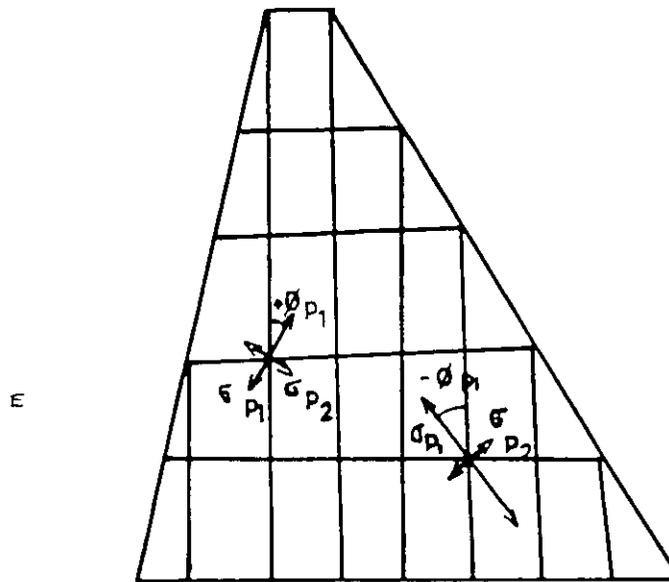


Fig. III.33 Esfuerzos principales

III.5.1.6. Dirección de esfuerzos principales ϕ_{p_j}

$$\phi_{p_j} = \frac{1}{2} \arctan \left(- \frac{\tau_{zy}}{\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}} \right)$$

Si $\tan 2\phi_{p_j} = (+)$, $0 < \phi_{p_j} < (+45^\circ)$

Si $\tan 2\phi_{p_j} = (-)$, $(-45^\circ) < \phi_{p_j} < 0$

Ambos medidos en forma vertical en el sentido de las mane-

cillas del reloj.

Revise los paramentos aguas arriba y aguas abajo:

$$\phi_{p1} = \phi \quad \text{o} \quad (90 - \phi)$$

II.5.1.7. Método para la construcción de líneas de esfuerzos principales.

1. De la intersección de un plano vertical escogido y la base de la sección del cantilever (punto 1), mida ϕ_{p1} y trace una tangente 1-2, del punto 1 a la mitad de la distancia de la base a la sección horizontal A-B-inmediato superior, ver figura III.34.
2. En los puntos de la sección A-B, formados por intersecciones con planos verticales, entre los cuales la prolongación de la línea 1-2 pudiera pasar, mídase el ángulo del esfuerzo principal en esos puntos y trácense líneas rectas prolongándose hasta que se intersequen.
3. ~~Entre~~ Entre este punto de intersección y el punto 2, trácese una recta 2-3 hasta la semidistancia entre las secciones A-B y C-D, esta última sección inmediata superior a A-B, donde se alojará el punto 3.
4. Repítase la operación descrita en 3, hasta llegar a -

la última sección (en la cresta de la presa).

5. A través de los puntos de intersección de las líneas -- tangentes a los ángulos y los planos de las secciones horizontales (o verticales), trace las líneas de esfuerzos principales.
6. De la intersección de un plano horizontal, y el paramento aguas arriba (o de la intersección de un plano vertical y la base), mida el ángulo complementario correspondiente al del esfuerzo principal y dibuje la tangente - 5-6, situando el punto 5 en el paramento aguas arriba y el punto 6 en la semidistancia del paramento aguas arriba y la primera línea de esfuerzos principales ya dibujada.
7. Desde 6, dibuje la tangente 6-7, perpendicular a la primera línea de esfuerzos principales, prolongándola hasta la mitad de la distancia de esta última y la siguiente - línea de esfuerzos principales.
8. Continúe el proceso, trazando todas las perpendiculares a las líneas de esfuerzos principales hasta cubrir toda la sección.
9. Conecte los puntos de intersección de estas nuevas líneas y las de esfuerzos principales y se obtendrá las líneas de esfuerzos principales complementarios.

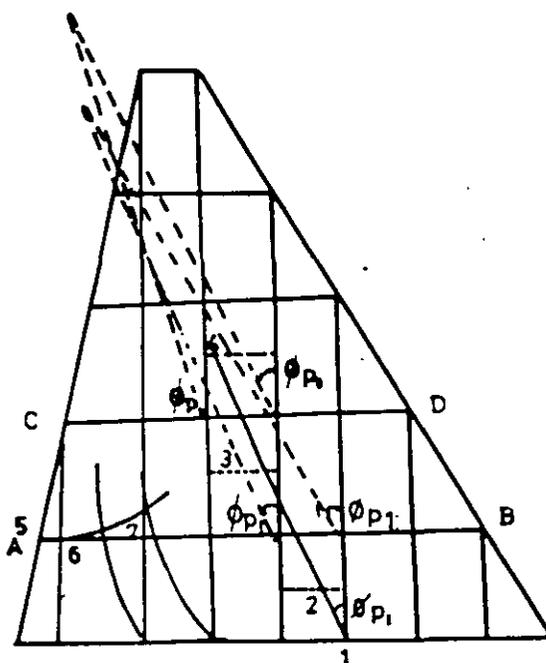


Fig. III.34 Líneas de esfuerzos principales.

Teniendo calculados todos los esfuerzos normales y tangenciales en planos horizontales y verticales, se pueden calcular los esfuerzos principales en cada punto y trazar las trayectorias correspondientes.

En el caso de presas pequeñas, de relativamente poca importancia, todo este cálculo de esfuerzos puede suprimirse, bastando con demostrar la estabilidad con las condiciones de no deslizamiento y no volteo.

Por otra parte, debemos recalcar que se está suponiendo un

análisis bidimensional, en que cada bloque de la cortina se supone funcionando independientemente de los laterales, a los que sólo se une por medio de juntas de contracción abiertas, selladas por un material sumamente deformable, incapaz de transmitir esfuerzos de un bloque a otro. Si la presa se piensa construir monolíticamente (inyectando las juntas), debe utilizarse un método como el de los arcos-muro.

III.6 Combinaciones de carga

En el análisis de cargas deben considerarse las siguientes combinaciones:

a) Condiciones normales

- . Presa llena al NAMO
- . Empuje hidrostático
- . Peso propio y de accesorios
- . Subpresión
- . Azolves
- . Carga por cambios de temperatura (sólo si la presa va a ser monolítica)
- . Hielo

b) Condiciones Extraordinarias:

- . Presa llena al NAME (o presa al NAMO + SISMO considerado con métodos pseudoestáticos)
- . Empuje hidrostático
- . Peso propio y de accesorios

- . Subpresión
 - . Azolves
 - . Cambios de temperaturas (para monolítica).
- c) Condiciones Extremas: (ver nota pág. 194)
- . Presa llena al NAMO
 - . Empuje hidrostático
 - . Peso propio y de accesorios
 - . Subpresión
 - . Azolves
 - . Cambios de temperaturas (presa monolítica)
 - . Sismo de diseño (sismo máximo creíble y métodos dinámicos de análisis)
- d) Presa Vacía
- . Con sismo, o
 - . sin sismo
- e) Otras condiciones de carga especiales a juicio del proyectista.

III.7 Condiciones de seguridad

Se deberán analizar los siguientes conceptos:

1. Esfuerzos máximos de compresión (principales) que deben ser menores que los permisibles
2. Esfuerzos mínimos (principales) (pueden ser negativos, tensiones en algunos casos), mayores que los permisibles

(en valores absolutos, menores).

3. Resistencia al deslizamiento, que debe ser superior a las fuerzas deslizantes.

Esfuerzos permisibles. La resistencia a la compresión que desarrolla el concreto en forma definitiva, no la alcanza a los 28 días, sino con una edad que oscila entre los 90 días y los dos años. Esta resistencia viene a ser del orden de 1.75 f_c' representa la resistencia a los 28 días, medida en pruebas tipo ACI.

El U.S.B.R. recomienda para esfuerzos de compresión:

$$\text{Resistencia de diseño} = \frac{\text{Resistencia Última}}{F.S.}$$

Siendo:

F.S. = 3 para combinaciones de carga ordinarias

F.S. = 2 para combinaciones de carga extraordinarias

F.S. = 1 para combinaciones de carga extremas.

Considerando para condiciones iniciales f_c' y para condiciones finales 1.75 f_c' .

Para el cálculo de esfuerzos mínimos se emplea la siguiente ecuación:

$$\sigma_{-u} = "p" \gamma H - \frac{\delta \tau}{F.S.}$$

Donde:

γH = subpresión máxima

"p" = término de reducción de subpresión: igual a uno si no hay drenes y 0.4 si los hay.

\tilde{f}_t = resistencia última a la tensión en el concreto

\tilde{f}_t = 0.05 de la resistencia última a compresión

0.05 x 1.75 f_c' en condiciones finales.

Para que no haya deslizamiento se debe cumplir que:

$$F.C. > F.S.$$

Donde: F.S. es un factor de seguridad, que vale:

3 para condiciones de carga ordinarias

2 para combinaciones de carga extraordinarias

1 para combinaciones de carga extremas.

Calculándose F.C. con la ecuación:

$$F.C. = \frac{c A + N \tan \phi}{\Sigma f_{zas \text{ horiz.}} \text{ cortante}} \text{ (coeficiente de fricción-}$$

Donde:

c = cohesión del concreto (del orden de 0.1 f_c') o de la liga con la cimentación.

ϕ = ángulo de fricción interna del concreto (45°) o de la liga en la cimentación.

A = área de la superficie de desplante o de la sección horizontal a un nivel z cualquiera al

que se este realizando el análisis.

Nota:

Para aceptar los F.S. anteriores, deben calcularse todas las fuerzas con la mayor aproximación a la realidad; esto no es cierto en el caso del sismo, si sólo se emplea el método pseudo-estático, por lo que convendría ser más conservador en ese caso y exigir un F.S. del orden de 1.5 a 2 para la combinación de cargas "C".

III.8 Método de las cargas de prueba (Trial load)

También se le conoce como método de los arcos-muros. Este método trata a la cortina como un monolito empotrado en el fondo y las laderas de la boquilla, y se emplea, obviamente, cuando la construcción se va a hacer así, inyectando las juntas para obtener el trabajo monolítico de la estructura. Entonces se analiza por tanteos, distribuyendo las cargas entre los sistemas estructurales de arcos y de muros hasta igualar las deflexiones en sus puntos de intersección. Ver figura III.35

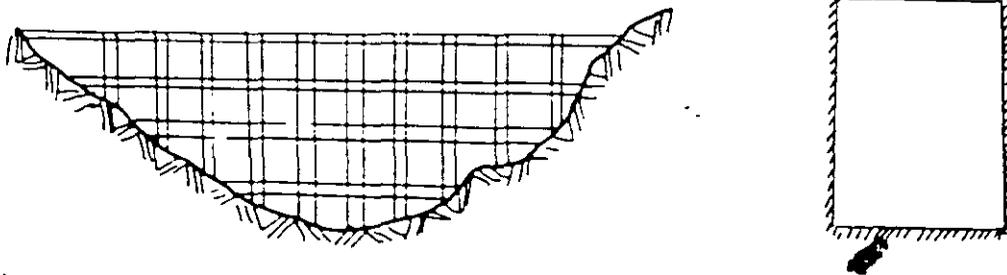


Fig. III.35 Tratamiento de una cortina por el método trial load.

Ampliando la explicación se trata de repartir las cargas tratando de igualar deformaciones. El método de los arcos-muros o de las cargas de prueba, trata de repartir la carga entre dos sistemas estructurales, uno de muros en voladizo empotrados en la cimentación y otro de vigas horizontales, buscando que la repartición de cargas sea tal que en cada intersección de un muro con una viga, ciertas deformaciones (por ejemplo: flecha horizontal, giro horizontal, etc) se igualen si son calculados en cualquiera de los dos elementos estructurales, el método permite tomar en cuenta todas las fuerzas actuantes y sus efectos de flexión, torsión, cortantes y esfuerzo normal. En ocasiones se simplifica haciendo caso omiso de algún esfuerzo o reduciendo el número de elementos. Este método fue desarrollado inicialmente por Westergaard para el U.S.B.R. y ha recibido sucesivas mejoras.

IV. PRESAS DE CONTRAFUERTES

IV.1 Consideraciones generales

Lógicamente (aunque no históricamente), las presas de contrafuertes surgen basándose en el mismo principio de las presas de gravedad, como una oposición al "desperdicio" de la resistencia del material de construcción que se hace en éstas últimas, en efecto, los esfuerzos de compresión a que se ve sometido el concreto de una presa de gravedad son generalmente muy inferiores a los que podría soportar; esto se debe al efecto estabilizante necesario que proporciona el peso del concreto, para no tener la presencia de tensiones (tracciones) inadmisibles.

Una presa de contrafuertes obliga al concreto a trabajar a

mayores esfuerzos reduciendo su volumen, podría cuestionarse ¿Cómo se logra su estabilidad?, muy fácil, por un lado al reducirse el volumen mediante la reducción de su área de apoyo (disponiendo huecos convenientemente elegidos) se aminora en gran parte la subpresión, por otra parte al inclinar su paramento aguas arriba, aprovecha el peso del agua sobre él para dar estabilidad, ver figura IV.1.

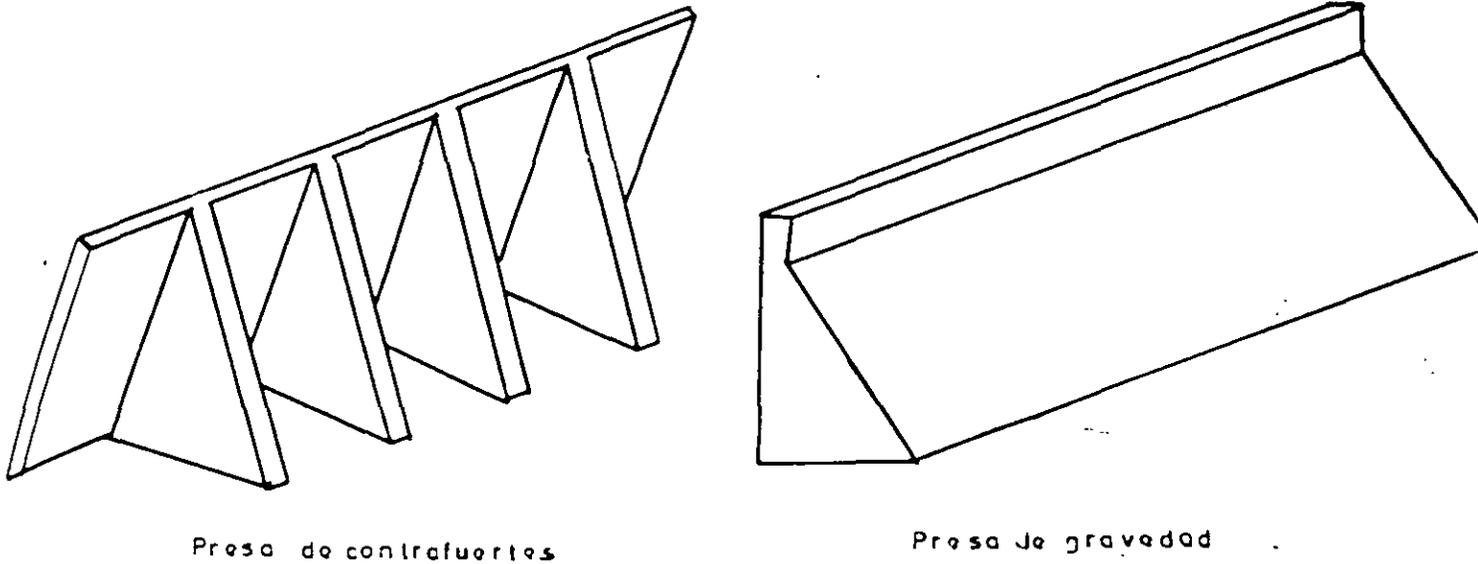


Fig. IV.1 Presas de contrafuertes y de gravedad.

IV.2 Estabilidad de una presa de contrafuertes.

Ya se dijo que suprimir la subpresión y aprovechar el peso

del agua para dar estabilidad son los dos factores que justifican a las presas de contrafuertes, analicemos su estabilidad.

Sea una presa de gravedad (representada por un triángulo en la figura IV.2), ya se vió que si existe subpresión, el talud debe ser $0.845:1$, si se considera una sección de grueso B , tendríamos un volumen $V_j = 0.423 B H^2$, ver figura IV.2.

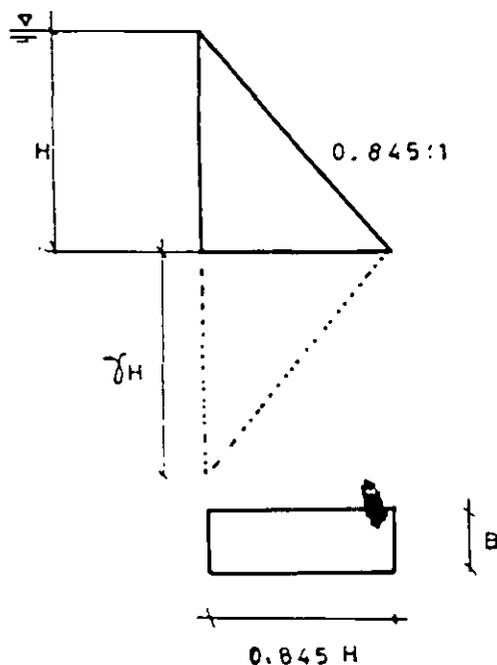


Fig. IV.2 Diagrama para una presa de gravedad con supresión.

Si anulamos la subpresión, ya vimos que el talud debería ser

0.642:1, para el mismo grueso B , tendríamos un volumen $V_2 = 0.327 B H^2 = 75.8\%$ de V_1 , ver figura IV.3.

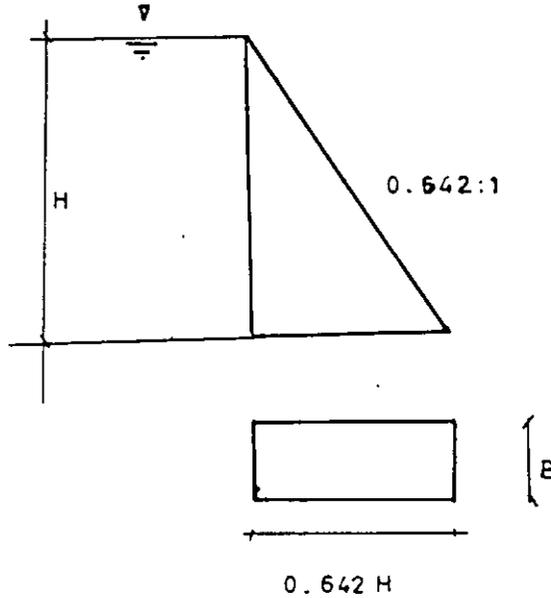


Fig. IV.3 Diagrama para una presa de gravedad sin subpresión.

Volvamos al primer caso con $k = 0.845$, si pudiéramos suprimir la subpresión, dejando el mismo talud y suponiendo despreciable el peso de la cubierta, el grueso del contrafuerte que nos garantiza estabilidad sin tensiones, es 58.3% de V_1

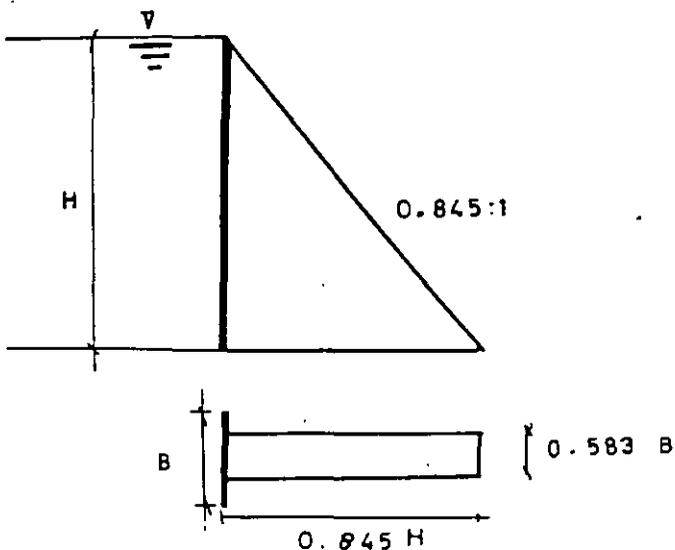


Fig. IV.4 Grueso de un contrafuerte, suprimida la subpresión.

Ahora inclinemos el paramento aguas arriba hasta que se iguale con el talud aguas abajo, sin cambiar el ancho de la base, Fig IV.5, el grueso del contrafuerte se reducirá a $0.542 B$ y su volumen será $V_4 = 0.2293 H^2 = 54.2\%$ de V_1

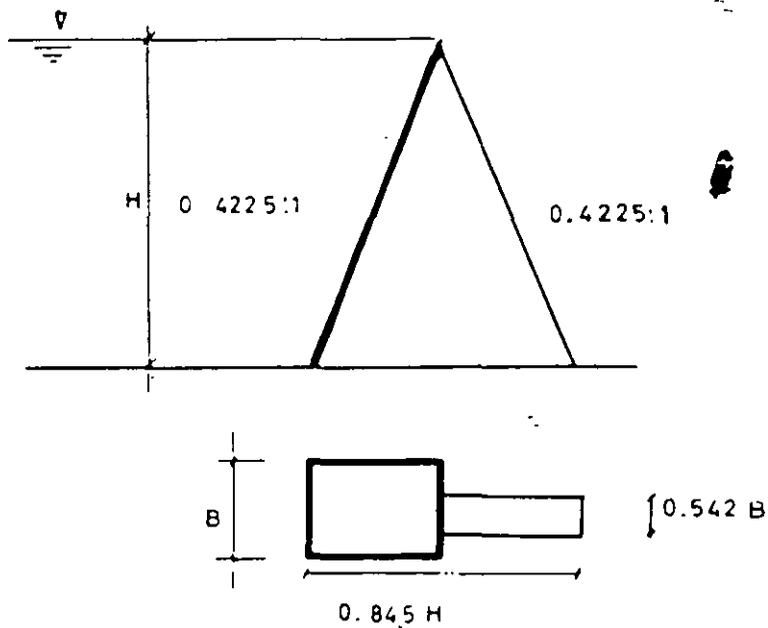


Fig. IV.5 Grueso de un contrafuerte, para paramentos con el mismo talud.

Si aumentamos la base a $0.9 H$, fig IV.6, el ancho del contrafuerte se reduce a $0.404 B$, y el volumen $V_5 = 0.182 B H^2 = 43\%$ de V_1 , según este planteamiento, podríamos incluso eliminar el grueso del contrafuerte, cosa que en la realidad no puede suceder por evidentes causas, y el grueso será determinado como veremos más adelante.

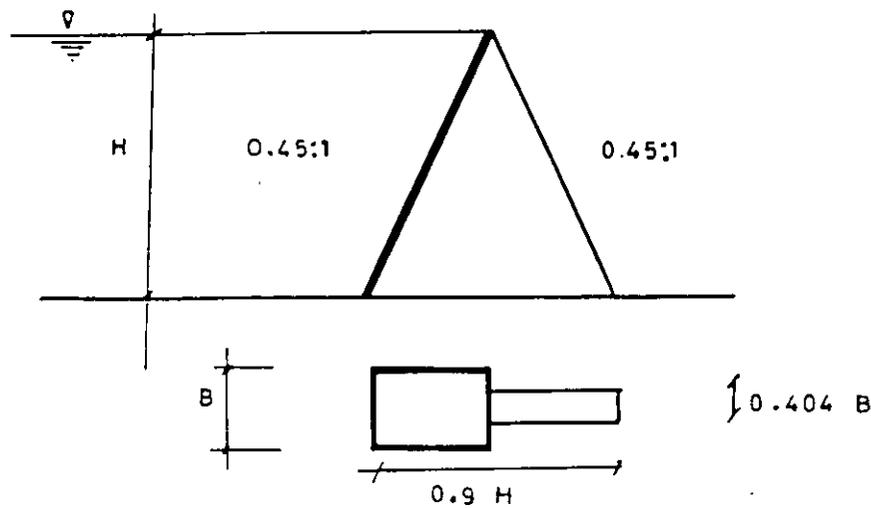


Fig. IV.6 Grueso de un contrafuerte, para una base = $0.9 H$

Las cargas que actúan en una presa de contrafuertes son las mismas que consideramos para una presa de gravedad:

Empuje hidrostático

Empuje de azolves

Peso propio

Subpresión

Hielo

Sismo

Para cálculo no se consideran secciones de espesor unitario, sino que se hace para cada elemento(o bloque).

Se deberá garantizar el no volteamiento y el no deslizamiento, el factor de seguridad al volteamiento debe ser mayor de 2, lo que equivale, aproximadamente, a no admitir tensiones en el talón. Para cumplir con el requisito de no deslizamiento, generalmente se considera que la suma de fuerzas horizontales H no sea mayor que el 75% de la suma de fuerzas verticales, o se utiliza el criterio del coeficiente de fricción-cortante (F.C.) comentado al tratar de las presas gravedad.

IV.3 Clasificación de las presas de contrafuertes.

Esta clasificación está basada en el tipo de cubierta aguas arriba, así tenemos:

- a) Cortinas tipo Ambursen (losas planas)
- b) Cortinas de Arcos múltiples
- c) Cortinas de machones masivos (Noetzli)
- d) Cortinas de gravedad aligerada o tipo Marcello.

IV.4 Presas de contrafuertes tipo Ambursen.

Este tipo de cortinas, estan formadas por losas planas, que se apoyan sobre los contrafuertes, ver figura IV.6'

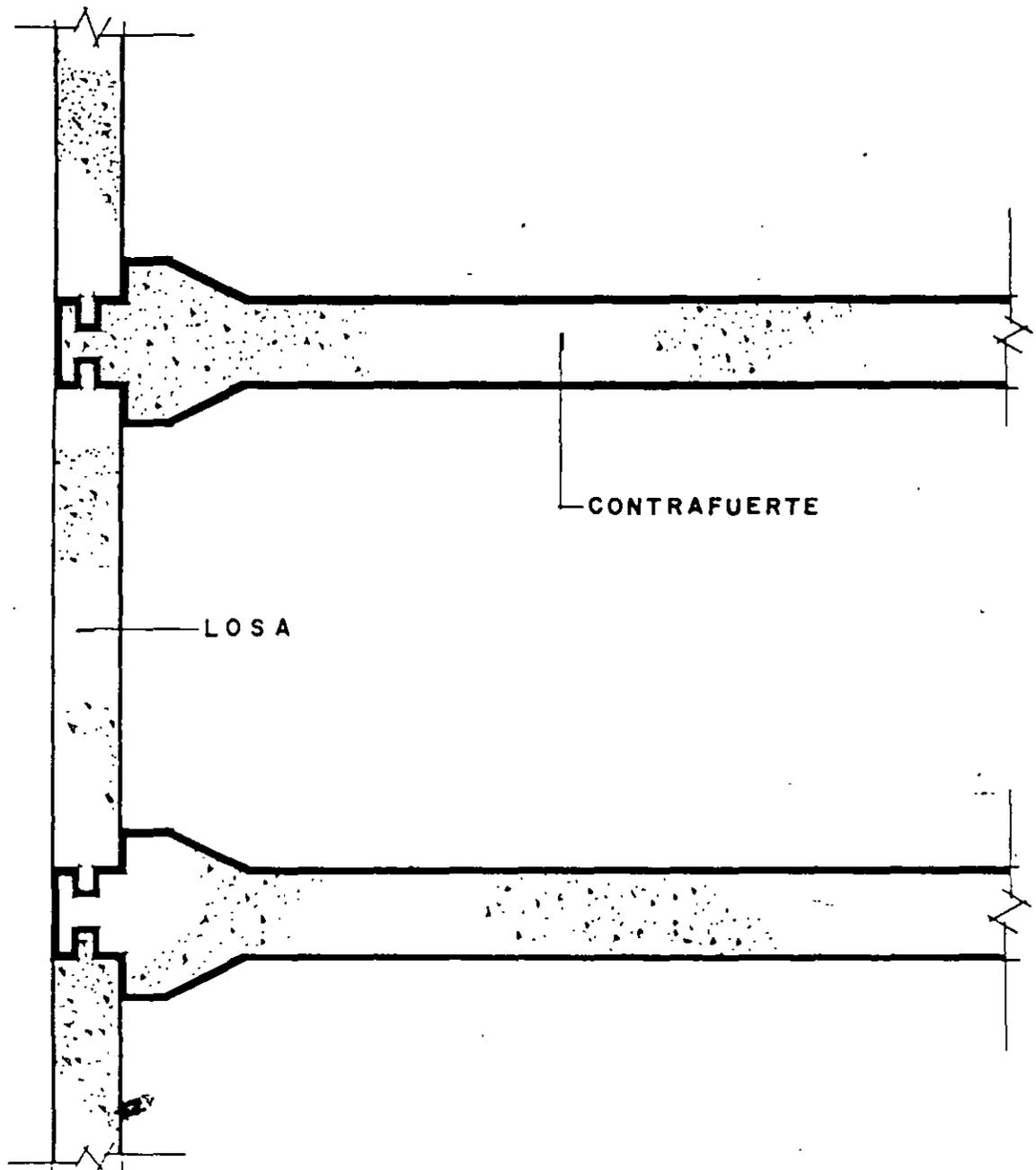


Fig IV.6' Presa tipo Ambursen

El espaciamiento de los contrafuertes varía con la altura de la presa, los contrafuertes con espaciamientos muy cerrados pueden ser menos masivos, y las losas delgadas, pero se necesita más cantidad de obra falsa y cimbra. El mejor espaciamiento de contrafuertes es el que da el costo mínimo.

El cálculo de la losa se hace tomando en cuenta que se apoya libremente (articulación) sobre los contrafuertes, esto se hace con el objeto de que trabajen independientemente y no haya transmisión de esfuerzos. La junta entre la losa y el contrafuerte se llena con asfalto o con algún compuesto para juntas flexibles, ver fig IV.7.

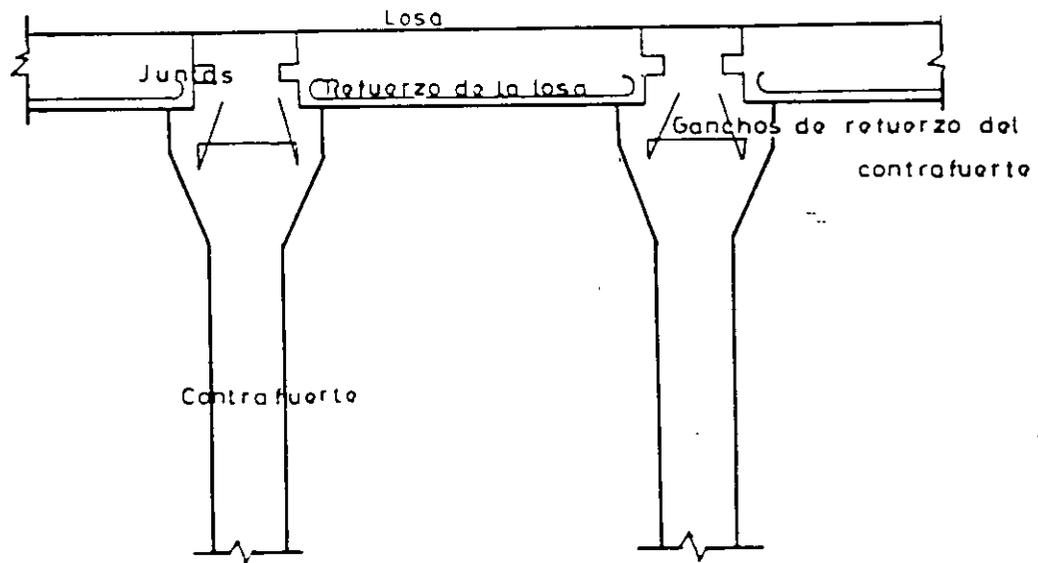


Fig. IV.7 Sistema de juntas entre la losa y el contrafuerte.

Este tipo de presas son construidas en valles amplios donde se necesita una presa amplia; si la cimentación no fuera

buena, se adaptarían zapatas amplias, aunque esto puede incrementar la subpresión.

En estudios preliminares, es común considerar que la losa consiste en una serie de vigas paralelas que trabajan independientemente una de la otra, como las vigas están simplemente apoyadas se calculan por los métodos normales de diseño de concreto reforzado. El espesor de la viga y la cantidad de refuerzo aumentan con la profundidad abajo del agua, ver figura IV.8

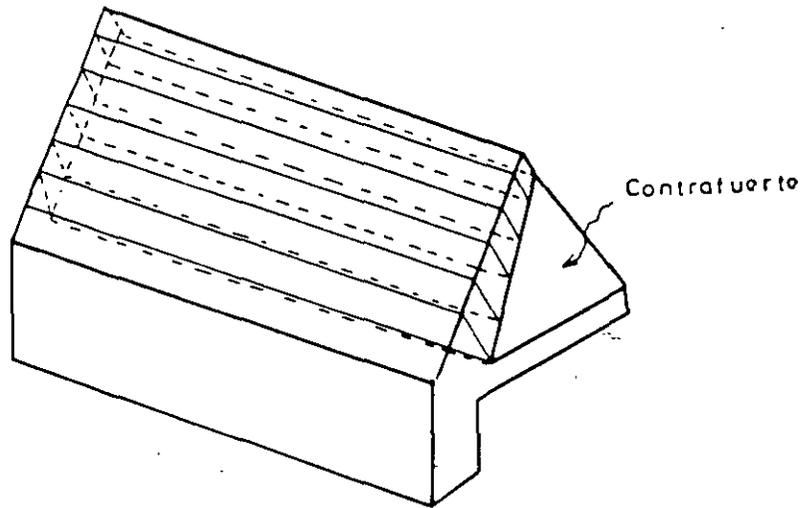


Fig. IV.8 Losa considerada que trabaja como una serie de vigas que corren entre los contrafuertes.

El diseño del contrafuerte se puede hacer en forma muy simplificada considerando que consta de un sistema de columnas

independientes. La carga en cada columna es una combinación de carga estructural con carga de agua, las columnas se consideran curvas para evitar carga excéntrica, ver figura IV.9.

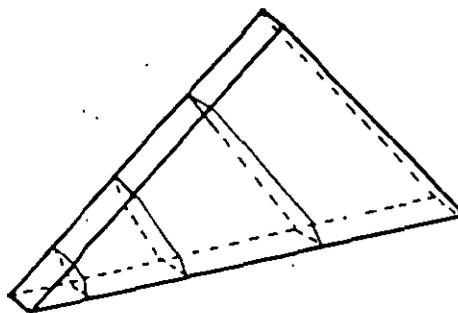


Fig. IV.9 Contrafuerte que se considera trabaja como una serie de columnas curvas.

IV.5 Presas de contrafuertes de arcos múltiples.

Estas cortinas están formadas por una serie de arcos o bóvedas que permiten mayor espaciamiento entre contrafuertes, figura IV.10.

Las primeras presas de este tipo fueron construidas con contrafuertes separados a cortas distancias, lo cual implica espesores pequeños de las bóvedas y contrafuertes esbeltos, con el peligro de falla por pandeo o efectos sísmicos, este tipo de cortinas requerían mayor cantidad de acero de refuerzo, mayor complicación en los colados y gran cantidad de cimbra y obra falsa, entonces se optó por construir con-

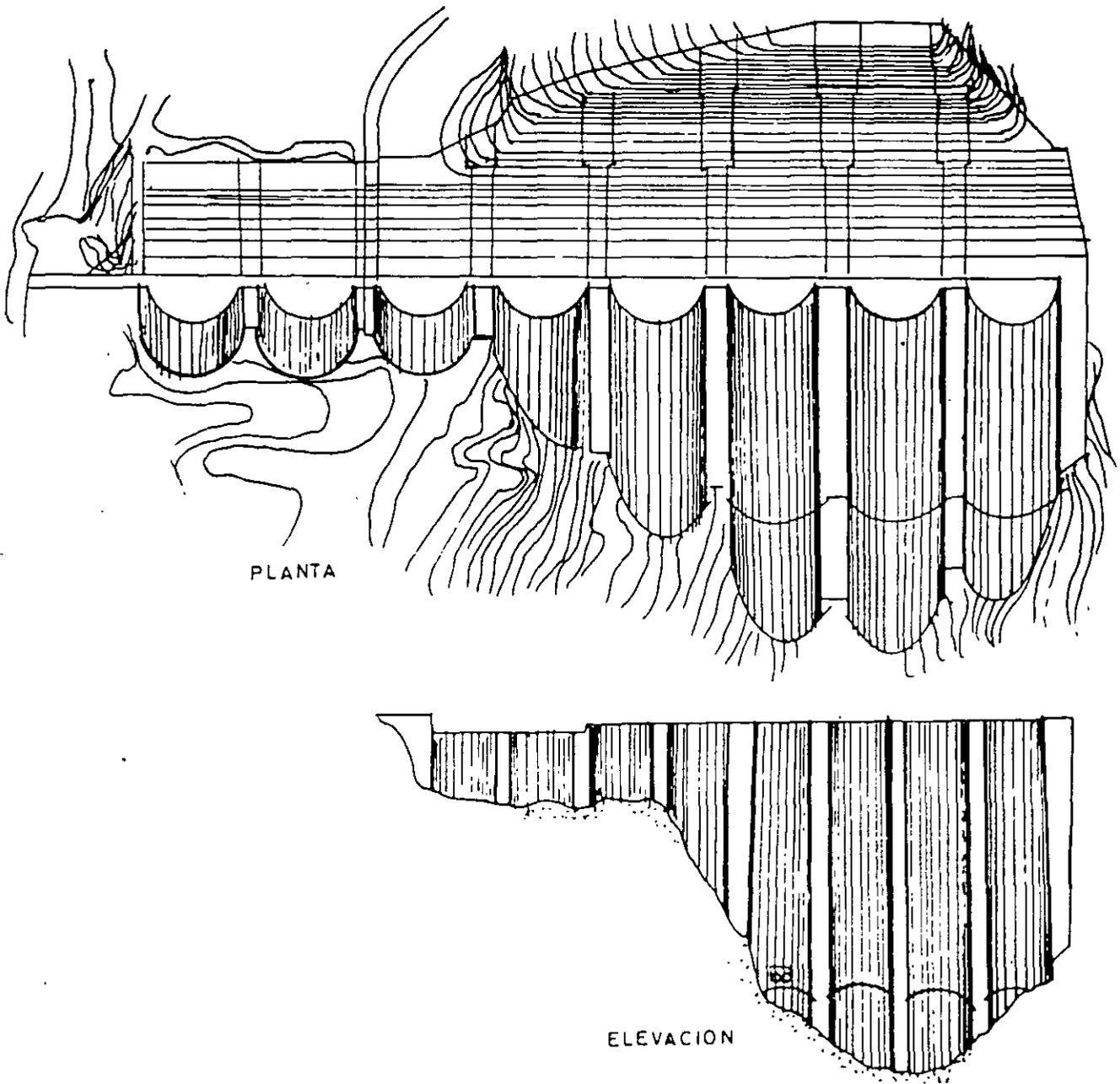


Fig. IV.10 Presa de contrafuertes de arcos múltiples.

trafuertes masivos y bóvedas grandes y con mayor espesor, en esta forma empleando concreto de mayor calidad casi se elimina el acero de refuerzo.

Debe cuidarse que las bóvedas trabajen a compresión simple, aunque en realidad hay flexión debida a:

Diferencias de presiones entre la clave y los atraques.

Por peso propio.

Por efectos sísmicos.

Para diseño preliminar, considérese la figura IV.11.

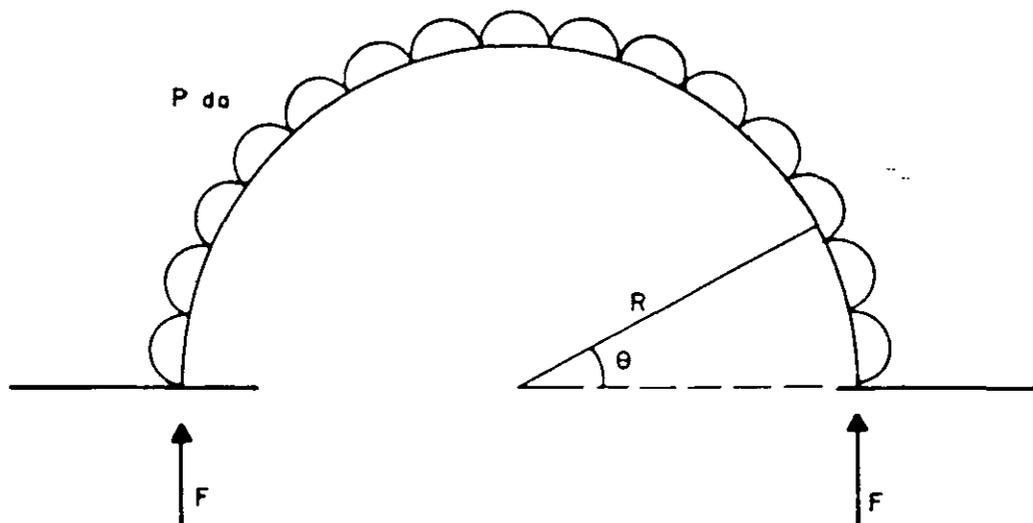


Fig. IV.11 Diagrama de cuerpo libre de un arco.

En los atraques la fuerza F será:

$$F = \frac{1}{2} \int_0^\pi p \sin\theta R d\theta = pR = \frac{pD}{2}$$

Donde:

p = presión hidrostática en ton/m²

R = radio del arco.

D = diámetro del arco.

Y con la fórmula del tubo de pared delgada podremos calcular el esfuerzo σ , ver la figura IV.12

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{pR}{t}$$

Siendo t el espesor del arco.

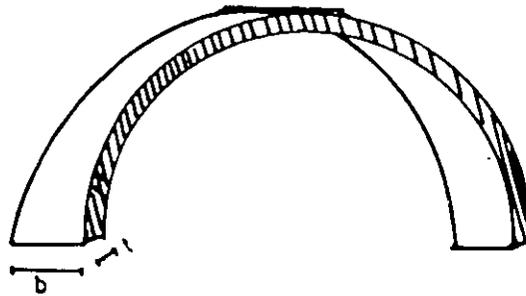


Fig. IV.12 ~~Espe~~ Espe ~~de~~ de un arco. (cálculo).

IV.6 Presas de machones.

En este tipo de presas se elimina por completo el acero de refuerzo (como en las presas de gravedad); ésto se logra ampliando el extremo aguas arriba del contrafuerte, de acuerdo a la forma de la cabeza este tipo de cortinas se clasifican en:

Machones de cabeza redonda, fig IV.13

Machones de cabeza de diamante, fig IV.14

Machones de cabeza en T, fig IV.15

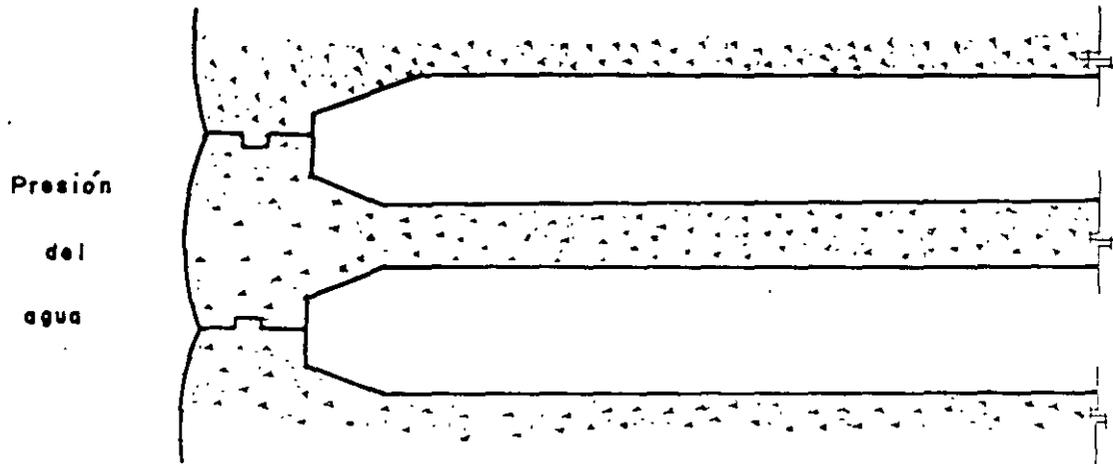


Fig. IV.13 Machones con cabeza redonda

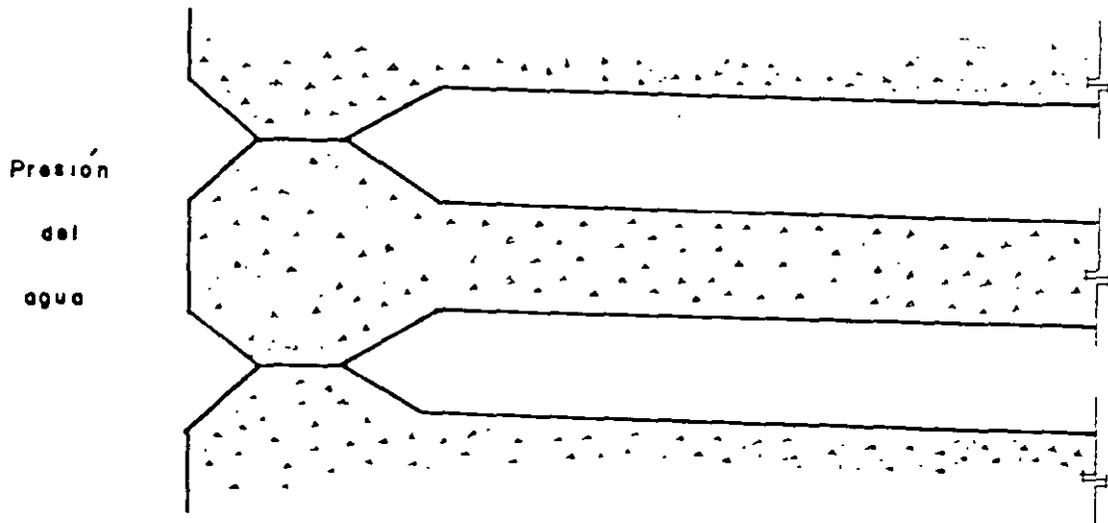


Fig. IV.14 Machones con cabeza de diamante.

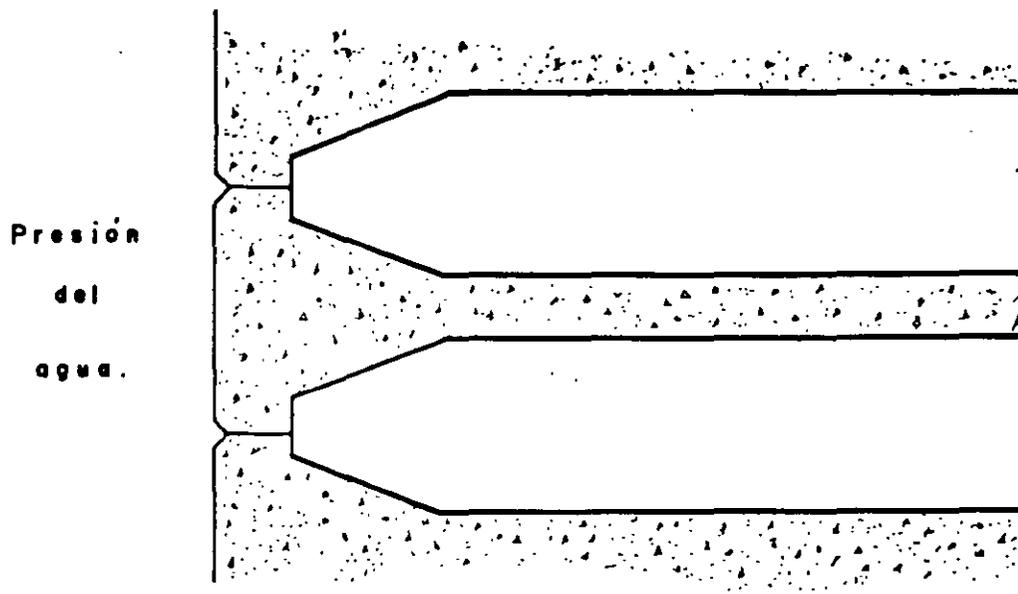


Fig. IV.15 Machones con cabeza en T

Las cabezas de los machones se revisan por medio de un análisis bidimensional de los esfuerzos en una tajada normal al talud aguas arriba, haciendo uso de la función de Airy e integrando la ecuación biarmónica en el interior a partir de las condiciones de frontera.

El cuerpo del machón se revisa una vez que se ha propuesto la geometría, tratando de que los esfuerzos inducidos sean menores que los permisibles. El método más simple para hacer esta revisión es el de Pigeaud.

El análisis elástico bidimensional de la cabeza puede hacerse de dos formas, la primera es considerando un estado bidimensional de esfuerzos y la segunda un estado plano de deformaciones.

Independientemente del estado bidimensional que se considere, las ecuaciones elásticas que permiten valorar las magnitudes de los esfuerzos son las de equilibrio interno:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + Y = 0 \quad (2)$$

y la condición de Lévy, deducida a partir de las ecuaciones de compatibilidad de las deformaciones y de la ley de Hooke generalizada (10):

$$\nabla^2 (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (3)$$

la solución consiste en integrar las tres ecuaciones anteriores, debiendo satisfacerse las condiciones de frontera:

$$S_x = \sigma_x \cos \alpha + \tau_{xy} \cos \beta \quad (4)$$

$$S_y = \tau_{xy} \cos \alpha + \sigma_y \cos \beta \quad (5)$$

Si el eje OX se toma paralelo al borde en contacto con el agua, y el eje OY se considera normal al paramento, hacia abajo, la componente Y tomaría el valor del peso W .

El sistema formado por las ecuaciones 1 y 2, no es homogéneo por lo tanto la solución general es la del sistema homogéneo más una solución particular del sistema no homogéneo:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} ; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} ; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}$$

donde $\phi(x,y)$ es una función arbitraria, exigiéndose la existencia y continuidad de sus derivadas parciales hasta de cuarto orden.

Si $\lambda = 0$, $\nu = \omega$, se puede obtener la siguiente solución particular:

$$\sigma_x = \tau_{xy} = 0 ; \quad \sigma_y = - \omega y \quad (6)$$

entonces la solución general será:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} ; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \omega y ; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \quad (7)$$

Sustituyendo 3 en 7:

$$\nabla^4 \phi = \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0 \quad (8)$$

El sistema formado por 1 y 2 se satisface también, por lo que el sistema formado por 1, 2 y 3 se reduce a la ecuación biarmónica 8, debiendo cumplirse las condiciones de frontera 4 y 5.

Si se desprecia la componente ω del peso, en las ecuaciones 7, desaparece el término $-\omega y$, puede establecerse una analogía entre la frontera de la región de integración y una ba-

ra curva cumpliéndose:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_P = - \sum_A^P F_y \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_P = - \sum_A^P F_x \quad (10)$$

$$\phi_P = \sum_A^P M_P F \quad (11)$$

donde: F_x, F_y : fuerzas exteriores que actúan en la frontera entre el punto A , origen arbitrario, y el punto P , en los sentidos x, y respectivamente.

M : momento respecto a P de esas mismas fuerzas.

Estas igualdades permiten encontrar fácilmente los valores de ϕ y sus dos parciales en todo punto P de la frontera .

Con los valores de ϕ en la frontera, la región de integración de la ecuación biarmónica, puede cubrirse con una malla de cuadrados, fig. IV.16, y hacerse la integración por diferencias finitas, planteando un sistema de ecuaciones lineales que se resuelve por algún algoritmo común. Al plantear las ecuaciones se presentan problemas en los puntos vecinos a la frontera, pero existen artificios para valuar la función en esos puntos.

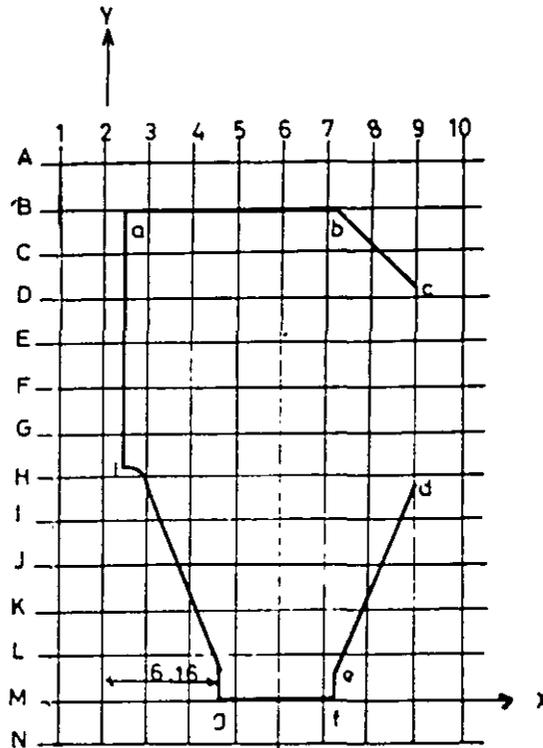


Fig. IV.16 Red de análisis para la cabeza del machón.

Resuelto el problema de integración de la ecuación biarmónica, se pueden calcular los esfuerzos normales y tangenciales en las direcciones de los ejes coordenados.

Con los esfuerzos calculados se pueden calcular los esfuerzos principales en el interior de la cabeza, que se compararán con los valores permisibles.

Revisión Estructural del Cuerpo del Machón.

Se propone una geometría y se analizan los esfuerzos en el

interior, inducidos por las cargas externas.

Un método comunmente usado para la revisión de esfuerzos en el interior del machón es el propuesto por Pigeaud. Las bases del método se obtienen integrando la ecuación biarmónica, con las condiciones de frontera siguientes:

$$\sigma_x - m \tau_{xy} = 0$$

Aguas abajo:

$$\tau_{xy} - m\sigma_y = 0$$

Aguas arriba:

$$\sigma_x + n\tau_{xy} + Wy = 0$$

$$\tau_{xy} + n\sigma_y + nWy = 0$$

Se supone que la única fuerza másica es el peso propio del material del machón, $V = \gamma c$, y la W de las condiciones de frontera representa el peso volumétrico del agua, ajustado por la relación: $S = \frac{B}{b}$ entre el ancho de la cubierta que descarga sobre el machón y el espesor de este: $W = \gamma_a S$.

La convención de signos es: tensiones positivas.

Como el número de condiciones de frontera es 4, se elige una función de Airy con cuatro coeficientes, no debiendo tener términos de grado superior al tercero, por ejemplo:

$$\phi = \frac{a}{6} x^3 + \frac{b}{2} x^2 y + \frac{c}{2} xy^2 + \frac{d}{6} y^3$$

resulta entonces:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = cx + dy$$

$$\sigma_x' = \frac{\partial^2 \phi}{x^2} - \gamma_c y = ax + (b - \gamma_c) y$$

$$\tau_{xy} = - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = - (bx + cy)$$

La solución del sistema de ecuaciones conduce a las siguientes expresiones:

$$a = \frac{m - n}{(m+n)^2} \gamma_c - \frac{-3mn - n^2}{(m+n)^3} \omega$$

$$b - \gamma_c = - \frac{m^2 + n^2}{(m+n)^2} \gamma_c + \frac{-2m^2n + m - n}{(m+n)^3} \omega$$

$$c = \frac{-mn(m-n)}{(m+n)^2} \gamma_c + \frac{mn(2 - mn + m^2)}{(m+n)^3} \omega$$

$$d = - \frac{2m^2n^2}{(m+n)^2} \gamma_c + \frac{m^2(2mn^2 - 3n - m)}{(m+n)^3} \omega$$

El cálculo de los esfuerzos principales y la condición de no tensiones en el paramento de aguas arriba lleva a la expresión:

$$(1 - mn)^2 \omega = m(m+n)(n^2 + 1) \gamma_c$$

En tanto que el volumen de contrafuertes, por unidad de cubierta, es:

$$V = \frac{m+n}{2S} y^2$$

lo que lleva a que el volumen mínimo del material de los contrafuertes se consiga cuando se hace mínimo el valor $[m + n/S]$

En la tabla IV.1, debida a Malterre, se muestra el comportamiento de esa función para parejas de valores de n y S , suponiendo satisfecha la condición de no tensiones, y tomando como peso volumétrico del concreto 2.4 ton/m^3 .

$n \backslash S$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.645	0.680	0.752	0.855	0.987	1.136
2	0.455	0.447	0.452	0.489	0.540	0.607
3	0.372	0.340	0.337	0.353	0.382	0.42
4	0.322	0.278	0.273	0.280	0.299	0.327
5	0.288	0.245	0.232	0.234	0.247	0.268
7.5	0.237	0.187	0.171	0.168	0.174	0.187
10	0.204	0.156	0.137	0.133	0.136	0.144

Tabla IV.1 VALORES DE $\frac{m + n}{S}$

"El método anterior presupone que el contrafuerte es una placa plana de espesor constante, sujeta a un estado bidimensional de esfuerzos y la tabla de Malterre permite, en función de la relación entre separación y espesor de los contrafuertes, hacer una primera selección de ~~valores~~ valores exteriores para obtener una cortina estable de volumen mínimo.

En la práctica, con frecuencia se diseñan los contrafuertes con espesor variable de su corona a la cimentación. En esas condiciones, no es aplicable el método de Pigeaud; en cambio se ha desarrollado el método de Stefko que consiste fundamentalmente en lo siguiente:

Si el grueso del contrafuerte varía linealmente con y , de e_0 en la cúspide a $e = e_0 + e'y$ y a la profundidad y se definen esfuerzos "específicos":

$$S_x = \int_{-e/2}^{e/2} \sigma_x dz ; \quad S_y = \int_{-e/2}^{e/2} \sigma_y dz ; \quad T_{xy} = \int_{-e/2}^{e/2} \tau_{xy} dz$$

De igual forma, se definen presiones "específicas" en la frontera y fuerzas másicas "específicas"; éstas no resultan constantes, por lo que la condición de Lévy se transforma en

$$\nabla^2 (S_x + S_y) = - (1 + \nu) \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right)$$

Si $X = 0$, $Y = e\gamma_c = (e_0 + e'y)\gamma_c$, quedan las ecuaciones elásticas:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial T_{xu}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial T_{xu}}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} + (e_0 + e'y)\gamma_c = 0$$

$$\nabla^2 (S_x + S_y) = - (1 + \nu) e' \gamma_c$$

Al observar esta última expresión resulta que, por ser constante el segundo miembro, $S_x + S_y$ no puede contener términos de grado superior al segundo. Aprovechando esta circunstancia, se logra llegar a las siguientes expresiones:

$$\sigma_x = \frac{J}{e} \left[\frac{B}{2} x^2 + 2C xy + \frac{P}{2} y^2 + Ex + Qy \right]$$

$$\sigma_y = \frac{J}{e} \left[\frac{K}{2} x^2 + 2A xy + \frac{B - e' \gamma_c}{2} y^2 + Lx + (D - e_0 \gamma_c) y \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{J}{e} (Ax^2 + Bxy + C y^2 + Dx + Ey)$$

Los coeficientes A, B, C, D, E, K, L, P, Q se valúan resolviendo el sistema de ecuaciones lineales siguientes:

$$\begin{bmatrix} -2n^3 & 3n^2 & -6n & 0 & J \\ -6n^2 & 3n & -2 & n^3 & 0 \\ 2m^3 & 3m^2 & 3m & 0 & J \\ 6m^2 & 3m & 2 & m^3 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ K \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ ve' \gamma_c \\ 0 \\ m\gamma_c \\ -ve' \gamma_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} n^2 & -2n & 0 & J \\ -2n & 1 & n^2 & 0 \\ m^2 & 2m & 0 & J \\ 2m & 1 & m^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ E \\ L \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -e \gamma \\ n(e\gamma - e_0 \gamma_c) \\ 0 \\ m e_0 \gamma_c \end{bmatrix}$$

en que l es el ancho de la cubierta que se apoya en el contrafuerte.

En los dos métodos señalados se ha seguido la convención de considerar positivas las tensiones.

IV.7 Cortina de machones tipo Marcello.

Este tipo de cortinas se construyen haciendo los contrafuertes dobles por medio de cavidades dentro de los mismos, figura IV. 17, con esto se logra una rígidez transversal importante, útil para resistir sismos y evitar pandeos.

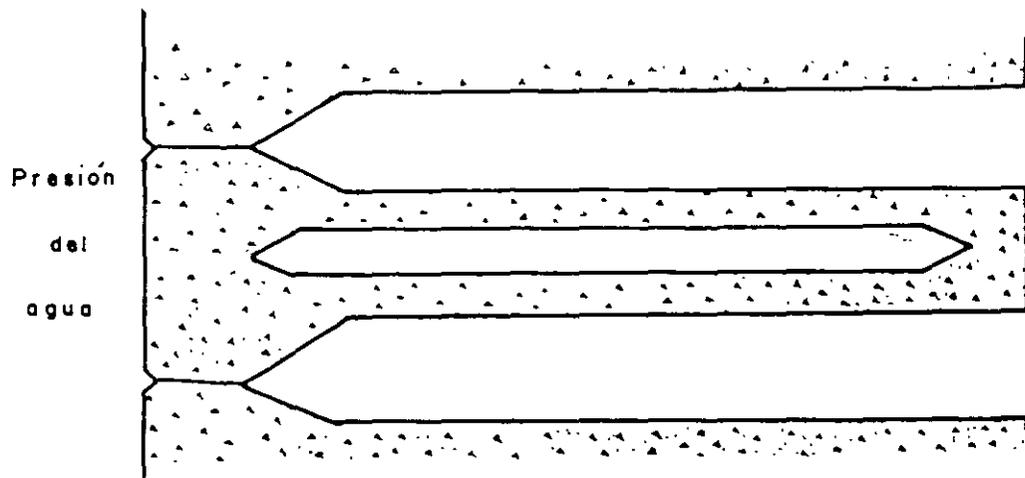


Fig. IV.17 Machones tipo Marcello.

IV.8 Diferencias entre las presas de contrafuertes y las de gravedad.

El volumen de una presa de contrafuertes es menor que el

de una presa de gravedad.

La excavación para la cimentación de una presa de contrafuertes es menor que para una presa de gravedad.

El tiempo de ejecución de una presa de contrafuertes puede ser menor que el de la de gravedad equivalente, por lo que se pueden empezar a obtener beneficios antes con una presa de contrafuertes que con una de gravedad, pero en ese caso, se requiere mayor intensidad de inversiones.

El costo del m^3 de concreto para una cortina de contrafuertes es algo mayor que para una presa de gravedad.

Hay mayor facilidad de inspección en una presa de contrafuertes.

Hay mayor facilidad para perforar drenes u orificios para inyección en una presa de contrafuertes, después de la construcción.

La presa de contrafuertes requiere mejores condiciones de cimentación.

En las presas de contrafuertes hay mayor disipación del calor de fraguado.

La esbeltez de los contrafuertes puede hacerlos sensibles al pandeo.

V. PRESAS EN ARCO (BOVEDA)

V.1 Definición

Una presa de arco es curva en planta y absorbe la mayoría de la carga del agua horizontalmente hacia los atraques o laderas por la acción del arco. Figura V.1

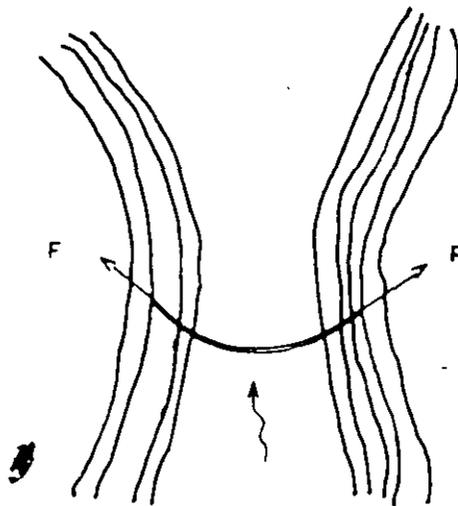


Fig. V.1 Transmisión de las cargas hacia los atraques en una presa de arco.

V.2 Clasificación

Existen dos clasificaciones comunes, una atendiendo a la forma de trabajo de la presa y la otra considera el radio para el trazo de la cortina. La primera clasificación es la siguiente:

- a) Presas de arco gravedad, en este tipo de presas se considera al peso de las mismas como una fuerza estabilizante de importancia, ver figura V.2.
- b) Presas de arco delgado; el peso propio tiene poca importancia. Fig V.3
- c) Presas de arco-bóveda (Bóvedas de doble curvatura). En este caso se busca el efecto de cascarón en la cortina mediante la inclusión de doble curvatura. Figura V.4 (p. ej. la presa El Novillo).

La segunda clasificación se refiere a dos tipos ideales de bóvedas:

- a) Presas de radio o centro constante. Generalmente tienen el paramento aguas arriba vertical, aunque algunas han sido construidas con cierto talud cerca de la base, las curvas del extradós generalmente son concéntricas con las del intradós. Este tipo de presas se prefiere en cañones en forma de U, porque se pueden transmitir cargas a la

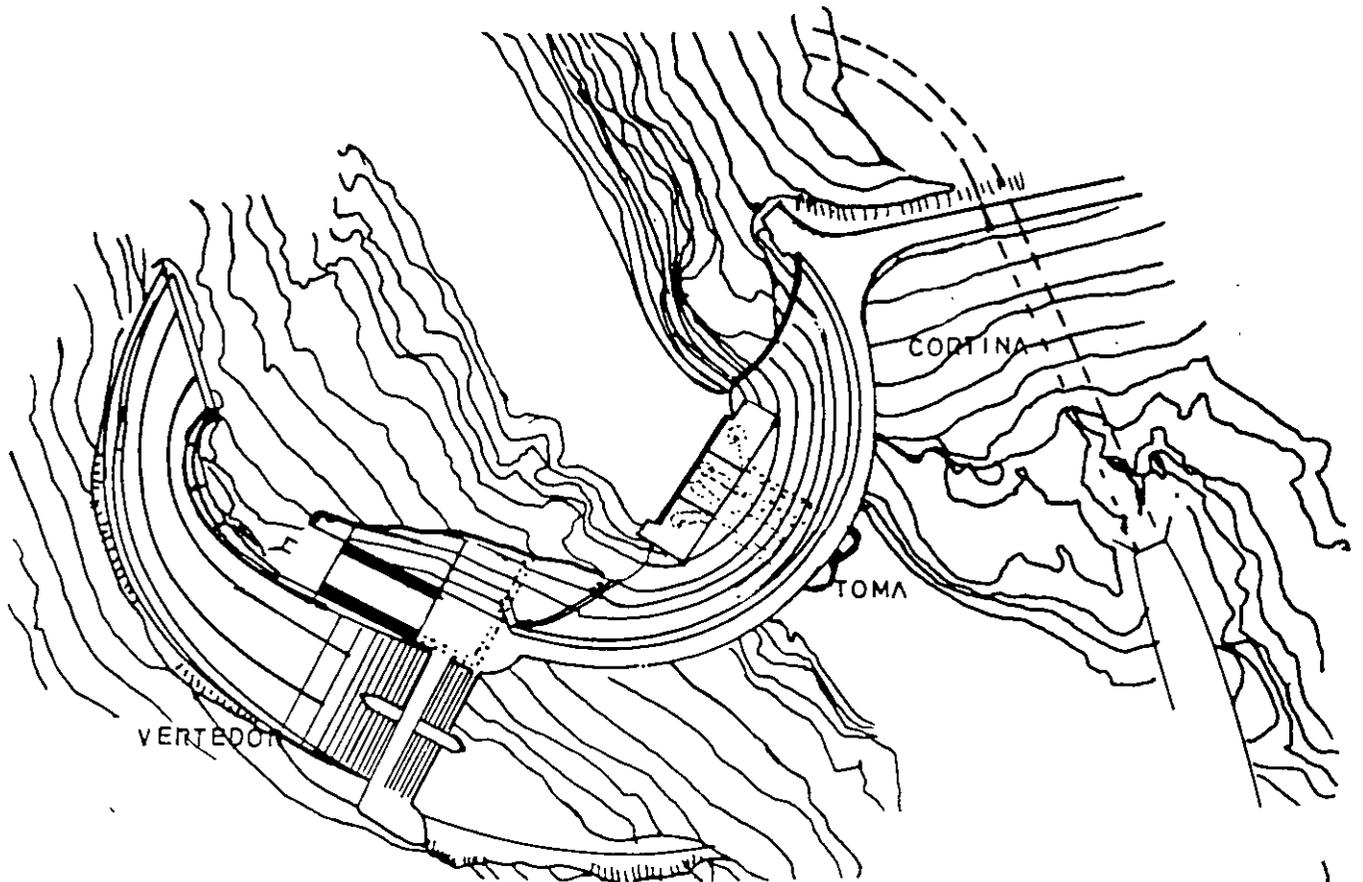


Fig. V.2 Presa de arco gravedad.

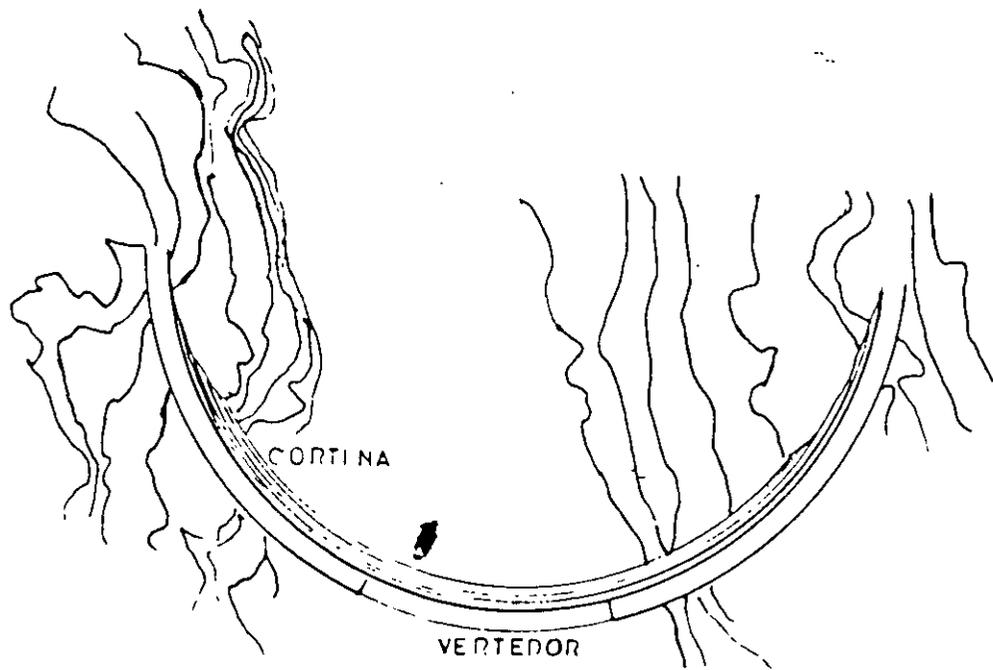


Fig. V.3 Presa de arco delgado.

base de la boquilla, ver figura V.5.

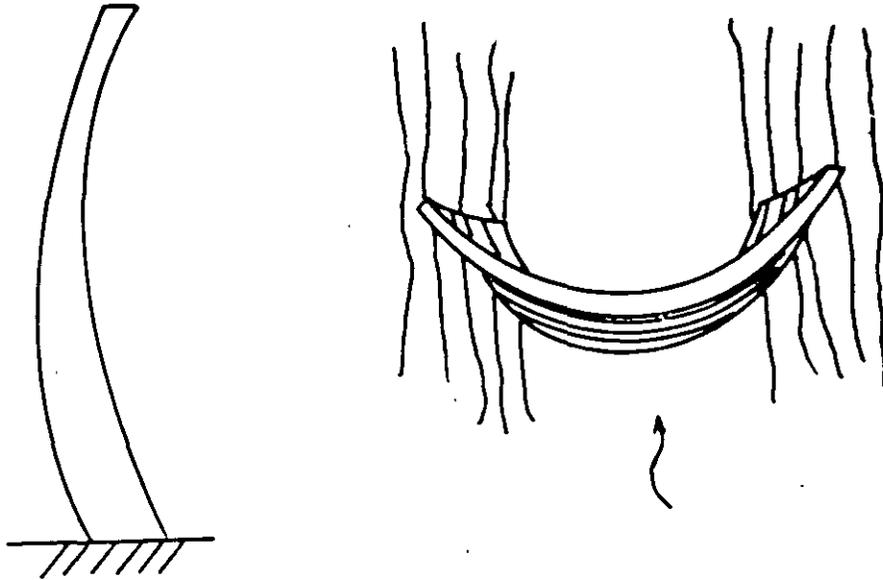


Fig V.4 Presa de arco bóveda

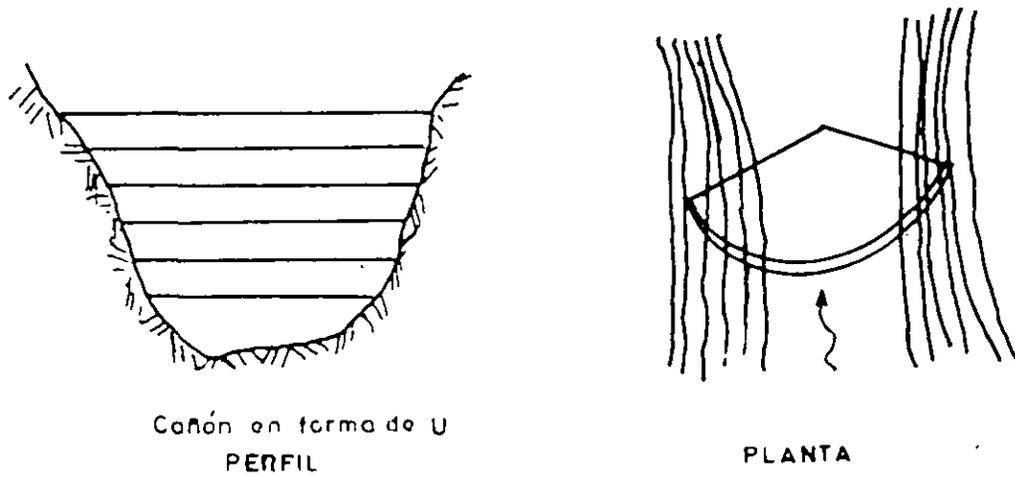
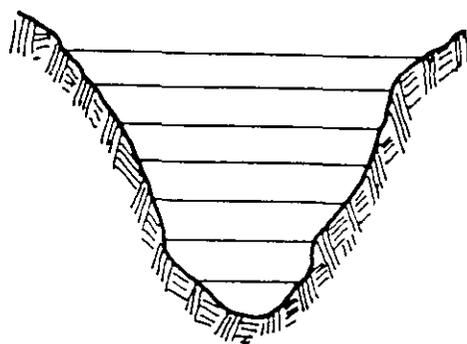


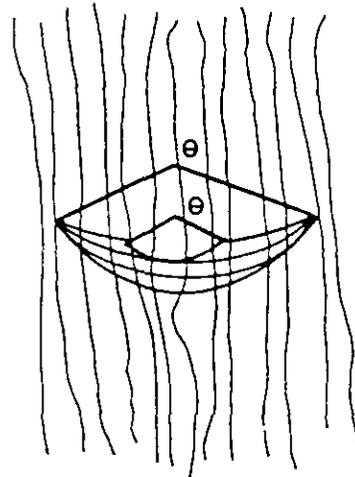
Fig V.5 Presa de radio constante

b) Presas de ángulo constante. Son aquellas que tienen un radio del extradós decreciente desde la corona hasta el fondo, en tal forma que el ángulo incluido es caso constante para asegurar una máxima eficiencia de arco en todas las elevaciones. Se adapta este tipo de presas a los cañones en forma de V, Figura V.6.



Cañón en forma de V.

PERFIL



PLANTA

Fig. V.6 Presa de ángulo central constante.

V.3 Cargas.

En estas presas se considera que actúan las mismas cargas que en las presas de gravedad, pero su importancia relativa es diferente. Las subpresiones son menos importantes que en las presas de gravedad y en cambio serán importan-

tes las fuerzas originadas por presión del hielo y los cambios de temperatura.

V.4 Cálculo de las presas en arco.

Los métodos más usuales son el de ecuaciones diferenciales de esfuerzos de una bóveda, el método del elemento finito tridimensional y el método de arcos muro (recomendado por el USBR).

Este último método consiste en idealizar dividida la estructura por una serie de planos horizontales y otras de planos verticales, que delimitan unos arcos horizontales y una serie de ménsulas verticales, fig V.7, compartiendo el empuje hidrostático en cada punto entre la ménsula y el arco que se cruzan en él, de forma que los desplazamientos y giros sean iguales para ambos. El método es bastante complejo y sale del alcance de estos apuntes, por lo que no se expondrá aquí.

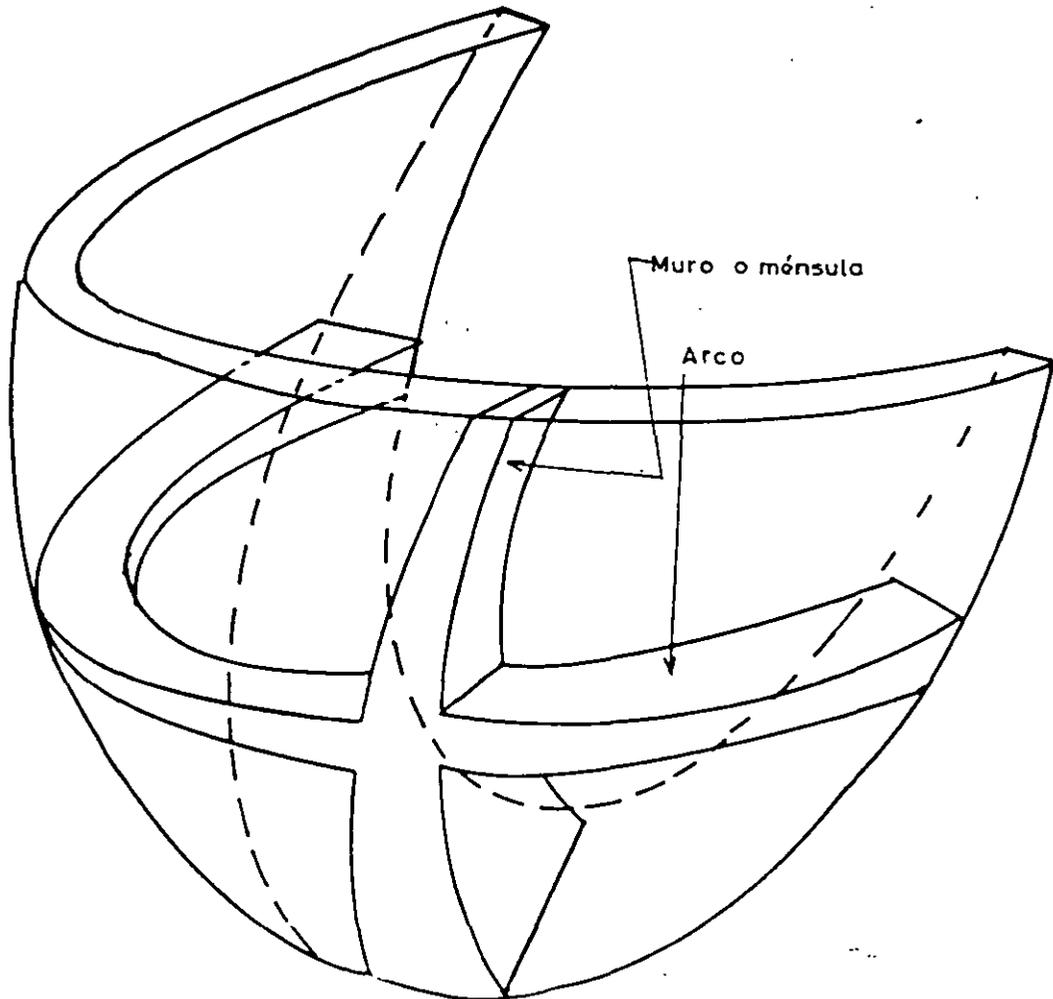


Fig. V.7 Idealización de una cortina de arco bóveda en arcos y ménsulas.

En la figura V.8 se puede ver el empuje total E , que actúa sobre un elemento vertical (ménsula) de una presa por unidad de ancho es:

$$E = H + V + S$$

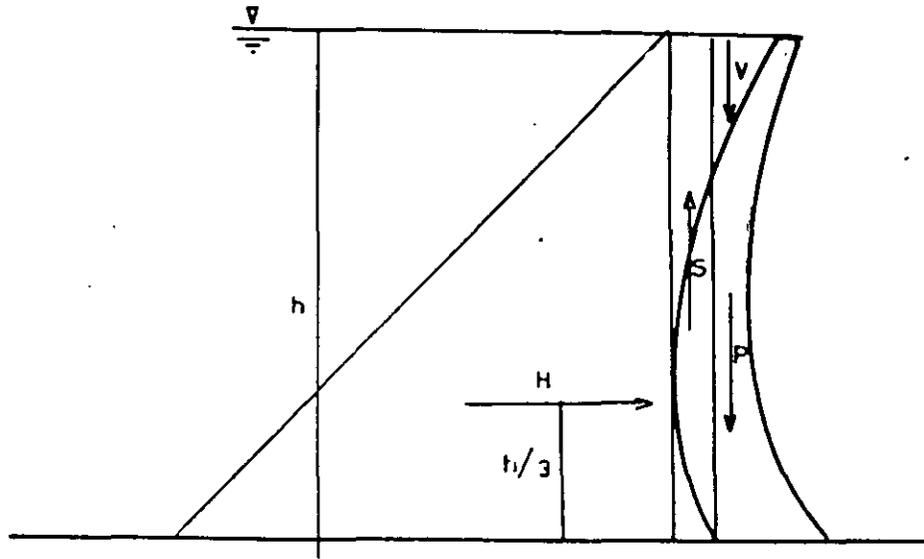


Fig. V.8 Empuje sobre un elemento vertical de una presa de arco.

Para cálculo se acostumbra repartir el empuje hidrostático H entre arcos y ménsulas, y a fuerzas verticales V , S y P que actúan únicamente sobre las ménsulas.

¿Como repartir la presión hidrostática horizontal entre arcos y ménsulas? Calculemos la ley de momentos producidos por el peso de la presa y la carga hidrostática vertical, podremos oponer una ley de momentos exactamente igual pero de sentido contrario, que sería la que produciría la presión hidrostática horizontal H_m , capaz de ser soportada por la ménsula, figura V.9. De este diagrama podremos obtener

la curva de repartición para la ménsula que generalmente presenta la forma que se presenta en la figura V.9.

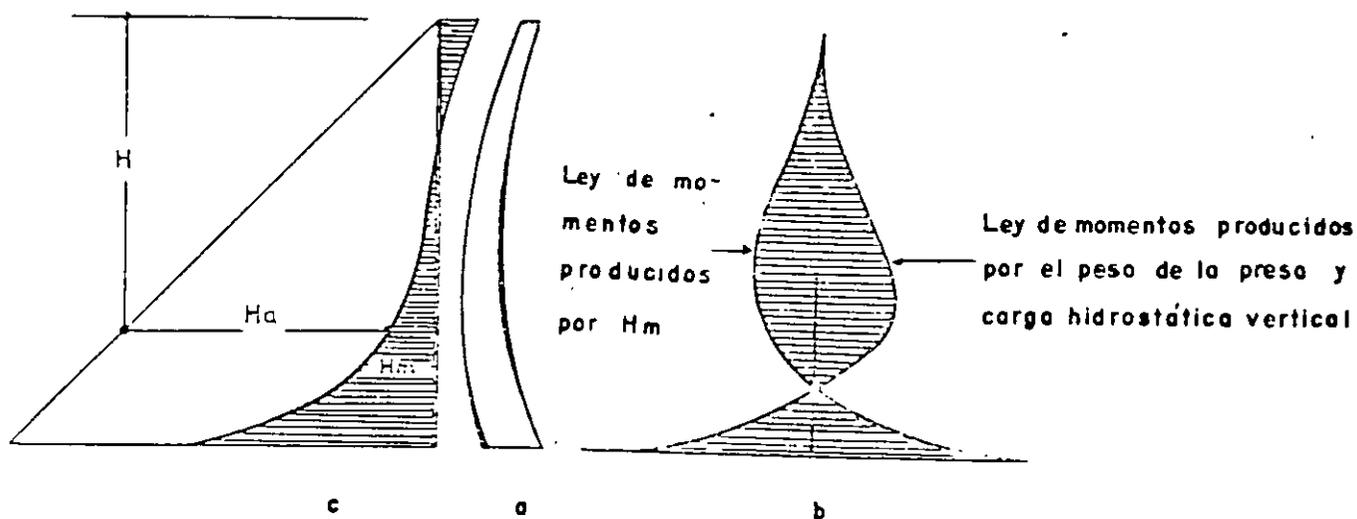


Fig. V.9 a) Elemento vertical de una presa de arco (ménsula)
b) Ley de momentos
c) Curva de repartición de carga tomada por la ménsula.

V.5 Trazo preliminar.

Para el trazado preliminar se pueden seguir muchos procedimientos; entre otros, el que consiste en los siguientes pasos:

- a) Dar forma al extradós (perfil) por comparación con otras presas semejantes.
- b) Adoptar un ángulo central apropiado (planta),

generalmente se inicia con uno del orden de 120° (pues 133° es el que daría el mínimo volumen si la fórmula del cilindro delgado fuera totalmente válida).

- c) A cada nivel, obtener el radio que de el ángulo aceptado en la amplitud de la boquilla a ese nivel (incluyendo la excavación supuesta) Figura V.10.

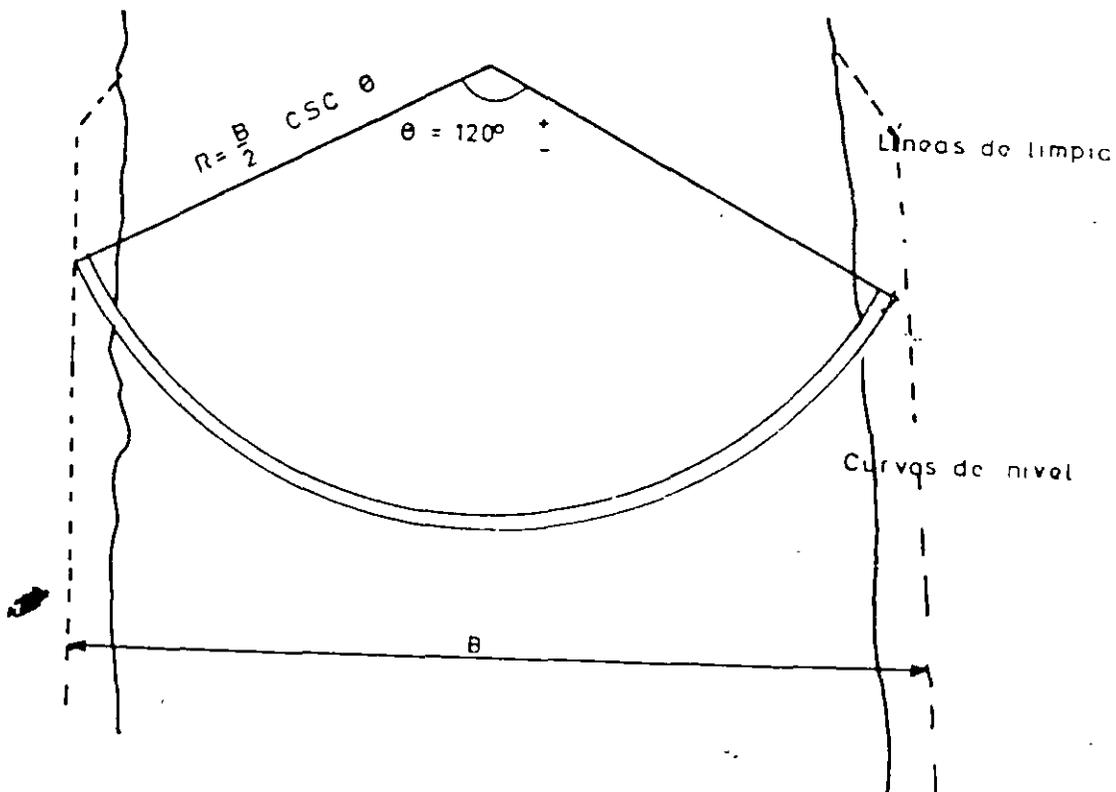


Fig. V.10 Ángulo para trazo de una presa de arco.

- d) Con la fórmula de cilindro, de pared delgada y suponiendo un esfuerzo permisible en el concreto, estimar el espesor del arco.
- e) Obtener la línea de centros de R_e en sección máxima. Fig. V.11.

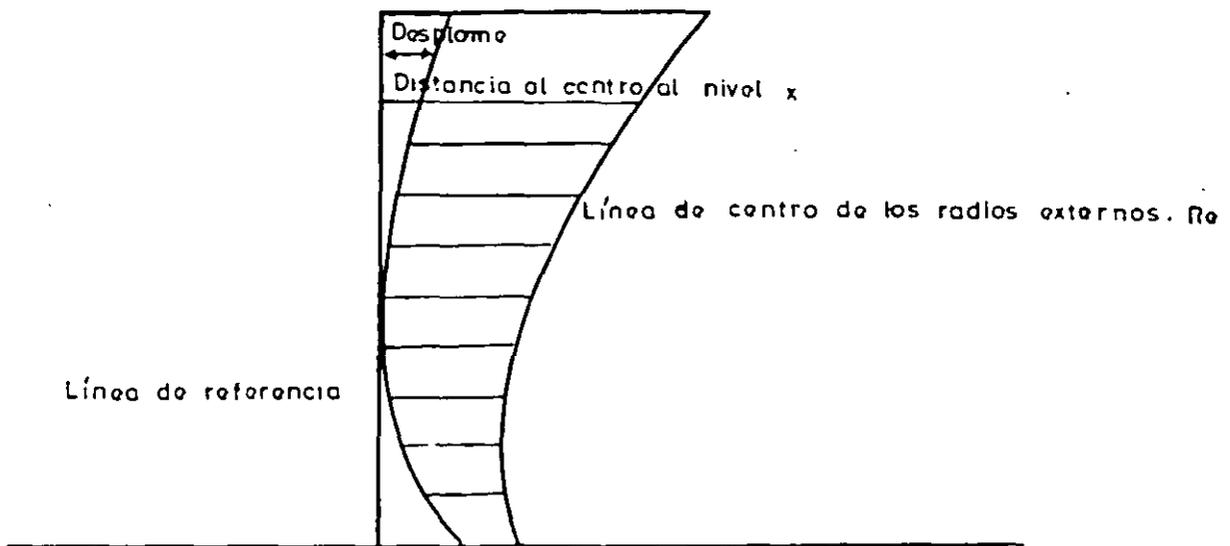


Fig. V.11 Sección Máxima para una presa de arco.

- f) Localizar esos centros en planta y trazar los arcos extradorsales correspondientes. Figura V.12.

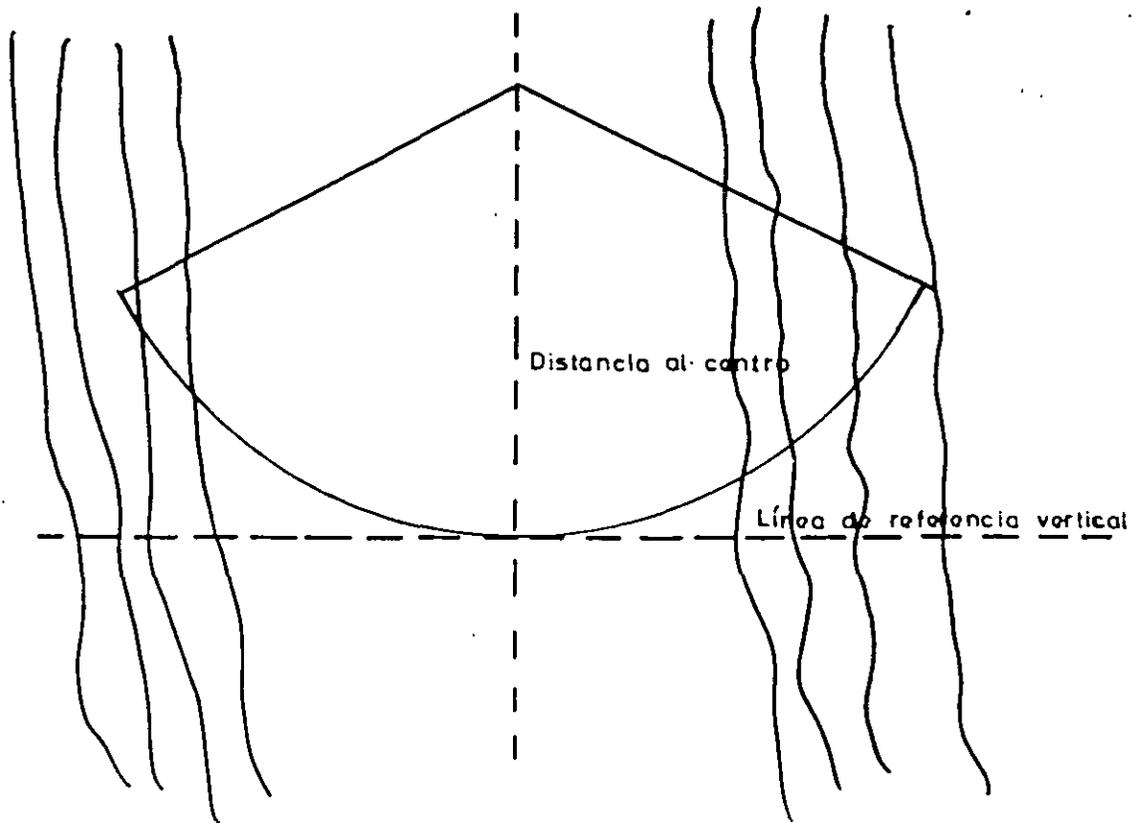
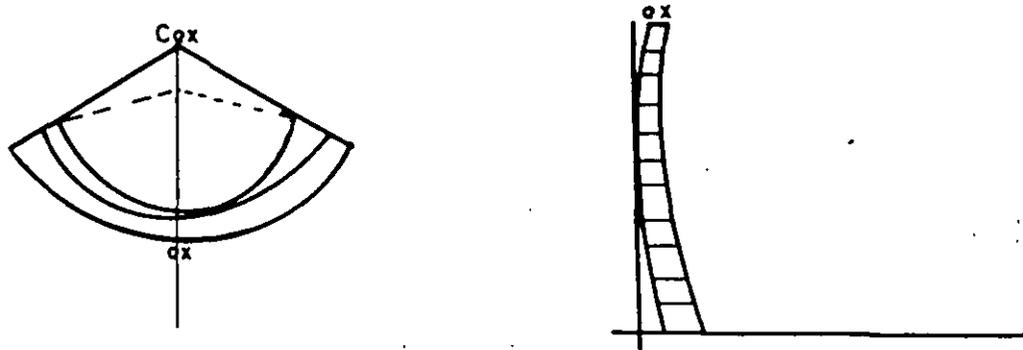


Fig. V.12 Distancia al centro de la presa de arco.

- g) Con los espesores calculados, localizar el punto del arco del intradós correspondiente en cada nivel, sobre el plano central en planta y sobre el dibujo de la sección máxima en perfil. Figura V.13



ex : espesor al nivel x
 Cex : centro al nivel x

Fig. V.13 Planta y perfil al nivel x .

- h) En planta se debe aumentar ligeramente el espesor en los apoyos y trazar el arco del intradós que después se llevará a la figura de la sección máxima, ver figura V.14

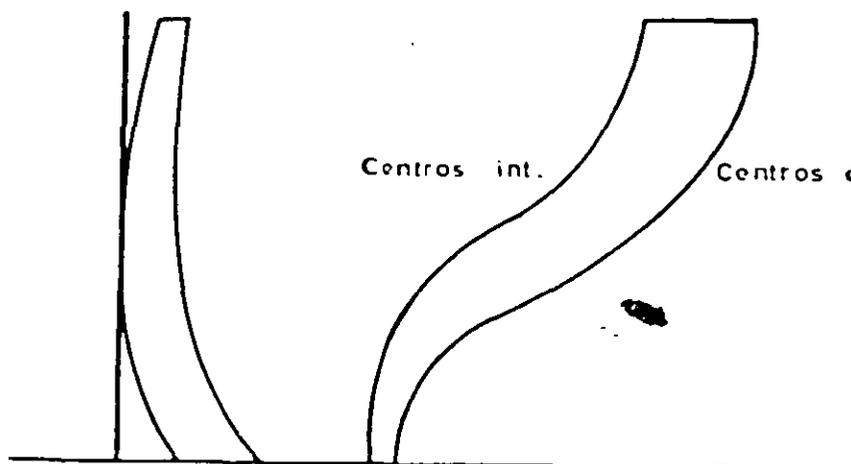


Fig. V.14 Sección Máxima.

V.6 Ventajas y desventajas de las presas de arco.

Requiere una buena cimentación, con buena resistencia para soportar los esfuerzos transmitidos.

Su forma de trabajo estructural es muy segura.

El trabajar a compresión, implica un gran ahorro de volumen de concreto.

La subpresión es un problema mínimo.

V.7 Construcción de las presas de arco.

La cimentación debe desplantarse hasta la roca sólida, los atraques en las laderas deben desplantarse y excavarse con ángulos aproximadamente rectos a la línea del empuje para evitar el deslizamiento de la presa. Si existieran grietas en la cimentación o los atraques deberá inyectarse.

Como las presas de arco son relativamente delgadas, debe tenerse mucho cuidado en la colocación y curado del concreto. Para minimizar esfuerzos por temperatura, la sección de cierre de la presa se cucla únicamente y después de que el calor de colado en las otras secciones se haya casi disipado.

VI. PRESAS DERIVADORAS

VI.1 Definición.

Es un obstáculo que se opone al paso de la corriente para elevar el nivel del agua para que llegue a estar lo bastante alto en relación con alguna de las márgenes, de tal modo que se facilite su derivación (su extracción del sitio) y su conducción hacia otros sitios donde será aprovechada, fig VI.1. Se usan cuando las necesidades de agua son menores que el gasto mínimo de la corriente y, por lo tanto, no se requiere almacenamiento.

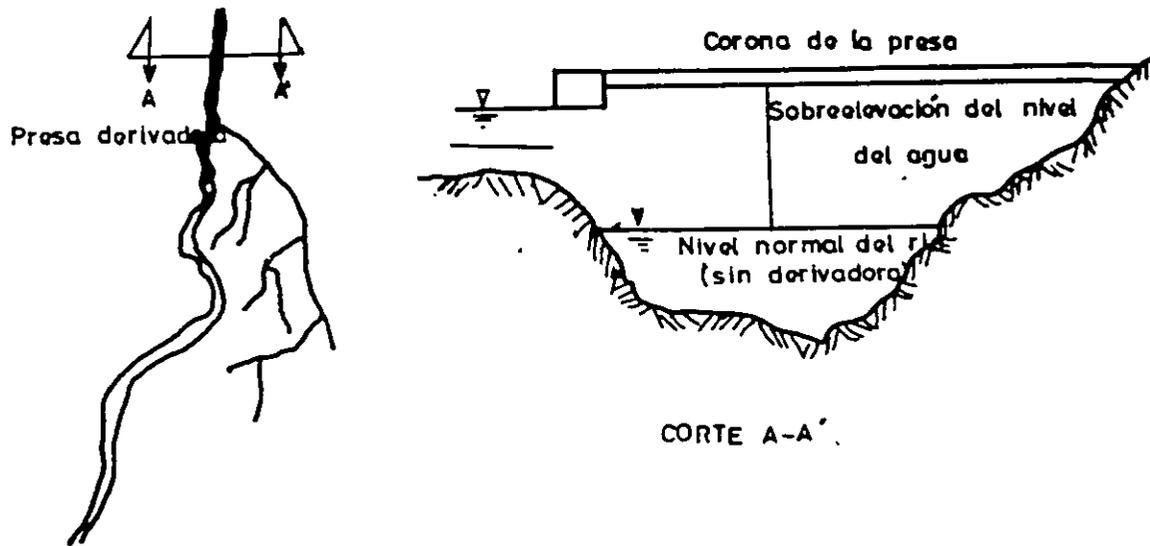


Fig VI.1 Planta y vista de una presa derivadora (esquemática).

VI.2 Partes constitutivas de una presa derivadora

- a) Presa propiamente dicha
- b) Obra de toma
- c) Estructura de limpia
- d) Obras complementarias

VI.3 La presa y su clasificación

Para derivar un gasto determinado por la obra de toma es necesario sobreelevar el nivel del agua, ésto se logra con la construcción de una presa que provoca un remanso hasta lograr el nivel requerido, en general estas estructuras se diseñan para que la corriente vierta sobre ellas en forma parcial o total.

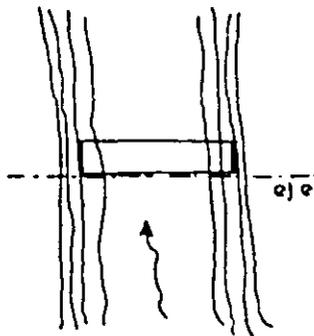
Existen varios criterios de clasificación, enunciaremos los más conocidos:

Por su eje en planta:

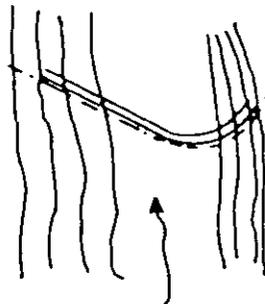
Rectas

Curvas

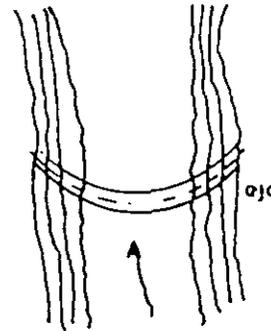
Generalmente el eje de la presa es recto y perpendicular a la corriente, pero la topografía o geología del cauce, pueden conducir al uso de ejes curvos o mixtos, fig VI.2.



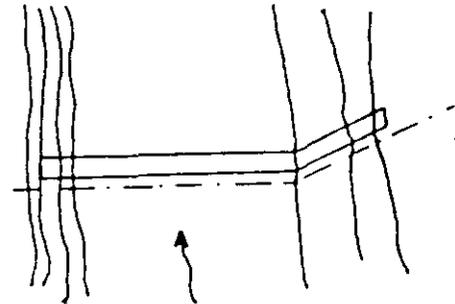
Presa recta



Presa mixta



Presa curva



Presa mixta

Fig VI.2 Clasificación de las presas derivadas atendiendo al eje.

Por el tipo de materiales

Sueltos

Cementados

Mixtas

El primer tipo de presas se construye con materiales naturales colocados en forma tal que permita aprovechar sus características físicas, estas estructuras deben adaptarse a las deformaciones naturales plásticas de esos elementos, el más empleado es el llamado presa "tipo Indio", formado por un muro impermeable y enrocamientos, fig VI.3

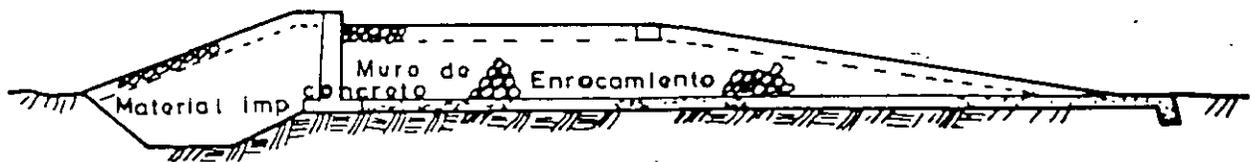


Fig VI.3 Presas derivadoras tipo Indio.

Las presas rígidas se construyen con materiales pétreos unidos por algún cementante, las más empleadas son las de mampostería de piedra junteada y las de concreto, fig VI.4

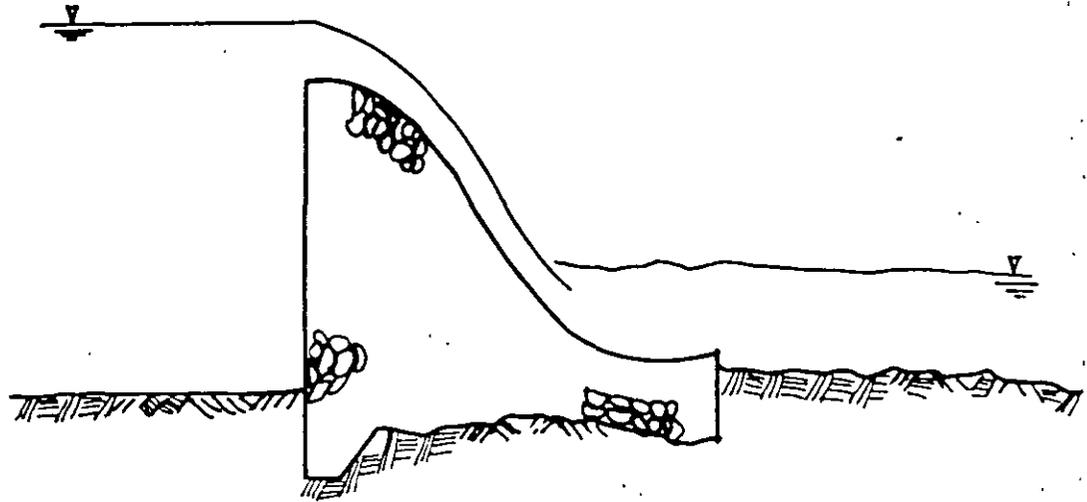


Fig VI.4 Presa derivadora de materiales cementados.

Por control en su cresta
Cresta fija o sin control
Cresta móvil o controlada

Pocas veces se construye una presa derivadora con el fin de aprovechar el agua retenida con la cortina, sin embargo puede suceder que debido a las características físicas de la derivación, se propicie un almacenamiento que convenga aprovechar, aumentándolo además con la instalación de compuertas o agujas en la cresta; de esta manera se puede controlar el almacenamiento y el paso de los excedentes de agua, a este sistema se le llama presa de cresta móvil, figs VI.5 y VI.6.

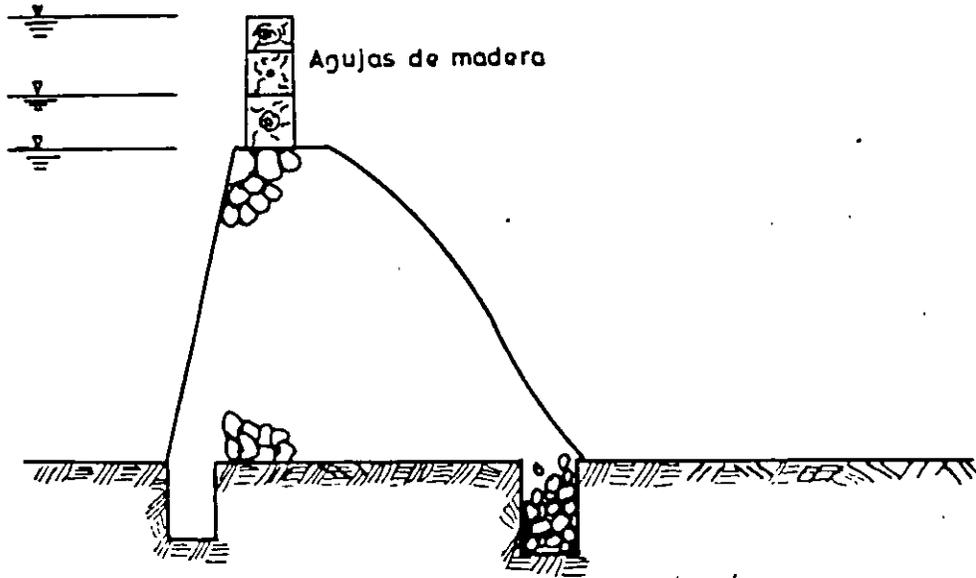


Fig VI.5 Presa de cresta móvil

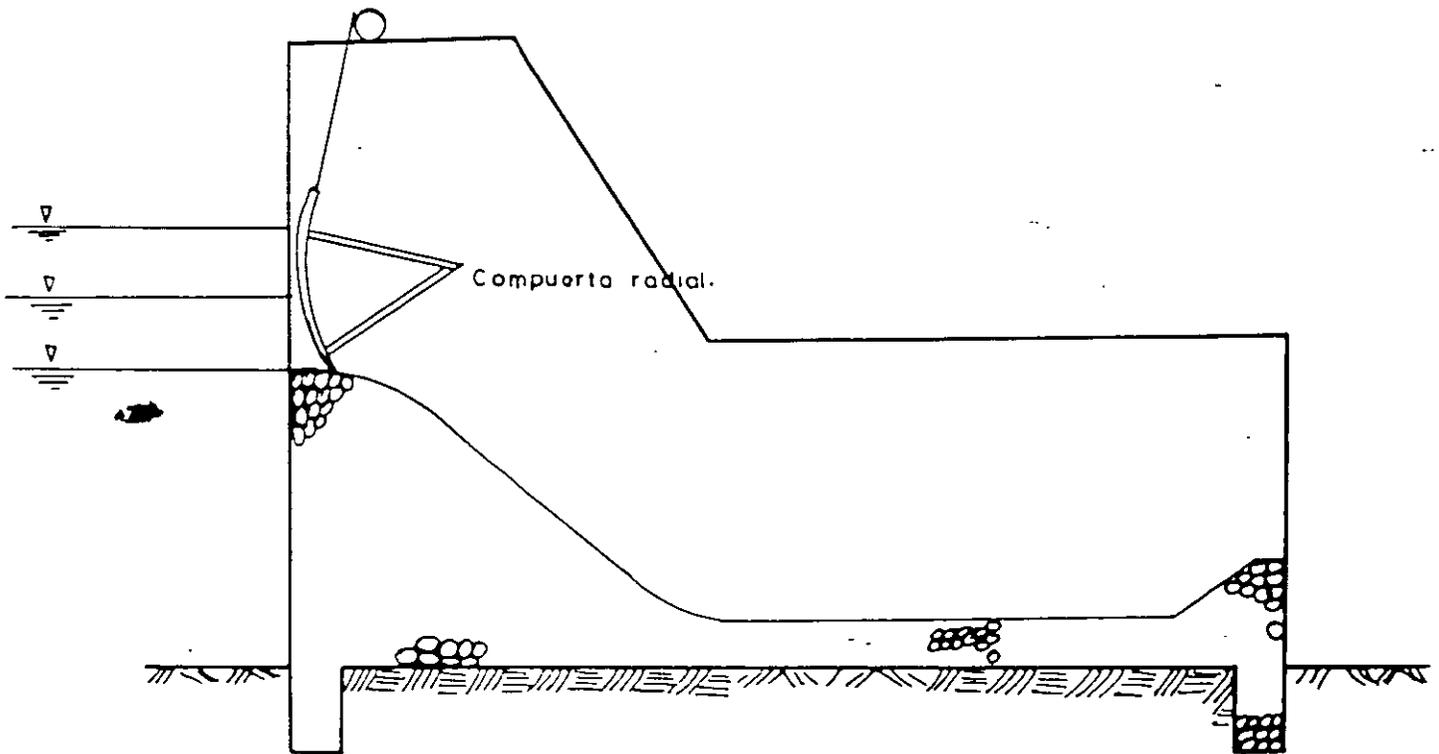


Fig VI.6 Presa de cresta móvil

VI.4 Estabilidad de las presas de mampostería

La geometría del cimacio se aproxima a la forma parabólica de un chorro de agua con caída libre. Esto se hace así con el objeto de no propiciar presiones bajas entre la lámina vertiente y el paramento aguas abajo, con lo cual se evitan fenómenos de cavitación. El análisis que se hace para estabilidad, es muy similar al que se efectúa para una presa de gravedad (de hecho éstas son presas de gravedad vertedoras), variando la importancia relativa de las fuerzas actuantes. Estas fuerzas son las siguientes:

- a) Peso propio
- b) Presión hidrostática
- c) Subpresión (muy importante)
- d) Empuje de sedimentos o azolves
- e) Fuerzas sísmicas
- f) Presión ejercida por el peso del agua sobre el paramento aguas abajo
- g) Choque de olas y cuerpos flotantes
- h) Rozamiento del agua con el paramento de descarga
- i) Presión del hielo
- j) Reacción del terreno

Las fuerzas marcadas con los incisos a, b, c, d, se calculan con los mismos criterios que se usaron en las presas de gravedad. Las fuerzas sísmicas generalmente son despreciadas en los proyectos de presas derivadoras, debido a la poca altura

de las estructuras y como consecuencia su poco peso. El peso del agua sobre el paramento aguas abajo, también es despreciado frecuentemente por lo pequeño de su magnitud. El rozamiento del agua con el paramento de descarga, también puede ignorarse. En cuanto a la presión del hielo, generalmente no se considera en nuestro país porque las heladas no son tan rigurosas como para congelar el agua de los vasos de almacenamiento y menos aún la superficie del agua en los remansos de las presas derivadoras.

La combinación de todas las fuerzas anteriores produce una resultante, a la cual deberá oponerse otra fuerza igual y de sentido contrario producida por la reacción del terreno para lograr la condición de estabilidad. En general el suelo deberá tener capacidad de carga mayor que la solicitada para proporcionar un cierto factor de seguridad.

Condiciones de estabilidad. El análisis de estabilidad de una presa derivadora rígida se concreta al cálculo de un muro de retención considerando las fuerzas que ya se han descrito, y verificando que se cumplan los tres requisitos fundamentales de estabilidad.

Cuando se tengan presas rígidas altas en estructuras derivadoras, el procedimiento de cálculo será el mismo que se utiliza en presas de almacenamiento.

Volteamiento. Se puede demostrar que éste se evita pasando la resultante dentro de la base; sin embargo para proporcionar mayor seguridad se aconseja que caiga dentro del tercio medio de ésta o bien que el cociente de dividir la suma de momentos de las fuerzas verticales entre la suma de los momentos de las fuerzas horizontales sea igual o mayor que 2.

$$\frac{\Sigma M (FV)}{\Sigma M (FH)} \geq 2$$

Deslizamiento. No habra deslizamiento cuando el coeficiente de fricción de los materiales en contacto, sea mayor que el cociente de dividir la suma de las fuerzas horizontales entre la suma de las verticales que actúen en la estructura, y despreciando la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales en el plano de deslizamiento:

$$\frac{\Sigma (FH)}{\Sigma (FV)} \geq \mu$$

Donde: μ es el coeficiente de fricción.

Esfuerzo de los materiales. Se puede presentar una falla en los materiales cuando los esfuerzos a que están trabajando, sean mayores que los especificados como admisibles para ellos, por ello deberá cuidarse no hacerlo.

VI.5 Presas de enrocamiento o tipo indio

Las presas llamadas de tipo indio, se pueden construir des - plantándolas sobre el material de acarreo del río, por lo que se llaman "flotantes", una sección típica se muestra en la fi gura V.7 donde puede observarse que las principales partes de la misma son un muro que puede ser de mampostería o concreto simple y un respaldo de material compactado que aumenta la lon gitud del paso de filtración. La estabilidad de la presa se la proporciona el enrocamiento acomodado aguas abajo con un talud tendido. Este enrocamiento se refuerza con una lechada de concreto.

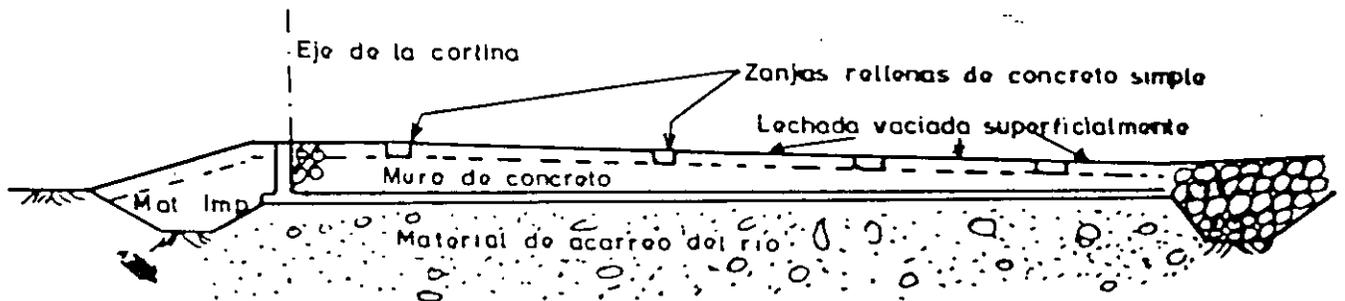


Fig VI.7 Presa tipo indio

El contacto del enrocamiento y el material de cimentación se puede hacer mediante otros materiales, y termina en una trinchera de enrocamiento localizada al final del paramento aguas abajo de la presa y cuyo objeto es resguardarla de la socavación que puede presentarse en este sitio.

Estas estructuras se diseñan generalmente en forma empírica, pues generalmente no es posible hacer cuidadosos estudios de mecánica de suelos como se requiere en un diseño estricto, y casi siempre se han construido con factores de seguridad muy grandes. El rango de altura de las presas construidas hasta la actualidad varía de uno a ocho metros.

De la experiencia y de acuerdo con los materiales que se emplean en su construcción, se recomienda que los taludes aguas abajo de estas presas sean de 10:1 hasta 14:1 y el de aguas arriba de 3:1 a 5:1.

VI.6 Hidráulica de las presas derivadoras

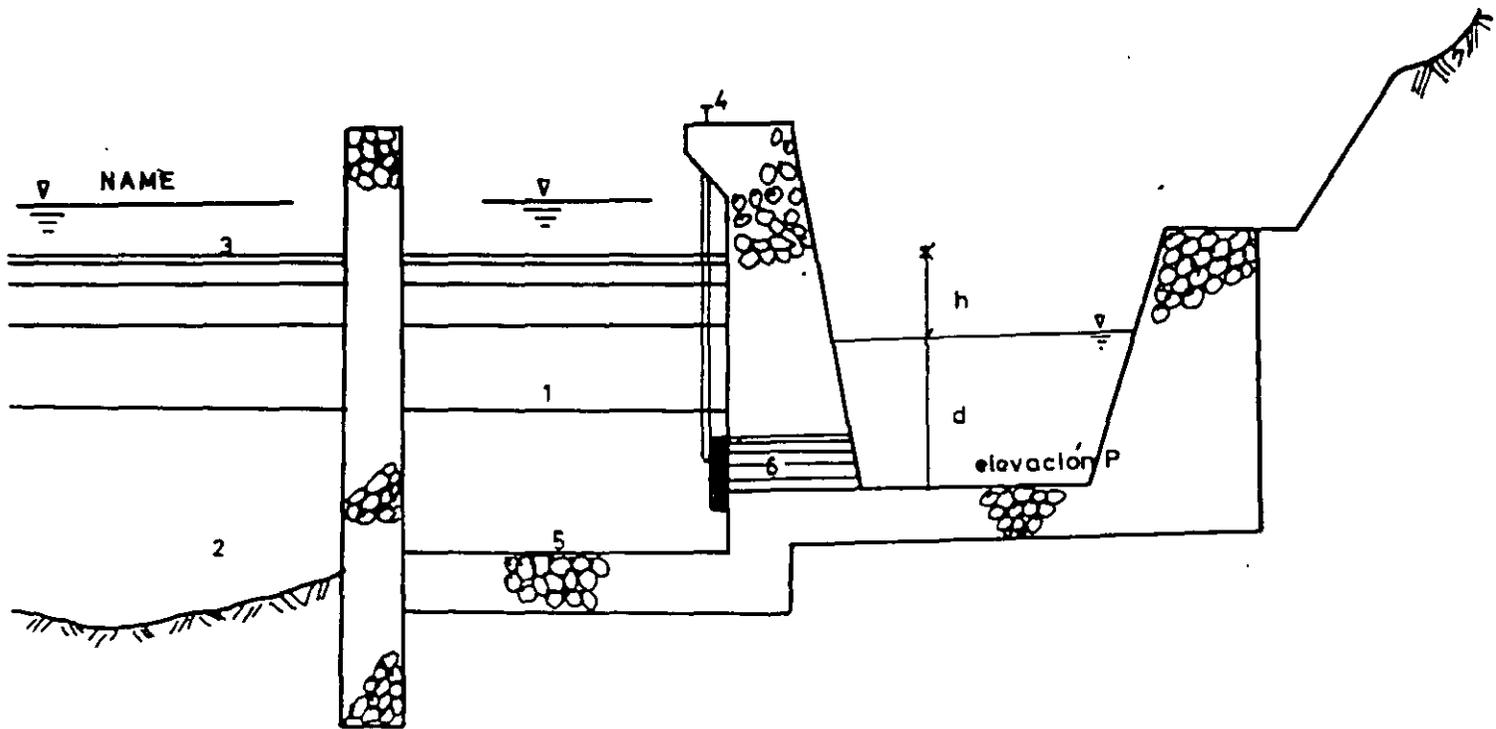
Elevación de la cresta vertedora. Como ya se había indicado, para derivar un gasto determinado es necesario sobreelevar el nivel del agua para aumentar la carga hidráulica, entonces la elevación de la cresta vertedora dependerá de la carga hidráulica necesaria para operar la obra de toma.

En la figura VI.8 se observa un ejemplo de la disposición de la presa, obra de toma y canal principal de conducción.

De esta figura se puede deducir que la elevación de la cresta "C" es igual a la elevación de la plantilla del canal "P", más el tirante "d", más la carga hidráulica del orificio de la toma "h"

$$\text{Elev "C"} = \text{Elev P} + d + h$$

La elevación de la plantilla del canal principal generalmente estará determinada por la topografía del lugar. Aunque existen una serie de factores que deben considerarse para fijar la elevación de la plantilla como son la elevación de los terrenos que se van a regar, las pérdidas de carga por fricción así como las locales, es decir las cargas necesarias para el funcionamiento de estructuras como sifones, caídas, puentes canal, etc.



1. Compuerta radial del desarenador
2. Presa
3. Cresta
4. Corona del muro
5. Plantilla del canal desarenador
6. Obra de toma
7. Perfil del terreno

Fig. VI.8 Disposición típica de una derivación.

Así que generalizado:

$$ElevP = Elev Z. R. + \Delta c + \Sigma h$$

donde

$Elev Z.R.$ = elevación de la rasante del canal en el inicio de la zona de riego.

Δc = desnivel que requiere el canal, según la pendiente o pendientes y la longitud o longitudes de los mismos.

Σh = suma de energías necesarias para el funcionamiento de las estructuras de operación y de cruce en el trayecto.

Como puede observarse en la ecuación anterior, será necesario conocer previamente el trazo del canal principal que liga a la toma con la superficie regada, así como las estructuras que se utilizarán.

VI.7 Disipadores de energía

Al sobreelevar el agua en un río, lo que se está provocando es un incremento de energía potencial, que se transformará en energía cinética al derramarse el agua sobre la cortina vertedora, así puede decirse que este incremento de energía depende directamente de la altura de caída provocada por la presa.

Los daños más comunes debidos al escurrimiento sobre la presa son la socavación y erosión al pie de las estructuras, lo que ocasiona que la estabilidad de las mismas peligre.

En la figura VI.9 se muestra la socavación del agua debida a una fuerte velocidad, al pie de una presa cimentada en terreno poco resistente.

Fenómenos parecidos pueden presentarse también en otros elementos como son los muros de encauce.

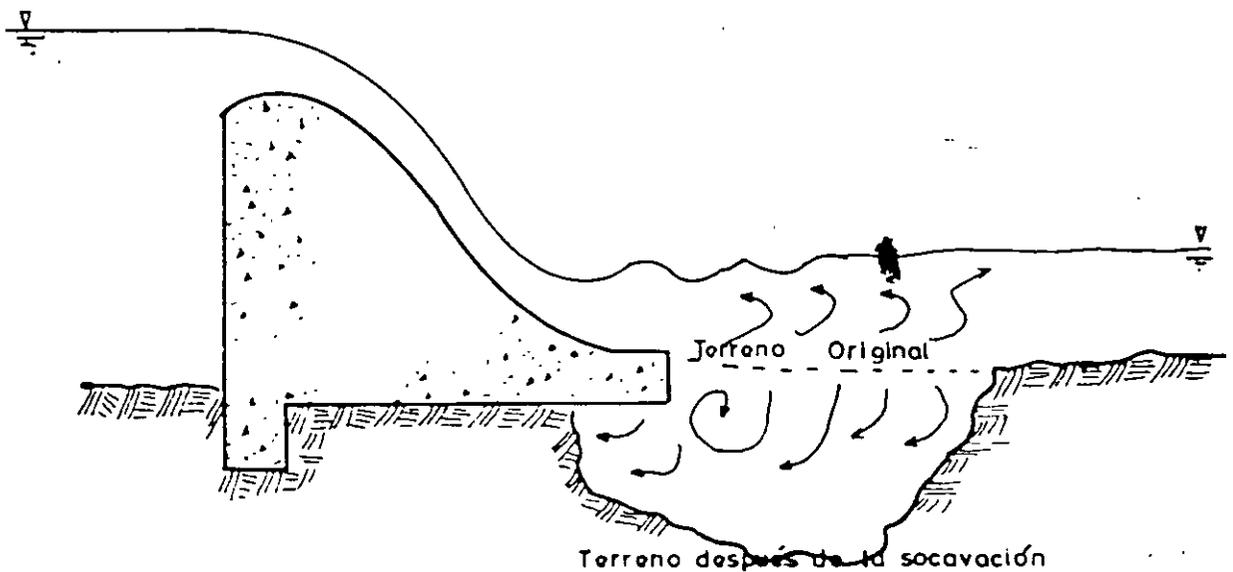


Fig VI.9 Socavación al pie de una presa vertedora.

Sin embargo no siempre se presentarán estos daños, por ejemplo si la caída es pequeña o el lecho del cauce es resistente, las medidas que se tomen tenderán a amortiguar o resistir la velocidad del agua, por ejemplo con zampeados o revestimientos de corta longitud después del muro vertedor, figs VI.10 y VI.11.

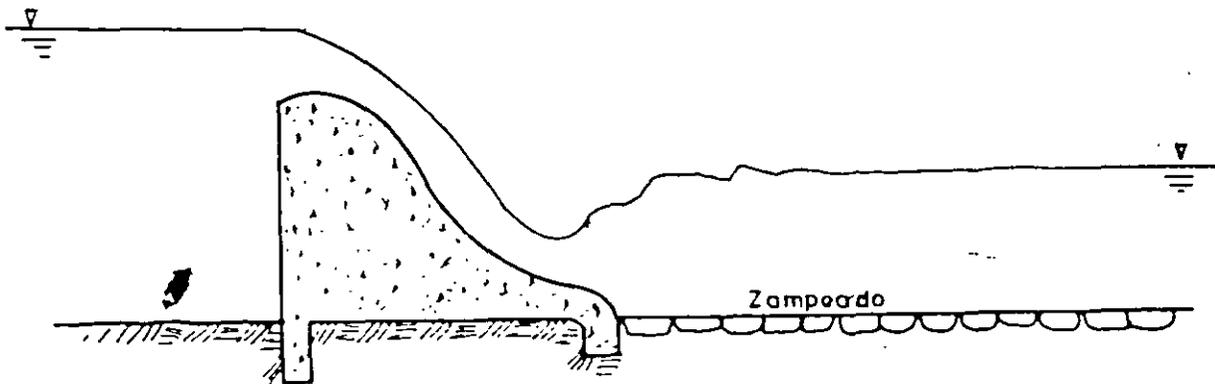


Fig VI.10 Protección al pie de la presa.

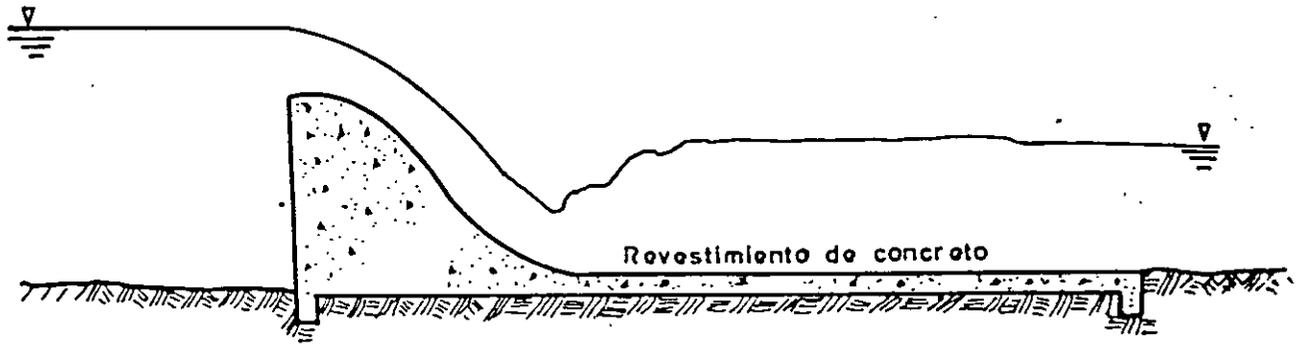


Fig VI.11 Protección al pie de la presa

Otra forma de evitar la socavación y la erosión, es por medio de la construcción de un dispositivo integrado a la presa, cuya función principal es disipar la energía cinética del agua y hacer que esta vuelva al cauce del río con velocidades permisibles que no ocasionen daños aguas abajo de la estructura.

Existen varios tipos de amortiguadores, cuyo diseño dependerá de las condiciones particulares de cada presa.

En general esos dispositivos, con muchas variantes, se pueden agrupar en:

- a) Tanques amortiguadores
- b) Estructuras deflectoras
- c) Estructuras de impacto

VI.8 Obras de toma

Para desviar el agua del río hacia los canales de riego se hacen orificios en el muro que divide al desarenador y las laderas del cauce, este orificio recibe el nombre de obra de toma, fig VI.12. Además esta pared divisoria sirve como muro de contención en la ladera del río y evita el paso del agua hacia el canal en época de avenidas.

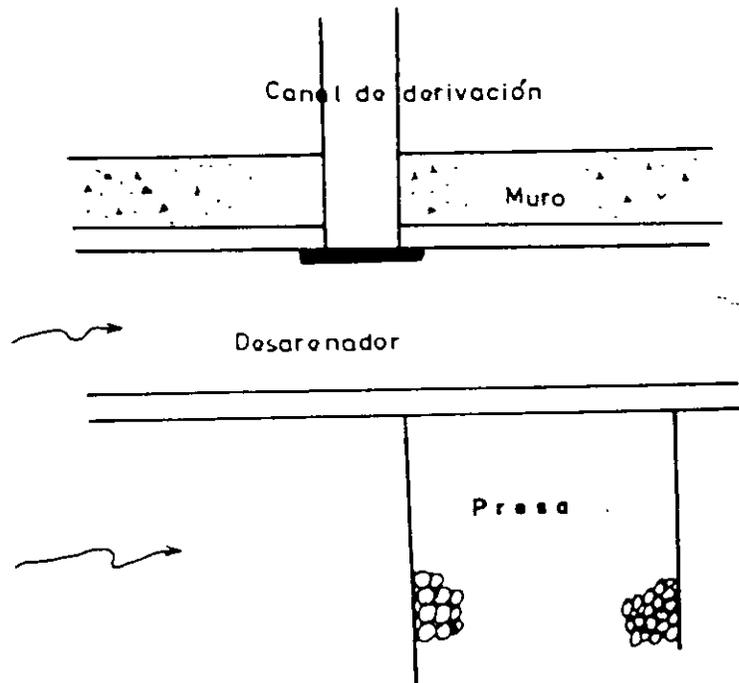


Fig VI.12 Planta de una obra de toma.

El gasto de extracción en la obra de toma se controla mediante compuertas generalmente deslizantes, operadas con mecanismos elevadores desde la corona del muro. Cuando el gasto es grande se pueden emplear compuertas radiales.

Cuando se pretende el aprovechamiento de aguas broncas mediante entarquinamiento o inundación, las obras de toma pueden dejarse sin ningún obstáculo. Cuando el aprovechamiento es pequeño se puede usar un sistema de agujas para cerrar la obra de toma.

VI.9 Cálculo hidráulico de las obras de toma

El cálculo hidráulico de la toma comprende:

- a) Dimensiones del orificio y conductos
- b) Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas
- c) Determinación de la capacidad del mecanismo elevador
- d) Diseño de la transición que une la salida de la toma con el canal de riego.

Dimensiones del orificio y del conducto. Como se indicó en la sección VI.8, el conducto de la obra de toma generalmente atraviesa el muro que separa el desarenador y las laderas del cauce, entonces el análisis hidráulico consiste en considerar simplemente un orificio con tubo corto sumergido. Puede suceder que la obra de toma sea una tubería forzada, en este ca

so deberán considerarse todas las pérdidas que se puedan tener en la conducción, si la toma se hiciera por un conducto trabajando como canal, será necesario determinar las características del régimen para dimensionar el conducto.

La ecuación de un orificio es la siguiente:

$$Q = C A \sqrt{2 g h}$$

donde:

Q = gasto de derivación o gasto normal en la toma, en m^3/seg .

g = aceleración de la gravedad = 9.8 m/seg^2

C = coeficiente de descarga para el orificio correspondiente

h = carga del orificio en metros

A = área del orificio en m^2

Determinación del gasto máximo que puede pasar por las compuertas. Se determinará en función de los requerimientos y la seguridad del canal aguas abajo.

Determinación de la capacidad del mecanismo elevador. Puede hacerse con la siguiente ecuación:

$$\text{Cap Mec Elev} = K E + \text{Peso compuerta} + \text{Peso vástago}$$

donde:

$K E$: Fuerza de fricción que se produce en las guías de la compuerta originada por el empuje hidrostático (E), que actúa en la hoja de la compuerta. K coeficiente para valuar esa fricción cuyo valor puede considerarse igual a 0.35 para las compuertas de fierro fundido con asientos de fierro pulidos a máquina.

Diseño de la transición que une al conducto de la toma con el canal de riego. Con objeto de disminuir las pérdidas por cambios de sección, evitar turbulencias y tener un regimen tranquilo en el enlace de la obra de toma y el canal de conduc-ción, es recomendable diseñar una transición en este lugar.

VI.10 Estructura de limpia

Para tener un adecuado control de la captación y derivación, son recomendables bajas velocidades del agua, ésto origina que los materiales acarreados en suspensión por la corriente se sedimenten, ocasionando un problema al acumularse los azolves en la obra de toma.

El problema consiste básicamente en una baja de eficiencia en el sistema de aprovechamiento y aumento en los costos de operación y mantenimiento, pudiendo llegar a causar la suspensión temporal del sistema, si se considera además que los azolves puedan pasar a los canales de riego, la importancia de establecer sistemas de control o de limpia es notoria.

Analizando con más detalle el proceso de azolvamiento es el siguiente: con la construcción de la presa, se eleva el nivel del agua y se aumenta la sección transversal de la vena líquida, esto origina que la velocidad disminuya y como consecuencia la capacidad de arrastre del agua decrezca, por lo que el material conducido por el río se deposita en el vaso. El problema aumenta, pues la presa en sí, es un obstáculo que detiene grandes cuerpos; incluso los flotantes.

El tipo y cantidad de azolve están determinados por la geología y tipo de vegetación en la cuenca y cauce, por la velocidad de la corriente, por la zona donde se ubique la obra, etc.

Una corriente transporta material en tres formas: arrastrándolo, en suspensión o como cuerpo flotante, el primero que generalmente está constituido por arenas, gravas y cantos rodados, es el que ocasiona mayores problemas al funcionamiento de las derivadoras; el material en suspensión debido a su finura, en general no perjudica a las estructuras y en muchos casos llega a beneficiar a los terrenos al proporcionarles sustancias fertilizantes, los cuerpos flotantes pueden causar problemas, aunque éstos son menores que los originados por el material de arrastre.

El problema de azolves puede resolverse de dos formas: quitándolo en forma periódica o destinando un determinado volu -

men del vaso para que sea ocupado por este material durante la vida útil de la presa, generalmente ésto último se hace en presas de almacenamiento.

En las presas de derivación, se construyen estructuras con el objeto de proveer una limpieza periódica a la obra de toma. La estructura consiste de un canal llamado desarenador, que se forma por dos paredes verticales paralelas, una separa el cauce del río y el desarenador y la otra el desarenador y a la ladera del río, es precisamente en ésta última pared donde se localiza la obra de toma, fig VI.13.

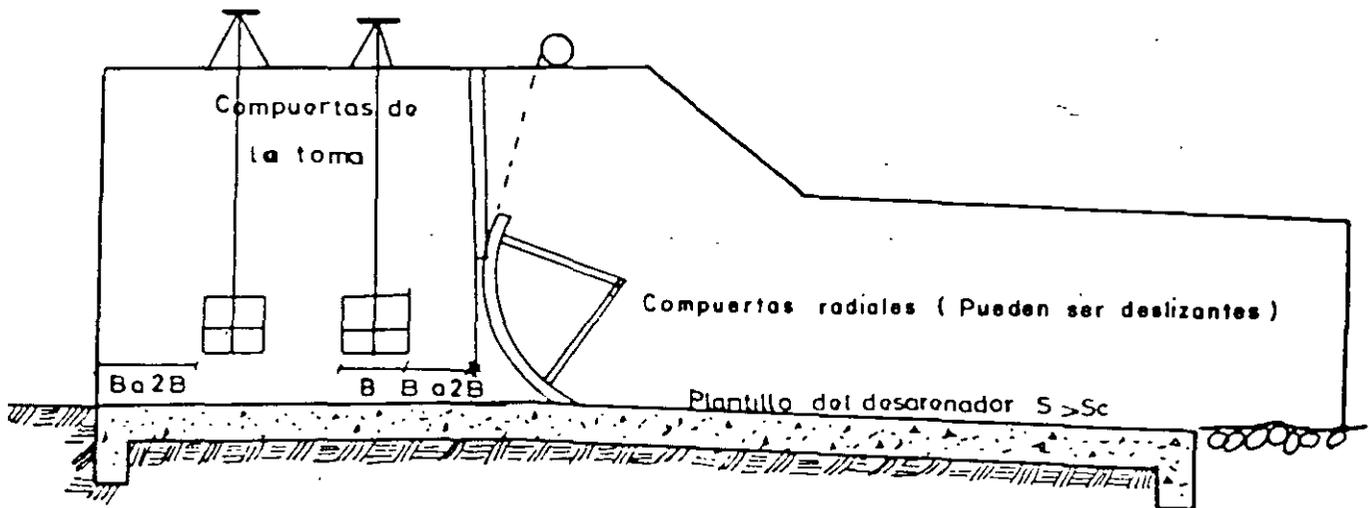


Fig VI.13 Perfil longitudinal de un canal desarenador.

Es recomendable que el desarenador sea paralelo al eje del río, y la obra de toma perpendicular al mismo para evitar el paso del azolve hacia los canales de conducción.

Cuando la cantidad de azolve es grande y las características topográficas e hidrológicas del río lo permiten, los desarenadores pueden construirse muy amplios para utilizar la energía de la corriente y desarenar parcial o totalmente el canal, fig VI.14.

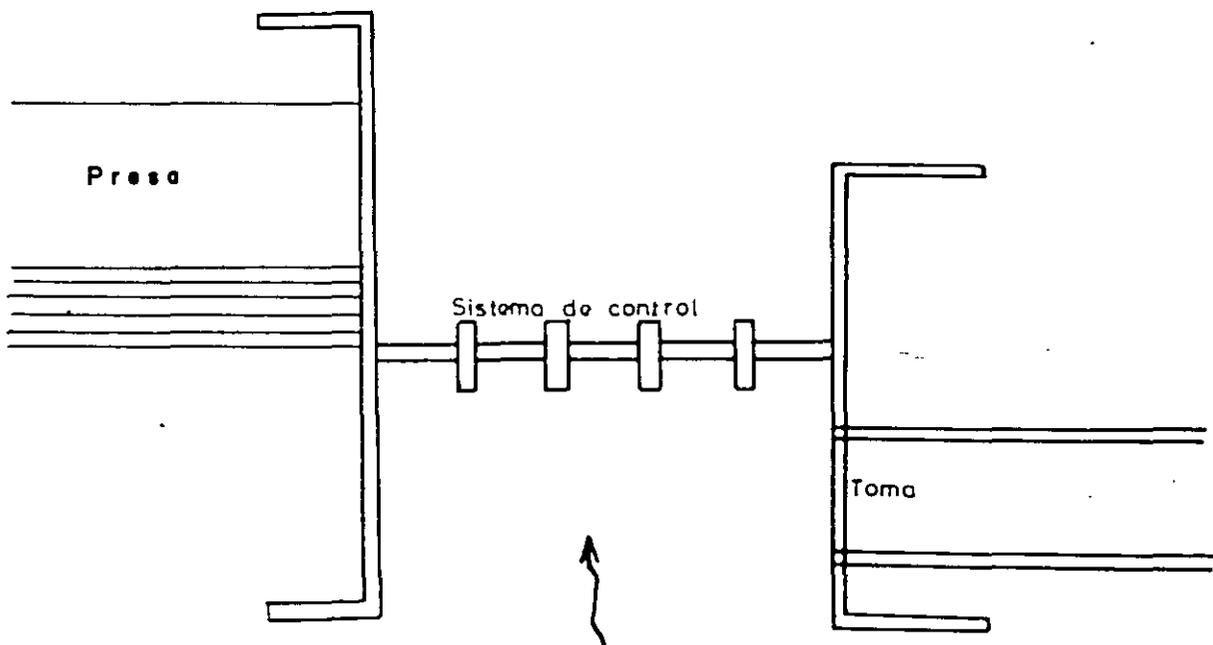


Fig VI.14 Desarenador amplio.

El funcionamiento del canal desarenador es el siguiente:

Si se cierran las compuertas del desarenador, se impide el paso del agua hacia abajo, entonces abriendo las compuertas de la obra de toma, el agua se encauza hacia el canal de riego, ésto traerá como consecuencia que los materiales se decanten aguas arriba del sistema de control del desarenador y dentro del canal debido a la baja velocidad del agua. Para desalojar el azolve, se cierran las compuertas de la obra de toma, se abren las del desarenador y se produce el flujo del agua de manera que su velocidad sea suficiente para arrastrar el azolve y depositarlo en el río aguas abajo de la derivación, generalmente esta operación se hace en tiempo de avenidas.

VI.11 Geometría e hidráulica del desarenador

Las características geométricas del desarenador dependen de las condiciones de funcionamiento del mismo. Para este análisis generalmente se consideran dos formas de operación:

1. Canal desarenador cerrado y obra de toma abierta
2. Canal desarenador abierto y bocatoma cerrada

Primera condición. En este caso el tramo del desarenador ubicado frente a las compuertas de la obra de toma, funciona como un tanque de sedimentación, deberán existir velocidades bajas que permitan que los acarreos del río se depositen aquí.

La sección del canal adquiere forma rectangular, pues se aprovechan las paredes de los muros laterales y además esta sección facilita instalar las obras de control del desarenador y la obra de toma.

Con objeto de contar con espacio para el depósito de sedimentos en el canal desarenador, la cota de su plantilla debe ser inferior a la del umbral de la obra de toma, evitando además el paso de material de arrastre al canal de riego.

No existe un criterio definido para determinar esa diferencia de cotas, sin embargo debe considerarse que dependerá del tamaño y cantidad del material de acarreo. De acuerdo con la experiencia se ha llegado a proponer que como mínimo esa diferencia sea de 80 cm.

De lo anteriormente expuesto, se puede ver que el diseño del canal se reduce a calcular su ancho, dadas la velocidad del agua y la elevación de la misma, que corresponde a la de la cresta de la cortina vertedora, de acuerdo a la ecuación de continuidad se tendrá:

$$Q = A V$$

de donde

$$A = \frac{Q}{V}$$

y por otro lado:

$$A = b d$$

Luego:

$$b = \frac{A}{d}$$

donde:

Q = Gasto mínimo normal considerado en m^3/seg

A = Sección hidráulica del canal en m^2

V = Velocidad para propiciar la sedimentación en m/seg

Gasto mínimo normal. El gasto mínimo en el canal debe corresponder al gasto de derivación normal.

Cuando la obra de toma opera parcialmente, se tendrá un gasto menor que el normal de derivación, en este caso en el canal desarenador dado que la sección hidráulica es la misma la velocidad disminuye, presentándose así una condición favorable.

Segunda condición de funcionamiento. Esta condición se analiza para conocer la capacidad de autolimpieza del desarenador. Se considera que los azolves se han acumulado frente a la obra de toma y entonces se cierran las compuertas de esta y se abren las del desarenador, así se trata de provocar un régimen rápido para que el agua incremente su capacidad de arrastre.

Sin embargo la velocidad no debe ser tan alta que provoque erosión en el canal, o que ocasione socavaciones al pie de la estructura.

Una variable que puede controlarse para garantizar una velocidad de arrastre suficiente pero no erosiva es la pendiente, a continuación se presentan dos casos que pueden ocurrir.

- a) Se tiene el gasto normal de derivación. En este caso ésta es la condición más desfavorable, ya que para gastos mayores se incrementará la capacidad del arrastre de la corriente en el desarenador.

- b) Se tiene un gasto mayor que el normal de derivación, que corresponde al nivel máximo del agua en la presa (NAME).

En los dos casos se debe calcular la pendiente adecuada y revisar las velocidades del escurrimiento, como se muestra a continuación.

datos:

Q = gasto normal de derivación.

b = ancho de plantilla.

v = velocidad adoptada para producir arrastre.

Para el primer caso a) se tiene:

$$Q = v A$$

como se trata de una sección rectangular

$$A = b d$$

luego:

$$Q = v b d$$

de donde:

$$d = \frac{Q}{v b}$$

y también:

$$\tau = \frac{A}{P} = \frac{b d}{b + 2d}$$

Aplicando la fórmula de Manning, la pendiente valdrá:

$$S = \left(\frac{v n}{4.73} \right)^2$$

Para el segundo caso b) se tiene:

$$A = b d$$

siendo:

d = la altura del orificio en el canal
sarenador.

$$P = b + 2d$$

$$r = \frac{A}{P} = \frac{b d}{b + 2d}$$

y la velocidad valdrá:

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$$

la pendiente calculada será la correcta cuando la velocidad se encuentre en el intervalo de velocidades definidas como máxima y mínima en el desarenador.

Velocidades recomendadas. De acuerdo a la experiencia se ha encontrado que las velocidades con capacidad de arrastre, pero que no causan erosión en el desarenador, varían de 2.50 m/s a 4 m/s, habiéndose aceptado valores de 1.5 m/s.

Ejemplo VI.1 Para la disposición mostrada en la figura VI.15 y con los datos proporcionados calcule:

1. Elevación de la cresta vertedora
2. Dimensiones del orificio de la obra de toma

3. Las compuertas para dicho orificio.
4. Gasto máximo que pasará por este orificio.
5. La capacidad del mecanismo elevador.
6. El ancho del desarenador.
7. La pendiente del desarenador.

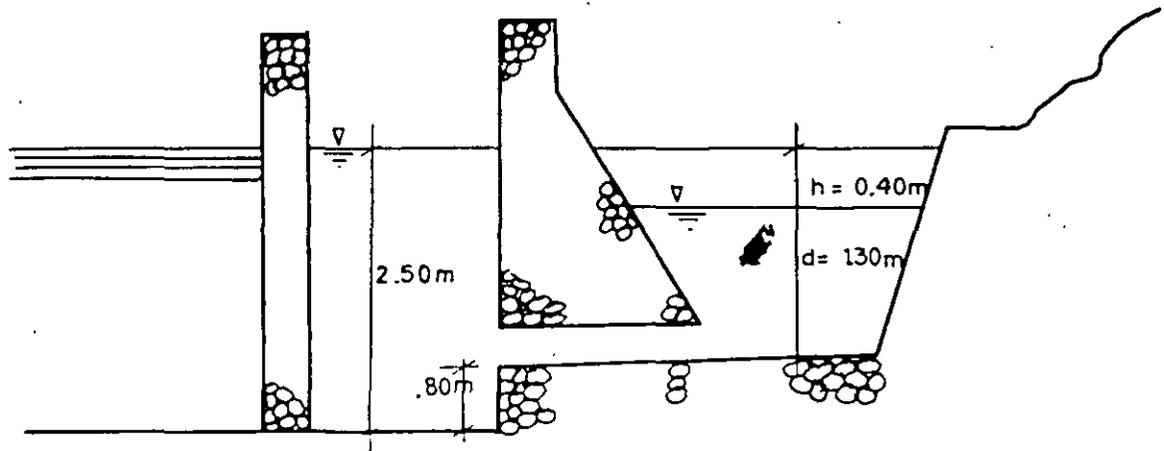


Fig. VI.15 Disposición para el ejemplo VI.1 (esquemática).

Datos.

Gasto de derivación = $2.0 \text{ m}^3/\text{seg}$

Elevación de la plantilla del desarenador = 1120.00 m

Elevación del umbral de la toma = 1120.80 m

Velocidad para canal desarenador cerrado y obra de toma abierta = 0.65 m/seg.

Velocidad para condiciones de compuerta abierta en el desarenador (en funcionamiento) = 2.5 m/seg.

1. Cálculo de la elevación de la cresta:

$$\text{Elev "C"} = \text{Elev P} + d + h$$

$$\text{Elev "C"} = 1120.80 + 1.30 + 0.40 = 1122.50 \text{ m}$$

2. Dimensiones del orificio de la toma:

$$Q = C A \sqrt{2 g h}$$

El coeficiente $C = 0.80$

por lo tanto el área será:

$$A = \frac{Q}{C \sqrt{2 g h}} = \frac{2.0}{0.8 \sqrt{2 \times 9.8 \times .4}} = 0.90 \text{ m}^2$$

Propondremos un orificio rectangular de .915 m x 1.22 m, que para dar el gasto requerido se abrirá hasta 0.98 m.

3. Compuertas:

Para el área de 0.90 m^2 se consultan catálogos y se encuentra que la más aceptable es de .915 m x 1.22 m, que pesa, con su vástago, 308 kg. Es importante consultar acerca de las compuertas tipo, ya que sería muy caro hacer una compuerta precisamente de un área igual a 0.95 m^2 . (la compuerta es deslizante).

4. Gasto máximo que pasará por el orificio.

$$Q = C A \sqrt{2 g h}$$

$$Q = 0.8 \times 1.1163 \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.2} = 1.77 \text{ m}^3/\text{seg}$$

5. Capacidad del mecanismo elevador:

$$\text{Cap Mec Elev} = K E + \text{Peso compuerta} + \text{Peso vástago.}$$

$$K = 0.35$$

$$E = \frac{(1.28 + 2.50)}{2} \times 1.22 \times 0.915 \times 1 = 2.110 \text{ ton} \quad \text{Fig VI.16}$$

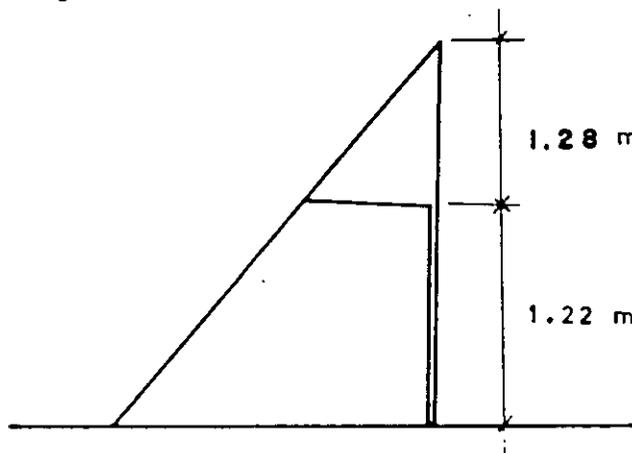


Fig. VI.16 Empuje E sobre la compuerta.

$$\text{Cap Mec Elev.} = 0.35 \times 2.110 + 0.308 = 1.047 \text{ ton}$$

6. Cálculo del ancho del canal del desarenador.

$$Q = A V$$

de donde:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{2.0}{0.65} = 3.08 \text{ m}^2$$

pero:

$$A = b d$$

de donde:

$$b = \frac{A}{d} = \frac{3.08}{1.30} = 2.37 \text{ m}$$

La compuerta tipo que se usará será de 2.37 por 1.30
entonces la velocidad valdrá:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2.00}{2.23 \times 1.30} = 0.65 \text{ m/seg}$$

7. La pendiente del desarenador será:

Como se dió en los datos la velocidad de arrastre que es 2.5 m/s.

$$n = 0.013$$

$$S = \left(\frac{V n}{4.75} \right)^2$$

$$n = \frac{A}{P} = \frac{b d}{b + 2d} = \frac{2.37 \times 1.30}{2.37 \times 2 + 1.30} = 0.5$$

$$S = \left(\frac{2.5 \times 0.013}{0.5} \right)^2 = 0.00422$$

VII. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE PRESAS.

Como toda obra de ingeniería, las presas necesitan una operación eficiente y un mantenimiento adecuado y oportuno para garantizar un óptimo funcionamiento.

El hablar de operación nos lleva a considerar inmediatamente las obras de control. El funcionamiento del equipo necesario para lograr el control en una presa debe establecerse precisamente, dependiendo esta precisión de la magnitud de la obra, pudiendo ser desde una simple relación de operaciones (instructivo de operación), que se ejecuten manualmente, hasta el control de equipo complicado por medio de computadoras. Es claro que esta operación variará de acuerdo con la función de la obra, cambiando de una presa de almacenamiento a una de derivación.

En las presas de almacenamiento el control afectará a la variación de niveles del embalse; cuando se tiene conocimiento de que se acerca alguna avenida, deberá situarse el embalse en un nivel tal que permita recibirla sin problemas para la presa o para las regiones aguas abajo.

Un problema común en las presas construidas en nuestro país, es la aparición de vegetación acuática (especialmente lirio) y fauna patógena como el mosquito anopheles; para combatir este problema muchas veces se intenta una variación de los niveles del embalse.

En el caso de las presas derivadoras se requerirá un control estricto de los sistemas de compuertas.

El mantenimiento variará de una presa a otra, de acuerdo al tipo de material con que haya sido construida. Así en una presa de tierra será fundamental dar mantenimiento a los taludes, cuidando que siempre tengan protección contra los agentes erosivos, ésto es, que el enrocamiento, concreto o asfalto del talud aguas arriba y que el enrocamiento, hierba o cualquier acabado del talud aguas abajo, estén en buenas condiciones siempre, por lo tanto será indispensable establecer inspecciones periódicas, así mismo se deberán cuidar la cimentación y las laderas. Independientemente de estas inspecciones en intervalos de tiempo definidos, será

necesario realizarlas en ocasiones especiales, por ejemplo durante el llenado rápido de la presa, cuidando de la aparición de grietas, asentamientos, deslizamientos de taludes, filtraciones, fuentes, zonas licuadas, etc, esto mismo deberá hacerse después de un vaciado rápido. En las épocas en que el nivel se encuentre bajo se deberá aprovechar para observar las porciones expuestas del talud, laderas y vaso.

En presas de concreto se recomiendan (USBR) inspecciones anuales a las estructuras de concreto como tuberías, drenes, etc, además deberán observarse posibles asentamientos, abombamientos, deslizamientos, agrietamientos o descascaramientos del concreto, revisar las juntas de contracción, daños por erosión o cavitación del concreto, filtraciones en el cuerpo de la presa, en ductos o cimentación, socavaciones, o cualquier funcionamiento anormal.

La inspección también abarcará las zonas y los cauces vecinos como se había dicho antes; no se debe olvidar la inspección del equipo mecánico.

REFERENCIAS

1. Marsal R.J y Reséndiz D. Presas de Tierra y Enrocamiento. Limusa, México, 1975
2. Marsal R.J. Presas pequeñas. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1974
3. U.S.B.R. Diseño de presas pequeñas. CECSA, Washington, 1976
4. Cambefort H., Perforaciones y Sondeos. Omega, Barcelona, 1962
5. Saville T, Mc Clendon E.W., Cochran A.L., Freebord allowances for waves in inland Reservoirs. Art., 3465, IV, Transactions, ASCE, Vol 128, 1963
6. Saville T. The effect of fetch on waves generation. Memorando Técnico No 70, Beach erosion board, Corps of Engineers, U.S, Department of the army, 1954
7. Kozeny, J. Grundwasserbewegung bei freim Spiegel. Fluss- und Kanalversickerung, Wasserkraft und Wasser wirtschaft, No 3, 1931

8. U.S. Army. Earth Dams. Manuals-Corps of Engineers, Em 1110-2-1902, 27 Dec. 60
9. Bowles, J. Foundation Analisis and Design. Mc Graw-Hill, New York, 1968
10. Vega R.O. Cortinas de Contrafuertes, Apuntes para un curso de especialización en la División de Graduados del IPN, México, 1974
11. U.S.B.R. Design Criterio for Concentre Arch and Gravi-ty Dams, Washington, 1974
12. Juárez B.E, y Rico R.A. Mecánica de Suelos, Tomos I, II y III, México 1974
13. Linsley, Franzini. Ingeniería de los Recursos Hidráulicos. CECSA, Junio, 1975
14. S.R.H. Presas Derivadoras. Dirección de Obras Hidráulicas para el desarrollo Rural. México
15. Eckstein O. Explotación de Recursos Hidráulicos, 1964
16. S.R.H. Proyecto de Zonas de Riego. Dirección de Proyec-
tos de Irrigación Departamento de Canales, México, 1973

17. Marsal R. Reséndiz D. Fundamentos del diseño y construcción de presas de tierra y enrocamiento, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1967
18. Tamez G. Principios del diseño y construcción de presas de tierra, México, 1963
19. C.I.G.P. IX Congreso Mundial de grandes presas. Es-tambul, Agosto, 1967.

IX BIBLIOGRAFIA

- Arredi, F., Costruzioni idrauliche; parte seconda: Le opere di regolazione e di derivazione. UTEP, Turín, 1977
- Bourgin, A. Cours de calcul de barrages. Eyrolles, París, 1955
- Brown, G. Hydroelectric engineering practice, Vol 1: Civil engineering Blackie and son, Londres, 1958
- C.I.E.P.s., S.c. Grandes presas de México, 1976. Dirección de Proyectos de Irrigación y Control de Ríos, S.R.H., México 1976
- Comisión Internacional de Grandes Presas. Accidentes ocurridos en grandes presas; experiencias obtenidas. Traducido y publicado por el Comité Nacional Español, Madrid, 1975
- Comité Nacional Español de Grandes Presas. Grandes presas; experiencias españolas en su diseño y construcción. C.N.E.G.P., Madrid, 1976
- Creager, W.P., Justin, J.D. y Hinds, J. Engineering for dams. Wiley, Nueva York, 1946
- Davis, C.V. y Sorensen, K.E. (editores) Handbook of applied hydraulics. Mc Graw Hill, Nueva York, 1969
- Galzé, A.R. Handbook of dam engineering Van Nostrand, Nueva York, 1977
- Instituto de Ingeniería. Comportamiento de presas construidas en México. S.R.H., C.F.E., y U.N.A.M., México, 1976

- Lombardi, J. Les barrages en voute mince. Dunod, París, 1955
- Mallet, C. y Pacquant, J. Les barrages en terre. Eyrolles, París, 1951
- Marcello, C. Artículos varios reproducidos en los Scritti di Claudio Marcello. Comité Nacional Italiano de Grandes Presas, Roma, 1970
- Marsal, R.J., y Reséndiz., D. Presas de tierra y enrocamiento. Limusa, México, 1975
- Marsal, R.J y Tamez, E. (editores). Contribuciones de la mecánica de suelos al diseño y construcción de presas de tierra (selección de artículos de Terzaghi, Casagrande, Fellenius, Sherard, etc). S.R.H., México, 1956
- Naylor, D.J., Stagg, K.G. y Zienkiewicz, O.C. (editores). Criteria and assumptions for numerical analysis of dams. University College, Swansea, 1975
- Ortíz, A., Zamudio, M., Higuera, S. y Rousselon, M. Grandes presas para pequeño y mediano riego en México. Dirección General de Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural, S.R.H., México 1976
- Press, H. Les barrages de vallée. Dunod, París, 1958
- Press, H., Stauanlagen und Wasser kraftwerke; 1o. Teil: Talsperren; 2o. Teil: Wehre. Ernst und Sohn, Berlín, 1959
- Priscu, R., Constructif hidrotehnice. Editura Didáctica Si Pedagogica, Bucarest, 1974

- Sherard, J.L. Earth and earth rock dams. Wiley, Nueva York, 1963
- Tamez, E. Principios del diseño y construcción de presas de tierra. S.R.H., México, 1964
- Thomas, H.H. The engineering of large dams (Austria). Wiley, Nueva York, 1975
- U.S.A.E. Earth dams. Engineering Manual 1110-2-1902, Vicksburg, 1960
- U.S.B.R. Design of gravity dams. U.S. Gov. Print Off., Denver, 1976
- U.S.B.R. Design of small dams. U.S. Gov. Print. Off. Washington, 1960
- Vanoni, V.A. (editor). Sedimentation engineering. ASCE, Nueva York, 1975
- Varlet, H. Barrages réservoirs. Eyrolles, París, 1966
- Velasco, O. Presas de derivación (Modelo México 4). Direc. Gral. de Obras de Riego para el Desarrollo Rural, S.R.H., México, 1976

MEMORIAS DE LOS CONGRESOS DE LA
COMISION INTERNACIONAL DE GRANDES PRESAS

1er Congreso (Estocolmo, 1933)

- Tema 1-a Deterioro del concreto de las presas de gravedad por envejecimiento
- 1-b Aspectos relativos a las influencias de la temperatura interna y a la deformación de las presas de gravedad
 - 2-a Métodos de investigación para reconocer si un material es apto para construir una presa de tierra
 - 2-b Estudio de las leyes físicas que rigen las filtraciones a través de una presa de tierra y de su cimentación

2o. Congreso (Washington, 1936)

- 3 Cemento especial para grandes presas
- 4 Constitución e impermeabilización de juntas de construcción, contracción y dilatación
- 5 Estudio de los revestimientos de los paramentos de presas de mampostería o de concreto
- 6 Estudios geotécnicos de los suelos de cimentación
- 7 Cálculos de estabilidad de las presas de tierra

3er Congreso (Estocolmo, 1948)

- 8 La subpresión y los esfuerzos resultantes en las presas
- 9 Métodos e instrumentos para medición de esfuerzos y deformaciones en presas de tierra y de concreto
- 10 Los métodos más recientes para evitar la tubificación
- 11 Información obtenida del uso de métodos de ensaye y de cementos especiales para presas.

5° Congreso (París, 1955)

- 16 Proyecto y construcción de presas sobre suelos permeables y métodos de tratamiento de la cimentación
- 17 Economía y seguridad de diferentes tipos de presas de concreto
- 18 Asentamientos de las presas por la compresibilidad de sus materiales o de los suelos de cimentación, incluyendo problemas de origen sísmico
- 19 El concreto para las grandes presas, con especial referencia al contenido de cemento y su influencia en el comportamiento estructural, impermeabilidad y resistencia a la congelación.

6° Congreso (Nueva York, 1958)

- 20 Sobreelevación de presas existentes, incluyendo métodos de construcción de presas nuevas en etapas
- 21 Observación de esfuerzos y deformaciones en las presas y en sus cimentaciones y empotramientos; comparación con los resultados de cómputos y de pruebas en modelos reducidos
- 22 Métodos de compactación y contenido de humedad para materiales usados en la construcción de presas de tierra y enroca-miento
- 23 Uso de aditivos y puzolanas en el concreto para presas, y la influencia de las más finas partículas de arena

7° Congreso (Roma, 1961)

- 24 La selección, preparación y especificación de agregados para el concreto de grandes presas
- 25 Trabajos subterráneos relacionados con las presas
- 26 Técnicas modernas relativas a las presas de concreto en boquillas anchas y sus obras accesorias
- 27 Impermeabilización de las presas de tierra y enrocamiento con productos bituminosos y otros materiales

8° Congreso (Edimburgo, 1964)

- 28 Propiedades físicas y mecánicas de las rocas in situ; métodos para determinarlas y mejorarlas, con referencia especial al proyecto y construcción de grandes presas
- 29 Resultados e interpretación de mediciones hechas en grandes presas de todo tipo, incluyendo observaciones sísmicas
- 30 Diseño del concreto para grandes presas de todos los tipos e influencia de la edad en sus propiedades
- 31 Proyecto, métodos de construcción y comportamiento de presas de enrocamiento altas (más de 80 m).

9° Congreso (Estambul, 1967)

- 32 La seguridad de las presas desde el punto de vista de su cimentación y la estabilidad de las laderas del vaso
- 33 Disposiciones temporales y permanentes para controlar avenidas
- 34 El comportamiento y deterioro de las presas
- 35 Presas en zonas sísmicas y otras situaciones desfavorables

10° Congreso (Montreal, 1970)

- 36 Progresos recientes en el diseño y construcción de presas de tierra y enrocamiento
- 37 Progresos recientes en el diseño y construcción de presas y embalses sobre aluviones profundos, calizas kársticas u otras formaciones desfavorables
- 38 Supervisión de presas y embalses en operación
- 39 Avances recientes en el diseño y construcción de presas de concreto

11° Congreso (Madrid, 1973)

- 40 Consecuencias de la construcción de presas sobre el medio ambiente
- 41 Control de gastos y disipación de energía durante la construcción y operación
- 42 Dispositivos de estanqueidad y protección de taludes de presas

de tierra y enrocamiento

- 43 Nuevas ideas para la construcción más rápida y económica de presas de concreto

12° Congreso (México, 1976)

- 44 Problemas de las presas de materiales sueltos de tipo especial
- 45 Investigación de filtraciones y drenaje de las presas y sus cimentaciones
- 46 Estudios preliminares para aprovechamientos con presas
- 47 Los efectos de algunos factores ambientales sobre las presas y sus embalses.



**DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

Selección de Tecnología de Plantas Industriales

Palacio de Minería
1998.

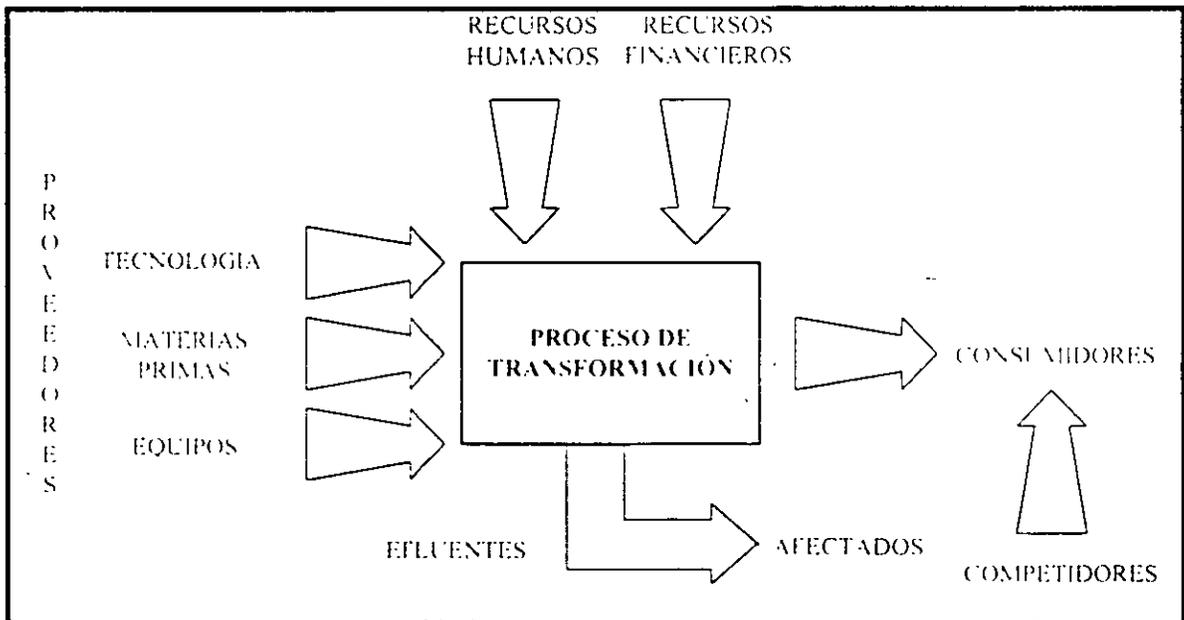
SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE PLANTAS INDUSTRIALES

1.- ESCENARIO Y ACTORES EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN

Una razón esencial para invertir recursos financieros en una determinada actividad es la expectativa de una utilidad, ya que existen diferentes entidades con interés potencial en decidir en que comprometer los recursos. Así para poder elegir una opción de inversión es necesario interpretar la información acerca de los flujos de efectivo de los proyectos en cuestión, en niveles de decisión de acuerdo a la entidad inversionista : que normalmente se basa en la comparación entre los parámetros financieros determinados con aquellos que se tienen por aceptables, de acuerdo a las conveniencias particulares.

El resultado final es la selección de una alternativa y su incorporación al presupuesto de capital, o sea la asignación de recursos para su ejecución

Todo esto se aplica en gran parte a la selección de alternativas de inversión en el área de la transformación, por lo que el enfoque que se da es el que integra los aspectos de interés, para cada caso; y que conduce a una decisión sustentada que apunta hacia la mejor alternativa integral.



Un factor que determina en gran parte la selección de la mejor alternativa es la tecnología que tiene implicaciones de gran importancia ya que su repercusión puede sobrepasar el área financiera, donde incide por su costo asociado, ya que se involucran pagos de regalías por los derechos de uso de los procesos de los licenciadores.

De esta forma los actores en los proyectos de inversión son los Usuarios y los Tecnólogos. En los primeros se consideran a los inversionistas, la Alta Dirección, los gerentes de producción, y al personal técnico y obrero; aunque no todos participan en el proceso de evaluación debido a que la visión sobre la tecnología y evaluación del proyecto son muy diferentes en cada uno de ellos. Los segundos son propietarios del elemento a transferir (la Tecnología) y proporcionan normalmente servicios de ingeniería y de asistencia técnica.

2.- MÉTODOS DE EVALUACIÓN

En todo proceso de evaluación se requiere de personal (Evaluadores) que apliquen las técnicas o métodos requeridos, siendo éste el último de los actores en la evaluación de proyectos de inversión. Así el papel del evaluador es de disponer de metodologías muy generalizadas que fueron desarrolladas para la evaluación de proyectos de inversión.

Entre estos métodos de evaluación de tecnologías se pueden citar tres.

- (1) **Métodos financieros.**- Estos métodos toman como parámetros económicos de selección, los indicadores clásicos como son: la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Retorno de la Inversión (ROI) o bien el Período de Recuperación de Capital.
- (2) **Métodos derivados de cálculos de descuentos.**- Entre estos se pueden citar la técnica "Discounted cash flow" y las técnicas de análisis de costo-beneficio.
- (3) **Métodos matriciales.**- Entre estos se pueden citar los métodos analíticos y los de criterios múltiples.

3.- METODOLOGÍA CLÁSICA DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS

Esta metodología contempla seis aspectos de evaluación de tecnologías: el técnico de proceso, el técnico complementario, el económico-financiero, el contractual, el de plausibilidad y el estratégico.

3.1.- EVALUACIÓN TÉCNICA DE PROCESO

En la etapa de evaluación técnica, el análisis debe centrarse en los siguientes puntos principales:

(a) *Concordancia del proceso ofrecido con las bases de diseño*

- Capacidad y factor de servicio
- Especificaciones de materias primas
- Especificaciones de productos
- Condiciones en límites de batería

(b) *Características relevantes del proceso (innovaciones)*

- Equipo
- Condiciones de operación

(c) *Actualizaciones de proceso*

- Obsolescencia

(d) *Condiciones de operación*

- Efecto en la flexibilidad

(e) *Flexibilidad del proceso*

- Materia prima
- Capacidad de operación (caso crítico)
- Número de equipos de relevo
- Interdependencia
- Automatización

(f) *Requerimientos de mantenimiento*

- Equipos críticos

(g) *Consumo de materias primas y servicios auxiliares*

- Eficiencia y economía del proceso

(h) *Tratamiento de efluentes*

- Normas
- Sistemas de tratamiento

3.2.- EVALUACIÓN DE ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS

En este aspecto se debe poner de manifiesto el respaldo en materia de:

(a) *Experiencia del licenciador*

- Diseños previos
- Equipos particulares

(b) *Documentación técnico complementaria*

- Tipo y nivel de documentación

(c) *Servicios profesionales adicionales*

- Inspección de procura en el extranjero
- Supervisión de la expedición y embarque para compras en el extranjero
- Supervisión técnica durante la construcción
- Asistencia en los preparativos y arranque de la planta
- Entrenamiento de personal para operación y mantenimiento
- Otros

(d) *Experiencia técnica - Administrativa*

Experiencia en el proceso

- Número de plantas (esp. misma capacidad)

(e) *Experiencia general de los licenciadores en Ingeniería, en Construcción, en Operación y en Coordinación de proyectos*

Características generales

- Estructura organizacional
- Recursos materiales y humanos
- Disponibilidad de horas - hombre

3.3.- EVALUACIÓN ECONÓMICA-FINANCIERA

En la evaluación económica se deben considerar los siguientes aspectos:

(a) *Inversión en equipo y materiales*

(b) *Capital de trabajo*

(c) *Economía intrínseca del proceso*

- Materias primas
- Servicios auxiliares
- Catalizadores
- Reactivos químicos
- Mantenimiento
- Depreciación

(d) *Costo de ingeniería y licenciamiento*

3.4.- EVALUACIÓN CONTRACTUAL

Aunque en muchas ocasiones no se dispone de toda la información necesaria para la evaluación contractual, ésta debe considerar principalmente los siguientes puntos:

(a) *Licencia y tecnología*

- Obligaciones
- Derechos
- Restricciones
- Secrecia
- Derechos de patente

(b) *Garantía de la información técnica*

(c) *Alcance de los servicios técnicos y profesionales*

(d) *Garantías*

- Capacidad de la planta
- Consumo de materias primas
- Servicios auxiliares
- Agentes químicos
- Especificaciones de los productos
- Características de los efluentes

(e) *Acordar criterios y procedimientos para pruebas de comportamiento de la planta*

(f) *Definir responsabilidad del licenciador en la supervisión del diseño de detalle del equipo y su construcción*

(g) *Programas de trabajo con puntos de entrega de información*

(h) *Establecer penalidades de incumplimientos*

3.5.- EVALUACIÓN DE ASPECTOS PLAUSIBLES

Estos aspectos que influyen de cierta manera en la selección de una tecnología son los que se consideran dignos de apludirse.

(a) *Beneficios regionales*

(b) *Generación de actividad económica*

(c) *Generación de empleos*

4. METODOLOGIA DE EVALUACION DE TECNOLOGIAS QUE CONSIDERA LOS BENEFICIOS ECONOMICOS

Esta metodología se basa en calcular un indicador económico del proyecto (normalmente la tasa interna de retorno (IRR)) y se le aplican una serie de factores para considerar las características técnicas y contractuales de la transferencia de la tecnología.

$$Z_b = IRR$$

$$Z_f = Z_b (A)(B)(C)(D)(E)(F)$$

- (A) = Factor de intensidad tecnológico
0.6 a 1.4 (de baja a alta)
- (B) = Factor de competitividad internacional
0.4 a 1.6 (de rezago a techo tecnológico)
- (C) = Factor de grado de desarrollo de la tecnología
0.2 a 1.0 (de nivel laboratorio a nivel industrial)
- (D) = Ventajas comerciales
0.6 a 1.4 (de claras desventajas a claras ventajas)
- (E) = Exclusividad de la tecnología
0.4 a 1.4 (de sin exclusividad a exclusividad internacional)
- (F) = Grado de integración del paquete tecnológico
0.0 a 1.0

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE COSTOS DE TECNOLOGÍAS

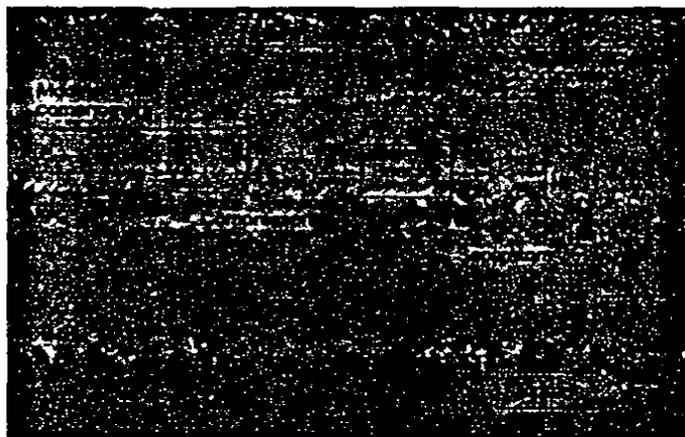
CONCEPTO	LICENCIADOR X	LICENCIADOR Y	LICENCIADOR Z
Costo de MP's/kg. de Prod.:			
A			
B			
C			
Otras materias primas			
Costo de servicios/kg. de Prod.			
Vapor alta presión			
Vapor media presión			
Vapor baja presión			
Electricidad			
Aire comprimido			
Aire de instrumentos			
Agua desionizada			
Agua de enfriamiento			
Agua de la planta			
Gases inertes			
Otros servicios			
-- Costo de mano de obra/kg.			
- Costo de producción			

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE COSTOS DE TECNOLOGÍAS

CONCEPTO	LICENCIADOR X	LICENCIADOR Y	LICENCIADOR Z
- Costo de mantenimiento/kg. Cap. Ins.			
- Personal/turno para la operación (No.)			
- Inversión en LB/kg. Cap. instalada			
- Capacidad de producción			
- Horas de trabajo/año			
- OST %			
- Rendimiento			
- Capacidad mínima de operación			
- No. de Cías. a las que han licenciado			
- Flexibilidad de operación			
- Costo de la licencia Down Payment Regalías % y No. de años			

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE COSTOS DE TECNOLOGIAS

CONCEPTO	LICENCIADOR X	LICENCIADOR Y	LICENCIADOR Z
Costo de la Ing. Básica			
Costo de la Ing. de Detalle			
Costo por Construcción y arranque			
Costo por Capacitación de personal			
Costo por Asistencia técnica/d-h			
Costo por Transt. De innovaciones			
Vida media del producto			
Catalizador empleado			
Grado de recuperación del Cat.			
Costo del Sistema de Trat. de Efluentes			
Otros (especificar)			



Polyethylene *Tecnologia 1*

Application: To produce low density polyethylene (LDPE) homopolymers and EVA copolymers using the high pressure free radical process. Large scale tubular reactors with a capacity in the range of 130 to 200 Mtpy, as well as stirred autoclave reactors with capacity around 100 Mtpy can be used in the high pressure process.

Description: A variety of polymers is being produced on these large reactors for various applications. The melt index, polymer density and molecular weight distribution are controlled with temperature profile, pressure, chain transfer agent and comonomer concentration. Autoclave reactors can give narrow or broad molecular weight distribution depending on the selected reactor conditions, whereas tubular reactors typically give narrow molecular weight distribution polymers.

Gaseous ethylene is supplied to the battery limits and boosted to 300 bar by the primary compressor. This makeup gas, together with the recycle gas stream, is compressed to reactor pressure in the secondary compressor. The tubular reactors operate at pressures up to 3 000 bar, whereas autoclaves normally operate below 2 000 bar. The polymer is separated in a high and low pressure separator, nonreacted gas is recycled from both separators. Molten polymer from the low pressure separator is fed into the extruder, polymer pellets are then transferred to storage silos.

The main advantages for the high pressure process compared to linear PE processes are short residence time and the ability to switch from homopolymers to copolymers incorporating polar comonomers in the same reactor. Also, the high pressure process allows fast and efficient transition for a broad range of polymers.

Products: Polymer density in the range 0.912 up to 0.935 for homopolymers, the melt index may be varied from 0.2 to greater than 150. Vinylacetate content up to 30 wt%.

Economics:

Raw materials and utilities, per metric ton of pelletized polymer:	
Ethylene, ton/ton	1.008
Electricity, kWh	800
Steam, ton/ton	0.35
Nitrogen, Nm ³ /t	5

Commercial plants: Exxon operates 15 high pressure reactors on a worldwide basis with a capacity of approximately 1 MMtpy. Homopolymers and a variety of copolymers are produced.

Licensor: Exxon Chemical Co.



Polyethylene *Tecnologia 2*

Application: To produce high density polyethylene (HDPE) and medium density polyethylene (MDPE) under low-pressure slurry process — "CX process."

Description: The CX process offers products having bimodal molecular-weight distribution, where width is freely and easily controlled by adjusting the reactor arrangement without changing the catalyst system. This process produces a wide melt index range. Innovative catalyst chemistry is combined with a sophisticated polymerization process. The control system allows the plant to operate very stably, easily and without daily variation. Simple catalyst system and simple polymerization operation provides easy product switch-over that results in short transition time and negligible amount of off-spec product from switch-over. Ethylene, hydrogen, comonomer and superhigh activity catalyst are fed into the reactors (1), and polymerization reaction takes place under slurry state. The automatic polymer property control system plays a very effective role in product-quality control. Superhigh activity catalyst requires no catalyst removal from the products. Slurry from the reactors is pumped to the separation system (2), and the wetcake is dried into powder in the dryer system (3). As much as 90% of the solvent separated from the slurry is directly recycled to the reactors without any treatment. The dry powder is pelletized in the pelletizing system (4) along with required additives.

Product: Broad range of homopolymer and copolymer can be produced

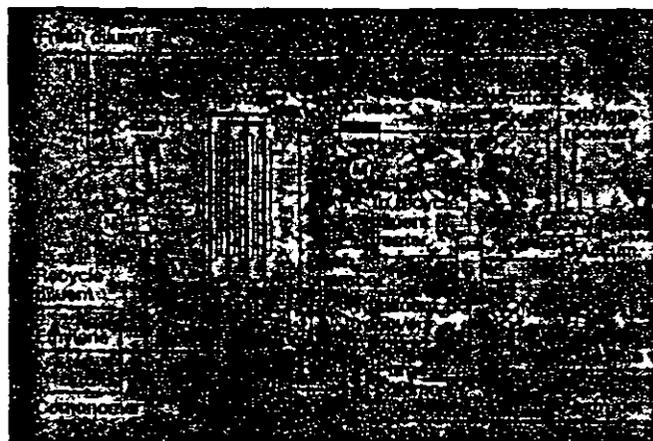
Melt index	0.01 to >50
Molecular-weight distribution	Freely controlled from narrow to very wide
Density	0.93 to 0.97

Economics: Consumption per metric ton of natural pellets of typical product type:

Ethylene and comonomer, kg	1,020
Electricity, kWh	305
Steam, kg	340
Water, cooling, t	190
Nitrogen, Nm ³	30

Commercial plants: Twenty-nine reaction lines of CX process are in operation or construction worldwide with a total production capacity of over 2.7 MMtpy.

Licensor: Mitsui Petrochemical Industries, Ltd.



Polyethylene *Technology 3*

Application: Produce linear polyethylene (LPE) using the Phillips Petroleum Co. LPE process

Description: Polyethylene resins ranging in melt indices from less than 2 HLMI to greater than 200 MI, densities from slightly less than 0.920 to 0.970 g/cc, and molecular weight distribution from very narrow to very broad are produced by the Phillips LPE process. Polymerization occurs in an isobutane slurry using very high activity proprietary catalysts (1) in a loop reactor (2). Melt index and molecular weight distribution are controlled by catalyst, operating conditions and hydrogen. Density is controlled by comonomer incorporation. Comonomers that can be used include butene-1, hexene-1, 4-methyl-1-pentene and octene-1. High-activity catalysts eliminate the need for catalyst removal. No waxes or other byproducts are formed during polymerization, thereby minimizing environmental emissions.

Ethylene, isobutane, comonomer and catalyst are continuously fed to the loop reactor where polymerization occurs at temperatures lower than 100°C and pressures of approximately 40 kg/cm² and residence times of approximately one hour. Ethylene conversion exceeds 97% per pass. Reactor effluent is flashed to separate the solid resin from the gaseous stream (3). Polyethylene powder is purged (4) with nitrogen to remove traces of hydrocarbons and pneumatically conveyed to the extrusion area for stabilization and pelletizing. The gaseous stream is compressed (5), purified and recycled back to the reactor.

Products: Homopolymers and copolymers are produced for applications in film, blow molding, injection molding, rotomolding, pipe, sheet and thermofforming, and wire and cable.

Economics: Representative of conditions for both homopolymer and copolymer production:

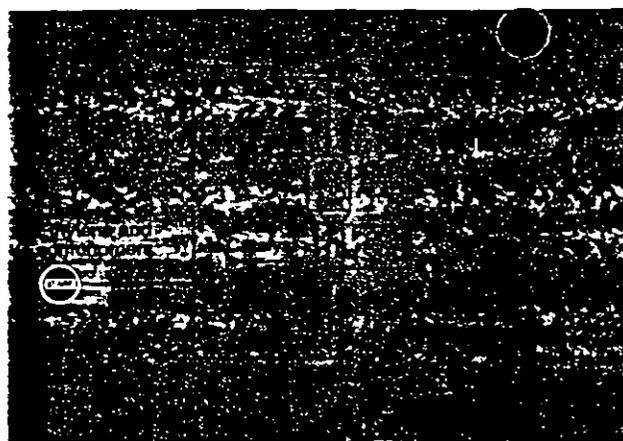
Typical raw material and utility requirements, per metric ton of pelleted resin

Ethylene, mt	1.007
Catalyst and chemicals, U.S.\$*	2.00-10.00
Steam, mt	0.25
Electricity, kWh	350
Water cooling (circulating), mt	185
Nitrogen, Nm ³	30

*Based on product slate

Commercial plants: Eighty-two reactor lines are either in operation or construction worldwide and account for 34% of worldwide capacity.

Licensor: Phillips Petroleum Co.



Polyethylene *Technology*

Application: To produce linear low-density polyethylene (LLD) to high-density polyethylene (HDPE) using the low-pressure, phase Unipol PE process

Description: A wide range of polyethylenes is made in a gas-phase fluidized-bed reactor using proprietary solid and slurry catalysts. The product is in a dry, free-flowing granular form substantially free of fines as it leaves the reactor and is converted to pellet form for sale. Melt index and molecular weight distribution are controlled by selecting the proper catalyst type and adjusting operating conditions. Polymer density is controlled by adjusting comonomer content of the product. High catalyst productivity eliminates the need for catalyst removal.

The simple and direct nature of this process results in low investment and operating costs, low levels of environmental pollution, minimal potential fire and explosion hazards, and easy operation and maintenance.

Gaseous ethylene, comonomer and catalyst are fed to a reactor containing a fluidized bed of growing polymer particles and operating near 25 kg/cm² and approximately 100°C. A conventional, single-stage, centrifugal compressor (2) circulates reaction gas, which fluidizes the reaction bed, provides raw material for the polymerization reaction, and removes the heat of reaction from the bed. Circulating gas is cooled in a conventional heat exchanger (3).

The granular product flows intermittently into product discharge tanks (4) where unreacted gas is separated from the product and returned to the reactor. Hydrocarbons remaining with the product are removed by purging with nitrogen. The granular product is subsequently pelletized in a low-energy system (5) with the appropriate additives for each application.

Products: Polymer density is easily controlled from 0.915 to 0.970 g/cm³. Depending on catalyst type, molecular weight distribution either narrow or broad. Melt index may be varied from less than 1 to greater than 200. Grades suitable for film, blow-molding, pipe, rotomolding and extrusion applications are produced.

Commercial plants: Almost ninety reaction lines are in operation under construction or in the design phase worldwide with single-line capacities ranging from 40,000 tpy to more than 300,000 tpy.

Licensor: Union Carbide Corp.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN CASO CONCRETO:

Selección de tecnologías para la producción de *POLIETILENO*

(1) Definición de los aspectos a considerar dentro de la evaluación:

ASPECTO (Pi)
1. Evaluación técnica del proceso
2. Evaluación de aspectos técnicos complementarios
3. Evaluación económica-financiera
4. Evaluación contractual
5. Evaluación de aspectos plausibles
6. Evaluación de aspectos estratégicos

(2) Asignar el peso o puntaje a cada uno de ellos:

$$\text{Donde } 100 = \sum P_i$$

(3) Seleccionar para cada aspecto, los subaspectos $\{(SA)_i\}$ que van a ser evaluados.

(4) Definir los puntajes o pesos para los subaspectos bajo la base de que la suma de el puntaje total asignado a cada aspecto.

(5) Para definir la calificación máxima y mínima se recomiendan los siguientes criterios

- (a) Usar como calificación máxima la mejor opción de las alternativas tecnológicas.
- (b) Usar como calificación mínima lo mínimo esperado.
- (c) Para algunos factores la máxima calificación puede ser establecida en función de los servicios esperados

(6) Generar la matriz con los resultados de la evaluación y hacer los cálculos pertinentes para obtener la evaluación total de cada alternativa tecnológica, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Calificación de la tecnología } i = \sum_{k=1}^{n_A} P_i \left(\sum_{j=1}^{n_{SAk}} W_j \right)$$

donde:

P_i = Porcentaje del aspecto i .

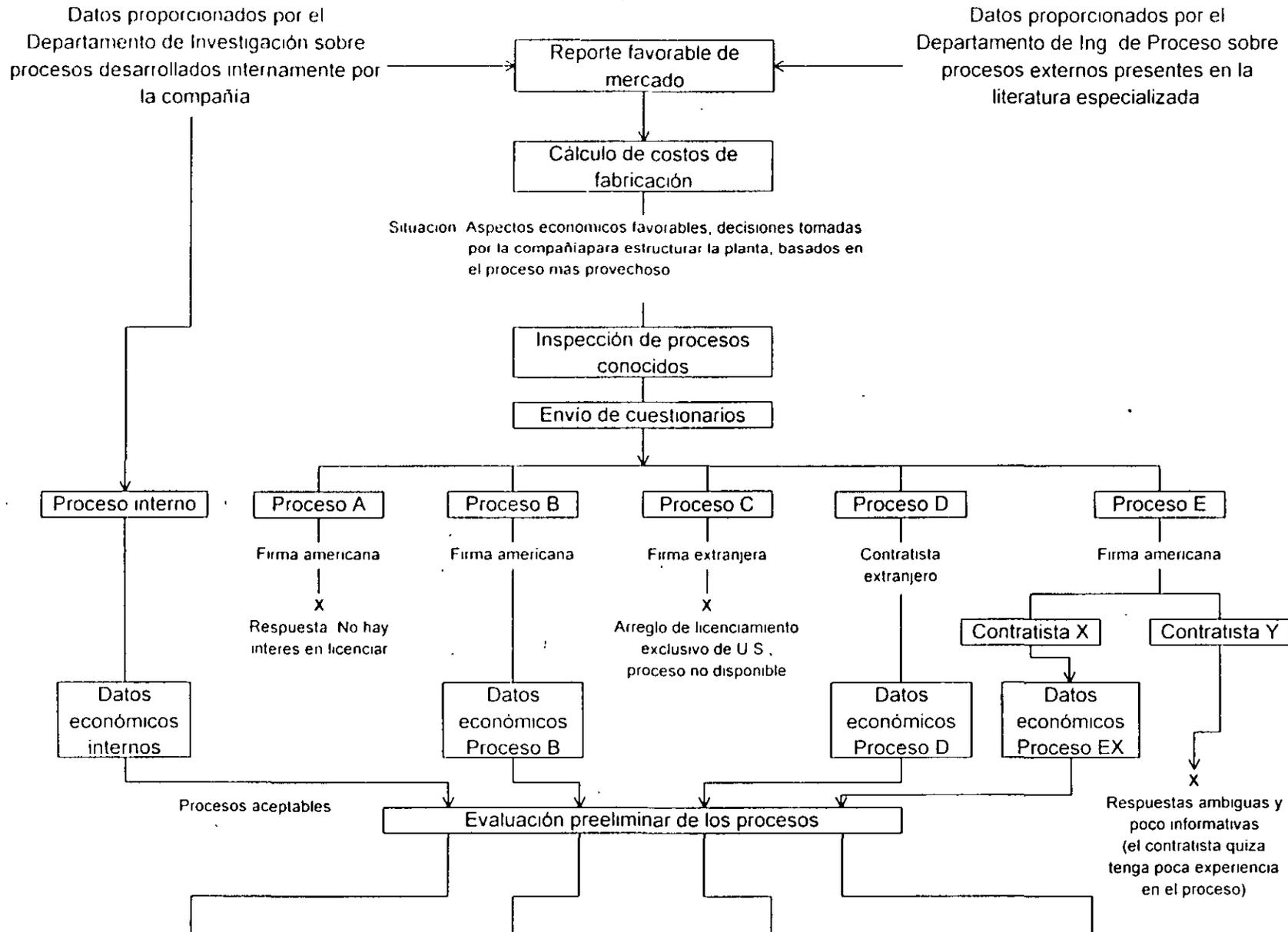
n_A = Número de aspectos considerados

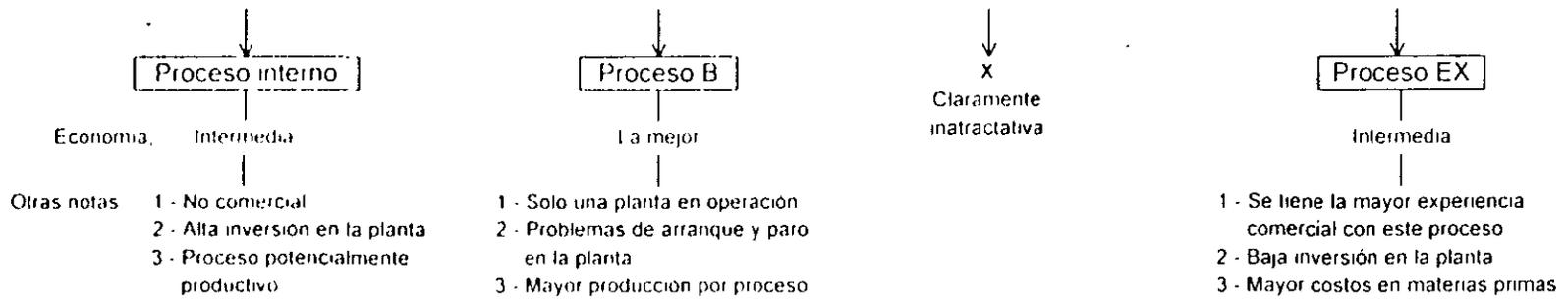
nSA_k = Número de subaspectos considerados para cada aspecto i

W_j = Fracción del subaspecto j .

- (7) Seleccionar la tecnología que obtenga mayor puntuación, y las dos inmediatas inferiores. Estas deben ser recomendadas, priorizadas de mayor a menor, para continuar con el proceso de negociación final

Pasos en la evaluación de un proceso competitivo para su licencia





Situación La compañía determino que el Proceso B es claramente superior a los demas procesos. Asimismo, la compañía con el deseo de una rápida construcción y un facil arranque de planta considera atractiva la propuesta del contratista acerca del proceso E bajo la consideración de que el proceso no sea obsoleto

Siguiente paso Comparación detallada de los aspectos tecnicos entre los procesos

Acuerdo para la proporcion de informacion secreta por parte del licenciador hacia la compañía

No se requiere (en este proceso)

El licenciador del Proceso B no consentirá que se conozca el descubrimiento tecnico en el que se basa su proceso, pues afectaria a sus intereses

Licenciador y Compañía llegan a un acuerdo en donde se permite que se conozca una tercera parte de la información técnica acerca del proceso. Reporte favorable

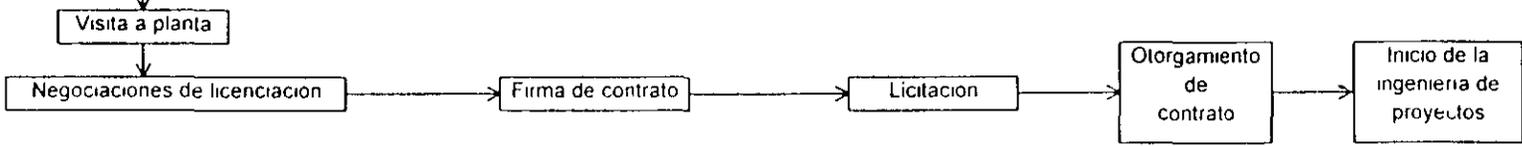
Consentimiento obtenido por parte del contratista X (La ruta de éste proceso es completamente diferente al proceso interno creado por la compañía)

Segundo proceso de evaluación

X El proceso claramente no es mejor que el Proceso B

En este instante las compañías firman el acuerdo secreto de transferencia de informacion

X Proceso obsoleto



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN CASO CONCRETO:

Selección de tecnologías para la producción de *POLIETILENO*

(1) Definición de los aspectos a considerar dentro de la evaluación:

ASPECTO (Pi)
1. Evaluación técnica del proceso
2. Evaluación de aspectos técnicos complementarios
3. Evaluación económica-financiera
4. Evaluación contractual
5. Evaluación de aspectos plausibles
6. Evaluación de aspectos estratégicos

(2) Asignar el peso o puntaje a cada uno de ellos:

$$\text{Donde } 100 = \sum P_i$$

(3) Seleccionar para cada aspecto, los subaspectos $\{(SA)_i\}$ que van a ser evaluados

(4) Definir los puntajes o pesos para los subaspectos bajo la base de que la suma de el puntaje total asignado a cada aspecto.

(5) Para definir la calificación máxima y mínima se recomiendan los siguientes criterios:

- (a) Usar como calificación máxima la mejor opción de las alternativas tecnológicas.
- (b) Usar como calificación mínima lo mínimo esperado.
- (c) Para algunos factores la máxima calificación puede ser establecida en función de los servicios esperados.

(6) Generar la matriz con los resultados de la evaluación y hacer los cálculos pertinentes para obtener la evaluación total de cada alternativa tecnológica, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Calificación de la tecnología } i = \sum_{i=1}^{n_A} P_i \left(\sum_{j=1}^{n_{SA}} W_j \right)$$

donde:

P_i = Porcentaje del aspecto i .

n_A = Número de aspectos considerados.

nSA_k = Número de subaspectos considerados para cada aspecto i .

W_j = Fracción del subaspecto j

- (7) Seleccionar la tecnología que obtenga mayor puntuación, y las dos inmediatas inferiores. Estas deben ser recomendadas, priorizadas de mayor a menor, para continuar con el proceso de negociación final.

Selección de tecnologías para Polietileno

Aspecto	PUNTAJE MAXIMO (Pi)	TECNOLOGIA 1	TECNOLOGIA 2	TECNOLOGIA 3	TECNOLOGIA 4
1 EVALUACION TECNICA DEL PROCESO	30				
1.1 Concordancia del proceso con las bases de diseño	5	5	5	5	5
1.2 Características relevantes del proceso.	5	5	3	5	5
1.3 Actualización del proceso	2	0	0	0	0
1.4 Flexibilidad del proceso	5	0	0	0	0
1.5 Consumo de materias primas	5	5	2	5	0
1.6 Consumo de químicos y catalizadores	3	0	0	3	3
1.7 Consumo de servicios auxiliares	5	1	1	1	1
2 EVALUACION DE ASPECTOS TECNICOS COMPLEMENTARIOS	10				
2.1 Experiencia técnica administrativa	3	2	1	2	3
2.2 Experiencia general	5	3	2	3	5
2.3 Información técnica	2	1	1	1	2
3 EVALUACION ECONOMICA-FINANCIERA	30				
3.1 Inversión en terreno, materiales y equipo	5	0	0	0	0
3.2 Economía intrínseca del proceso	15	12	15	15	0
3.3 Costos de ingeniería, licenciamiento y servicios profesionales adicionales	10	0	1	1	0
4 EVALUACION CONTRACTUAL	10				
4.1 Licencia y tecnología	7	7	7	7	7
4.2 Garantías	3	0	0	0	0
5 EVALUACION DE ASPECTOS PLAUSIBLES	10				
5.1 Generación de empleo	5	1	1	1	1
5.2 Impacto ecológico	5	0	0	0	0
6 EVALUACION DE ASPECTOS ESTRATEGICOS	10				
6.1 Tecnología de punta	5	5	5	5	5
6.2 Llave en mano	5	3	1	3	5

Calificación de tecnologías.

Tecnología 1

$$= \sum_{i=1}^{n} P_i \left(\sum_{j=1}^4 W_j \right)$$

$$= (30+10+30+10+10+10) * (0.05+0.05+0+0+0.05+0+0.01+0.02+0.03+0.01+0.012+0+0.07+0+0.01+0+0.05+0.03)$$

$$= 50$$

Calificaciones finales para las tecnologías evaluadas:

	TECNOLOGIA 1	TECNOLOGIA 2	TECNOLOGIA 3	TECNOLOGIA 4
Calificación final	50	45	57	42

De esta forma las tecnologías seleccionadas en orden de prioridad son:

Tecnología 3 57
Tecnología 1 50
Tecnología 2 45



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECFI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

*Ingeniería Básica de Plantas Industriales
Descripción de Proceso*

Palacio de Minería
1998.

**REHABILITACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE
LA ESTACION DE COMPRESION.**

REV. 0

B. DESCRIPCIÓN DE PROCESO CASO I

REV. 0

DESCRIPCIÓN DE PROCESO.

Dibujo de referencia : N-FB-1510-FBCAA 063.

CASO I :La Estación de Compresión; en este caso de operación tendrá la función de abastecer de gas combustible al norte y centro del país recomprimiendo el gas proveniente de Cactus, Chis.

La planta tiene una capacidad máxima de 48.14 MM m³STD/D (1,700 MM PCSD), capacidad normal de 32.56 MM m³STD/D (1,150 MM PCSD), y capacidad mínima de 26.90 MM m³STD/D (950 MM PCSD) de gas combustible. La planta está diseñada para operar en forma continua, para lo cual cuenta con dos trenes de turbocompresión en paralelo, uno para operación normal y el otro como relevo.

La Estación de Compresión recibe en L.B. el gas del gasoducto de 48", proveniente de Cactus, Chis.; a una presión de 65.03 Kg/cm² man.(925 psig), y a una temperatura de 16 °C (60 °F), posteriormente se alimenta a los Separadores de Succión del Compresor FA-01 AD, para eliminar partículas finas e hidrocarburos líquidos que contiene el gas. El Tanque Separador de Succión del Compresor tiene como internos unos filtros tipo calcetín, en donde las partículas sólidas y los líquidos son separados y recolectados en las piernas del tanque, que a control de nivel, se envían a la fosa de quemado

La corriente de gas que sale de los tanques FA-01 AD se envía a la succión del compresor GB-01 A/B a una presión de 63.27 Kg/cm² man. (900 psig), y a una temperatura de 16 °C (60 °F), el gas recomprimido sale del compresor a una presión de 78.74 Kg/cm² man. (1120 psig), y 34 °C (93 °F) de temperatura.

El gas de descarga del compresor se divide en dos corrientes, una parte (la mayor), se pasa a la Unidad de medición PA-01, donde se registra su presión de 77.69 Kg/cm² man. (1105 psig), una temperatura de 33 °C (92 °F) y su flujo; finalmente se envía al gasoducto que suministra gas al centro del país.

La otra parte de gas, pasa a la Unidad de medición PA-02 (unidad nueva), en donde se registra su flujo, presión y temperatura, para después enviarlo al gasoducto de San Fernando al cual suministra gas al norte del país.

El compresor es de tipo centrífugo, marca Cooper de 21,045 HP, con una presión de descarga máxima de 94.92 Kg/cm² man.(1350 psig) y temperatura de diseño de 49 °C (121 °F), a la succión del compresor una presión 68.47 Kg/cm² man. (973.9 psig) y temperatura de 29 °C (84 °F), este compresor es accionado por medio de una turbina de gas La turbina utiliza gas combustible a 35.0 Kg/cm² man. (498 psig) y 80 °C (176 °F) el cual se genera en el paquete de acondicionamiento de gas.

El compresor está provisto de un sistema de lubricación de sellos, el cuál tiene un sistema de enfriamiento de agua, que se utiliza cuando se requiere enfriar el aceite de lubricación de sellos.

El compresor cuenta con una línea de recirculación hacia el cabezal de succión y opera en forma automática en caso de incrementarse la presión en la descarga del compresor.

La unidad cuenta con una trampa de recibo de diablos en el gasoducto que proviene de Cactus y otras dos de envío de diablos; en el gasoducto que se dirige al centro del país y la otra en el gasoducto que va hacia el norte del país.



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECFI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

Ingeniería Básica de Plantas Industriales

Palacio de Minería
1998.

INGENIERÍA BÁSICA DE PLANTAS INDUSTRIALES

INTRODUCCIÓN

Todo proyecto tendiente a la instalación de una planta industrial se inicia con la detección de un problema o de una oportunidad, lo cual nos puede llevar a la construcción de una planta completa o a la modificación de una planta existente ya sea para ampliar su capacidad o realizar mejoras que nos permitan obtener ventajas tales como: Ahorrar energía, aumentar la flexibilidad de la planta, minimizar los efluentes contaminantes modernizar la instrumentación o mejorar la seguridad.

Una vez detectada la oportunidad se realizan los estudios de preinversión, los cuales incluyen la ingeniería conceptual, el estudio de mercado, posteriormente se recurre a la ingeniería conceptual, luego se realiza el estimado de costos, el estudio financiero, y el estudio del impacto ambiental.

Es importante efectuar una correcta selección de tecnología para estar seguros de que vamos a realizar una ingeniería bien sustentada. Una vez que se cuenta con la tecnología más adecuada se procede a dar inicio a la etapa de ingeniería, la cual tiene como fase inicial la ingeniería básica.

La Ingeniería Básica de una planta industrial es fundamental para el desarrollo completo del proyecto para llevarlo hasta la fase de construcción y arranque, por lo que es importante tener una comprensión clara de los diferentes aspectos que forman parte de la misma.

La Ingeniería Básica de una planta industrial tiene como objetivo fundamental el desarrollo de los aspectos fundamentales que tienen que ver con un proceso, e incluye las operaciones de acondicionamiento de las materias primas, reactores y las operaciones de acondicionamiento de los productos. Todos estos aspectos quedarán contenidos en los documentos que se preparan por una firma de ingeniería durante esta etapa del proyecto.

Como puede verse, la esencia de un proyecto industrial es el proceso mismo y no los edificios, o la obra civil y arquitectónica los cuales también son aspectos muy importantes, que tienen que ser contemplados durante las etapas de Ingeniería de Detalle y Construcción.

Por la razón anterior, el mayor énfasis se da en los documentos de Ingeniería Básica a todo lo que tiene que ver con el Límite de Baterías del proceso Industrial. Los aspectos de Ingeniería de Detalle entre los cuales se encuentran las especialidades de Tuberías y Análisis de Esfuerzos, Ingeniería Civil y Arquitectura, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica; solamente son contemplados a nivel de Bases de Diseño.

Actualmente es práctica común realizar actividades que llevan a la Ingeniería Básica a un grado de precisión tal que permite una adecuada continuidad con la siguiente etapa que es la Ingeniería de Detalle. Esta etapa intermedia es conocida como "Front End Loading" o Paquete de Información Preliminar, la cual pretende no dejar sin definir ningún detalle técnico que tenga que tomarse en cuenta durante la Ingeniería de Detalle y la construcción de la planta. Este paquete incluye las especificaciones del lugar, la participación de los proveedores de equipo y el plan de ejecución de ingeniería.

DOCUMENTOS DE LA INGENIERÍA BÁSICA DE PLANTAS INDUSTRIALES.

En seguida, se describen los principales puntos de los que consta la ingeniería básica de un proyecto industrial .

- **Bases de Diseño.** Este documento fija los lineamientos dentro de los cuales se debe efectuar el diseño de la planta. Contiene la Información proporcionada por el cliente, relativa a los siguientes puntos :
 - Generalidades
 - Capacidad, rendimiento y flexibilidad
 - Especificación de las alimentaciones
 - Especificación de los productos
 - Condiciones de las alimentaciones en L.B.
 - Condiciones de los productos en L.B.
 - Eliminación de desechos
 - Servicios auxiliares
 - Sistemas de seguridad
 - Condiciones climatológicas del lugar
 - Localización de la planta
 - Bases de diseño de equipo de proceso
 - Bases de diseño civil
 - Bases de diseño para instrumentación
 - Bases de diseño eléctrico
 - Normas, códigos y especificaciones aplicables

- **Criterios de Diseño.** La finalidad de este documento consiste en establecer e informar ña aplicación de todos aquellos criterios que se deben considerar en el diseño del proceso y equipo principal. Las prácticas recomendadas en esta sección del libro de Ingeniería Básica cubren tanto aspectos generales de la planta, como parámetros particulares de los equipos, por ejemplo.
 - Criterios Generales de Equipo
 - Criterios de sobrediseño de equipo
 - Expansiones futuras de planta

- Criterios de flexibilidad de operación
- Criterios de diseño específicos de cada equipo

Emisiones.- El documento de Criterios de Diseño normalmente constará de tres emisiones denominadas como se indica:

- a) Criterios Básicos de Diseño de Proceso
- b) Criterios de Diseño de los Equipos de Proceso
- c) Criterios Generales de Diseño del Proceso

Descripción del contenido de las emisiones:

Para la elaboración del documento de criterios de diseño deberá mencionar los criterios básicos de diseño del proceso derivados de los requerimientos específicos que se indican en las bases de diseño de la planta. Como guía se pueden tomar los siguientes criterios:

-Requerimientos de diseño de la planta con diversas cargas o alimentaciones.

- Criterios de diseño de operación de la planta con diversas alternativas.
- Posibilidad de obtener diversos productos en opción.
- Posibilidad de obtener distintos productos a los especificados en el diseño original, en una etapa futura.
- Capacidad mínima de diseño.
- Criterios de sobrediseño.
- Flujo y composición de la alimentación a la planta. Normalmente lo deberá establecer el cliente en sus bases de diseño.
- Flujo y especificaciones del producto. Este documento tomará en cuenta en los procedimientos de cálculo para aclarar incongruencias que podrían presentarse en otras plantas.
- Flujo y especificaciones del producto.
- Equipos. Criterios de sobrediseño.
- Previsión de ampliaciones futuras.

- Criterios de diseño para absorber cambios en las condiciones de operación.
- Criterios de diseño para prever interconexión con otras plantas.
- Criterios económicos especiales(definidos por el cliente).
- Tipos de accionadores para bombas y compresores.
- Disponibilidad de servicios auxiliares, y costos de los mismos.
- Criterios de diseño para cubrir diversos casos de operación.
- Requerimientos de integración y/o interrelación con diversas plantas.
- Criterio de selección del tipo de proceso cuando este no haya sido establecido por el cliente.

- **Descripción del Proceso.** Incluye la información más relevante del proceso, que permite conocer la secuencia de las operaciones unitarias involucradas, las características y condiciones de operación de los equipos, así como aspectos que se consideren de utilidad para la correcta operación de la planta.

- **Lista de Equipo.** La Lista de Equipos, revisiones cero y uno. Es la lista en la que se enumeran los equipos que aparecen en los diagramas de flujo de proceso. Lista de Equipos revisiones dos, tres, cuatro, etc. - Es la lista en la que se consigna además de los equipos de proceso, todos aquellos correspondientes a los servicios auxiliares de la planta.

Este documento contiene el listado de los equipos de proceso y los correspondientes a los servicios auxiliares de la planta. La información de que consta este escrito es:

- Claves de Equipo
- Servicio
- Características principales (dimensiones, carga térmica, flujo, caída de presión, etc.)

- **Balance de Materia y Energía.** En este documento aparecen los resultados del balance de masa y calor de la planta, referido a las corrientes de proceso numeradas que aparecen en el Diagrama de Flujo de Proceso. Para cada corriente se proporcionan los siguientes datos:
 - Balance de materia con los flujos másicos, molares y volumétricos; así como la composición en fracción mol o por ciento.
 - Balance de Energía, el cual incluye las entalpías de todas las corrientes.
 - Propiedades y características de los fluidos de proceso necesarias para el dimensionamiento de equipos, tuberías e instrumentos.
- **Requerimientos de Servicios Auxiliares y Agentes Químicos.** Es una relación de los servicios auxiliares y de los agentes químicos, con sus condiciones de entrada y retorno de la planta en L.B.. Se indican los consumos normales y máximos por equipo. Si para el diseño de la planta se tuvieran que considerar dos condiciones normales de operación, se emplearán hojas diferentes para indicar los requerimientos en cada caso. Las unidades en que deben expresarse las condiciones de suministro y retorno:

Presión Kg/cm² man. y psig.

Temperatura °C y °F

Poder calorífico Kcal/m³ y Btu/ft³ std., para gases. Kcal/Kg y Btu/lb para líquidos. Viscosidad SSU o SSF a dos temperaturas.

Las formas usadas para indicar los requerimientos de servicios auxiliares y agentes químicos. La forma IP - A-244A - 0 es general y se utiliza para la mayor parte de los requerimientos; la forma IP-A -257 - 0 se emplea para la mayor parte de los requerimientos de la energía eléctrica; la forma IP - A - 244B - 0 se emplea para los requerimientos de adsorbentes y catalizadores, y para cuando hay necesidad de hacer un resumen

de demandas y exportaciones. Como es el caso de vapor de calentamiento.

Ejemplo de como se debe proporcionar la Información:

Agua de enfriamiento.- Presión mínima disponible en L.B., y temp.

Vapor de calentamiento: Condiciones de suministro, presión y temp.

Condiciones de retorno, consumo en (Kg/hr) y (Lb/hr).

Deberá incluirse la siguiente información:

- Vapor generado dentro de la planta. Consumo de vapor en la planta, incluyendo el correspondiente a venas de vapor, información que se obtiene del departamento de ingeniería básica de sistemas, a través del jefe de proyecto correspondiente resumen de demandas y exportaciones en toda la planta.

- Vapor motriz.

Es el vapor que se emplea esencialmente para la operación de turbinas y eyectores de vapor y algunos otros equipos especiales.

Condiciones de suministro: presión y temp.

Condiciones de retorno: presión y temp., ya sea como condensado y/o como vapor

- **Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).**

Es una representación esquemática del proceso, mostrando la secuencia en la que pasa por cada equipo, mostrando las claves y nombres de los equipos, así como sus condiciones de operación. También aparece en este documento un sumario del balance de materia y energía, la instrumentación básica del proceso y la lista de equipo con características.

La revisión del diagrama de Diagramas de Flujo de Proceso es la numeración progresiva que se le da a cada una de las emisiones oficiales de dicho documento, las revisiones que normalmente se emiten son las denominadas "Preliminar", "Para aprobación", "Aprobado para Diseño", "Aprobado para Construcción", ocasionalmente se emitirán posteriores a este documento.

Formas utilizadas durante el desarrollo del Diagrama de Flujo de Proceso.

Para elaborar el croquis original del DFP utilizará la forma IP-C-241.0.

Para el cuadro sinóptico, utilizará la forma IP-B-240-0.

El marco para los DFP, el dibujante utilizará la forma IP-N167-0. En sus tamaños N, Nx y Ny. La selección del tamaño del marco utilizado para elaborar dicho diagrama dependerá de la cantidad y dimensiones de los equipos, de acuerdo a las especificaciones correspondiente, que vayan a aparecer en el diagrama.

La información requerida para elaborar el DFP, varía de acuerdo al carácter de la revisión con que se emite éste. Por ejemplo para elaborar el DFP en su Revisión Preliminar, se requiere conocer los siguientes datos :

- a) Función de la planta
- b) Tipo de proceso preferido por el cliente
- c) Capacidad, rendimiento, y flexibilidad esperada de la planta.
- d) Especificaciones de las alimentaciones del proceso como composición, impurezas y flujos.
- e) Las condiciones de alimentaciones de proceso en Limites de Batería (L.B.)
- f) Especificaciones preliminares de los productos.
- g) Condiciones de los productos en L.B.
- h) Información referente a los Servicios Auxiliares, en forma total cuando el cliente ya disponga de estos datos.

• **Diagrama de Balance de Servicios Auxiliares.** Es un diagrama de bloques en el que se señala la alimentación de los servicios auxiliares a cada equipo, indicando flujos normal y máximo, presiones y temperaturas de alimentación y de retorno. También debe contener un balance de materia de cada servicio.

• **Hojas de Datos de Equipos de Proceso.** En este caso se deben incluir las hojas de datos de los siguientes equipos:

- Filtros
- Recipientes
- Torres de Destilación
- Torres de Absorción
- Tanques de almacenamiento
- Cambiadores de calor
- Calentadores a Fuego Directo
- Bombas
- Equipo de Tratamiento de Aguas
- Reactores
- Torres de enfriamiento
- Filtros
- Centrifugas

Estas hojas contienen la información de proceso necesaria para la especificación o diseño mecánico de los equipos mencionados, incluyendo flujos, condiciones de operación, propiedades del fluido manejado y materiales de construcción.

Como ejemplo se incluye en el anexo Hojas de Datos de un recipiente y de una columna de destilación.

Se debe tratar de disminuir al mínimo el efectuar revisiones de las hojas de datos de los equipos.

- **Filosofía de Control.** En este documento se analiza el comportamiento de la planta, considerando las operaciones normales y especiales. Contiene la descripción de las variables de operación y del control del proceso, así como los procedimientos de control analítico y las recomendaciones para las operaciones de arranque, paro y emergencia.

- **Información Complementaria para Diseño de Tuberías e Instrumentos.** Es una relación de las condiciones mínimas, normales y máximas que se presentan en las corrientes de proceso debido a las condiciones especiales de operación o a falla de alguno de los servicios auxiliares.

- **Diagramas de Tubería e Instrumentación de Proceso.** Son diagramas que incluyen los equipos de proceso, tuberías, válvulas, instrumentación, líneas de servicios, clave y nombre de los equipos con sus características generales, se indican con claves el material, servicio y número de identificación de las líneas.
- **Diagramas de Tubería e Instrumentación de Servicios.** Se elaboran a partir del Diagrama de Balance de Servicios Auxiliares y muestran la distribución de servicios a los equipos y la localización relativa de entrada y salida de servicios de acuerdo al plano de localización.
- **Lista de Líneas de Proceso.** Es un sumario de todas las líneas de proceso donde se incluye el diámetro, servicio, numeración, especificación, origen y destino de las líneas, así como las condiciones de operación máximas.
- **Plano de Localización General de Equipos.** Es un plano que muestra el arreglo general de equipo, así como la soportería de tuberías, áreas de mantenimiento, de proceso, de almacenamiento y llenaderas. En el caso de esta planta incluye la localización de la casa de compresores, los edificios y el cuarto de control.
- **Índice de Servicios Preliminar.** Contiene las especificaciones de tubería empleadas en el proyecto, de acuerdo a las condiciones máxima de presión y temperatura y el tipo de fluidos manejados.

BIBLIOGRAFÍA

1. SHERWOOD, Thomas K. A Course in Process Design, MIT, Cambridge, 1983.
2. AERSTIN, Frank and Street Gary. Applied Chemical Process Design. New York, Plenum Press, 1988.
3. DOUGLAS, James M. Conceptual Design of Chemical Process. Singapore, Mc Graw-Hill, 1988.
4. LUDWIG, Applied Process Design for Chemical and Petroleum Plants. Gulg, Housto, 3 vols.
5. PERRY, Green, Maloney. Perry's Chemical Engineers Handbook. Mc Graw-Hill, 7 th ed, 1997.
6. SINNOTT, Coulson and Richardsons. Chemical Engineering. Pergamon, New York, 1983.
7. BAASEL. Preliminary Chemical Engineering Plant Design. Elsevier, New York, 1976.
8. FRATCHER, Picht and Bittrich. The Acquisition, Collection and Tabulation of Substance Data on Fluid Systems For Calculations in Chemical Engineering. Int. Chem. Eng. 20(1), 19-28 (1980).
9. KIRK-OTHMER. Encyclopedia of Chemical Technology. Wiley, New York. 1984. 26 Vols.
10. MC KETTA and Cunningham. Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Dekker. New York, 1976.
11. LIEBERMAN. Troubleshooting Refinery Processes. PennWell, Tulsa, 1981.
12. ROSALER and Rice. Standard Handbook of Plant Engineering. New York. Mc Graw-Hill. 1983.
13. BENEDEK. Steady State Flowsheeting of Chemical Plants. Elsevier, New York. 1980.
14. F.L. EVANS Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants. Gulg, Houston, 1979. 2 Vols.
15. LIEBERMAN. Process Design for Reliable Operations. Gulg, Houston. 1983
16. ULRICH A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics Wiley, New York. 1984.
17. PETERS and Timmerhaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Mc Graw-Hill, New York, 1980.

ANEXOS

```

=====
STREAM ID          S2          WD_T-5A          1          4
      NAME          VAPOR A T4-B          WATER          WET VAPOR          GAS SECO
      PHASE          WATER VAPOR          WATER          WET VAPOR          WET VAPOR

FLUID MOLAR FRACTIONS
  1 H2O              1.0000          1.0000          .1883          2.0637E-03
  2 NITROGEN         .0000          .0000          .0112          .1045
  3 OXYGEN           .0000          .0000          9.5671E-04     8.9606E-03
  4 CO2              .0000          .0000          1.6305E-03     3.0048E-12
  5 HYSULFID        .0000          .0000          .0261          1.6223E-09
  6 HYDROGEN        .0000          .0000          .0228          .2138
  7 METHANE          .0000          .0000          .0400          .3743
  8 ETHYLENE         .0000          .0000          .0134          .1253
  9 ETHANE           .0000          .0000          .0185          .1695
 10 PROPENE          .0000          .0000          .0957          1.3442E-03
 11 PROPANE          .0000          .0000          .0251          4.4450E-05
 12 IBUTANE         .0000          .0000          .0446          3.9110E-05
 13 BUTANE          .0000          .0000          .0145          1.0136E-05
 14 13BUTD          .0000          .0000          3.5336E-04     1.8534E-07
 15 1BUTENE         .0000          .0000          .0235          1.5849E-05
 16 C2BUTENE        .0000          .0000          .0186          7.1683E-06
 17 T2BUTENE        .0000          .0000          .0276          1.2290E-05
 18 IBTE            .0000          .0000          .0347          2.2283E-05
 19 NBP 34          .0000          .0000          .0521          8.8884E-07
 20 NBP 46          .0000          .0000          .0468          9.9795E-07
 21 NBP 60          .0000          .0000          .0375          1.3019E-06
 22 NBP 73          .0000          .0000          .0302          1.7192E-06
 23 NBP 86          .0000          .0000          .0255          2.3099E-06
 24 NBP 100         .0000          .0000          .0221          3.0468E-06
 25 NBP 113         .0000          .0000          .0197          3.8654E-06
 26 NBP 126         .0000          .0000          .0180          4.6329E-06
 27 NBP 140         .0000          .0000          .0169          5.1660E-06
 28 NBP 153         .0000          .0000          .0159          5.3226E-06
 29 NBP 166         .0000          .0000          .0146          5.0680E-06
 30 NBP 180         .0000          .0000          .0132          4.7231E-06
 31 NBP 193         .0000          .0000          .0115          4.7210E-06
 32 NBP 206         .0000          .0000          .0106          6.2740E-06
 33 NBP 219         .0000          .0000          9.3476E-03     8.4017E-06
 34 NBP 233         .0000          .0000          7.1894E-03     2.7887E-06
 35 NBP 246         .0000          .0000          5.9392E-03     2.9941E-07
 36 NBP 260         .0000          .0000          5.0943E-03     2.6118E-08
 37 NBP 273         .0000          .0000          4.3588E-03     2.0951E-09
 38 NBP 286         .0000          .0000          3.8179E-03     1.5931E-10
 39 NBP 300         .0000          .0000          3.4162E-03     1.1546E-11
 40 NBP 313         .0000          .0000          2.9077E-03     7.4696E-13
 41 NBP 326         .0000          .0000          2.3550E-03     4.1534E-14
 42 NBP 339         .0000          .0000          1.8781E-03     2.1030E-15
 43 NBP 353         .0000          .0000          1.7830E-03     1.0752E-16
 44 NBP 366         .0000          .0000          1.4314E-03     1.2290E-17
 45 NBP 380         .0000          .0000          1.4649E-03     3.1667E-19
 46 NBP 393         .0000          .0000          1.2448E-03     .0000
 47 NBP 406         .0000          .0000          9.2701E-04     .0000
 48 NBP 419         .0000          .0000          6.9612E-04     .0000
  
```

=====

STREAM ID		S2	WD_T-5A	1	4
NAME		VAPOR A T4-B			GAS SECO
PHASE		WATER VAPOR	WATER	WET VAPOR	WET VAPOR
49	NBP 440	.0000	.0000	1.1056E-03	2.4846E-19
50	NBP 468	.0000	.0000	9.4170E-04	.0000
51	NBP 495	.0000	.0000	7.6141E-04	7.2437E-20
52	NBP 523	.0000	.0000	5.3396E-04	4.6874E-19
53	NBP 550	.0000	.0000	3.8042E-04	.0000
54	NBP 578	.0000	.0000	3.4839E-04	.0000
TOTAL RATE, KG-MOL/HR		111.0186	1.7934	2326.1785	248.3606
TEMPERATURE, C		152.0000	20.1661	521.1100	19.2368
PRESSURE, KG/CM2		4.5000	11.5500	1.5450	9.4500
ENTHALPY, MM KCAL/HR		1.3167	6.5231E-04	59.7810	.3055
MOLECULAR WEIGHT		18.0150	18.0150	65.1139	18.3726
MOLE FRAC VAPOR		1.0000	.0000	1.0000	1.0000
MOLE FRAC TOTAL LIQUID		.0000	1.0000	.0000	.0000
MOLE FRAC H/C LIQUID		.0000	.0000	.0000	.0000
MOLE FRAC FREE WATER		.0000	1.0000	.0000	.0000

COMPONENTS OF FRONT-END LOADING

SITE SPECIFIC FACTORS

- EQUIPMENT LAYOUT
- SOIL DATA
- ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS
- HEALTH & SAFETY REQUIREMENTS

ENGINEERING DEFINITION

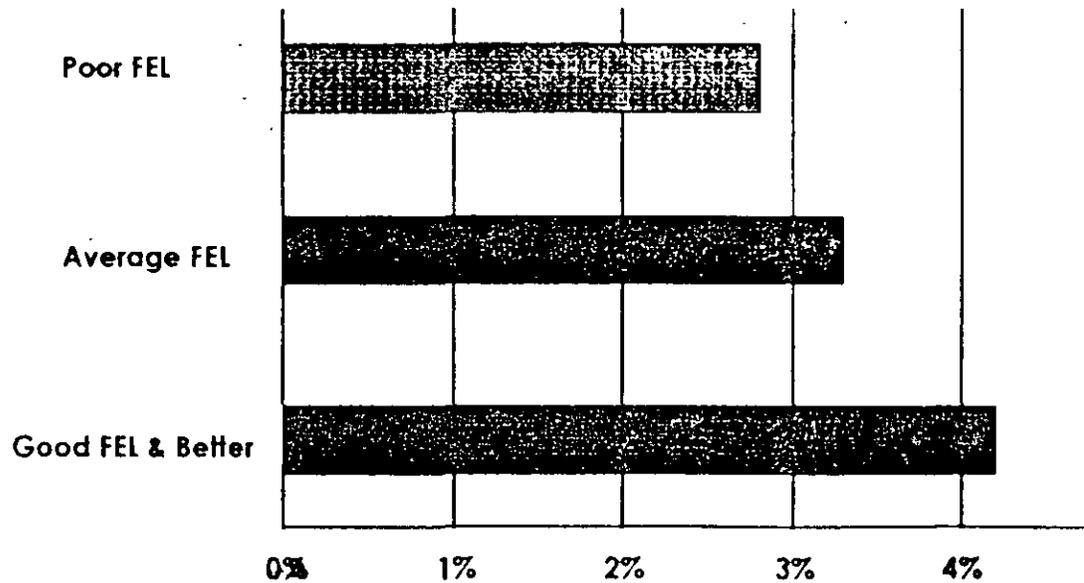
- ENGINEERING TASKS
- PARTICIPATION/BUY-IN OF

ENGINEERING EXECUTION PLAN

- CONTRACTING STRATEGY
- TEAM PARTICIPANTS & ROLE
- INTEGRATED SCHEDULE
- PLANS
- COST/SCHEDULE CONTROLS

COST-BENEFIT OF FRONT-END LOADING (FEL)

COST EXPEDITURES FOR FEL



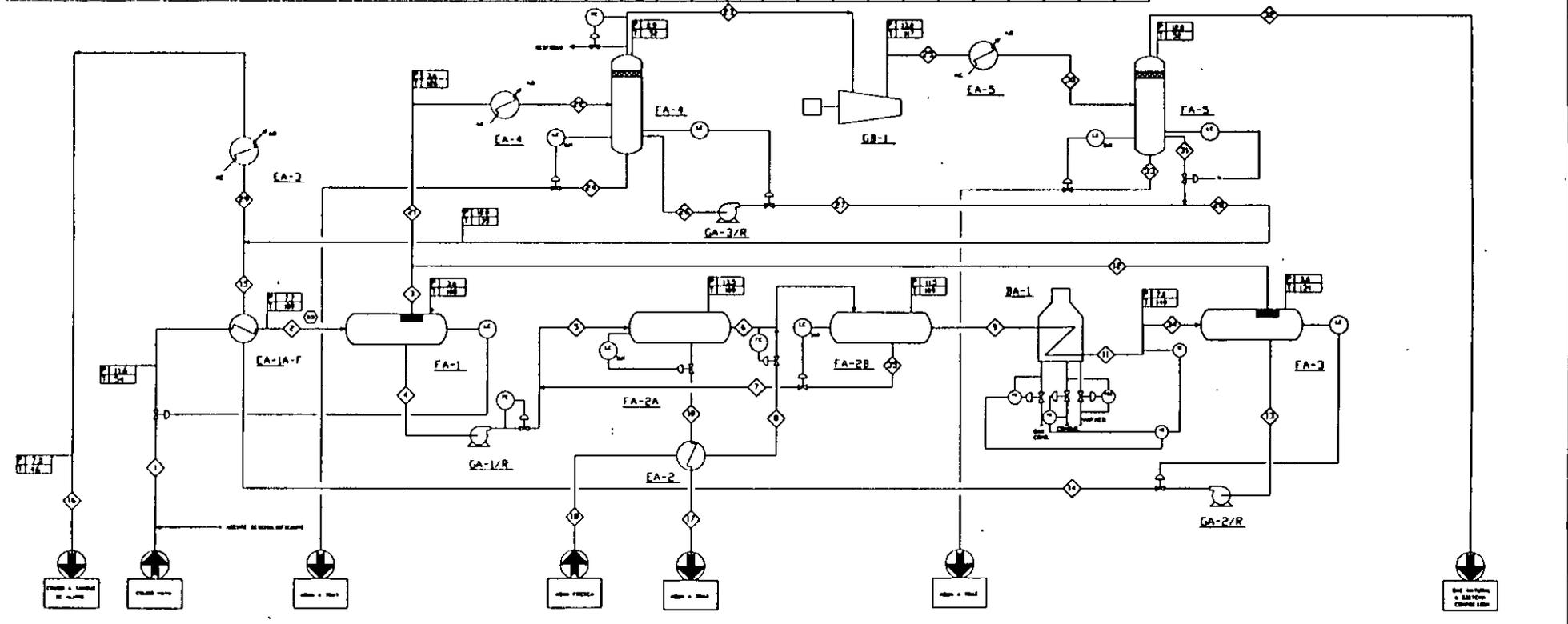
\$100MM PROJECT

RANGE OF FEL

	Poor	Best Practice	Difference
COST OF FEL	\$2.8 MM	\$4.2 MM	\$1.4 MM
COST SAVINGS PROJECT			\$19 MM

COMPONENTE	CORRIENTE																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Flujo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Flujo de vapor	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Flujo de agua	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Flujo de gas	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

LISTA DE EQUIPO		
CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
BA-1	HORNO	D=9.000 x 11 METAL/HR
EA-1A-F	PRECALENTADOR DE CRUDO	D=19.788 x 11 METAL/HR
EA-2	INTERCAMBIADOR AGUA FRESCA/SALMUERA	D= 1.375 x 11 METAL/HR
EA-3	INTERCAMBIADOR DE CRUDO OPEN	D= 3.175 x 11 METAL/HR
EA-4	PRIMER CONDENSADOR DE LIGEROS	D= 3.377 x 11 METAL/HR
EA-5	SEGUNDO CONDENSADOR DE LIGEROS	D= 4.63 x 11 METAL/HR
FA-1	SEPARADOR CRUDO-GAS	3048 mm Ø x 12190mm T-1
FA-2A/B	DESHIDRATADOR ELECTROSTATICO	4267 mm Ø x 24384mm T-1
FA-3	SEPARADOR ESTABILIZADOR	2743 mm Ø x 18288mm T-1
FA-4	TANQUE DE SUCCION DEL COMPRESOR GB-1	914 mm Ø x 3858 mm T-1
FA-5	TANQUE RECUPERADOR DE CONDENSADO	762 mm Ø x 2438 mm T-1
GA-1/R	BOMBA DE CRUDO	Ø=3/4" 769.84 HP=11.9 Kg/cm ²
GA-2/R	BOMBA DE CRUDO ESTABILIZADO	Ø=3/4" 698.4 HP=6.4 Kg/cm ²
GA-3/R	BOMBA DE CONDENSADOS	Ø=3/4" 13.6 HP=6.5 Kg/cm ²
GB-1	COMPRESOR	HP= 255



NO.	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
BA-1	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
EA-1A-F	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
EA-2	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
EA-3	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
EA-4	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
EA-5	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
FA-1	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
FA-2A/B	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
FA-3	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
GA-1/R	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
GA-2/R	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
GA-3/R	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
GB-1	DESCRIPCION	UNID.	QTD.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL

CLIENTE

TIT

SUB1

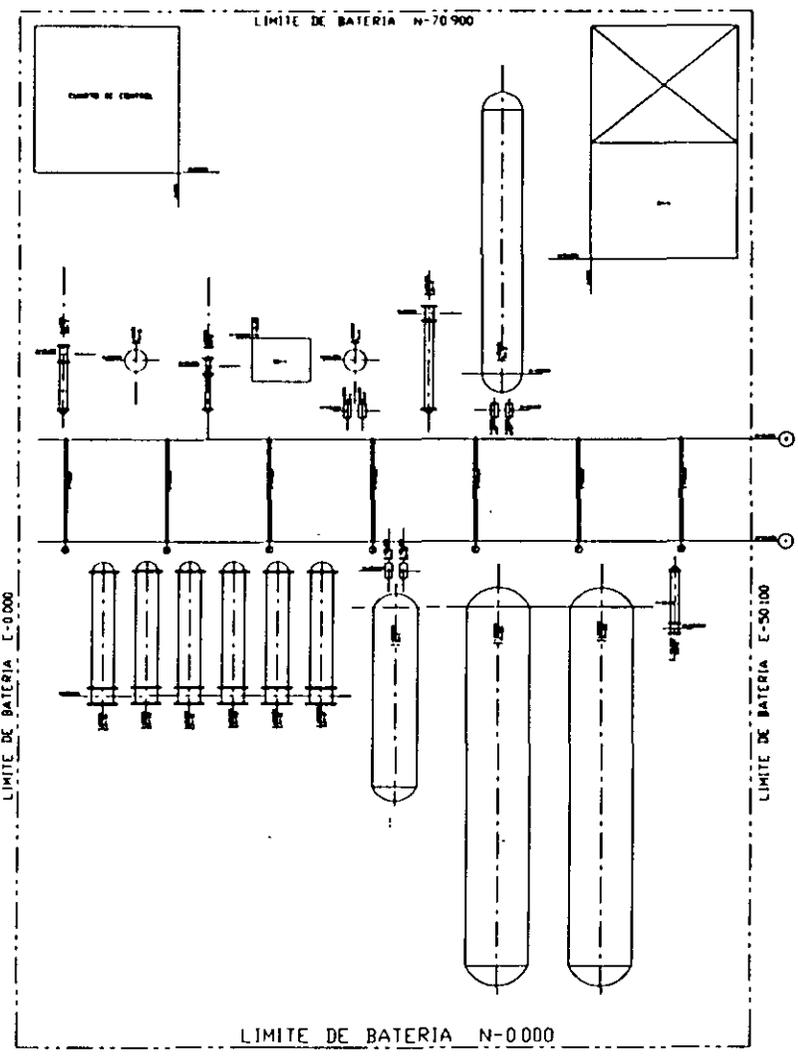
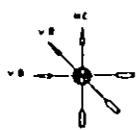
SUB2

REV. 01

FECHA: 10/10/2000

DISEÑADO: J. GARCIA

PROYECTO: CC-ISA-MFP-CL-PLANO



LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERISTICAS
B-1	BOBINA	Ø = 10.000 x 11 HIGCAL/H
E-1-10-T	PRECAL ENTALDOR DE CRUDO	Ø = 15.700 x 11 HIGCAL/H
E-1-2	INTERCAMBIADOR AGUA FRESCA SALINERA	Ø = 1.520 x 11 HIGCAL/H
E-1-3	CAPILADOR DE CRUDO	Ø = 3.115 x 11 HIGCAL/H
E-1-4	PRIMER CONDENSADOR DE LIQUIDOS	Ø = 2.337 x 11 HIGCAL/H
E-1-5	SEGUNDO CONDENSADOR DE LIQUIDOS	Ø = 6.402 x 11 HIGCAL/H
F-1-1	REPRIMADOR CRUDO GAS	3040 mm Ø x 2970 mm T-1
F-1-2-1/2	REPRIMADOR ELECTROSTATICO	4207 mm Ø x 2420 mm T-1
F-1-3	REPRIMADOR ESTABILIZADOR	2743 mm Ø x 4000 mm T-1
F-1-4	TANQUE DE SUCCION DEL COMPRESOR	904 mm Ø x 2630 mm T-1
F-1-5	TANQUE RECEPTOR DEL COMPRESOR	708 mm Ø x 2430 mm T-1
GA-1/2	BOBINA DE CRUDO	Ø 37 x 7000 P = 0.9 R/gpm
GA-2/2	BOBINA DE CRUDO ESTABILIZADO	Ø 37 x 6000 P = 0.6 R/gpm
GA-3/2	BOBINA DE COMENSADE	Ø 37 x 126 P = 6.5 R/gpm
CA-1	COMPRESOR	Ø 6 x 230

20

REVISOR	INGENIERO EN JEFE DEL PROYECTO	REVISOR																	
FECHA DE REFERENCIA		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	
		REVISOR																	

CLIENTE

TIT. SUBI. SUBE.

INGENIERO EN JEFE DEL PROYECTO

HOJA DE DATOS DE
PROCESO PARA
RECIPIENTES

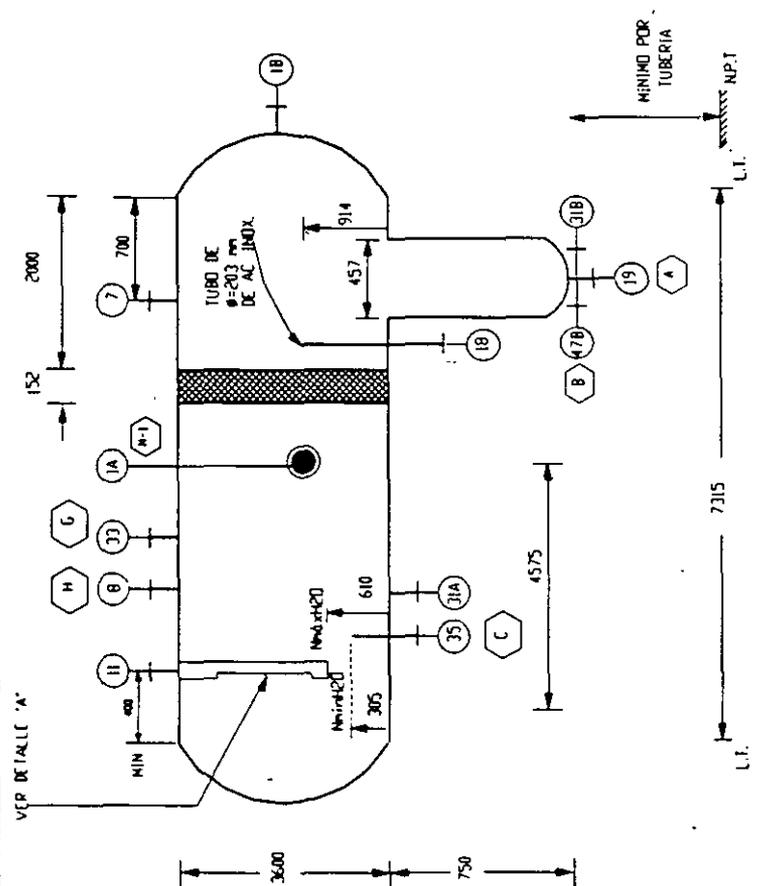
CLIENTE:	PROYECTO No:		
PLANTA:	HOJA 1 DE 1:		
LOCALIZACION:	REQ./D.C. N-		
CLAVE DEL EQUIPO:	No. UNIDADES: UNA		
SERVICIO:	POSICIÓN: HORIZONTAL		
TIPO DE FLUIDO: LIQUIDO: HIDROCARBUROS/AGUA	FLUJO: 1867/184 LPM;	DENSIDAD: 0.69/0.99 g/cm ³ @ P y T	
VAPOR O GAS : HC	FLUJO: 1.66 m ³ /s;	DENSIDAD: 0.006 g/cm ³ @ P y T	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN: 38°C;	MÁXIMA: 68°C;	DISEÑO: 83°C	
PRESIÓN DE OPERACIÓN: 2.5 kg/cm ² man;	MÁXIMA: 2.80 kg/cm ² man;	DISEÑO: 4.8 kg/cm ² man	
DIMENSIONES: LONGITUD T.T. 7315 mm;	DIÁMETRO: 3600 mm;	CAP. TOTAL 74500 [T-T] litros	
NIVEL: NORMAL HC 1554 mm;	MÁXIMO: HC 1980 mm;	MÍNIMO: HC 914 mm	
ALARMA ALTO NIVEL HC 1767 mm;	ALARMA BAJO NIVEL HC 1181 mm	NIVEL DE PARO ----- mm	
MATERIALES: CASCARÓN A.C. CABEZAS A.C. ;	MALLA COALESCEDORA: ESPESOR 152 mm ;	MATERIAL: A.I.	
TIPO CIRCULAR: DIÁMETRO 3600 mm	TIPO RECTANGULAR: LONGITUD ----- mm;	ANCHO: ----- mm	
CORROSIÓN PERM. CASCARÓN 3.2 mm CABEZAS 3.2 mm	AISLAMIENTO: NO RECUBRIMIENTO INTERNO : NO		

BOQUILLAS

No.	CANT.	Ø NOM.	SERVICIO
1	2	610	REGISTRO DE HOMBRE
7	1	305	VAPORES A TRATAMIENTO CON DEA
8	1	51	VENTED
11	1	405	EFLUENTE DE AE-E-B AD
18	1	203	A SUCCIÓN DE AE-P-7/A
19	1	76	AGUA AMARGA A FA-901
31	2	51	DREN
33	1	102	VÁLVULA DE SEGURIDAD
35	1	51	CONEXIÓN DE SERVICIO
46	2	51	INSTRUMENTOS DE NIVEL (HC)
47	2	51	INSTRUMENTOS DE NIVEL DE INTERFASE

NOTAS

- 1) ACOTACIONES EN mm
- 2) SE REUTILIZA EL TH-180
- 3) () INDICA BOQUILLA EXISTENTE QUE PUEDE REUTILIZARSE



ACOTACIONES: mm

REVISIÓN	0 - PREL	1 - AFPD	2	3	4	5	6	7	8
FECHA									
ELAB POR									
APP. POR									

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 1	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: AIRE DE PLANTA
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 25 °C y 7.0 kg/cm² man nor (77 °F y 99.61 psig) EN L.B.

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>					
	<u>MINIMO (4)</u>		<u>CASO DISEÑO (3)</u>		<u>MÁXIMO (2)</u> <u>(NORMAL)</u>	
	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)
AIRE DE PLANTA	64.0	0.873	107.0	1.454	213.0	2.914
TOTAL:	64.0	0.873	107.0	1.454	213.0	2.914



NOTAS

- (1) CONDICIONES ESTÁNDAR @ 15.5 °C Y 1.033 kg/cm² abs
- (2) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MÁXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACIÓN DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (3) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (4) EL FLUJO MÍNIMO CORRESPONDE A LA OPERACION DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 2	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: AIRE DE INSTRUMENTOS.
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 25 °C y 7.0 kg/cm² man. nor. (77 °F y 99.58 psig) EN
 L.B.
 Temperatura de rocío. -40°C

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>					
	<u>MÍNIMO</u>		<u>NORMAL (2) (3)</u>		<u>MÁXIMO</u>	
	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)
AIRE DE INSTRUMENTOS	365	4.95	479	6.5	479	6.5
TOTAL:	365	4.95	479	6.5	479	6.5

NOTAS

- (1) CONDICIONES ESTANDAR @ 15.5 °C Y 1.033 kg/cm² abs
- (2) CONSIDERA QUE FALLA UNO DE LOS COMPRESORES DE AIRE DE INSTRUMENTOS
- (3) LOS FLUJOS QUE SE REPORTAN CORRESPONDEN A LA CONTRIBUCION QUE SE TENDRÍA EN LA LÍNEA DE EMERGENCIA DE AIRE DE INSTRUMENTOS

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 3	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: VAPOR DE ALTA PRESION.
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 441 °C y 60 kg/cm² man nor. (825.8 °F y 853.6 psig).
 EN L.B
CONDICIONES DE RETORNO: Vapor de media presión.

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>		
	<u>MINIMO (3)</u>	<u>CASO DISEÑO (2)</u>	<u>MÁXIMO (1) (NORMAL)</u>
	kg/h	kg/h	kg/h
VAPOR DE ALTA PRESION	518.4	1,222	1,728
TOTAL:	518.4	1,222	1,728

NOTAS

- (1) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MÁXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACIÓN DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (2) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACION DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (3) EL FLUJO MÍNIMO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 4	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: VAPOR DE MEDIA PRESION. (1)
CONDICIONES DE SUMINISTRO: No se suministra.
CONDICIONES DE RETORNO: Se genera a 271 °C y 19.5 kg/cm² man. nor. (519.8 °F y 277 4 psig) a L'B

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>		
	<u>MINIMO (4)</u>	<u>CASO DISEÑO (3)</u>	<u>MÁXIMO (2) (NORMAL)</u>
	kg/h	kg/h	kg/h
VAPOR DE MEDIA PRESION	5,520.6	13,213	18,402
TOTAL:	5,520.6	13,213	18,402

NOTAS

- (1) GENERADO DENTRO DE L B DE LA PLANTA
- (2) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MÁXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACIÓN DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (3) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACION DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (4) EL FLUJO MINIMO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:	--	PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 5	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: VAPOR DE BAJA PRESION.
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 146 °C y 3.5 kg/cm² man. nor. (294.8°F y 49.8 psig) EN L.B.
CONDICIONES DE RETORNO: Condensado de baja presión

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>		
	<u>MINIMO (3)</u>	<u>CASO DISEÑO (2)</u>	<u>MÁXIMO (1) (NORMAL)</u>
	kg/h	kg/h	kg/h
VAPOR DE BAJA PRESION	1,168.2	2,012	3,894
TOTAL:	1,168.2	2,012	3,894

NOTAS

- (1) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MAXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACIÓN DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL).
- (2) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (3) EL FLUJO MINIMO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA. 6	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: AGUA PARA CALDERAS
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 93.9 °C y 25.7 kg/cm² man. nor. (201 °F y 365.6 psig)
 EN L.B.
CONDICIONES DE RETORNO: Vapor de Media Presión y Cond. de Baja Presión.

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>					
	<u>MINIMO (3)</u>		<u>CASO DISEÑO (2)</u>		<u>MÁXIMO(1) (NORMAL)</u>	
	kg/h	LPM	kg/h	LPM	kg/h	LPM
AGUA PARA CALDERAS	7,515.6	125.26	17,121	285.35	25,052	417.53
TOTAL:	7,515.6	125.26	17,121	285.35	25,052	417.53

NOTAS

- (1) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MÁXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACION DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (2) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACION DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (3) EL FLUJO MÍNIMO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE.

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 7	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: GAS COMBUSTIBLE. (GAS NATURAL)
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 32 °C y 4.6 kg/cm² man. (89.6 °F y 65.44 psig) EN L B.
LHV = 8,061 Kcal/m³, PM = 16.45

CONSUMO

SERVICIO	<u>MINIMO (4)</u>		<u>CASO DISEÑO (3)</u>		<u>MÁXIMO (2) (NORMAL)</u>	
	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)
GAS COMBUSTIBLE	279.3	6.68	486	11.63	931	22.290
TOTAL:	279.3	6.68	486	11.63	931	22.290

NOTAS:

- (1) CONDICIONES ESTANDAR @ 15.5 °C Y 1.033 kg/cm³ abs.
- (2) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MAXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACION DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (3) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACIÓN DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (4) EL FLUJO MÍNIMO CORRESPONDE A LA OPERACION DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE.

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 8	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: AGUA DE ENFRIAMIENTO

CONDICIONES DE SUMINISTRO: 32 °C y 1.8 kg/cm² man. nor (89.6 °F y 25.6 psig) EN
L.B.

CONDICIONES DE RETORNO: 42°C y 1.5 kg/cm² man. nor (107.6 °F y 21.34 psig) A
L B

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>					
	<u>MINIMO (4)</u>		<u>CASO DISEÑO (3)</u>		<u>MÁXIMO (2) (NORMAL)</u>	
	kg/h	LPM	kg/h	LPM	kg/h	LPM
AGUA DE ENFRIAMIENTO	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
TOTAL:	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

NOTAS

- (1) PENDIENTE POR
- (2) (2) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MÁXIMO DE OPERACION EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACION DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL)
- (3) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACION DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (4) EL FLUJO MINIMO CORRESPONDE A LA OPERACION DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE.

REVISION	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE		PROYECTO	
PLANTA		HOJA 9	DE 10
LOCALIZACIÓN			

SERVICIO: NITRÓGENO.
CONDICIONES DE SUMINISTRO: 25 °C y 3.5 kg/cm² man nor (77.0 °F y 49.8 psig) DE L.B.

CONSUMO

SERVICIO	<u>MINIMO (2)</u>		<u>MÁXIMO (3)</u>	
	kg/h	m ³ STD/min (1)	kg/h	m ³ STD/min (1)
NITRÓGENO	238	3.35	475	6.68
TOTAL:	----- 238	----- 3.35	----- 475	----- 6.68

NOTAS

- (1) CONDICIONES ESTANDAR @ 15.5 °C Y 1.033 kg/cm² abs
- (2) CORRESPONDE AL CASO EN EL QUE OPERA UN SOLO TREN
- (3) CORRESPONDE AL CASO EN EL QUE OPERAN DOS TRENES.

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

		SERVICIOS AUXILIARES	
CLIENTE:		PROYECTO	
PLANTA:		HOJA 10	DE 10
LOCALIZACIÓN:			

SERVICIO: CONDENSADO DE BAJÁ PRESION.(1)
CONDICIONES DE SUMINISTRO: No se consume
CONDICIONES DE RETORNO: Se genera a 100°C y 4.3 kg/cm² man. nor. (212 °F y 61.17 psig) A L B

SERVICIO	<u>CONSUMO</u>					
	<u>MINIMO (4)</u>		<u>CASO DISEÑO (3)</u>		<u>MÁXIMO (2) (NORMAL)</u>	
	kg/h	LPM	kg/h	LPM	kg/h	LPM
CONDENSADO DE BAJA PRESIÓN	3,280.2	54.67	5,994	99.9	10,934	182.23
TOTAL:	3,280.2	54.67	5,994	99.9	10,934	182.23

NOTAS

- (1) GENERADO DENTRO DE L B DE LA PLANTA
- (2) EL FLUJO NORMAL CORRESPONDE AL CASO MAXIMO DE OPERACIÓN EN EL QUE FUNCIONAN DOS TRENES PARA LA RECUPERACIÓN DE AZUFRE PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE CADA UNO (80 TMD DE AZUFRE TOTAL).
- (3) EL FLUJO DEL CASO DISEÑO CORRESPONDE A LA OPERACION DE SOLO UN TREN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE
- (4) EL FLUJO MINIMO CORRESPONDE A LA OPERACION DE LOS DOS TRENES AL 30% DE LA CAPACIDAD TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISION	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

	REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CLIENTE:	PROYECTO
PLANTA:	HOJA 1 DE 1
LOCALIZACIÓN:	

SERVICIO: REQUERIMIENTOS DE ENERGIA ELECTRICA.

CASO DISEÑO (1).

SERVICIO.	<u>HP OP</u>	<u>KW OP</u>	<u>HP INST</u>	<u>KW INST</u>
REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELECTRICA	1,304	973	5,104	3,804
TOTAL.	1,304	973	5,104	3,804

CASO NORMAL (MÁXIMO) (2).

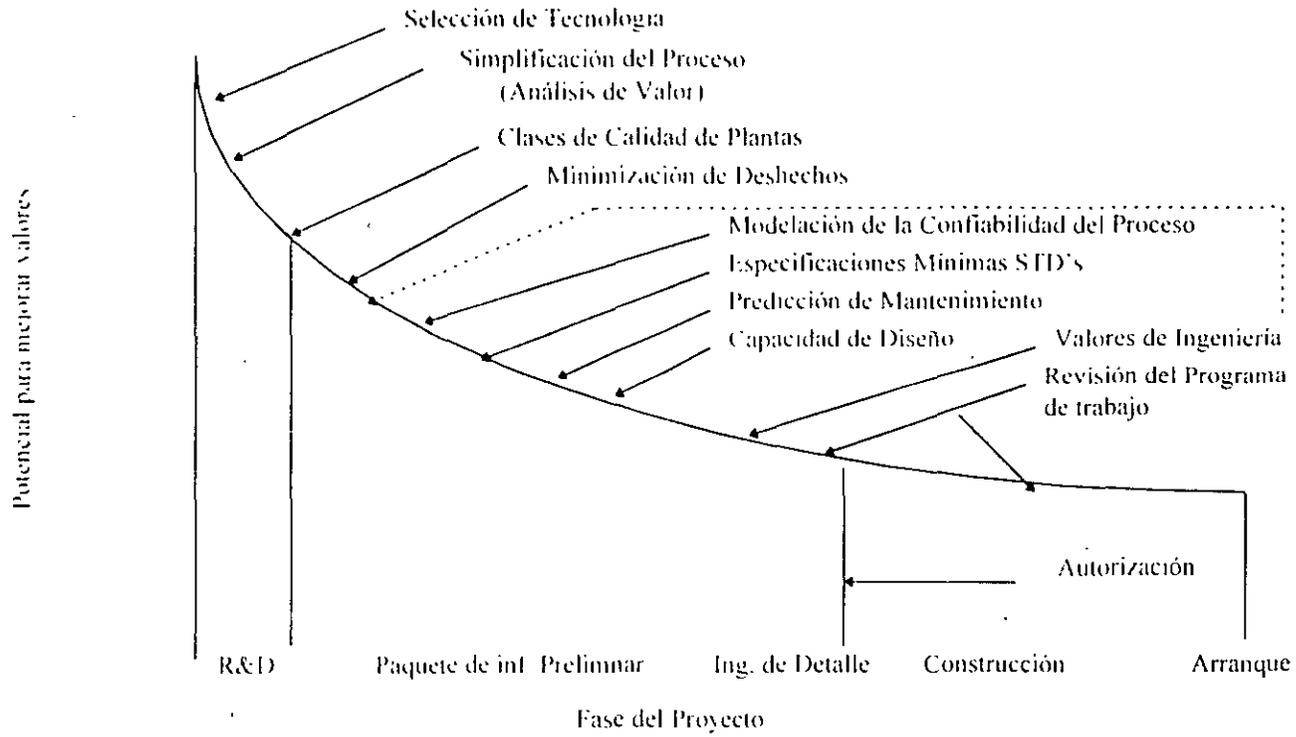
SERVICIO.	<u>HP OP</u>	<u>KW OP</u>	<u>HP INST</u>	<u>KW INST</u>
REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELECTRICA	2,608	1,944	5,104	3,804
TOTAL.	2,608	1,944	5,104	3,804

(1) CASO DISEÑO . UN TREN EN OPERACIÓN PARA PRODUCIR 40 TMD DE AZUFRE

2) CASO NORMAL DOS TRENES EN OPERACION PARA PRODUCIR UN TOTAL DE 80 TMD DE AZUFRE

REVISIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								

PRÁCTICA PARA MEJORA DE VALORES





DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECFI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

*Ingeniería Básica de Plantas Industriales
Criterios Generales de Diseño*

Palacio de Minería
1998.

**INTEGRACIÓN DE LA PLANTA DE
RECUPERACIÓN DE AZUFRE No.
REV.**

C. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO.

INTEGRACIÓN DE LA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE AZUFRE No REV.

C.0 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

La Ingeniería Básica y de Detalle para la integración de la Planta de Azufre No se realizará en base a los siguientes criterios generales de diseño, derivados de los requerimientos que se establecen en las bases de diseño correspondientes, manteniendo los principios básicos de conservación de energía, minimización de efluentes contaminantes, flexibilidad y facilidad de operación.

Capacidad.

La Planta de Recuperación de Azufre constará de dos trenes cada uno con una capacidad de diseño de 40 toneladas métricas por día, una capacidad normal de 40 toneladas métricas por día y una capacidad mínima de 12 toneladas métricas por día de producción de azufre

Con el objeto de satisfacer los requerimientos de capacidad establecidos en las bases de diseño, se hará uso de los márgenes de seguridad estándar de ingeniería para el dimensionamiento de equipos, líneas y accesorios, de acuerdo a la certidumbre de las mejores correlaciones disponibles para la predicción de su comportamiento

Tipo de Carga.

La planta procesará corrientes de gas ácido amoniacal y gas ácido de amina, que tienen las características que se establecen en las bases de diseño

C.1 Integración de Corrientes de Gases Ácidos a Planta de Azufre No. .

Todas las corrientes de gases ácidos de amina se integrarán a un cabezal común de alimentación el cual alimentará a ambos trenes de la Planta de Recuperación de Azufre a través del tanque común de separación de gases ácidos de amina. Debido a los requerimientos de diseño la alimentación de gases ácidos de amina puede ser reducida de una manera muy grande en caso de que opere un sólo tren. Por lo tanto las válvulas y los controles serán suministrados por el diseño de la integración de la planta para desviar parte del flujo a otras unidades o al

quemador y evitar con ello un flujo excesivo de gas ácidos de amina a la entrada de la Planta de Recuperación de Azufre No.

Las corrientes de gas ácido que contienen amoniaco y que vienen de diferentes unidades en la refinería serán integradas a un cabezal común de gases ácidos, el cual alimentará a ambos trenes de la Planta de Recuperación de Azufre a través del tanque separador común de gases ácidos que contienen amoniaco. Para los gases ácidos amoniacaes será necesario tener un desvío de emergencia hacia otras unidades o al quemador de gas ácido en caso de un paro total de la Planta de Azufre No. o un flujo excesivo a la misma para lo cual se contará con las válvulas y los controles requeridos.

Los cabezales de integración para la alimentación de gas ácido de amina y gas ácido amoniacal se diseñarán para poder operar eficientemente con los flujos y condiciones de presión y temperaturas establecidas por el licenciador

C.2 Integración del Azufre Producto.

El cabezal de integración de azufre producto hacia el patio de azufre así como las llenaderas de azufre líquido se especificarán para poder manejar eficientemente los flujos mínimo y máximos de producto a las condiciones de presión y temperatura de operación establecidas por indicando el uso de tecnología de punta

C.3 Integración de Corrientes de Servicios Auxiliares y Condensado.

Los cabezales de integración para el suministro de gas combustible agua de enfriamiento, agua para caldera vapor de alta y media presión agua de enfriamiento y gas combustible se diseñaran para operar eficientemente a las condiciones de flujo, presión y temperatura establecidas por el licenciador.

Para suministrar el consumo continuo de nitrógeno para instrumentos que requiere la planta se integrara una línea de nitrógeno para lo que se contará con un tanque termo de nitrógeno que proporcionara la refinería.

C.4 Integración de Aire de Instrumentos y Aire de Planta.

Se integrará una línea para el suministro de emergencia de aire de instrumentos la cuál se diseñará para manejar el flujo correspondiente a uno de los compresores de aire de instrumentos.

De igual manera, para el suministro de aire de planta se integrará una línea que será diseñada para suministrar el flujo normal y máximo indicado por Pritchard.

C.5 Integración del Agua Desflemada, Hidrocarburos Recuperados, Agua de Fosa de Tanque de Purgas y Gas de Venteo.

Se integrarán líneas para manejar cada uno de los efluentes mencionados, los cuales se diseñarán de acuerdo a los flujos, presiones y temperaturas indicadas por el licenciador



**DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

*Ingeniería Básica de Plantas Industriales
Lista de Equipo*

Palacio de Minería
1998.

REV. 0

D. LISTA DE EQUIPO

D. LISTA DE EQUIPO.

CLAVE	SERVICIO
FA-01 AD	Separadores de succión del compresor
GA-03	Bomba de aceite usado
GB-01 A/B	Compresor de gas.
PA-01	Paquete de medición de gas
(1) PA-02	Paquete de medición de gas.
PA-03	Paquete de acondicionamiento de gas
PA-04	Paquete de lubricación del compresor
PA-05	Paquete de enfriamiento de agua

NOTAS:

1) EQUIPO NUEVO

REVISION	0	1	2	3	4	5	6	7
FECHA								
ELAB. POR								
APR. POR								



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECFI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

*Ingeniería Básica de Plantas Industriales
Bases de Diseño*

Palacio de Minería
1998.

**INTEGRACIÓN DE LA PLANTA DE
RECUPERACIÓN DE Azufre
REV.**

A. BASES DE DISEÑO

**INTEGRACIÓN DE LA PLANTA DE
RECUPERACIÓN DE Azufre
REV. 2**

A. BASES DE DISEÑO.

A.1 Generalidades.

Este documento contiene información para la Ingeniería Básica y de Detalle para la integración de las líneas de proceso y servicios auxiliares de la Unidad de Recuperación de Azufre (SRU) , la cual está compuesta por dos trenes de tratamiento de la mezcla de gas ácido amoniacal más gas ácido de aminas, además de una sección común de agotamiento de agua ácida generada en la misma unidad de recuperación de azufre. Ambos trenes utilizan el proceso Claus Modificado con su respectivo reactor térmico, convertidor catalítico, condensadores de azufre y fosas de almacenamiento, así como el proceso post-Claus (Unidad de Tratamiento de Gases de Cola) que incluye un quemador en línea, reactor catalítico, columna de lavado, absorbedor y agotador de gas ácido e incinerador térmico, como equipos principales.

La ingeniería básica y de detalle contemplará las siguientes secciones:

1. Sección de integración de corrientes de proceso y servicios auxiliares.

Será responsabilidad del contratista la integración de todas las corrientes de gas ácido amoniacal provenientes de las plantas de Aguas Amargas No. 1, 2, 3, 4 y de Aguas Amargas de Plantas HDS, así como de las corrientes de gas ácido de aminas de la Planta Primaria No. 2 y del cabezal general de alimentación a plantas de azufre 1 y 2. Se deberá integrar la corriente de azufre producto de la SRU al patio de manejo de azufre sólido y llenaderas de azufre líquido.

También será responsabilidad del contratista integrar las líneas de los servicios auxiliares requeridos en cada una de las secciones que conforman la planta de tratamiento y recuperación de azufre (Sección de Recuperación de Azufre Tren 1 y 2, Sección de Tratamiento de Gas de Cola Tren 1 y 2 y Sección de Agotamiento de Agua Ácida).

2. Sección de llenaderas de azufre líquido.

Con respecto al manejo de azufre líquido, se adaptarán nuevas llenaderas a las instalaciones existentes en las que se emplee tecnología de punta. También se diseñarán guarniciones que permitan proteger las columnas de los marcos del rack.

A 1.1 Función de la Integración.

La integración de la Planta de Recuperación de Azufre , considera el diseño de las líneas de proceso para suministro de carga desde las plantas anteriormente citadas. Asimismo, considera la línea de proceso del azufre producto, líneas de servicios auxiliares (vapor, agua de calidad para alimentación a calderas, gas combustible, condensados, etc) y sistema de desfogue

A.2 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad.

A.2.1 Factor de Servicio

El factor de servicio será de 1 0 (Operación de 365 días al año)

A 2 2 Capacidad y Rendimiento

La capacidad de diseño de cada tren de la SRU No es de 40 TMD

La capacidad normal por tren será igual a la capacidad de diseño (40 TMD)

La capacidad de operación mínima por tren sera del 30% de la capacidad de diseño (12 TMD)

A 2.3 Flexibilidad

A 2 3.1 Falla de Energía Eléctrica

A falla de energía eléctrica la planta no operará, debiéndose efectuar un paro ordenado de la misma

A 2.3.2 Falla de Agua de Alimentación de Calderas

A falla de agua con calidad de alimentación a calderas la planta no operara

A.2.3.4 Falla de Aire.

A falla del paquete de aire de instrumentos propio de la planta se contará con una línea de respaldo del cabezal existente en la refinería

A.2.3.5 Previsión de Aumentos de Capacidad.

No se prevén futuros aumentos de capacidad

A.3 Especificaciones de las Alimentaciones.

A.3.1 Corrientes de Carga.

Componente:	Gas Acido de Amina		Gas Acido/Amoniaco				
	% mol:		% mol:				
	PRIM2	CABEZAL GENERAL DE PTAS. DE AZUFRE 1 y 2:	PRIM-1:	PRIM-2:	PRIM-3	PRIM-4	HDS
Nitrógeno	0.400	1.300	2.900	4.400	2.600	1.100	0.000
CO ₂	10.0	6.700	16.30	4.800	7.400	2.400	0.000
H ₂ S	85.30	85.000	68.60	35.00	42.80	42.80	27.27
Metano	0.600	0.600	4.300	0.100	2.000	0.100	0.000
Etano	1.500	0.200	2.100	0.300	2.300	0.100	0.000
Etileno	0.000	0.100	3.900	0.100	3.200	0.200	0.000
Propano	0.700	0.300	0.800	0.100	2.800	0.200	0.000
Propileno	0.000	1.100	0.500	0.100	16.10	1.700	0.000
i-Butano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
n-Butano	0.500	0.700	0.100	3.200	12.60	2.200	0.000
i-Pentano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
n-Pentano	0.000	0.000	0.000	0.500	2.500	0.300	0.000
n-Hexano	0.000	0.000	0.000	0.200	4.700	0.100	0.000
H ₂ O	1.000	2.000	0.500	51.50	1.000	49.00	34.50
SO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
H ₂	0.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Amoniaco	5 ppm	65 ppm	57.5ppm	6350ppm	1150ppm	2250ppm	38.30
Oxigeno	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
COS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CS ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fenoles	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total (1)	100.01	100.00	100.00	100.30	100.00	100.10	100.12
Flujo kg/h (2)	115.58	240.120	79.480	725.750	467.12	303.68	1547.6

Notas

(1) Estos totales son sin considerar las corrientes de amoniaco

(2) Flujos de acuerdo al balance de materia de el Licenciador

A.4 Especificación del Producto.

A.4.1 Azufre Líquido

Azufre 99.8% de pureza o mayor
H₂S* 250 a 300 ppm en peso

- Será reducido a 10 ppm en peso en la Sección de Desgasificación de Azufre. El flujo de producción esperado es de 60,031 kg/h

A.5 Condiciones de las Alimentaciones en Límites de Batería

La infraestructura de la integración estará diseñada para recibir la carga de gas ácido y gas ácido amoniacal con las siguientes condiciones:

Alimentación	Estado Físico	P man. (kg/cm ²) Máx/Nor/Mín.	Temp. (°C) Máx/Nor/Mín	Forma de Recibo	Procedencia
Gas ácido de amina de FCC1	Vapor	/0.46/	/38/	Tubería	L B
Gas ácido de amina del cabezal general	Vapor	/0.46/	/38/	Tubería	L B
Gas ácido amoniacal de	Vapor			Tubería	L B
AA1		/0.40/ (1)	/108/		
AA2		/0.45/ (1)	/93/		
AA3		/0.71/ (1)	/76/		
AA4		/0.65/ (1)	/80/		
AA HDS		/0.85/ (1)	/91/		

Nota

(1) De acuerdo con información de

A.6 Condición del Producto en Límites de Bateria.

Producto	Estado Físico	P (kg/cm ²) máx/Nor/Min	Temp. (°C) Máx/Nor/Min	Forma de Entrega	Destino
Azufre	Líquido	/2 49/	/137 8/	Tubería enchaquetada	Almacenamiento (1)

Nota:

(1) El destino de este producto será el patio actual de manejo de azufre sólido de la planta de recuperación de azufre , así como las llenaderas de azufre líquido para pipas que estarán ubicadas en la misma área.

A.7 Eliminación de Desechos

Se contará con los siguientes tipos de drenajes:

-Aceitoso Para el manejo de la mezcla de hidrocarburos y agua que se colecte en el área de proceso para ser enviada al sistema existente de tratamiento de efluentes.

-Pluvial. Independiente del aceitoso, que será diseñado con base a la precipitación pluvial del lugar

-Químico No habrá drenaje químico (únicamente el interno de la planta)

-Sanitario Solo se integrarán las aguas jabonosas en caso de requerirse a la red de la refinería

Para el contenido de desechos permisible en agua y aire deberá cumplirse con las Normas Oficiales Mexicanas (SEMARNAP) vigentes a la fecha

A.8 Servicios Auxiliares.

A.8.1 Vapor.

A.8.1.1 Vapor de Alta Presión.

Este vapor será generado fuera de Límites de Batería.

Condiciones en Límites de Batería.

Presión:	60.0 kg/cm ² man max.
Temperatura.	482 °C max.
Calidad:	Sobrecalentado.
Disponibilidad:	La requerida.

A.8.1.2 Vapor de Media Presión

Este vapor será generado fuera de Límites de Batería.

Condiciones en Límites de Batería.

Presión	21.5 kg/cm ² man. max
Temperatura	271 °C max.
Calidad	Sobrecalentado.
Disponibilidad:	La requerida.

A.8.1.3 Vapor de Baja Presión

Condiciones en Límites de Batería

Presión	3.5 kg/cm ² man max
Temperatura.	146 °C max
Calidad	Saturado
Disponibilidad	La requerida

A.8.2 Condensado.

A.8.2.1 Condensado de Baja Presión.

Condiciones en Límites de Batería.

Presión: 3.50 kg/cm² man.
Temperatura 93 °C

A.8.3 Agua de Enfriamiento.

Fuente de Suministro: Por CLIENTE
Sistema de enfriamiento: Torre de enfriamiento.
Condiciones de suministro: Límites de Batería.
Presión de Entrada: 2.5 kg/cm² man max.
Temperatura de Entrada: 32 °C max
Presión de Retorno Mínima: 2.5 kg/cm² man. max.
Temperatura de Retorno Máxima 46 °C max.
Disponibilidad La requerida

A 8 4 Agua para Servicios y Usos Sanitarios.

Fuente de Suministro: Por CLIENTE
Condiciones de suministro: Límites de Batería
Presión: 2.0 kg/cm² man max
Temperatura 32 °C max
Disponibilidad: La requerida

A 8 5 Agua Potable

Forma de suministro Garrafrones (Por CLIENTE)

A.8.6 Agua Contra incendio

Presión en Límites de Batería 14 kg/cm² man max
Temperatura 30°C max
Disponibilidad La requerida
Aplicar la norma A 1 1 de CLIENTE para diseño.

A.8.7 Aire de Instrumentos.

Fuente de suministro:	Propia de planta y respaldo de refinería.
La presión del sistema:	7.0 kg/cm ² man. max
Temperatura:	38°C max.

A.8.8 Aire de Planta.

Fuente de suministro:	Propia de planta y respaldo de refinería.
La presión del sistema:	7.0 kg/cm ² man max.
Temperatura:	38°C max.

A.8.9 Combustibles.

A 8.9.1 Gas

Fuente de Suministro:	Red General de la Refinería
Naturaleza	Gas natural
Peso Molecular	16.45
Poder Calorífico	8.061 Kcal/m ³

Condiciones en Límites de Batería

Presión	4.6 kg/cm ² man. nor.
Temperatura	32 °C nor
Disponibilidad	La requerida

A 8.9.2 Líquido

No se requiere

A.8.10 Inertes. (Nitrógeno)

Para arranque, paros y regeneración del catalizador, se requiere nitrógeno, por lo que se elaborará la requisición de un tanque termo con evaporador, el cuál quedará instalado junto a los existentes.

Suministro:	Tanques nuevo de almacenamiento a 25 kg/cm ² man.
Presión requerida:	3.5 kg/cm ² man.
Temperatura:	Ambiente.
Disponibilidad:	La requerida.

A.8 11 Energía Eléctrica.

Fuente de Suministro:	Se tomarán las alimentaciones de la subestación eléctrica No. 52
Tensión.	4160/480/220/127
Número de Fase.	3/3/3/1
Frecuencia:	60 ciclos
Factor de Potencia	0.75
Acometida:	Subterránea

A 8.12 Teléfonos.

A 8 12 1 CLIENTE definirá la localización del registro telefónico y localización de los aparatos telefónicos.

A 8 13 Desfogue

El sistema de desfogue será diseñado por el DISEÑADOR desde Límites de Bateria hasta el tanque de sello (cachador) del quemador existente 1ª etapa (Equipo a definir por CLIENTE)

Las presiones en Límites de Bateria son

Contrapresión en línea de desfogue	0.3 kg/cm ² man. (1)
Presión del cabezal de alta	(1)
Presión del cabezal de baja	(1)

(1) A confirmar por CLIENTE-Contratista Ingeniería de Detalle y construcción de la Planta SRU

A.9 Condiciones Climatológicas.

A.9.1 Temperaturas.

Máxima extrema:	40.2°C
Mínima extrema:	14.4°C
Máxima promedio:	38.0°C
Mínima promedio:	17.0°C
Temperatura de bulbo húmedo promedio:	30.0°C
Temperatura de bulbo seco: invierno	28.0°C

A.9.2 Precipitación Pluvial.

Máxima en 1 h :	80.00 mm
Máxima en 24 h.:	348.0 mm
Promedio Anual	-----

A.9.3 Vientos

Dirección de vientos reinantes	sept-abr de N a SSO may-ago de S a NNE
Dirección de vientos dominantes	de NO a SE
Velocidad media anual	-----
Velocidad máxima	100.00 km/h
Velocidad regional para diseño	200.00 km/h

A.9.4 Humedad Relativa

-Maxima	96.9 %
-Minima	37.8 %
-Promedio	48.0 %

A.9.5 Atmósfera

La presión atmosférica es de 1033 kg/cm² abs. con atmósfera corrosiva. Contaminantes de SO₂, SO₃, H₂S, coque, arena, sales marinas y humedad.

A.10 Localización de la Planta.

A.10.1 Coordenadas en Límites de Batería.

La ubicación será en la manzana localizada entre las calles 12 , 15 y 14, con las siguientes coordenadas.

E-2727.000 a E-2836 000
N-1497 000 a N-1438.500

A.10.2 Elevación de la Planta Sobre el Nivel del Mar.

4.5 m

A 11 Bases de Diseño Eléctrico

A.11.1 Código para Clasificación de Áreas

El código para clasificación de áreas estará contenido en la norma 2.203 01 de CLIENTE.

A 11 2 Resistividad Eléctrica del Terreno

Estudio de mecánica de suelos por Licenciador

A 11.3 Características de la Alimentación a Motores

Potencia (HP)	Volts	Fases	Frecuencia(Hz)
De 0 a ¾	120	1	60
De 1 a 150	480	3	60
De 151 a 2000	4160	3	60

A 11 4 Corriente para Alumbrado e Instrumentos

	Volts	Fases	Frecuencia (Hz)
Alumbrado	220	1	60
Control	127	1	60
Instrumentos	120	1	60

A.12 Bases de Diseño para Tuberías.

A.12.1 Soportes de Tuberías y Trincheras.

Sólo se permitirá el uso de marcos de concreto y mocheteria en el patio de azufre en caso necesario.

A.12.2 Drenajes

El DISEÑADOR diseñará las interconexiones de los drenajes de la planta a los drenajes generales de la refineria.

- 1 Aceitoso
- 2 Pluvial
- 3 Sanitario (Solo aguas jabonosas)
- 4 Químico (El interno de la planta).

El material y elevación de estos serán iguales a los existentes

A 12 3 Maquetas y Dibujos.

Para este proyecto se harán dibujos de plantas y elevaciones, asi como isométricos de tubería de acero al carbón y aceros especiales de todas las líneas

A 13 Bases de Diseño Civil

A 13 1 Solicitaciones por Viento y Sismo

Se usará el Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E. y del I.I.E., última edición, complementandose con las especificaciones de CLIENTE y los comentarios y/o adiciones del DISEÑADOR

Tipo de estructura

Coeficiente sismico

Estructuras edificios y equipos

Estructura C 1 3 por sismo de manual de diseño de Obras Civiles de C F E

Cimentaciones

Se diseñará con la información de mecánica de suelos específica del lugar.

A.13.2 Tipo de Suelo.

Estudio de Mecánica de suelos por Licenciador.

A.13.3 Tipo de Edificios y Construcciones.

No aplica.

A.13.4 Nivel de Piso Terminado.

4.5 m.

A.14 Bases de Diseño Para Instrumentos

Será responsabilidad del DISEÑADOR elaborar el índice de instrumentos, hojas de instrumentos y típicos de instalación en caso de que aplique.

Se utilizará instrumentación de campo a prueba de explosión, en caso de requerirse.

A.15 Normas, Códigos y Especificaciones

En el desarrollo del proyecto el DISEÑADOR empleará las siguientes Normas, Códigos y Especificaciones en sus ediciones más recientes.

<u>Concepto</u>	<u>Normas, Códigos, Especificación</u>
Seguridad	Normas de CLIENTE, Normas Oficiales Mexicanas (NOM)
Instrumentación	American Petroleum Institute (API), Instruments Society of America (ISA)
Electricidad	National Electric Manufacturers Association (NEMA), National Electrical Code (NEC)

Tubería	American National Standard Institute (ANSI).
Recipientes	American Society of Mechanical Engineers (ASME).
Materiales	American Society of Testing & Materials (ASTM)
Desechos	Normas SEMARNAP, PROFEPA, SEDESOL y STPS.
Viento y Sismo	Normas Comisión Federal de Electricidad (CFE)



DIPLOMADO DE GERENCIA DE PROYECTOS

INGENIERIA DE DETALLE

Por:

Ing. Arturo R. Rosales González

M. en I. Ernesto Alfaro Pastor

Ing. Antonio Vargas y Vargas

Ing. R. Francisco Mastache Gutiérrez

Ing. R. M. Cristina Herrera Hernández

Ing. Manuel M. López Ramos

ABRIL DE 1998

TECNOLOGIA E INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE

PARTE 3 INGENIERIA DE DETALLE

- 1.0 OBJETIVOS

- 2.0 ORGANIZACIÓN
 - 2.1 ALCANCE DEL TRABAJO
 - 2.1.1 DEFINICIÓN DE INGENIERÍA DE DETALLE.
 - 2.1.2 ALCANCE DE LA INGENIERÍA DE DETALLE
 - 2.1.3 INGENIERÍA BÁSICA COMPLEMENTARIA
 - 2.1.4 NORMAS Y ESPECIFICACIONES
 - 2.1.5 BASES DE DISEÑO Y BASES DE USUARIO
 - 2.1.6 ASPECTOS PARA DEFINIR EL ALCANCE
 - 2.1.7 ESPECIALIDADES PARTICIPANTES
 - 2.1.8 FORMAS ACTUALES DE TRABAJO

 - 2.2 LISTAS DE DOCUMENTOS
 - 2.2.1 DOCUMENTOS EN LA INGENIERÍA DE DETALLE.
 - 2.2.2 INGENIERÍA DE PROCESOS
 - 2.2.3 INGENIERÍA DE INSTRUMENTACIÓN
 - 2.2.4 DISEÑO DE TUBERÍAS
 - 2.2.5 DISEÑO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS
 - 2.2.6 DISEÑO DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR
 - 2.2.7 DISEÑO DE RECIPIENTES
 - 2.2.8 DISEÑO CIVIL
 - 2.2.9 DISEÑO ELÉCTRICO
 - 2.2.10 DISEÑO MECÁNICO
 - 2.2.11 DISEÑO ARQUITECTÓNICO

 - 2.3 PROGRAMAS DE EJECUCIÓN Y RECURSOS.
 - 2.3.1 PROGRAMA DE EJECUCIÓN
 - 2.3.1.1 ¿QUÉ ES UN PROGRAMA?
 - 2.3.1.2 TIPOS DE PROGRAMA Y NIVEL
 - 2.3.1.3 CURVA DE AVANCE PROGRAMADA
 - 2.3.1.4 MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE TIEMPOS
 - 2.3.2 PROGRAMA DE RECURSOS
 - 2.3.2.1 ¿QUÉ ES UN RECURSO?
 - 2.3.2.2 ¿QUÉ ES UN PROGRAMA DE RECURSOS?
 - 2.3.2.3 TIPOS DE RECURSOS
 - 2.3.2.4 INFORMACIÓN REQUERIDA
 - 2.3.2.5 MANEJO DE RECURSOS
 - 2.3.3 SISTEMA DE PROGRAMACION

- 2.4 ORGANIGRAMA
 - 2.4.1 ENFOQUE ORGANIZACIONAL.
 - 2.4.2 TIPOS DE ORGANIZACIONES
 - 2.4.3 ORGANIZACIÓN FUNCIONAL O DEPARTAMENTAL
 - 2.4.4 ORGANIZACIÓN POR GRUPO ESPECIAL DE PROYECTO O "TASK FORCE".
 - 2.4.5 ORGANIZACIÓN MATRICIAL
 - 2.4.6 ESTABLECIMIENTO DE LAS DIVERSAS ORGANIZACIONES
 - 2.4.7 FACTORES PARA DECIDIR EL TIPO DE ORGANIZACIÓN

- 2.5 REPORTE DE AVANCE

- 2.6 PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS
 - 2.6.1 TIPOS DE PROCEDIMIENTOS.
 - 2.6.2 PROCEDIMIENTOS INTERNOS
 - 2.6.3 PROCEDIMIENTOS EXTERNOS
 - 2.6.4 CONTENIDO

- 3.0 BASES PARA EL DESARROLLO
 - 3.1 LUGAR PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS
 - 3.1.1 UBICACIÓN FÍSICA
 - 3.1.2 CUARTEL GENERAL DEL PROYECTO
 - 3.1.3 ÁREA DE TRABAJO

 - 3.2 ASIGNACION DE RECURSOS
 - 3.2.1 RECURSOS HUMANOS
 - 3.2.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS.
 - 3.2.3 RECURSOS FÍSICOS.
 - 3.2.4 RECURSOS MATERIALES.
 - 3.2.5 RECURSOS FINANCIEROS.
 - 3.2.6 RECURSOS DE APOYO.

 - 3.3 RECEPCIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA
 - 3.3.1 DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA
 - 3.3.2 SELECCIÓN DE UN PROCESO.
 - 3.3.3 PAQUETE DE INGENIERÍA BÁSICA.
 - 3.3.4 RECEPCIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA.

- 3.4 INFORMACIÓN DEL SITIO
 - 3.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES AL DISEÑO DE LA PLANTA.
 - 3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS DEL LUGAR.
 - 3.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS AUXILIARES.
 - 3.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE.

- 3.5 CRITERIOS Y BASES DE DISEÑO
 - 3.5.1 CRITERIOS DE DISEÑO.
 - 3.5.2 BASES DE DISEÑO.

- 3.6 NECESIDADES DE INFORMACION Y COMUNICACIÓN INTERDISCIPLINARIA.
 - 3.6.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.
 - 3.6.2 INFORMACIÓN ESPECÍFICA POR ACTIVIDAD.
 - 3.6.3 COMUNICACIÓN.

- 3.7 PROCESO DE MEJORA CONTINUA Y CALIDAD
 - 3.7.1 EL MEJORAMIENTO CONTINUO
 - 3.7.2 OBJETO DE UN PROGRAMA DE MEJORA CONTINUA Y CALIDAD
 - 3.7.3 ELEMENTOS QUE COMPRENDE UN PROCESO DE MEJORA CONTINUA Y CALIDAD
 - 3.7.4 APLICACIÓN DEL PROGRAMA

- 3.8 EVALUACION DE LOS AVANCES DE LOS DOCUMENTOS
 - 3.8.1 OBJETIVO DE DETERMINAR LOS AVANCES EN DOCUMENTOS
 - 3.8.2 ETAPAS EN LA EDICIÓN DE DOCUMENTOS -
 - 3.8.3 DEFINICIÓN DE LOS AVANCES PARCIALES

- 3.9 CAMBIOS AL DISEÑO
 - 3.9.1 ALCANCES DEL PROYECTO
 - 3.9.2 IMPACTO EN EL PROYECTO
 - 3.9.3 CONTROL DE CAMBIOS

- 3.10 EDICION DE DOCUMENTOS
 - 3.10.1 LAS DIFERENTES EDICIONES DE LOS DOCUMENTOS DE INGENIERIA
 - 3.10.2 DEFINICION DE LAS EDICIONES A EMITIR EN PLANOS DE INGENIERIA

- 3.11 COMUNICACIÓN CON EL CLIENTE
 - 3.11.1 EL PROCEDIMIENTO DE TRABAJO
 - 3.11.2 PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE LA COMUNICACIÓN

- 3.12 ESTIMADO DE COSTO
 - 3.12.1 GENERALIDADES
 - 3.12.2 DEFINICION DE INGENIERIA DE COSTOS
 - 3.12.3 APLICACIÓN DE LOS ESTIMADOS DE COSTO
 - 3.12.4 TIPOS DE ESTIMADOS DE COSTO
 - 3.12.5 PROCEDIMIENTO DE CALCULO PARA EL ESTIMADO DE INVERSION TOTAL
 - 3.12.6 PARAMETROS DE ESTIMACION DE COSTO

- 3.13 LECCIONES APRENDIDAS Y DOCUMENTACION
 - 3.13.1 OBJETIVO
 - 3.13.2 DOCUMENTACION

- 3.14 ENTREGA DEL PROYECTO EJECUTIVO
 - 3.14.1 EVENTOS EN LA ENTREGA DEL PROYECTO
 - 3.14.2 CIERRE INTERNO DEL PROYECTO
 - 3.14.3 RETROALIMENTACION DEL CLIENTE

- 3.15 JUNTAS
 - 3.15.1 TIPOS DE JUNTAS
 - 3.15.2 REALIZACIÓN DE LAS JUNTAS
 - 3.15.2.1 PLANEACIÓN
 - 3.15.2.2 DESARROLLO
 - 3.15.2.3 SEGUIMIENTO

1.0 OBJETIVOS

Un proyecto es el camino que hay que recorrer para alcanzar un objetivo, cuyo logro requiere de una serie de actividades en las que intervienen diversos participantes en sus diferentes fases. En varias de esas fases intervienen disciplinas de ingeniería para su ejecución.

Existen diferentes tipos de proyectos; por ejemplo el diseño de un componente para una maquinaria, la construcción de un edificio, la investigación y desarrollo de un nuevo proceso, la construcción de un Complejo Petroquímico o la de una Central Nucleoeléctrica.

Con mucha frecuencia, el objetivo está relacionado con un beneficio que puede caracterizarse en términos económicos. En tal caso se denomina, en forma genérica, proyecto de inversión, para cuya ejecución se requiere la aplicación de recursos: humanos, materiales y tecnológicos, todos ellos normalmente cuantificables en términos económicos

Un proyecto puede ser relativamente sencillo y de corta duración, involucrando unas cuantas actividades, o inmensamente complejo con participación multidisciplinaria en miles de actividades interrelacionadas durante un largo periodo.

Dentro de este último tipo de proyectos se enfocarán los siguientes temas y específicamente, a la etapa correspondiente a la Ingeniería de Detalle, aunque en realidad todas las fases de un proyecto están altamente relacionadas, por ejemplo, para iniciar la Ingeniería de Detalle se requiere que ciertas actividades de Ingeniería Básica hayan concluido, pero algunas de éstas, a su vez, necesitan de cierta información de la fase de Detalle.

La Ingeniería de Detalle puede analizarse desde múltiples ángulos y con aplicación a muy diversos tipos de proyectos, nuevamente, en este caso específico nos enfocaremos a la Ingeniería de Detalle aplicada al diseño de Plantas Industriales.

Los proyectos de Plantas Industriales son lo suficientemente complejos para que se puedan observar, con claridad, las técnicas que se requieren para la administración de este tipo de proyectos y por lo tanto los conceptos que aquí se expondrán son válidos para otros tipos de proyectos.

La alta interrelación que existe entre la Ingeniería de Detalle con las otras etapas del proyecto hace que la planeación de ésta sea un aspecto fundamental, pero para poder llevar a cabo esta planeación en forma adecuada se requiere conocer también las necesidades y los tiempos de las otras, así por ejemplo dentro del programa de Ingeniería de Detalle se deberá conocer cuándo se contará con la información de dibujos de fabricantes, los cuales corresponden a la fase de procura, asimismo, se deberá considerar dentro de este programa la llegada de estos equipos a campo y por lo tanto ¿en qué momento se necesita contar con los diseños de cimentaciones?.

Debido a lo anterior y en virtud de que la ingeniería de detalle es un esfuerzo coordinado de múltiples especialistas, veremos en los próximos capítulos que antes de iniciar esta fase se requiere definir perfectamente su alcance y planear adecuadamente cada una de sus etapas.

2.0 ORGANIZACION

2.1 ALCANCE DEL TRABAJO

2.1.1 Definición de Ingeniería de Detalle.

La ingeniería de Detalle es la fase dentro del diseño de un proyecto, en la que se generan los dibujos constructivos del mismo.

Adicionalmente, se complementan los dibujos de ingeniería básica, principalmente con información de fabricante y se desarrollan las especificaciones de equipo, materiales y construcción.

Con la información generada durante esta fase, es posible estimar el costo de construcción de la obra en la forma más precisa y por lo tanto, contratar esta etapa.

La ingeniería de Detalle es una de las etapas claves de un proyecto, ya que al pasar de una fase conceptual, como es la Ingeniería Básica, a una de definición constructiva, se involucran a una gran cantidad de especialidades, las cuales se interrelacionan entre sí, debido a que los documentos generados por una especialidad se utilizan para generar otros en diferentes áreas, por lo es primordial una planeación adecuada para esta fase.

Un proyecto es un esfuerzo temporal que tiene un inicio y un fin definidos y dentro de éste se identifican tres etapas que son: Planeación, ejecución y control, las cuales forman parte del ciclo de vida de un proyecto.

Dentro del ciclo de vida del proyecto se pueden definir, también, diversas fases como son:

- Identificación del proyecto
- Planeación del proyecto
- Definición del proyecto
- Ingeniería, procura y construcción
- Arranque e inicio de operación
- Operación y mantenimiento.

Dentro de las tres primeras se debe definir el alcance del proyecto.

Tanto la Ingeniería Básica como las actividades iniciales de la Ingeniería de Detalle son parte primordial de la fase de definición del alcance de un proyecto, ambas pertenecen a la actividad denominada "Front End Loading", que corresponde a las actividades a desarrollar para determinar adecuadamente el proyecto.

Como se observa en la figura 2.1.1 durante las etapas iniciales del proyecto, es cuando se tiene una mayor influencia sobre el mismo y por lo tanto si se tiene una adecuada definición se tendrán mayores posibilidades de éxito. Debido a lo anterior, es por lo que las actividades del Front End Loading deben llevarse a cabo durante esta fase.

Los componentes del Front End Loading son los siguientes:

- Factores de Especificación del Sitio
 - ✓ Plano de localización
 - ✓ Información de suelos
 - ✓ Requerimientos ambientales
 - ✓ Requerimientos de salud y seguridad.

- Definición de ingeniería
 - ✓ Actividades de ingeniería
 - Alcance detallado
 - Alimentación de productos y materias primas
 - Diagramas de flujo de proceso
 - Hojas de datos
 - Diagramas de tubería e instrumentación
 - Diagramas unifilares
 - Especificaciones de equipo mayor
 - Estimado de costo
 - ✓ Participación de:
 - Operadores
 - Personal de mantenimiento
 - Personal de ventas

- Plan de ejecución del proyecto
 - ✓ Estrategia de contratación
 - ¿A quién?
 - ¿Cómo?
 - ✓ Equipos participantes y su rol
 - ✓ Programa integrado
 - Actividades críticas
 - Identificación de puntos de disparo en uniones
 - Requerimiento de recursos
 - Tiempos extras requeridos
 - ✓ Planes
 - Comisionamiento
 - Arranque
 - Operación
 - Aseguramiento de la calidad

✓ Programas de control de costos

Un Front End Loading pobre corresponde a un 2.8% del costo total del proyecto, mientras que uno que se encuentre dentro de las mejores prácticas recomendadas será del orden del 4.2%, sin embargo, el ahorro total en el costo del proyecto, por llevar a cabo un Front End Loading adecuado puede ser aproximadamente hasta un 20% del costo total.

2.1.2 Alcance de la Ingeniería de Detalle

Como se conoce, es en estas primeras etapas, durante las cuales se está conceptualizando el proyecto en donde se puede influir de una manera más notoria en el resultado final del mismo, aún y cuando no son las fases de mayor gasto dentro del proyecto.

De acuerdo a lo anterior, una adecuada definición de alcance en cada una de éstas, permitirá que, en las fases subsecuentes, se tengan menores imprevistos.

El desarrollo de la Ingeniería de Detalle está basado, fundamentalmente, en la ingeniería básica de proceso, en las normas y bases de diseño.

Para contar con un alcance adecuado de la Ingeniería de Detalle, es conveniente, por lo tanto, el tener una ingeniería Básica suficientemente desarrollada.

En cada proyecto varía sensiblemente el grado de desarrollo que se requiere de la Ingeniería Básica, para definir el alcance de la Ingeniería de Detalle. En caso de plantas conocidas, o proyectos duplicados, tal vez sea suficiente con conocer las bases de diseño y el esquema de flujo para determinar las actividades a desarrollar, sin embargo, si el proyecto corresponde a plantas nuevas, modificaciones importantes en la localización de las plantas, sobre todo en el tipo de suelo o cambios importantes al plano de localización o, en el caso de proyectos de integración de plantas, se requiere contar con un desarrollo completo de los diagramas de tubería e instrumentación para poder definir adecuadamente el alcance de la Ingeniería de Detalle.

2.1.3 Ingeniería Básica Complementaria

Cuando una Ingeniería Básica no está suficientemente madura, ya sea porque forme parte de un paquete básico de un licenciador, el cual no puede o quiere desarrollar más trabajo, o por que el tiempo no ha permitido terminarla adecuadamente, es necesario complementarla, por medio de una actividad a la que se denomina "Ingeniería Básica Complementaria" (Front End Engineering) y corresponde básicamente a la complementación de los diagramas de tubería e instrumentación, las hojas de datos y el plano de localización general para incluirles aquellos aspectos del procesos que no estén completos y adicionarles la parte correspondiente a servicios auxiliares. Posteriormente, se detallarán en forma más adecuada las actividades del "Front End Engineering".

Desafortunadamente, de acuerdo a los tiempos en que se requiere desarrollar actualmente un proyecto, con frecuencia no se cuenta con una Ingeniería Básica suficientemente completa para especificar claramente el alcance de las actividades de Ingeniería de Detalle, y en múltiples ocasiones, tanto el "Front End Engineering", como las actividades de inicio de la Ingeniería de Detalle, se llevan a cabo en paralelo.

2.1.4 Normas y Especificaciones

Otro aspecto que se requiere para definir adecuadamente el alcance de la Ingeniería de Detalle es correspondiente a normas y especificaciones que se deben utilizar durante el desarrollo del proyecto.

Una norma es una serie de reglas, conceptos y procedimientos que establecen, en los códigos, los requisitos mínimos de calidad de los elementos que integran un proyecto, definiendo a la vez como alcanzar y comprobar la calidad establecida como requisito básico.

Los Códigos son normas a escala internacional, que han establecido los países altamente desarrollados y que, por lo tanto, definen también los requisitos mínimos de calidad de los equipos y materiales y establecen los procedimientos de pruebas de calidad, clasificando los materiales por sus características físicas y químicas y los tipos de equipos, por sus características, así como las ecuaciones y factores de seguridad que se deben considerar para el diseño de los mismo o elementos de construcción.

Los códigos se revisan frecuentemente con las experiencias obtenidas o las investigaciones efectuadas para los diferentes tipos y clases de materiales y equipos.

Los principales códigos que son utilizados en México provenientes de los Estados Unidos son:

✓ API	American Petroleum Institute
✓ ASME	American Society of Mechanical Engineers
✓ TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association
✓ UBC	Uniform Building Code
✓ ASTM	American Society for Testing Materials
✓ ANSI	American National Standard Institute
✓ NFPA	National Fire Protection Association

Los estándares pueden ser parte de las normas. Éstos se refieren a dibujos típicos de partes de proyectos, tales como detalles de instalación de instrumentos, separación entre equipos, entre tuberías, espesores y formas de colocar aislamiento, dibujos de escaleras, soportería, etc. Se puede decir que la relación y número de estándares está en correspondencia directa a la experiencia y calidad de la firma o grupo de ingeniería.

Anteriormente definimos qué son las Normas o Especificaciones Generales. Ahora es conveniente definir qué son las Especificaciones del Proyecto. Éstas son las normas en donde se establecen las condiciones específicas para el proyecto de que se trate; en otras palabras, es una adaptación de las Normas a los requerimientos específicos del Proyecto. Para llevar a cabo tal adaptación es necesario conocer las Bases de Diseño, donde se establecen los datos del lugar, leyes locales, las preferencias del usuario del proyecto y la disponibilidad de equipos y materiales en el mercado nacional.

Frecuentemente, el usuario obliga a la firma de ingeniería a utilizar Especificaciones Generales desarrolladas por él mismo. Esto tiene la ventaja de que las instalaciones del usuario estarán siempre bajo un mismo criterio de diseño y la desventaja de un aumento en el costo de ingeniería, ya que el personal de la firma utilizará tiempo en el estudio y aprendizaje de las especificaciones del usuario.

Es importante también, en el caso de utilizar normas y especificaciones propias del usuario, definir correctamente el grado de prioridad que se le va a aplicar a cada una de éstas, ya que el término "La más estricta", no siempre es aplicable y puede conducir a diseños erróneos.

2.1.5 Bases de Diseño y Bases de Usuario

De acuerdo a lo antes expuesto, un documento que debe estar completo al inicio de la Ingeniería de Detalle, son las Bases de Diseño, debido a que en él se definen los parámetros a seguir para el desarrollo del proyecto. Este documento normalmente forma parte de la Ingeniería Básica, ya que tiene su inicio antes del desarrollo de ésta y su complementación durante la misma. Más adelante, se definirá en forma más amplia el alcance de este documento.

Otro documento importante, que con frecuencia se utiliza para definir el alcance de la Ingeniería de Detalle, es el que corresponde a las bases de usuario, en el que la parte operativa describe los alcances del proyecto, el tipo de equipos y materiales que requiere, la disponibilidad de área, tipo de equipo, etc.

2.1.6 Aspectos para definir el alcance

Adicionalmente y con el objetivo de definir adecuadamente el alcance de un proyecto se deben considerar los siguientes aspectos relativos a la administración del mismo:

- ✓ ¿Por qué se hará el proyecto?
- ✓ ¿Cuáles son las bases del proyecto?
- ✓ ¿Por qué se localizará la planta en un lugar específico?
- ✓ ¿Cuál es el esquema económico del proyecto?
- ✓ ¿Cuál es el tiempo requerido para su ejecución?
- ✓ ¿Cuál es la actividad crítica en el programa del proyecto?
- ✓ ¿Quién hará el diseño de la planta?
- ✓ ¿Quién manejará la procura?
- ✓ ¿Cuál será el esquema de construcción?
- ✓ ¿Cómo se harán los estimados del proyecto y cuál será su grado de aproximación?

En cuanto a aspectos correspondientes a la instrumentación y al control, es conveniente considerar lo siguiente:

- ✓ ¿Existe alguna preferencia por alguna marca de instrumentos?
- ✓ ¿Hay algún tipo nuevo de instrumentos?
- ✓ ¿Cuál es el tipo de control requerido para el proceso?
- ✓ ¿Hay suficiente capacidad para la llegada y salida de señales?
- ✓ ¿Se requiere contar con sistema de control distribuido?
- ✓ ¿Se requiere un sistema de control avanzado?
- ✓ ¿Se requiere un cuarto satélite o un cuarto centralizado?

Con relación a los aspectos de proceso tenemos:

- ✓ ¿Están definidos todos los equipos de la planta?
- ✓ ¿Cuáles son los efectos que se tienen corriente arriba y corriente debajo de la planta?
- ✓ ¿Las instalaciones y facilidades para descarga y almacenamiento de las materias primas son adecuadas?

Con respecto a Civil, Estructuras, Arquitectura y Tuberías, se debe considerar lo siguiente:

- ✓ ¿Se requiere alguna preparación del terreno?
- ✓ ¿Los equipos serán colocados dentro o fuera de algún edificio?
- ✓ ¿Se requiere algún edificio de proceso especial?
- ✓ ¿Se requieren cimentaciones especiales de equipo?
- ✓ ¿Se requieren edificios especiales?
- ✓ ¿Se requiere de un edificio específico para el personal?
- ✓ ¿Las facilidades para el almacenamiento y manejo de producto son adecuadas?
- ✓ ¿Están identificadas todas las interfases que existen en la planta?
- ✓ ¿Cuáles son los materiales requeridos para la construcción de los equipos y materiales?
- ✓ ¿Hay equipos que deban ser suministrados por algún proveedor especial?
- ✓ ¿Para válvulas y tuberías existe algún proveedor recomendado?
- ✓ ¿Cuáles son los requerimientos de aislamiento?

Para el caso de Seguridad, Protección Ambiental y Servicios Auxiliares se debe considerar:

- ✓ ¿Se tienen requerimientos especiales de seguridad dentro de la planta?
- ✓ ¿Cuáles son los requerimientos de protección contra fuego?
- ✓ ¿La planta genera corrientes de desecho?
- ✓ ¿Se deben incluir instalaciones para el tratamiento de efluentes?
- ✓ ¿Qué otro tipo de facilidades deben instalarse en la planta?
- ✓ ¿Hay capacidad suficiente para servicios auxiliares, como son agua de enfriamiento, vapor, aire de instrumentos, etc.?

Finalmente, en el aspecto Eléctrico se debe tomar en cuenta:

- ✓ ¿Cuál es la clasificación de áreas del proyecto?
- ✓ ¿Hay espacio suficiente para la instalación eléctrica?
- ✓ ¿Hay carga suficiente para alimentar a los equipos eléctricos?
- ✓ ¿Se requiere área de alumbrado?
- ✓ ¿Se requiere equipo especial para el sistema de tierras y apartarrayos?

2.1.7 Especialidades Participantes

En la Ingeniería de Detalle intervienen ingenieros de muy diversas especialidades, entre los que podemos encontrar a Ingenieros Químicos que ejecutan los cálculos de proceso necesarios para la compra y selección de los equipos, tales como bombas, compresores, torres de destilación, recipientes reactores cambiadores de calor, tuberías, sistemas de control, etc., a través de la complementación de hojas de datos y los diagramas de tubería e instrumentación.

Intervienen también, Ingenieros Civiles, para el cálculo de cimentaciones, drenajes y estructuras, principalmente; Ingenieros Eléctricos, para el cálculo de circuitos eléctricos, subestaciones, centros de control de motores, etc.

Participan Ingenieros Mecánicos para el estudio de esfuerzos en tuberías, trazos de tuberías y el desarrollo de los planos mecánicos de los equipos, principalmente estáticos. Asimismo, trabajan en esta fase Ingenieros Electrónicos para el desarrollo de los planos de alambrado de los sistemas de control.

Intervienen también una gran cantidad de técnicos especializados, principalmente para el diseño de tuberías y estructuras.

De acuerdo a lo anterior los grupos especializados que intervienen en esta fase son los siguientes:

- a) Proceso
- b) Civil
- c) Eléctrico
- d) Instrumentación
- e) Tuberías

Los documentos que generan cada una de estas especialidades tienen diferentes usos, dentro de los que se encuentran los siguientes:

1. Constructivos. Los documentos indican el procedimiento constructivo que se debe seguir, así como las dimensiones, tipo de material y especificaciones que se deben utilizar.
2. Procura. Los documentos generados se utilizan para determinar el tipo de equipo y materiales que se deben comprar, así como sus cantidades. Dentro de este tipo de documentos están las requisiciones de equipos y materiales y las especificaciones técnicas que deben de cumplir.

3. Generación de volumen de obra. Estos documentos son los que determinan los conceptos unitarios, sus cantidades y sus precios para poder definir el precio de la construcción del proyecto.
4. Utilización interna. Los documentos que se generan en la ingeniería de detalle son utilizados por otras disciplinas para poder determinar, a su vez, nuevos diseños constructivos. Por ejemplo un isométrico de tuberías da lugar a un diseño de soportería para la misma.

Las diferentes disciplinas de ingeniería deben trabajar, por lo tanto, relacionadas entre sí para poder llevar a cabo la Ingeniería de Detalle con éxito, por lo que actualmente se están utilizando bases de datos compartidas para que la información que generen estas disciplinas sea la misma que utilicen todos los participantes. En la parte correspondiente al organigrama se detallarán más las diferentes formas en que se debe de operar.

2.1.8 Formas actuales de trabajo

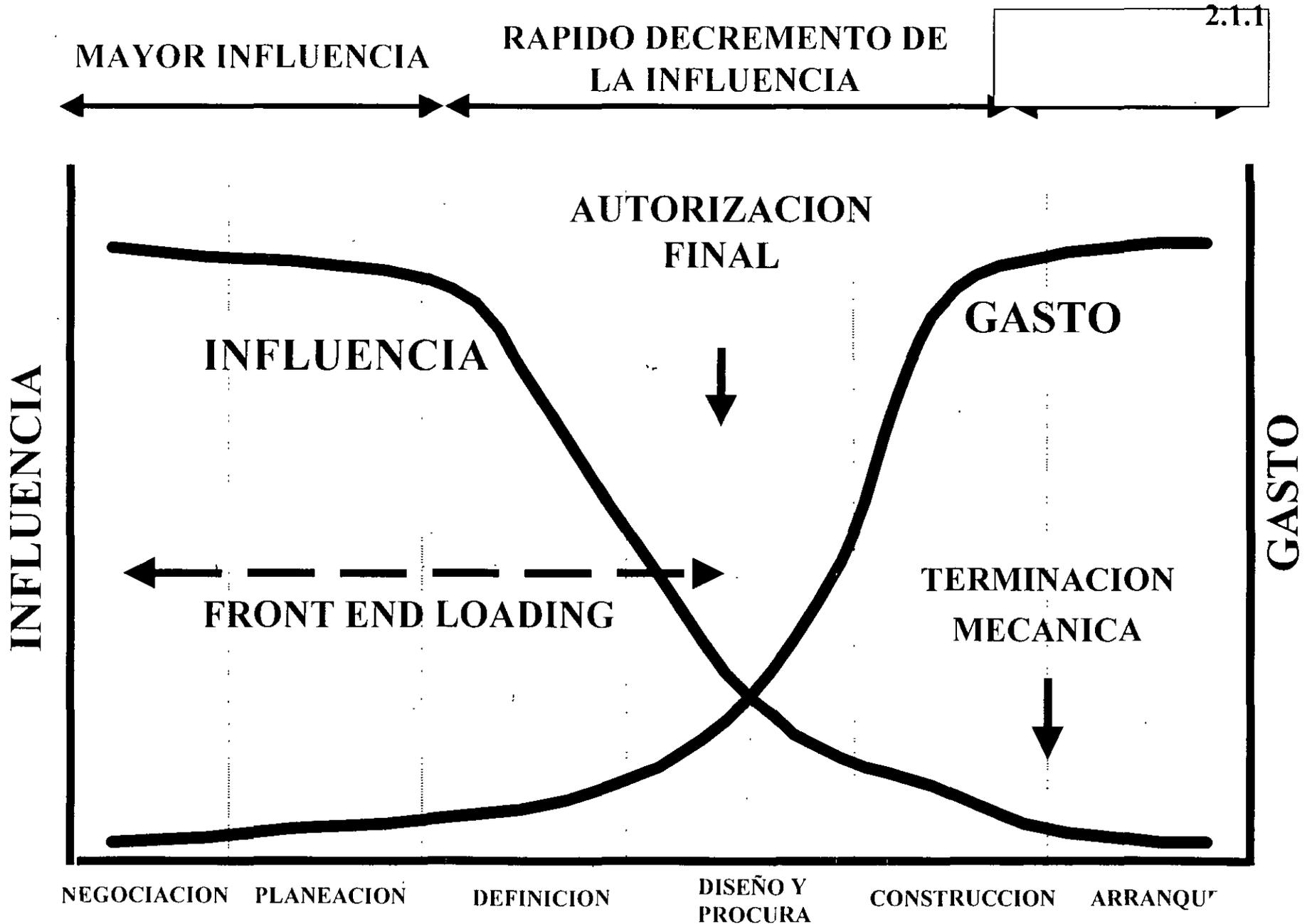
Una forma de trabajo actualmente en boga, es la correspondiente a la Ingeniería Concurrente, mediante la cual todas las especialidades involucradas y los otros participantes en el proyecto, como son los proveedores de equipo, los contratistas y el propio dueño participan en forma conjunta mediante sistemas de redes de comunicación y sistemas de bases de datos relacionales compartiendo la misma información y aportando todos al mismo tiempo al proyecto, logrado con esto que, cuando éste es liberado cuenta con todo tipo de información necesaria y por lo tanto, los tiempos de elaboración total del proyecto se ven reducidos de forma significativa

A fin de garantizar que la información generada durante esta etapa va a servir de una forma óptima a la fase de construcción, a últimas fecha se ha puesto en práctica el concepto de Constructabilidad, el cual es una técnica que involucra al personal con amplia experiencia en construcción, desde la etapa de planeación de la ingeniería de detalle, y es en algunos casos, desde las etapas finales de la ingeniería básica.

La presencia de personal especializado en construcción permitirá que, los documentos que se generen, consideren la mejor forma de llevar a cabo la parte constructiva de cada uno de ellos. Por ejemplo, el desarrollo de un plano de localización que tome en cuenta la mejor secuencia constructiva y los tiempos de fabricación de los equipos, evitará que en medio de la planta quede una torre de destilación, la cual, por su tiempo de construcción y dimensiones, pudiera retrasar el inicio de construcción de las secciones aledañas.

CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

FIGURA



2.2 LISTAS DE DOCUMENTOS

2.2.1 Documentos en la Ingeniería de Detalle.

En la Ingeniería de Detalle, el resultado final se presenta, principalmente; mediante diagramas, planos, modelos tridimensionales y listas de materiales; la elaboración de ellos requiere, en ocasiones, hacer cálculos laboriosos y repetitivos, cuyo resultado se plasma en los dibujos. Por esta razón las firmas de ingeniería han implementado diferentes programas de cómputo, como: son el cálculo de sistemas de desfogue, cálculo de cimentaciones, estructuras y análisis de esfuerzos, entre otros. Por otra parte, la gran cantidad de planos constructivos que se elaboran en esta parte de la Ingeniería de Proyecto, representa un consumo muy grande de horas hombre, aun el caso de utilizar sistemas asistidos por computadora.

A continuación, se analizarán los principales documentos que se generan en cada una de las diferentes disciplinas que participan dentro del desarrollo de la Ingeniería de Detalle, para un proyecto de plantas industriales.

2.2.2 Ingeniería de Procesos

En esta especialidad de la Ingeniería de Detalle se elaboran documentos que son fundamentales para el inicio de actividades de otras especialidades del diseño.

Para su realización, a su vez, requiere de los documentos que se elaboran en la Ingeniería Básica, de hecho varios de estos, como son los diagramas de tubería e instrumentación, se inician en la etapa básica y se concluyen en la de detalle cuando se tiene información de fabricante de equipos.

Las actividades principales de esta especialidad son:

- ✓ Hojas de datos de equipos de servicios auxiliares.
- ✓ Elaboración de diagramas de tubería e instrumentación de proceso y servicios auxiliares.
- ✓ Elaboración de planos de localización general de equipos.
- ✓ Cálculo de líneas.
- ✓ Diseño de sistemas de desfogue.
- ✓ Elaboración de hojas de datos de instrumentos.
- ✓ Verificación del comportamiento hidráulico de tuberías.

Para el desarrollo de estas actividades se cuenta con diferentes programas de cómputo para el cálculo de líneas de tubería en una y en dos fases, así como redes de tuberías, cálculo de válvulas de control, etc.

La descripción detallada de algunos de los documentos que se generan por esta especialidad se indica a continuación:

□ Diagramas de Tubería e Instrumentación de Proceso.

Estos diagramas contienen todas las líneas de proceso identificadas con diámetro, servicio, número y especificación, incluyendo los accesorios necesarios para su correcta operación; en las estaciones de control se muestra su arreglo, indicando tamaños de válvulas de bloqueo y de desvío, la posición de la válvula de control a falla de aire; los instrumentos numerados; para las válvulas de seguridad se muestra su localización e identificación, indicando su tamaño y diámetros de entrada y salida, mientras que las líneas de servicios muestran su localización e identificación indicando diámetro, número y especificación de las líneas de entrada y salida.

Se indica también la altura tentativa de los equipos que la requieran por proceso y las notas para diseño de tuberías que deban tener consideraciones especiales de diseño, así como, el número total de serpentines a los calentadores a fuego directo.

Estos diagramas se elaboran empleando software de aplicación específica para dibujo y diseño asistido por computadora.

□ Diagramas de Tubería e Instrumentación de Servicios Auxiliares.

Estos diagramas se obtienen de los diagramas de balance de servicios auxiliares y muestran la distribución de diversos servicios a los equipos que así lo requieran (agua de enfriamiento, vapor, condensado, combustible, aire de instrumentos, etc.), así como, la localización relativa de entrada y salida de servicios de acuerdo al plano de localización general; los diagramas incluyen diámetros, número y especificación de tuberías.

□ Lista de Líneas de Proceso.

Esta lista es un sumario de todas las líneas de proceso donde se incluye: diámetro, servicio, numeración y especificación, origen y destino de las líneas, así como presión y temperatura máxima de operación.

- Plano de Localización General de Equipos.

Este plano involucra el arreglo del equipo, mostrando soportería de tuberías, áreas de mantenimiento, cuartos de control y accesos. Se elabora tomando en consideración aspectos operacionales, de mantenimiento, de seguridad y económicos.

En él se muestra el arreglo de los equipos, considerando vientos dominantes y reinantes, e indicando coordenadas para los equipos: al centro para torres y recipientes verticales, a la línea de tangencia para recipientes horizontales, y al centro de los canales en cambiadores de calor; se representa, además, la separación de equipos respecto a los soportes de tuberías. Las dimensiones de las bombas provenientes de los dibujos de fabricante y cimentaciones de equipo, mientras que para recipientes, torres y cambiadores de calor serán las indicadas por su diseño mecánico.

Se indican también los límites de batería del área requerida, así como la lista de equipo considerada con sus características principales.

- Diagramas de Tubería e Instrumentación de Desfogue.

Este diagrama se prepara de acuerdo a los diagramas de proceso y de los planos de localización general de equipos, en él se representa, en forma esquemática, el conjunto de líneas que se envían al sistema de desfogue, con dimensiones, numeración y especificación.

- Hojas de Datos De Válvulas de Seguridad y Relevó.

Las hojas de datos de válvulas de seguridad indican localización, materiales, tipo de válvula de seguridad, condiciones de flujo, temperatura de operación y de relevó, así como la presión de operación y la presión de ajuste de la válvula.

- Plano de Notas Generales, Leyendas y Símbolos.

En este plano se numeran y se listan todos los planos de localización general de equipos de la unidad de proceso, así como, los diagramas de proceso, servicios auxiliares y diagramas de paquetes de proceso proporcionados por el fabricante, que integran el paquete de ingeniería básica y de detalle para el proyecto, anotándose los códigos de servicio de tuberías y de drenajes. Además, se presenta la simbología de válvulas y accesorios en tuberías y la simbología de instrumentos, indicándose los elementos de medición y las notas generales que aplican en los diagramas de proceso y servicios del proyecto.

□ Índice de Servicios.

En este documento se presentan las condiciones de presión y temperatura de operación máxima de los sistemas de proceso, y en función de estas condiciones, se anotan las especificaciones de tubería empleadas en el proyecto.

2.2.3 Ingeniería de Instrumentación

Esta especialidad es responsable de desarrollar los sistemas de control de la planta, así como especificar los instrumentos para su adquisición.

Las principales actividades de esta especialidad son:

- ✓ Diseñar y especificar los sistemas de control del proceso.
- ✓ Elaborar los diagramas lógicos de control.
- ✓ Elaborar los planos de localización de instrumentos.
- ✓ Especificar para su adquisición la instrumentación de la planta.
- ✓ Elaborar los diagramas para instalación de la instrumentación de la planta.
- ✓ Elaborar las especificaciones del sistema de control distribuido.
- ✓ Elaborar las listas de materiales de instrumentos.

La descripción de los principales documentos generados por esta especialidad, se indica a continuación:

□ Índice de Instrumentos.

El índice de instrumentos recopila y conjunta, de una manera ordenada y sistematizada, las principales características y referencias documentales de los distintos circuitos de control e instrumentación auxiliar de una planta. El ordenamiento normal del índice de instrumentos se efectúa con base a las variables de proceso (flujo, nivel, presión, temperatura, análisis, etc.) ó función específica de los circuitos (paquetes, sistemas auxiliares, etc.). Las características y referencias que se incluyen típicamente en un índice de instrumentos son las siguientes:

- Identificación del circuito (Norma ISA S 5.1).
- Servicio o descripción principal del circuito.
- Tipo de componente o funcionalidad del dispositivo.
- Localización del dispositivo; en tubería, localmente, en la parte posterior del tablero principal de control, en la parte frontal del tablero principal de control ó en el sistema de control distribuido.
- Diagrama de tubería e instrumentación en que se indica.
- No. de línea o equipo en el que se instala el dispositivo (*).
- Diagrama funcional de instrumentación en que se refiere el circuito.

- Hoja de especificaciones en que se describe el dispositivo.

En la etapa de ingeniería de detalle se completa el índice de instrumentos, con la siguiente información adicional:

- Número de requisición de compra del dispositivo.
- Isométrico de tubería en que se indica la instalación del dispositivo (*).
- Dibujo típico de instalación del dispositivo(*).
- Información adicional varia.

* Solo aplica para la instrumentación de campo.

Cuando se genera una base de datos como respaldo a un índice de instrumentos, adicionando información complementaria, se pueden generar otros documentos de una manera muy sencilla, como es el caso de los sumarios de señales de entrada/salida y funciones. Además, se puede tener un mejor y más rápido manejo de la información de los sistemas de instrumentación y control del Proyecto o de la Planta, debido a que no existen diferencias en cuanto a identificación, ya que ésta es la misma en todos los documentos involucrados.

□ Diagramas Funcionales de Instrumentación.

Son representaciones esquemáticas de la estructura de un circuito de control, ya sea del tipo abierto o cerrado. Estos diagramas indican las principales funciones e interrelaciones de los constituyentes de los circuitos de control y sirven de base para la generación de otros documentos encontrados en la ingeniería básica de instrumentación. Para la construcción de los diagramas funcionales de instrumentación se utiliza la simbología, nomenclatura y filosofías establecidas por la Norma Internacional ANSI/ISO S 5.1.

El formato de los diagramas funcionales de instrumentación depende del tipo de instrumentación utilizada en cada proyecto y es como sigue:

- a. Para plantas con instrumentación convencional el formato diferencia a la instrumentación local o de campo; a la instrumentación ubicada en la parte posterior del tablero principal de control; y a la instrumentación localizada en la parte frontal del tablero principal de control.
- b. Para plantas con sistema de control distribuido el formato diferencia únicamente a la instrumentación local o de campo y a la instrumentación o funciones incluidas en el sistema de control distribuido.

A diferencia de los diagramas de instrumentación típicos, los diagramas funcionales de instrumentación no muestran los direccionamientos de las tablillas de interconexión de los instrumentos, esto con la finalidad de simplificar la construcción e interpretación de los diagramas funcionales de instrumentación, indicándose dichas tablillas en los diagramas de alambrado asociados, en donde se plasma información más detallada y completa sobre las estrategias de interconexión entre la instrumentación de campo y los sistemas de control.

Los diagramas funcionales de instrumentación se utilizan a través del desarrollo de un proyecto, en aplicaciones como las que se muestran a continuación:

1.- Ingeniería.

- a) Como una herramienta de diseño; el empleo de los diagramas funcionales, cuando éstos se preparan de antemano, ofrece grandes beneficios al facilitar la expresión de la filosofía de control.
- b) Como un complemento a los diagramas de tubería e instrumentación; el diagrama funcional debe mostrar los componentes y accesorios del circuito de instrumentos, enfatizando los requisitos de seguridad y operabilidad.
- c) Como una herramienta para la especificación de instrumentos y sus accesorios.
- d) Como parte de la definición del alcance de instrumentación en un proyecto.
- e) Como un medio de comunicar requisitos a proveedores potenciales.
- f) Como una verificación de que la información presentada y la recibida están completas.
- g) Para la definición de las características del SCD.

2.- Construcción.

- a) Instalación de instrumentos en campo, incluyendo tableros.
- b) Interconexión de instrumentos.
- c) Revisión de instrumentos en los circuitos.
- d) Documentación e inspección.

3.- Puesta en Marcha.

- a) Calibración y revisión antes del arranque.
- b) Como un complemento de los DTI's, los diagramas funcionales pueden usarse como material didáctico de entrenamiento.

4.- Conservación.

- a) Mantenimiento programado y de emergencia.
- b) Modificaciones.
- c) Adecuación (reconstrucción).

5.- Operación

- a) Como un medio de comunicación entre el personal de operación, mantenimiento e ingeniería.
- b) Como material de entrenamiento del personal de operación.

□ Hojas de Datos de Instrumentos.

Recopilan la Información de las condiciones de operación del proceso, a las que se encuentran sometido cada instrumento conectado físicamente al proceso. También se incluyen las propiedades de los fluidos del proceso, tanto físicas como químicas, así como, requerimientos específicos de la medición y características importantes del sistema en que se encuentre el instrumento. Las hojas de datos sirven como base para la elaboración de las memorias de cálculo y de las hojas de especificaciones.

Las hojas de datos se clasifican de acuerdo con el tipo de variable que mida el instrumento, considerándose, así mismo, en cada caso, los parámetros requeridos para la realización de cada tipo de cálculo, de dimensionamiento o bien para la especificación del instrumento.

□ Hojas de Especificaciones.

Estos documentos permiten definir las características más importantes de todo instrumento, o dispositivo auxiliar, a fin de asegurar la adquisición del equipo mas adecuado para cada servicio. Las hojas de especificación le proporcionan a los fabricantes o proveedores, la información necesaria sobre las características requeridas y sobre las condiciones de operación de los instrumentos, así como las normas y regulaciones a las que ha de apegarse el instrumento o dispositivo suministrado.

Las hojas de especificaciones se definen de acuerdo con cada tipo de instrumento de que se trate, ya que los diferentes tipos o familias de instrumentos tienen características y requerimientos muy particulares, que los distinguen de cualquier otro instrumento.

□ Sistema de Control Distribuido. (SCD).

El SCD, conjuga las ventajas del sistema de control digital centralizado con las ventajas del sistema de control analógico. El desarrollo de la tecnología de integración en gran escala, la evolución de las telecomunicaciones y las técnicas de despliegue de datos y procesamiento de la información ha hecho posible distribuir dispositivos inteligentes alrededor de dichos sistemas, con intercomunicación entre estos dispositivos para proveer facilidades en la operación y el control de las plantas de proceso.

Los componentes básicos de los sistemas de control distribuido son:

- Equipo y accesorios (Hardware). El término "Hardware" engloba a todos los componentes físicos que constituyen al sistema, considerando los aspectos de arquitectura, sistema de comunicaciones, conceptos generales, etc.
- Programas y Procedimientos (Software). El término "Software" engloba a todos los programas, lenguajes y procedimientos necesarios para que los equipos del sistema sean configurados, arranquen, operen, reciban mantenimiento y reparación, considerando los aspectos de compatibilidad, flexibilidad, operatividad y confiabilidad.

Para la especificación de estos sistemas se requiere la siguiente información.

- Índice de instrumentos.
- Diagramas de instrumentación.
- Resumen de señales de entrada/salida.

□ Sumario de Señales de Entrada/Salida y Funciones.

Recopila la información necesaria para que los proveedores de los Sistemas de control distribuido puedan configurar sus sistemas, de la manera mas adecuada para satisfacer los requerimientos operativos de los sistemas de control de cada planta.

El sumario de señales de entrada/salida y funciones de cada planta, se relaciona muy estrechamente con el índice de instrumentos de la misma, a través de la base de datos de instrumentos, a la que se le adicionan algunas características requeridas por los Sistemas de Control Distribuido para particularizar el comportamiento de sus entidades dinámicas, a través de las que se efectúa el control y monitoreo de las condiciones de operación del proceso.

La información que se reporta en el sumario de señales de entrada/salida y funciones, típicamente es la siguiente:

- Identificación .
- Servicio con tamaño del campo de acuerdo con el SCD en particular.
- Clave contracta del servicio (según se requiera).
- Información de la señal de entrada; origen, rango o tipo y acondicionamiento requerido.
- Información de la función asociada; tipo y ajustes.
- Información de la señal de salida; tipo, destino.
- Información complementaria para la configuración; como sea requerida por el proveedor.

□ Sumario de Alarmas Paros y Arranques.

Este documento contiene la información necesaria de los puntos de ajuste para alarmas, paros y arranques, para su elaboración se requiere el índice de instrumentos, hojas de datos de instrumentos, filosofía de operación, hojas de datos de equipo, DTI de desfogue (puntos de relevo de válvulas de seguridad), es un documento básico para la configuración del SCD.

□ Esquemas de los Desplegados Gráficos.

Son representaciones simplificadas de un proceso, de una sección de un proceso, de un equipo o de una sección de un equipo, cuya operación y supervisión puede ser aislada de otras secciones del proceso y que es factible representar dentro del espacio disponible de un monitor de un SCD.

Los parámetros que definen el criterio que ha de utilizarse para el seccionamiento de los esquemas de proceso, son: el número y complejidad de los equipos, así como, el número de puntos de monitoreo y control que se tengan, de tal manera que sean adecuados para que un operador pueda realizar una operación eficiente y segura de la sección del proceso representada.

Para la construcción de los desplegados gráficos se deberán establecer y seguir normas y estándares con el propósito de fijar convenciones para la interpretación de colores y símbolos, para la definición de funcionalidades que se aplican, así como para definir procedimientos de dibujo que han de seguirse. A través de la selección o toque de una sección de la pantalla, se debe realizar una función preestablecida. Las funciones mínimas que deberán poder ser ejecutadas son:

- Invocación de otro gráfico o página del sistema.
- Invocación de una ventana.
- Selección de un instrumento, para su supervisión o manipulación.
- Ejecución de rutinas.

Funciones adicionales que los desplegados gráficos deben tener, son las siguientes:

- Actualización periódica de la información, desde su base de datos.
- Cambio del color de los objetos y textos, por condicionamiento o estados de las variables de proceso (0-1, si-no, existencia-no existencia).
- Variación en el patrón de una figura o contenido de un texto, por cambio en el estado de las variables de proceso.
- Centelleo de los objetos o textos por condicionamiento del estado de las variables del proceso.
- Cambio proporcional en el tamaño de una barra, por cambio en el valor de una variable analógica asociada de la base de datos.

Se pueden construir diferentes tipos de desplegados gráficos, siendo los más representativos los siguientes:

- a) Gráficos de vista general. Son representaciones del diagrama de flujo de proceso, en donde sólo se indican los equipos y líneas principales del mismo. Deben tener la característica que, mediante el toque de pantalla o selección, se deberá invocar un gráfico de vista parcial (si se hubiese configurado) o un gráfico dinámico, en que se encuentre el equipo que ha sido seleccionado.
- b) Gráficos de vista parcial. En el caso de procesos de alta complejidad, se deberán crear gráficos de vista parcial, en donde se representan secciones completas de un proceso mayor. Con las mismas características que los gráficos de vista general.
- c) Gráficos dinámicos. El objetivo principal de un gráfico dinámico, es el de poder ser una herramienta eficaz de operación que permite un fácil monitoreo de las condiciones de operación de los procesos, asegurando, a su vez, que el operador pueda tener el control total de este proceso, mediante la apropiada manipulación de los elementos finales involucrados.

Los esquemas de los desplegados gráficos deberán ser entregados a los fabricantes de los sistemas de control distribuido, con las características necesarias para que se puedan construir en los SCD's, de acuerdo con los requerimientos establecidos anteriormente.

□ Dibujos Típicos de Instalación.

Utilizando las especificaciones de tubería, los requerimientos particulares de cada instrumento y las filosofías del cliente, se diseñan los arreglos de tuberías y accesorios más adecuados para permitir la instalación óptima de los nuevos instrumentos y dispositivos de control, en términos de operación y mantenimiento.

□ Plano de Localización de Instrumentos.

Normalmente se elaboran dos planos, uno para instrumentación, que requiere suministro de aire (válvula de control, convertidores) y otro para la instrumentación con señalización electrónica. La ubicación exacta de los instrumentos se realiza sobre un plano general de localización de equipo y se utilizan, como fuente de información, los planos isométricos de tubería. Estos planos se requieren para realizar actividades como tendido de subcabezales de suministro de aire y cableado.

□ Sistema General de Alimentación a Instrumentos.

En este plano se indican las trayectorias de tubería conduit que portan los conductores con señales digitales, analógicas y de termopar, desde los instrumentos que las generaron, indicándose también las cajas de paso. Este plano se complementa con el de cédulas de cables y conduit.

□ Cédulas de Cables y Conduits.

Este plano, indica el diámetro y longitud de los conduits, longitud de cables, así como el número de conductores por tramo de tubería.

□ Alambrado de Cajas de Paso para Señales de Instrumentos.

En este plano se indican las terminales a que se conectarán los conductores provenientes de los instrumentos y se le asignará un par de conductores del multiconductor que lleva la señal al cuarto de control.

□ Diagramas Lógicos de Control

Como parte de las estrategias de control de las plantas, es necesario establecer secuencias de protección de equipos y de paros ordenados, para lo cual se desarrollan los llamados diagramas lógicos de control.

Los diagramas lógicos de control son un conjunto de dispositivo (compuertas, memorias, inversores, etc.), por medio de los cuales cuando un elemento o elementos de entrada (interruptores, sensores, botones, etc.) detectan alguna anomalía dentro de un sistema o proceso, es posible desencadenar o provocar una o varias acciones en los dispositivos de salida (válvulas, relevadores, luces, etc.) en un orden lógico prefijado, con el objeto de mantener al sistema o proceso bajo control.

Para el desarrollo de estos diagramas se requiere de la siguiente información:

- DTI's (diagramas de tubería e instrumentación).
- Diagramas de instrumentación.
- Filosofías de operación.
- Descripción del proceso.
- Especificaciones de instrumentos involucrados.

□ Sistema de Tierras en Cuarto de Control para el SCD.

En este plano se especifica la red de tierras adecuado para proteger al personal y los equipos dentro del cuarto de control. Esta red es independiente de la red de tierra de la planta.

□ Sistema de Fuerza y Cuadros de Carga para el SCD.

Se determina en este plano la alimentación a los componentes del SCD definiendo cableado, tableros de distribución, etc.

□ Distribución de Charolas para Conducción de Señales en Cuarto de Control y Acometidas de Tubería Conduit.

Este plano indica el arreglo de charolas para cables de señalización de instrumentos, de acuerdo a la ubicación de los gabinetes.

□ Alambrado del Gabinete de Interfase "Marshalling".

En este plano se agrupan las señales de acuerdo a su tipo (digital, analógica, termopar) con el fin de organizar todas las señales que vienen de campo y su interconexión en los gabinetes, sirve también para identificar señales al realizar pruebas de campo y cierre de loops, sin que el personal no autorizado tenga acceso.

- Diagramas de Control de Motores Relacionados con el SCD

En este diagrama se muestra la interconexión de motores y el SCD.

- Alambrado de Relevadores Auxiliares.

Este plano nos muestra el acoplamiento entre señales de 24 VCD del SCD y los arrancadores de motores de 120 VAC.

- Alambrado Punto a Punto de Instrumentos de Campo a CC.

Se indica el alambrado de todas las señales de instrumentos provenientes de cajas de paso a los gabinetes "Marshalling" o a los gabinetes del SCD.

- Arreglo de Equipo en Cuarto de Control

En este plano se indica la ubicación de los equipos que comprende el SCD, como son: sistema de fuerza ininterrumpible, tablero de distribución de fuerza, tablero de interfase "Marshalling" y gabinetes del SCD.

- Dimensionamiento Preliminar del Cuarto de Control.

Para dimensionar el cuarto de control, es necesario contar con el resumen de señales de entradas y salidas, con lo que se obtiene el número de gabinetes que se necesitan para el sistema de control distribuido, considerando los tableros de relevadores que se alojarán en este cuarto, las maniobras de mantenimiento, el espacio para el aire acondicionado y/o calefacción, se hace un estimado del área requerida.

- Hojas de Datos de Válvulas de Control.

Este documento indica tipo de válvula de control, tamaño preliminar del cuerpo, tipo de brida, característica del tapón y condiciones de diseño para la válvula.

2.2.4 Diseño de Tuberías

La finalidad de esta especialidad es lograr diseños de tuberías funcionales, de acuerdo a las necesidades del proceso, de operación y mantenimiento.

Las actividades de Diseño de Tuberías se realizan tomando como base los diagramas de tubería e instrumentación y el plano de localización general de equipo y se continúan con información de casi todas las demás especialidades, complementándose con dibujos de fabricante; asimismo, la información generada por esta especialidad es fuente de información para otras, como son Análisis de Esfuerzos, Recipientes, etc.

Las principales actividades del Diseño de Tuberías son:

- ✓ Elaborar diseños de tuberías de proceso y servicios auxiliares que llenen los requisitos de seguridad, montaje, operación, mantenimiento y economía.
- ✓ Elaboración de planos de tuberías con vista en planta y a diferentes elevaciones.
- ✓ Elaboración del modelo tridimensional de la planta.
- ✓ Elaboración del plano de entradas y salidas.
- ✓ Elaboración de diseños de tuberías subterráneas, tales como: drenajes y tuberías contra incendio.
- ✓ Elaboración de isométricos.
- ✓ Localización de boquillas en recipientes.
- ✓ Localización de plataformas y escaleras.
- ✓ Elaboración de listas de materiales.
- ✓ Elaboración de requisiciones de materiales especiales.
- ✓ Elaboración de volúmenes de obra.

Actualmente, la mayoría de los diseños de tuberías son basados en el modelo tridimensional de la planta, dentro del cual, no solo se incluyen las tuberías, sino también se indican equipos, localización de escaleras, cimentaciones, estructuras, etc., lo cual permite detectar posibles interferencias entre los distintos componentes del sistema, evitando así que estos problemas se detecten hasta la etapa de construcción.

Para la realización de dibujos isométricos de líneas de tuberías, que servirán para la fabricación de las piezas de tubería y montaje de la misma, se cuenta con programas de cómputo que desarrollan éstos dibujos a partir de las coordenadas incluidas en el modelo tridimensional, elaborando adicionalmente las listas de materiales de tubería, válvulas, accesorios y aislamiento.

A continuación, se indican los principales documentos que desarrolla la especialidad:

□ Planos de Plantas de Tuberías.

La información contenida en los planos representa la vista en planta del área, concerniente entre los niveles requeridos y son usadas para el montaje de tuberías y soportes. Los planos de construcción de tuberías son complementados por los isométricos correspondientes y vistas ortogonales, si es necesario, para detallar la ruta de tubería del área bajo consideración. El contenido de los documentos incluye lo siguiente:

- Norte de construcción.
- Límites de batería y/o áreas con coordenadas.
- Referencias (número de los dibujos de las áreas adyacentes).
- Dibujos de referencias.
- Plano clave de la planta en consideración, con los números de todas las áreas y sombreando el área cubierta con el dibujo.
- Notas generales y simbología.
- La elevación inferior y superior del corte que muestra el área física representada.
- Elementos principales (trabes y columnas) de estructuras, edificios y racks.
- Representación de todos los equipos con su identificación.
- Identificación de boquillas de equipos que conectan a tuberías, proporcionando la información siguiente: Número de boquilla, rango (libraje), cara y elevación.
- Localización e identificación de instrumentos.
- Identificación de válvulas de control.
- Ruta de tuberías de diámetro mayor de proceso y servicios, indicando los componentes de instrumentación y soportes.
- Número de la línea, elevación a línea de centro, cambios en diámetro y especificación de material para todas las tuberías.
- Los planos se elaboran en escala 1:25.

□ Información Contenida en el Plano de Localización General de Equipo.

La información contenida en el plano de localización general de equipos es la siguiente:

- Información gráfica de cada uno de los equipos con su identificación y sus coordenadas de localización.
- Norte de construcción.
- Límites de batería y/o de área con coordenadas.
- Dibujos de referencia.
- Representación gráfica de soportes elevaciones (Racks), edificios, estructurales con sus coordenadas de localización e identificación.
- Notas generales
- Representación gráfica de áreas de extracción de haz de tubos en cambiadores de calor.

□ Plano de Tubería Subterránea.

La información contenida en el plano de tubería subterránea es la siguiente:

- Representación gráfica de cada una de las cimentaciones de los equipos.
- Representación gráfica de los soportes de tubería (Rack), estructuras, edificios, etc.
- Norte convencional.
- Límites de batería y/o áreas con coordenadas.
- Referencias (número de los dibujos de las áreas adyacentes), si se requiere.
- Dibujos de referencia (plano clave), si se requiere más de un plano.
- Plano clave de la planta en consideración, con los números de las áreas y achurando el área cubierta por el dibujo (si se requiere más de un plano).
- Localización e identificación de los registros y coladeras indicando niveles de arrastres.
- Representación gráfica de las áreas de cada uno de parteaguas.
- Rutas de tubería para drenaje pluvial, aceitoso, químico vaciado de equipo, y sistemas de contraincendio y agua de enfriamiento identificando cada una de ellas, acotadas a puntos de referencia.
- Localización de monitores y tomas de mangueras del sistema contraincendio.
- Detalles típicos aplicables a los sistemas de drenajes contra incendio y agua de enfriamiento.
- Identificación de áreas que requieren concreto reforzado.
- Diámetros de tuberías.

□ Plano de Notas Generales.

La información contenida en el plano de notas generales es la siguiente:

- Notas generales en las cuales se incluyen prácticas de ingeniería de la firma, normas de diseño relacionadas con los sistemas de tuberías y criterios de diseño.
- Notas de fabricación, en las cuales se incluyen una serie de criterios a seguir para localizar los elementos de cada uno de los componentes de los sistemas de tuberías (instrumentos, bridas, parches de refuerzo, etc.) en la etapa de prefabricación.
- Notas para la construcción, en las que se incluyen una serie de normas que se deben aplicar en la instalación y montaje de los arreglos de tuberías.

□ Plano de Líneas de Entrada y Salida.

La información contenida en el plano de líneas de entrada y salida proporciona la información necesaria para realizar las interconexiones con las líneas de salida y/o entrada a la planta. Este plano contiene la siguiente información:

- Cortes de tubería en planta dependiendo de los niveles del rack de tuberías, con la identificación de cada una de las líneas y su localización respectiva, la localización de la plataforma de operación de válvulas, localización de válvulas de corte, placas reversibles e instrumentos de medición.
- Un croquis del área de la planta indicando las diferentes estaciones de interconexión de las líneas de entrada y salida de límite de baterías de la planta, con integración (drenajes, agua de enfriamiento y sistema contraincendio).
- Una tabulación que incluye: No. de identificación de interconexión, No. de estación, diámetro y No. de línea, elevación de las tuberías a línea de centro, conexiones suministradas (tipo rango y cara), especificación de material, dibujo de referencia, servicio, gasto (normal y máximo), presión y temperatura.

□ Isométricos

El dibujo en isométrico, representa una vista tridimensional de cada uno de los arreglos de tuberías, por número de línea mayor a 2" de diámetro. Este es la base para una correcta prefabricación y el ensamble de cada uno de los arreglos de tuberías. La información contenida en éste es la siguiente:

- Norte convencional.
- Trazo de la línea.
- Dirección de flujo.
- Notas de referencia (plano de notas generales).
- Localización de instrumentos y No. de identificación.
- Coordenadas de referencia.
- Tramos rectos de tuberías.
- Lista de material.
- Nombre de línea.
- Condiciones de operación.
- Porcentaje de radiografiado requerido.
- Especificación de material.
- Espesor y tipo de aislamiento.
- Requerimiento de relevado de esfuerzos.
- Lista de material.
- Dibujos de referencia.
- Ensamblajes con otras líneas.

- Parches de refuerzos (si se requieren).
- Control de emisiones y revisiones.
- Indicación de drenajes y venteos (para operación o para prueba).
- Identificación de válvulas de control y alivio.

□ Plano Clave de Dibujos

Este plano es realizado basándose en el plano de localización general de equipo, y su función es la de limitar las áreas de cada uno de los planos de tuberías en planta y elevación, así como la de los soportes elevados. Este plano contiene la siguiente información:

- Indicación del área que incluye cada uno de los planos de tuberías en planta y elevación, indicando el número del área dentro de un círculo.
- Indicación del área que incluyen cada uno de los planos de tuberías sobre soportes elevados, indicando el número del área en un rectángulo.
- Norte de construcción.
- Una tabulación indicando la correlación de cada una de las áreas con los números de los planos correspondientes al área.
- Simbología.
- Notas generales.
- Dibujos de referencia.

2.2.5 Diseño de Análisis de Esfuerzos

Se elabora el análisis de esfuerzos de las tuberías limitando las mismas a los valores permitidos por los códigos y ajustando las reacciones a los valores que resultan aceptables por los equipos que interconectan.

Las principales actividades que, sobre el Análisis de Esfuerzos se realizan son:

- ✓ Analizar los esfuerzos producidos en los sistemas de tuberías por efectos de temperatura, presión y peso propio.
- ✓ Analizar las líneas críticas.
- ✓ Diseñar juntas de expansión, curvas de expansión, resortes y en general todos los soportes para tuberías.
- ✓ Elaborar dibujos de detalle y localización de soportes de tuberías.
- ✓ Seleccionar resortes y juntas de expansión, evaluarlos técnicamente y especificar para su adquisición los más convenientes.

Esta área de ingeniería es muy especializada y debe dar solución, tanto a los esfuerzos en tuberías, como los que se producen sobre los diferentes equipos de proceso.

Los principales documentos que se elaboran se describen a continuación:

- Dibujo de Apoyos para Tuberías en Recipientes Verticales.

Dibujos de detalles constructivos y montaje de apoyos para tuberías (bajantes) en equipos verticales.

- Dibujo de Guías para Tuberías en Recipientes Verticales.

Dibujos de detalles constructivos y montaje de guías para tuberías (bajantes) en equipos verticales.

- Apoyos para Tuberías.

Detalles de diseño y construcción de apoyos para tuberías. (Apoyos de diseño especial que no aparecen en los estándares).

- Guías para Tuberías

Detalles de diseño y construcción de guías para tuberías (guías de diseño especial que no aparecen en los estándares).

- Grapas para Soportes de Tubería en Recipientes.

Detalles de diseño, montaje, orientación, etc. de grapas o clips para los apoyos y guías de tuberías en recipientes.

- Detalles de Apoyos Típicos.

Dibujos de detalle de soportes y aditamentos típicos para la soportería de tuberías.

- Resortes para Tuberías.

Dibujos de detalle (características, tamaño, rigidez, montaje, etc.) de resortes para tuberías.

- Procura de Resortes Para Tubería

Elaboración de requisiciones de resortes necesarios en la soportería de tuberías.

- Edición de Isométricos de Soportería (Cta. "N")

Edición de isométricos en donde se indica localización, tipo, etc. de soportes para las tuberías.

- Detalles de Muñones para Tuberías.

Dibujo de detalle para la colocación y fabricación de muñones para tuberías.

- Localización Dimensionamiento Loop's de Expansión.

Diseño, cálculo, detalles de soportería para Loop's de expansión.

- Apoyos Típicos para Líneas de Diámetro Menor.

Notas, criterios de soportería, detalle de apoyos para líneas de 2 $\frac{1}{2}$ " de diámetro y menores.

- Estructuras Especiales.

Detalles de construcción y montaje de estructuras especiales para tuberías. (Postes, estructuras adicionales en rack, edificios, etc.)

- Análisis de Esfuerzos en Tuberías.

Análisis de flexibilidad y esfuerzos en sistemas de tuberías críticas, mediante el uso de un programa de computadora. Además de la revisión de resultados contra el código de diseño. Elaboración y archivo de las memorias de cálculo.

- Aprobación de Isométricos de Tuberías (Cta. "F")

Revisión y aprobación de isométricos de tuberías (flexibilidad, parches de refuerzo, etc.)

- Volumen de Obra.

Elaboración del volumen de materiales requeridos para la soportería (apoyos, guías, estructuras especiales, etc.) de tuberías.

- Prácticas no Permitidas.

Recomendaciones de construcción sobre prácticas y métodos empleados en campo los cuales no están aprobados como un parámetro del "Control de Calidad".

2.2.6 Diseño de Equipo de Transferencia de Calor

El objetivo de esta especialidad es el de efectuar el diseño termodinámico y mecánico de los equipos.

La información para efectuar el diseño del equipo se recibe como parte de la Ingeniería Básica, en esta etapa se efectúa el diseño termodinámico de los equipos y posteriormente durante el desarrollo de la Ingeniería de Detalle se realiza el diseño mecánico de los mismos.

Las principales actividades de la ingeniería de Transferencia de Calor son:

- ✓ Realizar cálculos y diseño de cambiadores de haz y envolvente.
- ✓ Realizar cálculo y diseño de cambiadores de doble tubo.
- ✓ Realizar cálculo y diseño de calentadores a fuego directo.
- ✓ Elaborar dibujos en detalle, dimensionales especificaciones y listas de materiales de estos equipos para su adquisición.

Los programas de cómputo, con los que se cuenta, efectúan el análisis de diferentes alternativas, para seleccionar el óptimo.

Los principales documentos que se generan dentro de esta especialidad son:

- Hoja de Especificaciones de Cambiadores de Calor.

La hoja de datos de cambiadores de calor se puede dividir en cuatro secciones.

La primera sección, además de contener información general como: Nombre del cliente, nombre y localización de la planta, y clave del equipo; presenta: tamaño, posición y tipo de equipo; área de transferencia y arreglo de envolventes.

En la segunda sección se muestran las condiciones de operación por unidad de intercambio, indicándose, entre otros datos: propiedades termofísicas y temperaturas a la entrada y salida de ambos fluidos; presión y caídas de presión en ambos fluidos; y, número de pasos y factores de ensuciamiento de ambos fluidos, así como, carga térmica, coeficientes globales de transferencia de calor y diferencia logarítmica media de temperaturas corregida.

En la tercera sección se indican los datos de construcción por envoltente, presentando, entre otros conceptos, la siguiente información: condiciones de diseño, geometría del equipo y materiales de construcción.

Finalmente, en la cuarta sección, se pueden indicar notas y/o observaciones así como representar esquemáticamente el equipo.

□ Requisición de Cambiadores de Calor de Tubos y Envoltente.

En este documento se indican, como información general, el nombre y localización de la planta, el número de requisición, etc.

Los equipos a requisitar se clasifican por partidas, indicándose la cantidad de equipos. Adicionalmente, se hace una descripción de cada partida incluyendo conceptos como: partes de repuesto, llenado con nitrógeno, etc.

A continuación se indican las especificaciones, códigos, estándares y dibujos a los cuales se deberán apegar los proveedores en su cotización.

Finalmente, se indican las responsabilidades y garantías que el proveedor deberá tener en la fabricación del equipo, así como, las penalidades que se aplicarán en caso de incumplimiento.

□ Requisición de Internos de Torres

Como información general se indican, principalmente: el número de requisición, el nombre y localización de la planta, etc.

Los internos a requisitar se clasifican por partidas, indicándose la cantidad de internos. Adicionalmente, se hace una descripción de cada partida incluyendo conceptos como: tinas de sello, plato de alimentación, etc.

A continuación se indican las especificaciones, códigos, estándares y dibujos a los cuales se deberán apegar los proveedores en su cotización.

Finalmente, se indican las responsabilidades y garantías que el proveedor deberá tener en la fabricación del equipo, así como, las penalidades que se aplicarán en caso de incumplimiento.

□ Paquete de Requisición de Eliminadores de Niebla

Como información general se indican, principalmente: el número de requisición, el nombre y localización de la planta, etc. Los eliminadores de niebla a requisitar se clasifican por partidas, indicándose la cantidad de eliminadores. Adicionalmente, se hace una descripción de cada partida incluyendo conceptos como: partes de repuesto, soportes, etc.

A continuación se indican las especificaciones, códigos, estándares y dibujos a los cuales se deberán apegar los proveedores en su cotización. Finalmente, se indican las responsabilidades y garantías que el proveedor deberá tener en la fabricación del equipo, así como, las penalidades que se aplicarán en caso de incumplimiento.

□ Dibujo de Arreglo General de Cambiadores de Calor.

Incluye datos de diseño, materiales de construcción, listado de boquillas, secciones transversales de boquillas, silletas y elevación del cambiador de calor.

□ Dibujo de Arreglo y Detalles de Cambiadores de Calor.

Incluye la plantilla de barrenado, notas de fabricación, arreglo del haz de tubos indicando número de mamparas, espaciamiento, detalle de placa de choque, dimensionado de todos los elementos como: bridas principales, espejos, tapas, cabezales, empaques, etc.

□ Dibujo de Arreglo General de Enfriadores por Aire.

Incluye arreglo general del enfriador con aire con vistas: frontal, longitudinal y en planta, materiales de construcción, descargas a la cimentación, esfuerzos permisibles en boquillas, etc.

□ Dibujo de Arreglo y Detalles de Haz de Tubos y Bastidor.

Incluye corte longitudinal y vista frontal, plantillas de barrenado de cabezales, detalles de ensamble.

□ Dibujo de Estructura Principal y Cajas de Aire.

Incluye vista en planta, detalles de ensamble de columnas con paredes y conexiones con los contraventeos.

- Dibujo de Lámina Inferior para Caja de Aire y Anillo Ventilador

Incluye vista en planta de lámina de sello, corte transversal del anillo ventilador y barrenado de lámina para ensamble de caja de aire.

- Dibujo de Estructura Soporte del Motor y Ventilador.

Incluye vista en planta, corte longitudinal y detalles de ensamble para montaje de motor.

- Dibujo de Pasillos y Escaleras de Acceso a Cabezales.

Incluye vista en planta, cortes transversales y detalles de ensamble de la estructura.

- Dibujo de Arreglo General del Sistema de Transmisión de Potencia.

Incluye corte transversal del arreglo del sistema de transmisión de motor, rodamientos, soportes y especificaciones de componentes.

2.2.7 Diseño de Recipientes

El objetivo de esta especialidad es el diseño mecánico de recipientes y torres, así como el efectuar los dibujos dimensionales que mostrarán este diseño y elaborar las especificaciones técnicas requeridas para su adquisición.

El diseño de recipientes es un esfuerzo combinado de ingenieros de proceso, ingenieros mecánicos y fabricantes de equipos.

Las actividades principales del diseño de recipientes son:

- ✓ Diseño de recipientes atmosféricos API.
- ✓ Diseño de recipientes a presión y atmosféricos
- ✓ Diseño de torres a presión, atmosféricas y a vacío.
- ✓ Diseño de soportes de internos de torres.
- ✓ Diseño de reactores.
- ✓ Especificaciones para la adquisición de estos equipos.
- ✓ Aprobación de planos de fabricantes de recipientes.

El diseño mecánico se basa en códigos internacionales como ASME (American Society of Mechanical Engineers) en sus diferentes secciones o el API (American Petroleum Institute) en sus diferentes normas aplicables a tanques de almacenamiento.

Se cuenta con programas de cómputo que hacen el análisis de cargas externas sobre cascarones y boquillas, utilizando la técnica del elemento finito.

Los principales documentos que se desarrollan en esta especialidad, se listan a continuación:

□ Dibujo de Diseño (Preliminar).

En esta etapa se elabora el croquis del dibujo con sus detalles, datos de diseño, dibujos de referencia, pesos y capacidades, especificación de materiales y lista de boquillas, dicha información sirve para cotizar el equipo.

□ Requisición.

Es el documento donde además de listar los equipos que ampara dicha requisición, se describen los requisitos que deben cubrir los proveedores, tanto en el aspecto técnico como comercial, además de la penalización en caso de incumplimiento.

□ Lista de Proveedores.

Es el documento en donde se listan los proveedores invitados a ofertar la requisición antes descrita.

□ Estándares.

Son los documentos donde se describen dibujos o notas comunes en un dibujo de diseño y los cuales sirven como complemento del mismo (tolerancias, patas para soporte, placa de identificación, etc.)

□ Prácticas de Ingeniería (Recipientes A Presión O Atmosféricos).

En este documento se describen los requisitos de diseño, fabricación, inspección, pruebas y embarque, que los proveedores deben cumplir en caso de que se les asigne el pedido.

□ Cuestionario Técnico.

Documento que se proporciona a los proveedores invitados, el cual contiene los requisitos mínimos que deben considerar; una vez contestado deberá enviarlo con su oferta, ya que es la principal información que sirve para su evaluación.

□ Tabulación Técnica.

Documento donde se integra la información que envían los proveedores y en el que se argumenta si cumple o no técnicamente el proveedor.

□ Dictamen Técnico.

En este documento se listan los proveedores seleccionados, indicando los motivos que originaron su preferencia.

□ Dibujo de Diseño Final.

En esta etapa el dibujo además de la información generada en la edición preliminar, se le anexan los dibujos de referencia generados por los demás especialistas (Tuberías, Civil Acero y Análisis de Esfuerzos).

□ Aprobación de Dibujos para Fabricación.

Una vez asignado el pedido, el proveedor está obligado a enviar sus dibujos de fabricación para ser aprobados. Dichos dibujos están basados en la información que se les entregó en la requisición.

2.2.8 Diseño Civil

En esta área de la ingeniería de detalle se hacen todos los trabajos de ingeniería de civil de concreto y acero, tales como, cimentaciones de equipo de edificios y estructuras metálicas.

Es una especialidad que requiere trabajar coordinadamente con otras como son: Tuberías, Arquitectura, Recipientes, etc., además de información de fabricante de equipo.

El área de civil se divide en Civil Acero y Civil Concreto.

Dentro del área de Civil Acero se tienen actividades tanto dentro de plantas industriales como de plataformas marinas.

Las principales actividades de ingeniería de Civil Acero en plantas industriales son:

- ✓ Analizar y diseñar edificios y estructuras para apoyo y servicio de equipos.
- ✓ Analizar y diseñar soporterías y apoyos especiales para tuberías.
- ✓ Elaborar los diseños de cobertizos.
- ✓ Analizar y diseñar cobertizos para equipos o naves industriales.
- ✓ Diseñar plataformas para operación y mantenimiento en equipos verticales y horizontales.
- ✓ Analizar y diseñar estructuras modulares o skids.

Las principales actividades de la especialidad de Civil Acero dentro de plataformas marinas son:

- ✓ Análisis y diseño por arrastre (módulo habitacional, superestructura y subestructura).
- ✓ Análisis y diseño por transportación.
- ✓ Análisis y diseño por izaje.
- ✓ Análisis y diseño por operación en sitio.
- ✓ Análisis y diseño por flotación (Subestructura).

Los principales documentos que se generan dentro de esta especialidad se describen a continuación:

□ Dibujos Estructurales:

Contienen la información necesaria para la fabricación de la estructura mostrada, también se indican las especificaciones de los materiales a emplear y algunas recomendaciones de fabricación y montaje. Se incluye en estos documentos, por lo tanto:

- a) Plantas, elevaciones, cortes, conexiones y detalles con la información necesaria para la elaboración de los planos de taller, los cuales serán responsabilidad del fabricante de la estructura.
- b) Lista de materiales con la descripción de los materiales utilizados y sus cantidades correspondientes.
- c) Notas Generales que incluyen toda clase de información correspondiente a materiales, acotaciones, dimensiones, especificaciones, cargas de diseño, montaje, etc.
- d) Notas específicas que determinarán detalles importantes que deberán ser tomados en cuenta.

□ Volumen de Obra:

Se indican en detalle todos los materiales, cantidades y alcances de fabricación, montaje, accesorios y pintura a emplear.

El área de Civil Concreto es responsable de las actividades siguientes:

- ✓ Realizar estudios topográficos (altimetría y planimetría), previos o complementarios a los proyectos en desarrollo,
- ✓ Requisitar, supervisar, interpretar y certificar estudios de mecánica de suelos, previos o complementarios a los proyectos en desarrollo.
- ✓ Elaborar, revisar o certificar especificaciones generales o requisitos específicos de los diferentes proyectos, en lo relacionado al análisis, diseño y construcción de obras civiles.
- ✓ Analizar y diseñar cimentaciones de todo tipo de equipos, con base en los códigos y criterios de diseño, establecidos, respetando y adoptando las recomendaciones del estudio de mecánica de suelos.
- ✓ Analizar y diseñar cimentaciones de todo tipo de equipos, con base en los códigos y criterios de diseño establecidos, respetando y adoptando las recomendaciones del Estudio de Mecánica de Suelos.
- ✓ Análisis y diseño de estructuras de soporte y cimentaciones de equipo rotatorio (comportamiento dinámico) que garanticen un comportamiento óptimo en condiciones de operación, durante vida útil.
- ✓ Análisis y diseño de estructuras de concreto, para soporte de tuberías, equipos e instalaciones complementarias.
- ✓ Análisis y diseño estructural de edificaciones, basándose en el diseño arquitectónico de éstos y a las condiciones de servicio especificadas (a prueba de fuego o explosión). Cumpliendo con los códigos y normas especificadas en las bases de diseño o del proyecto.
- ✓ Análisis y diseño de pavimentos rígidos y flexibles.
- ✓ Diseño de urbanizaciones, vialidades, banquetas, guarniciones y áreas verdes.
- ✓ Análisis y diseño de drenajes pluviales y sanitarios. Así como de todas las obras civiles complementarias relacionadas con éstos.
- ✓ Análisis y diseño estructural de tanques y fosas de concreto, de todo tipo de servicios.
- ✓ Diseño geométrico de vías secundarias de ferrocarril (escapes, patios, espuelas, etc.).
- ✓ Realización y descripción de: especificaciones y procedimientos de construcción de todo tipo de obra civil. Así como, cuantificación y descripción de volúmenes de obra.
- ✓ Elaborar el cálculo y diseño de cuartos de control y los edificios que se requieran en un proyecto.
- ✓ Elaborar los planos de diseño y localización de pilotes.
- ✓ Elaborar el plano clave de cimentaciones.
- ✓ Elaborar los planos para el diseño de oficinas y talleres.
- ✓ Elaborar los diseños de marcos de soportería.

2.2.9 Diseño Eléctrico

La finalidad de esta especialidad es la realización de diseños económicos, con la aplicación de las mejores técnicas para llevar energía eléctrica a equipos, alumbrado y comunicaciones.

Las principales actividades del diseño eléctrico son:

- ✓ Especificación de equipo eléctrico.
- ✓ Estudio de resistividad eléctrica.
- ✓ Elaboración de diagramas unifilares.
- ✓ Elaboración del arreglo de equipo eléctrico en subestaciones.
- ✓ Elaboración de planos de clasificación de áreas.
- ✓ Elaboración de planos de distribución de fuerza.
- ✓ Elaboración de planos de alumbrado y cuadro de cargas.
- ✓ Elaboración de planos de tierras y apartarrayos.
- ✓ Elaboración de planos de comunicaciones y sonido.
- ✓ Elaboración de planos de control eléctrico.
- ✓ Diseño de centros de control de motores.
- ✓ Elaboración de listas de materiales.

A continuación se describen los principales documentos que se generan en la especialidad:

□ Diagrama Unifilar.

Se describe simbólicamente el equipo eléctrico requerido para alimentar, controlar y proteger a los diferentes niveles de tensión, como son transformadores, tableros de distribución, centros de control de motores, equipo auxiliares de emergencias, etc.

□ Sistema de Tierras

Se representa el tipo de aterrizamiento adecuado para el sistema eléctrico (neutro).

En un dibujo de arreglo general de equipo se muestran las trayectorias de la red general de tierras y de las diferentes derivaciones para la puesta a tierra de equipos y estructuras, indicando, además, el material que se requiere para hacer esta instalación.

También se describe, en caso de requerirse, el sistema de protección contra descargas atmosféricas para estructuras y edificios.

- Especificación para Compra de Tableros de Media y Baja Tensión.

Se presenta la descripción de las características técnicas y condiciones comerciales para la adquisición del equipo, incluyendo una especificación - cuestionario con los datos de operación, requerimientos de construcción y descripción del equipo que debe contener cada tablero.

- Trayectorias de Cableado de Fuerza.

Basándose en la configuración del sistema eléctrico y sobre un dibujo de arreglo general de equipo se muestran las diferentes trayectorias de alimentación, desde la subestación eléctrica hasta los equipos de utilización, como motores y tableros de distribución de alumbrado y contactos ubicados en las áreas de proceso.

- Cédula de Cables y Tubería Conduit.

En esta cédula se vierten las longitudes de las trayectorias a seguir, así como las principales características de cables y tipo de canalización empleados para alimentar a cada una de las cargas de utilización en los diferentes niveles de tensión a los equipos y la entrada de servicio o acometida eléctrica.

- Distribución de Alumbrado y Contactos.

Para cada equipo que requiera alumbrado se muestran las trayectorias de los circuitos necesarios para alimentar unidades de alumbrado y contactos, desde los tableros de distribución correspondientes.

- Especificación para Compra de Transformadores de Distribución y Potencia.

Se presenta la descripción de las características técnicas y condiciones comerciales para la adquisición del equipo, complementada con una especificación-cuestionario que debe llenar y cumplir el proveedor.

- Especificación para Compra de un Sistema de Fuerza Ininterrumpible Para Alimentación a Instrumentos.

En esta especificación se describen las características técnicas y condiciones comerciales para la adquisición de un sistema de respaldo de suministro de energía eléctrica a través de un equipo rectificador-cargador, inversor (si se requiere), banco de baterías y sistema de transferencia.

- Revisión y Aprobación de Dibujos de Fabricante de Equipo Eléctrico.

Se da seguimiento a la información proporcionada por el proveedor de equipo apegándose a lo ofrecido en la cotización correspondiente emitiendo comentarios, en caso de que se presenten desviaciones, hasta otorgar la aprobación definitiva de los dibujos. El equipo eléctrico considerado corresponde a:

- Transformadores de distribución y potencia.
- Tableros de distribución de media tensión.
- Tableros de distribución de baja tensión.
- Sistema de fuerza ininterrumpible.

- Cortes de Trayectorias Eléctricas.

Este documento muestra los detalles de las trayectorias de cableado eléctrico identificando cada uno de los circuitos e indicando el orden que llevan las diferentes trayectorias.

- Arreglo de Equipo en Cuarto de Control Eléctrico.

En este documento se muestra la localización de los equipos eléctricos en el área de transformadores y cuarto de tableros de distribución, así como las trayectorias de los cables que interconectan los diferentes equipos, incluyendo la entrada de servicio o acometida.

- Cuadros de Carga y Especificación de Tableros de Alumbrado y Contactos.

Para cada tablero se describe la forma en que son distribuidas las cargas de alumbrado y contactos en los diferentes circuitos derivados, tomados de cada una de las fases de alimentación. Se indica, además, la capacidad de cada uno de los circuitos derivados, el total de carga conectada a cada fase y el desbalanceo entre fases cuando se trata de tableros de más de una fase.

□ Sistema de Intercomunicación y Voceo

Basándose en la filosofía del sistema de telecomunicación para el proyecto, en un dibujo de arreglo general de equipo se muestra la ubicación de las diferentes estaciones de intercomunicación y las trayectorias del cableado desde la sala de control hasta cada unidad de intercomunicación, localizada en el área de la planta.

□ Requisiciones de Materiales Eléctricos.

Se hace una descripción de las características de los materiales eléctricos, basándose en catálogos de fabricante. Se presenta normalmente en tres documentos generales:

- Requisición de conductores eléctricos, de baja y alta tensión.
- Requisición de tubería conduit.
- Requisición de misceláneos (equipos, dispositivos y accesorios eléctricos no contemplados en los dos primeros documentos).

□ Estándares de Ingeniería.

En este documento se presentan una serie de detalles y dibujos típicos que son útiles para la cuantificación de material y el montaje de las diferentes instalaciones, asimismo, se especifican todos los elementos que se requieren en la etapa de construcción.

□ Diagramas de Control Eléctrico de Motores.

Se indican los diagramas típicos para el control eléctrico de diferentes tipos de motores o sistemas de control accionados por señales no eléctricas.

2.2.10 Diseño Mecánico

El objetivo de esta especialidad es la elaboración de especificaciones técnicas para la adquisición de equipos mecánicos rotatorios y el análisis técnico económico de las ofertas de proveedores.

Los equipos aquí considerados, aunque son diseñados y garantizados por el fabricante deben cumplir las especificaciones del proyecto, las cuales normalmente, se basan en normas internacionales como son: API, NEMA, ASME, ANSI, etc.

Las principales actividades de esta especialidad son:

- ✓ Especificar para su adquisición equipos mecánicos como compresores, bombas, sopladores, torres de enfriamiento, grúas y manejo de sólidos.
- ✓ Hacer una evaluación técnico económica de las ofertas de los fabricantes de equipo.
- ✓ Revisar y aprobar los dibujos de los fabricantes de equipo.
- ✓ Especificar los paquetes de refrigeración y aire acondicionado.
- ✓ Asistir a pruebas de funcionamiento en el taller de los equipos.
- ✓ Definir el arreglo de casas de compresoras.

Los principales documentos generados por esta especialidad se describen a continuación:

- Complementación de la Especificación de Bombas.
 - ◇ Documento de Requisición. Contiene clave del equipo, servicio, las normas bajo las cuales deben ser adquiridos los equipos.
 - ◇ Hoja de Datos de Bombas.- En estas se indicarán las condiciones de operación bajo las cuales debe trabajar los equipos.
 - ◇ Hoja de Datos del Accionador. En estas se indicarán algunas características de los motores como son: tipo, voltaje, factor de servicio, etc.
 - ◇ Lista de fabricantes.- Contiene los posibles proveedores de los equipos.
- Complementación de la Especificación de Compresor de Aire.
 - ◇ Documento de Requisición. Contiene clave del equipo, servicio y las normas bajo las cuales deben ser adquiridos los equipos.
 - ◇ Hoja de Datos de Proceso. En éstas se indicarán las condiciones de operación bajo las cuales debe trabajar los equipos.
 - ◇ Hoja de Datos del Accionador. En éstas se indicarán algunas características de los motores como son: tipo, voltaje, factor de servicio, etc.
 - ◇ Lista de fabricantes. Contiene los posibles proveedores de los equipos.
- Complementación de Requerimientos para Aire Acondicionado.

Especificaciones de Diseño.- En ésta se indicarán: locales a acondicionar, Condiciones interiores, descripción de equipos, sistema de filtración, distribución del aire, tuberías, control y fuerza, especificación de materiales y normas a aplicar.

2.2.11 Diseño Arquitectónico

En esta especialidad se realizan los diseños de todos los cuartos y edificios que se requieren en un proyecto.

El diseño arquitectónico que se efectúa obedece a los requerimientos del proceso, requerimientos del cliente, condiciones del lugar y funcionalidad.

Las principales actividades que esta especialidad desarrolla son:

- ✓ Diseño arquitectónico de casas de bombas, de compresores, cuartos de control y edificios de una planta.
- ✓ Elaboración de planos arquitectónicos de los diseños para detallar fachadas, cortes e instalaciones sanitarias e hidráulicas.
- ✓ Formular las especificaciones y documentos necesarios para la contratación de obra.

Aunque el diseño es del tipo industrial, se busca además de su funcionalidad, resaltar los aspectos de comodidad y estética.

Adicionalmente se lleva acabo el diseño arquitectónico de edificios relacionados con instalaciones industriales, tales como:

1. Edificios de compresores
2. Edificios administrativos
3. Edificios de control
4. Edificios de servicios auxiliares de todo tipo

Respetando y satisfaciendo los servicios y espacios solicitados por el cliente y requerimientos de seguridad y confort. Diseñado y detallando espacios verticales y horizontales, acabados, herrajes y dispositivos especiales. Así como, instalaciones hidráulicas y sanitarias.

2.3 PROGRAMAS DE EJECUCIÓN Y RECURSOS.

2.3.1 Programas de Ejecución

2.3.1.1 ¿ Qué es un programa?

Definición
Objetivo
Alcance del Programa
Información Requerida
Información Generada

2.3.1.2 Tipos de Programa y Nivel

Programa Maestro (Nivel 0)
Programa Ejecutivo (Nivel 1)
Programa Detallado (Nivel 2 en adelante)

2.3.1.3 Curva de Avance Programada

2.3.1.4 Métodos de Reducción de Tiempos

Fast Tracking
Crashing

2.3.2 PROGRAMA DE RECURSOS

2.3.2.1 ¿Qué es un recurso?

2.3.2.2 ¿Qué es un programa de recursos?

2.3.2.3 Tipos de recursos

2.3.2.4 Información requerida

2.3.2.5 Manejo de Recursos

2.3.3 SISTEMAS DE PROGRAMACION

2.3.1 PROGRAMA DE EJECUCIÓN

2.3.1.1 ¿ Qué es un programa?

Definición. Es la determinación del momento en que se deben realizar las actividades de un proyecto con el propósito de cumplir con las fechas comprometidas.

Objetivo. Es contar con una herramienta que represente la dinámica de la realización de un proyecto con base a un calendario donde se muestran la duración y las fechas de inicio y terminación de cada una de las actividades que integran el proyecto.

La elaboración de un programa de trabajo debe visualizarse como un proceso iterativo y de sucesivos ajustes que permitan afinar el proyecto, en la medida en que va desarrollando la ingeniería.

Alcance del programa. El alcance de un programa esta en función directa del alcance del proyecto, por tanto el detalle que se puede lograr en la programación depende del grado de definición del proyecto y las restricciones que se tengan para el mismo.

Información Requerida. La información requerida es la determinación de que tareas serán desarrolladas de acuerdo al alcance del proyecto, la duración de las actividades así como la relación que existe entre ellas, representada como matrices de precedencias, y las fechas y actividades claves del proyecto.

Información Generada. La información que se produce es las fechas de inicio y terminación, holguras totales y libres de cada actividad y la ruta crítica del proyecto, cuya representación gráfica es una red en una escala de tiempo o un Diagrama de Barras o de Gantt.

2.3.1.2 Tipos de Programa y Nivel

El proceso para elaborar el programa, esta muy ligado al alcance que se tenga definido y a la calidad y confiabilidad que tenga la información con que se cuente, con lo anterior se podrá definir diferentes niveles de detalle en un programa de acuerdo a lo requerido para cumplir los propósitos establecidos.

Programa Maestro (Nivel 0). Todo proyecto debe tener un programa formal de alto nivel directivo, en el cual se definirán los parámetros del proyecto, debe ser un documento formalmente emitido y distribuido a todos los participantes claves del proyecto.

Este programa generalmente lo desarrolla personal con gran experiencia y describe de forma global las fechas de inicio y terminación de las fases de mayor importancia para el proyecto así como los eventos clave del mismo.

Programa Ejecutivo (Nivel 1) Este programa debe estar relacionado con el programa Maestro y el detalle que muestra, refleja los conceptos mayores de la estructura jerárquica de trabajo (WBS) que se define para el proyecto.

Este programa se desarrolla con el propósito de brindar información a un nivel de detalle suficiente para una rápida comprensión de las etapas en que se ha programado el proyecto, debe incluir solo de ser necesaria la información detallada de aquellas actividades cuya realización resulta en un evento clave.

Programa Detallado (Nivel 2 en adelante). Este programa debe estar relacionado con el programa Maestro a través del programa Ejecutivo y representa a los elementos o paquetes de trabajo que constituirán las células de control del proyecto también conocidas como centros de costo que comúnmente son la base de la medición del progreso del proyecto cuando se usan métodos como el de "Valor Generado" (Earn Value).

Los niveles para este tipo de Programa están en función del Nivel de la Estructura Jerárquica de Trabajo (WBS) que se haya definido para el proyecto, la mayor parte de los proyectos requieren de un Nivel 4 como máximo para un control eficiente de la realización de las tareas.

En estos niveles de programa se deben incluir todas las actividades que se van a realizar en el proyecto, ya que es el que se usa para la ejecución y control del proyecto.

La aplicación de las técnicas de programación y la definición del esquema de control son la columna vertebral de la administración del proyecto.

Una buena programación, requiere de una correcta y adecuada aplicación las técnicas de programación, el objetivo que se pretende es reducir la incertidumbre con la que se ejecutará el proyecto.

Al efectuar la programación se podrán identificar las variables claves del proyecto, así como el impacto que estas ejercen y que pueden afectar las metas de tiempo y costo. Asimismo se podrán plantear otros esquemas para la ejecución del proyecto, a través de simulaciones en el programa.

2.3.1.3 Curva de Avance Programada

La curva "S" de avance, es la representación gráfica que refleja de acuerdo al programa del proyecto como se espera avanzar a través del tiempo. Normalmente este es un elemento de control en donde se informa del avance acumulado logrado en el proyecto a los niveles gerenciales.

Para la construcción de las curvas de avance en ingeniería, se parte de la base de que todas las actividades tienen un elemento común, en este caso es "horas-hombre", del personal que participa en el desarrollo de la ingeniería, ya sean horas-hombre ingeniero, horas-hombre dibujante, etc.

Por otra parte sabemos que la ejecución de una actividad requiere también de equipo de apoyo como maquinas de copiado, equipo de computo, etc. , sin embargo su distribución se dejará implícita en la distribución de "horas-hombre" durante el tiempo normal de la ejecución de la actividad.

Para cada actividad se le asignará un factor de participación en función de su requerimiento en "horas-hombre" específico con respecto al total requerido en el proyecto. Así mismo también, para cada actividad se determinan diferentes etapas a las cuales pueden por ejemplo pueden ser ediciones de un plano y a cada una se le puede asignar un factor de importancia y con ello asignar valor de peso a la etapa que represente la mayor aportación. El producto de ese factor de aportación con el de importancia distribuido a través del tiempo de acuerdo a lo programado en el programa del proyecto, indicará como según programa se debe avanzar. Y la suma de las actividades programadas por periodo será la aportación de avance en el periodo. Los valores acumulados de los periodos conformaran la curva de avances contra tiempo.

2.3.1.4 Métodos de Reducción de Tiempos

Es una práctica común el reducir los tiempos de ejecución de un proyecto y para ello se hace uso de dos métodos principalmente

Fast Tracking. Este método consiste en modificar la relación lógica de las actividades adelantando el inicio de alguna tarea sin respetar las precedencias establecida en el plan original del proyecto, esto resulta en un traslape de actividades.

Crashing. Este método consiste en la reducción de la duración de las actividades que forman la ruta crítica cuidando que en la reducción si se generan nuevas rutas críticas se repita el proceso hasta lograr establecer las nuevas fechas compromiso del proyecto.

Podríamos seguir comprimiendo todas las actividades de la ruta crítica hasta llegar a su mínimo de tiempo con lo cual se obtiene el Crash Point del proyecto.

2.3.2 Programa de Recursos

2.3.2.1 ¿Qué es un recurso?

Un recurso es todo aquello que se requiere para la realización de una actividad; dinero, materiales, personas, maquinaria, etc.

Es importante recordar que no existen los recursos ilimitados en un proyecto hasta ahora no se había considerado la posibilidad de que tuviéramos que modificar nuestro programa debido a una limitación de recursos, por ello debe establecerse un programa de recursos para el proyecto.

2.3.2.2 ¿Qué es un programa de recursos?

Un programa de recursos es el resultado de la asignación de recursos a cada actividad, acumulados en cada intervalo de tiempo a lo largo de la duración del proyecto. Con los totales para cada periodo se construye el Histograma de Recursos del Proyecto.

2.3.2.3 Tipos de Recursos

Los recursos pueden clasificarse en renovables o permanentes y no renovables o Totales.

Los recursos permanentes son por ejemplo el personal que esta asignado durante todo el proyecto cuyas horas hombre están disponibles en forma constante para las actividades que integran al proyecto.

Los recursos no renovables son aquellos que se asignan en una cantidad fija para el proyecto y se van disminuyendo a lo largo del mismo, por ejemplo los materiales.

Otra clasificación puede ser los recursos alternos la cual es mas utilizada en construcción, estos son aquellos que se pueden emplear el lugar de los asignados en forma original, por ejemplo se puede emplear una cuadrilla de trabajadores o bien una excavadora para una actividad o viceversa.

En el caso de ingeniería los recursos mas importantes son las horas hombre de diseño que se pueden considerar como permanentes. La asignación de las horas-hombre en cada período, da origen a la curva de avance, como un parámetro de control en la realización de un proyecto.

2.3.2.4 Información Requerida

La Información requerida para definir un recurso es la cantidad asignada a la actividad, el tipo de recurso, su disponibilidad, las fechas en las que se debe aplicar el recurso y el costo del mismo.

2.3.2.5 Manejo de Recursos

La administración de los recursos para un proyecto en un factor clave para el cumplimiento de los objetivos, y requiere por tanto de un seguimiento específico a la forma en la cual los recursos se aprovechan en forma óptima en la realización de las actividades.

Para este fin se establece un programa para el uso de los recursos que generalmente se representa en forma de histograma para cada uno de los recursos del proyecto. En cada intervalo se define la cantidad de recurso que se puede usar, en función de la disponibilidad que exista.

En un proyecto de ingeniería es común representar los histogramas de horas hombre de las diferentes especialidades que participan en el proyecto.

La limitación en la disponibilidad de recursos en un proyecto se resuelve aplicando métodos de nivelación que den como resultado mantener al proyecto dentro de sus límites de tiempo y costo.

La administración de Recursos va estrechamente ligada al manejo del programa de tiempos y en forma conjunta ajustan al proyecto dentro de los límites establecidos.

La preparación de un programa de proyecto debe incluir el manejo de recursos; su elaboración debe visualizarse como un proceso iterativo y de sucesivos ajustes que permitan afinar el programa del proyecto, en la medida en que se desarrolla la ingeniería.

2.3.3 Sistemas de Programación

Dada la complejidad para el manejo de la información, para la integración de un programa y su optimización en la fase de control, se hace necesaria la implantación de un sistema de programación que facilite la realización de estas funciones.

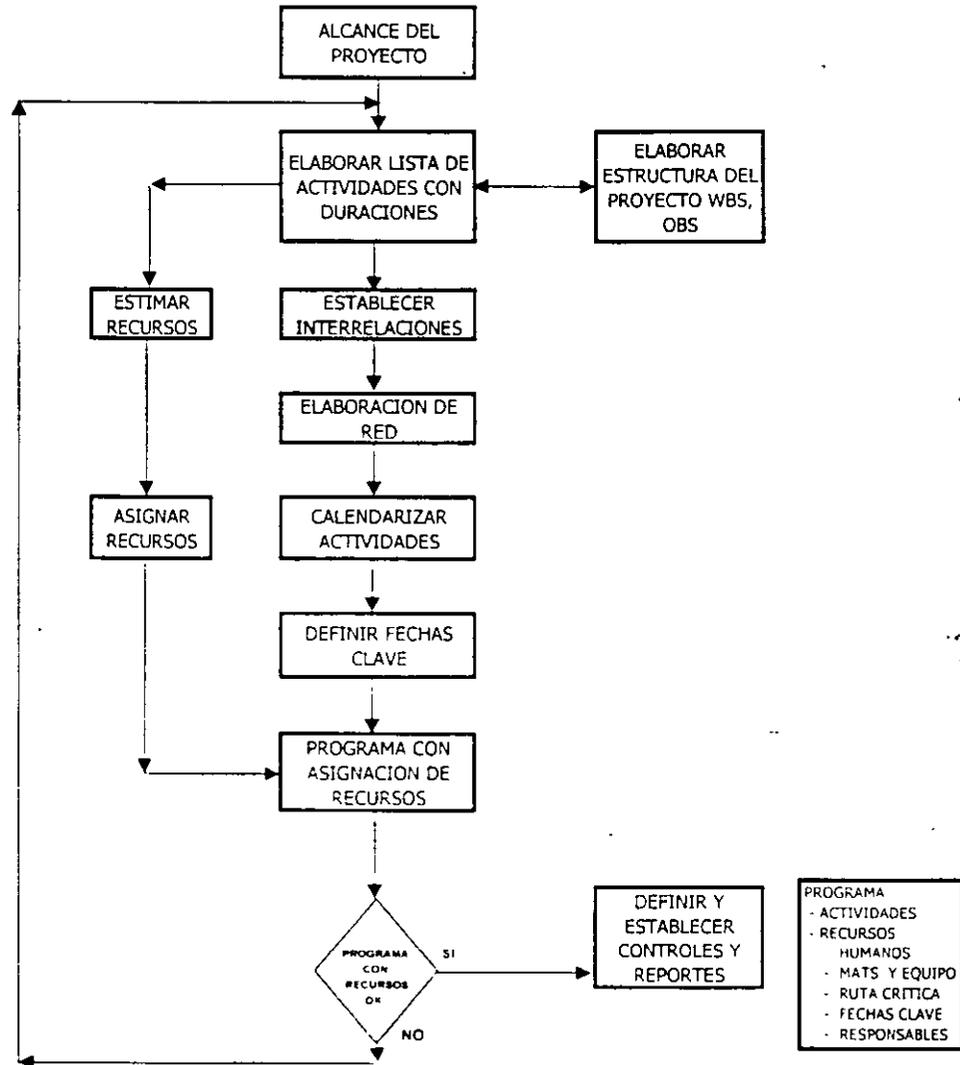
Este sistema de programación y control debe responder con la mayor veracidad y oportunidad los siguientes puntos:

- Identificación de actividades, duraciones, interrelaciones, ruta crítica y el entorno sobre el cual se ejecutarán y fechas de realización.
- Recursos requeridos; sean horas-hombre, costo, materiales etc.
- Duración estimada del proyecto, holguras, posibilidades de compresión en la programación, así como su correspondiente análisis en fechas, recursos y factor crítico (holgura cero y próxima a cero)
- Esquema de organización del proyecto (WBS), incluyendo la participación de terceros. Establecer puntos específicos de riesgos por incumplimiento de compromiso.
- Evaluación del estado actual del proyecto, detección de actividades atrasadas y adelantadas, evaluación en el consumo de recursos, detección e identificación de desviaciones y el estado del avance físico del proyecto.
- Reprogramaciones y nuevas estimaciones para el término del proyecto.
- Cierre del proyecto.

Hoy en día es más factible realizar esta tarea por el experto en programación gracias al apoyo de los equipos de cómputo y a la gran variedad de disponibilidad de software que existe para Administración de Proyectos, dentro de los más conocidos se encuentran: MICROSOFT, TIMELINE, SCHEDULER, SURETRACK, OPENPLAN, PRIMAVERA, ETC.

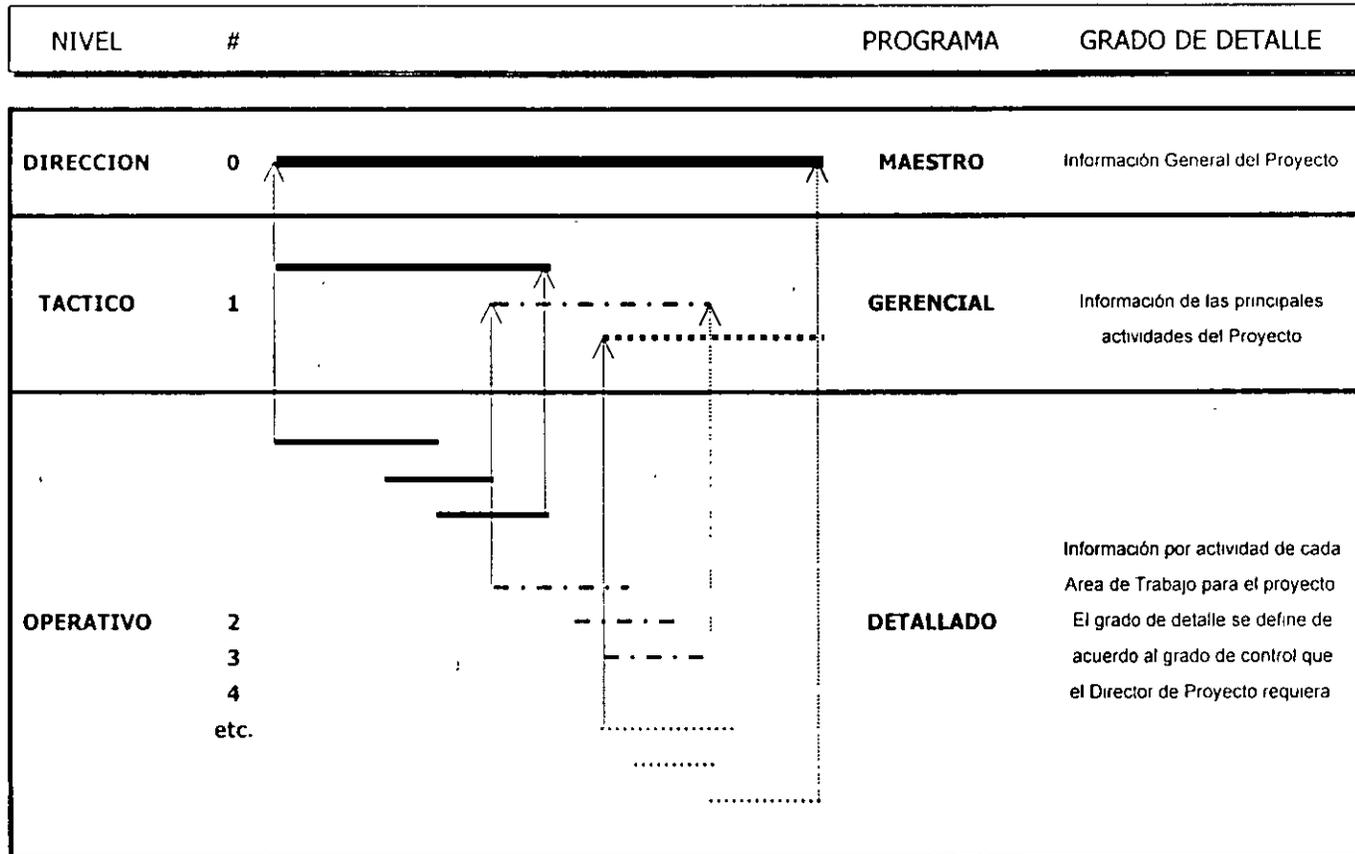
FIRMA DE INGENIERIA

FLUJOGRAMA DEL PROYECTO CON RECURSOS



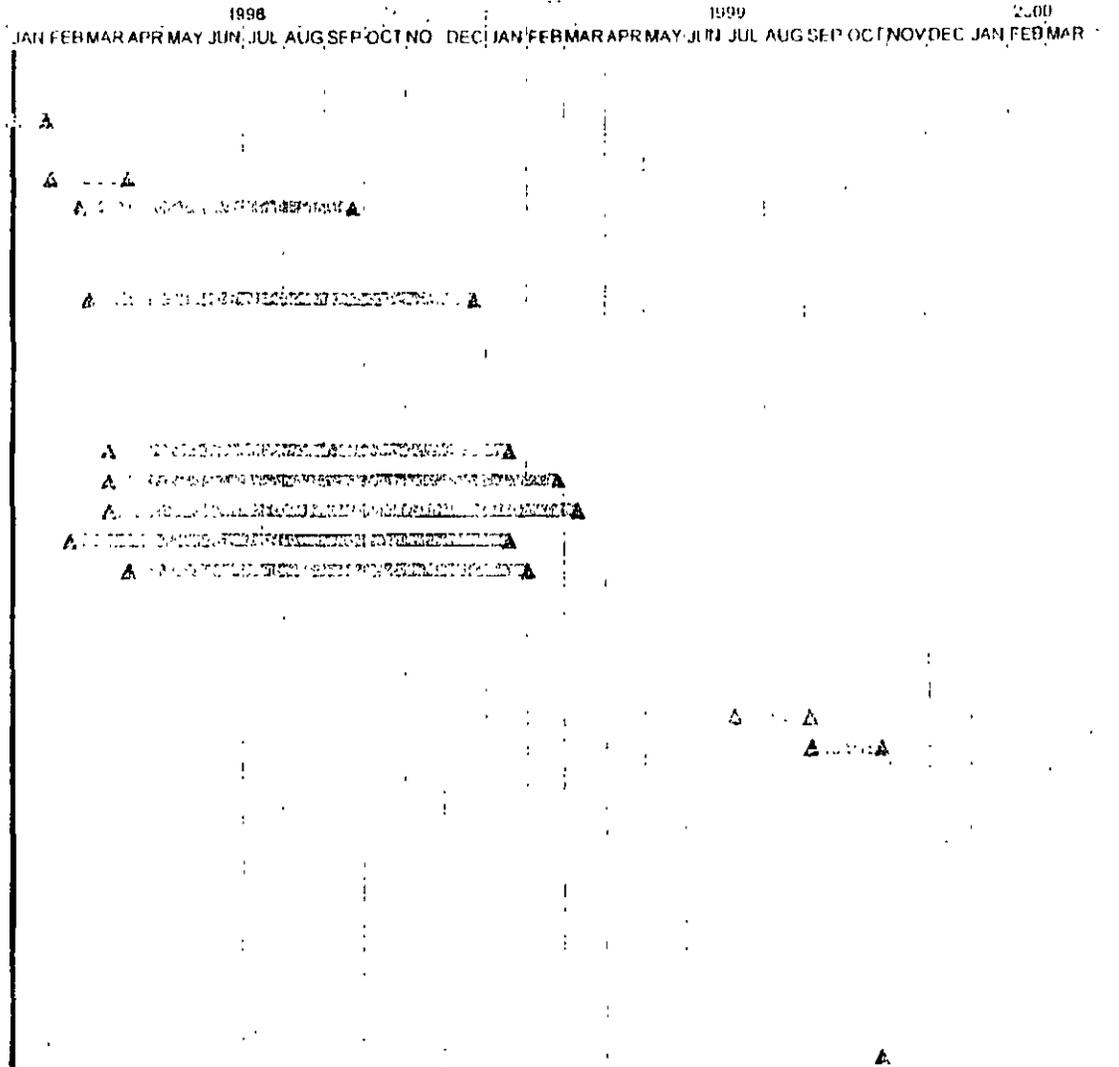
FIRMA DE INGENIERIA

NIVEL DE PROGRAMA DE PROYECTO



FIRMA DE INGENIERIA
PROGRAMA EJECUTIVO
PLANTA COMBINADA No 1

No	Nombre	Duración (días)	Inicio (Mes/Año)	Fin (Mes/Año)
Revisión				
1	Revisión de Ingeniería Básica	20d	05JAN98	30JAN98
Ingeniería de Detalle				
5	Diseño de Equipo	42d	07FEB98	02APR98
6	Tuberías	145d	24FEB98	22SEPT98
7	Eléctrica	94d	07FEB98	19JUN98
40	Análisis de esfuerzos	98d	21MAY98	06OCT98
46	Civil Concreto	202d	04MAR98	23DEC98
55	Edificios	03d	28APR98	07SEPT98
65	Instrumentación	155d	07FEB98	14SEP98
66	Complementación de Ingeniería con dibujos de fabricación	94d	24AUG98	23DEC98
Procura de Equipo				
80	Torres y Recipientes	208d	19MAR98	18JAN99
117	Bombas	234d	19MAR98	24FEB99
130	SCD	244d	19MAR98	10MAR99
144	Instrumentos	229d	17FEB98	18JAN99
169	Cambiadores de Calor y Aercentrifugadores	207d	03APR98	01FEB99
215	Inspección y expedición	165d	07JUL98	26FEB99
Construcción				
241	Preparación sitio y Obra Civil y Electromecánica	326d	15MAY98	26AUG99
253	Montaje y Planos "As Built"	164d	01FEB99	22SEPT99
270	Aslamiento y pintura	42d	07JUL99	02SEPT99
271	Pruebas y Arranque	36d	03SEP99	25OCT99
MILESTONES				
320	Información para inicio de construcción	0	08JUN98	05JUN98
325	Información para inicio de obra civil	0	08JUN98	05JUN98
330	Información para inicio de obra eléctrica	0	22JUN98	19JUN98
335	Información para inicio de obra tuberías	0	27JUN98	19JUN98
340	Inicio recepción dibujos de fabricante	0	25JUN98	24JUN98
345	Fin recepción dibujos de fabricante	0	24AUG98	21AUG98
350	Fin de Ingeniería de Detalle	0	24DEC98	23DEC98
355	Fin de ordenes de compra de equipo	0	10JUL98	09JUL98
360	Fin del proyecto	0	26OCT99	25OCT99



FIRMA DE INGENIERIA
PROGRAMA DETALLADO
PLANTA COMBINADA No 1

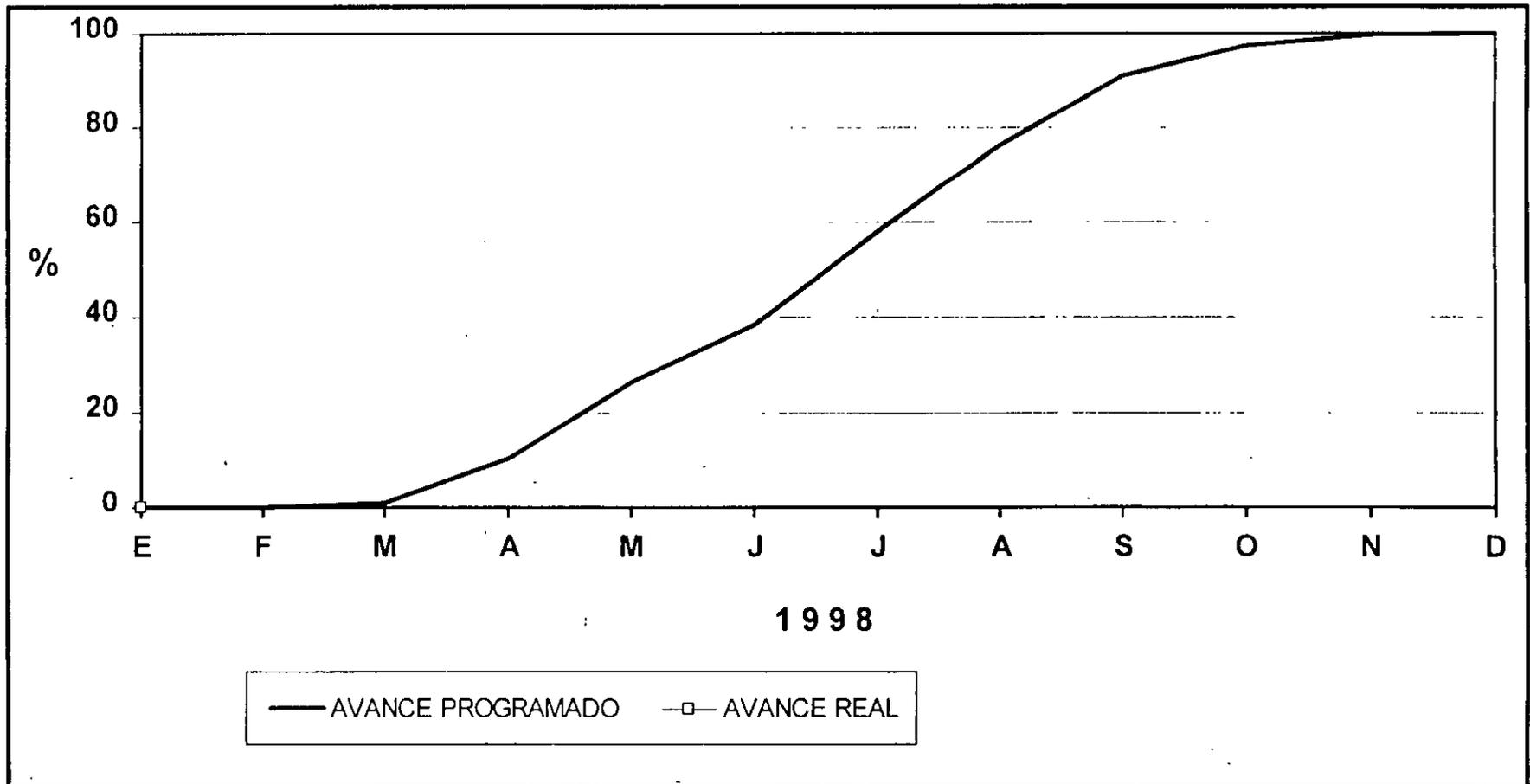
No	Nombre	Duracion	Inicio Prog	Fin Prog	1998												1999												2000	
					JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR
Construccion																														
251	Preparación sitio y Obra Civil	199d	15MAY98	26FEB99																										
260	Montaje	177d	01FEB99	30JUL99																										
261	Planos 'As Built'	80d	02JUN99	22SEP99																										
255	Obra Electromecanica	300d	22JUN98	25AUG99																										
270	Aislamiento y pintura	42d	07JUL99	02SEP99																										
272	Pruebas y Arranque	36d	03SEP99	25OCT99																										
MILESTONES																														
320	Informacion para inicio de construcción	0	06JUN98	05JUN98																										
325	Informacion para inicio de obra civil	0	08JUN98	05JUN98																										
330	Informacion para inicio de obra electrica	0	22JUN98	19JUN98																										
335	Informacion para inicio de obra tuberias	0	22JUN98	19JUN98																										
340	Inicio recepcion dibujos de fabricante	0	25JUN98	24JUN98																										
345	Fin recepcion dibujos de fabricante	0	14AUG98	21AUG98																										
350	Fin de ingreso de Detalle	0	24DEC98	23DEC98																										
355	Fin de ordenes de compra de equipo	0	10JUL98	09JUL98																										
360	Fin del proyecto	0	26OCT99	25OCT99																										

12769. Revisado Checked Approved

Expected period — Completed
 Early finish ▲ Progress
 Early start ▲ Completed
 Target date ◻ Completed
 Duration ◻ Completed

FIRMA DE INGENIERIA

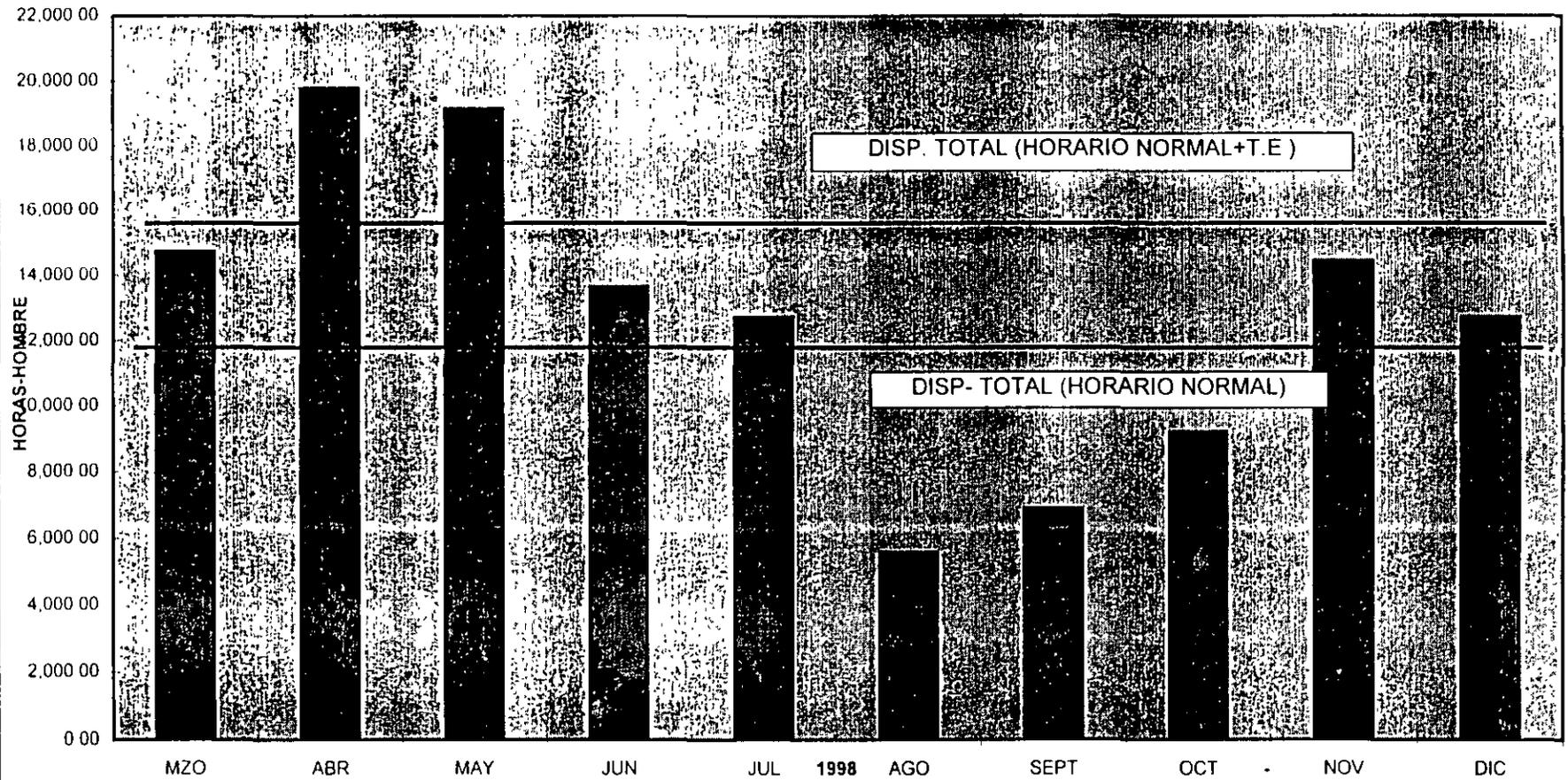
CURVA DE AVANCE DEL PROYECTO PROYECTO "A"



FIRMA DE INGENIERIA

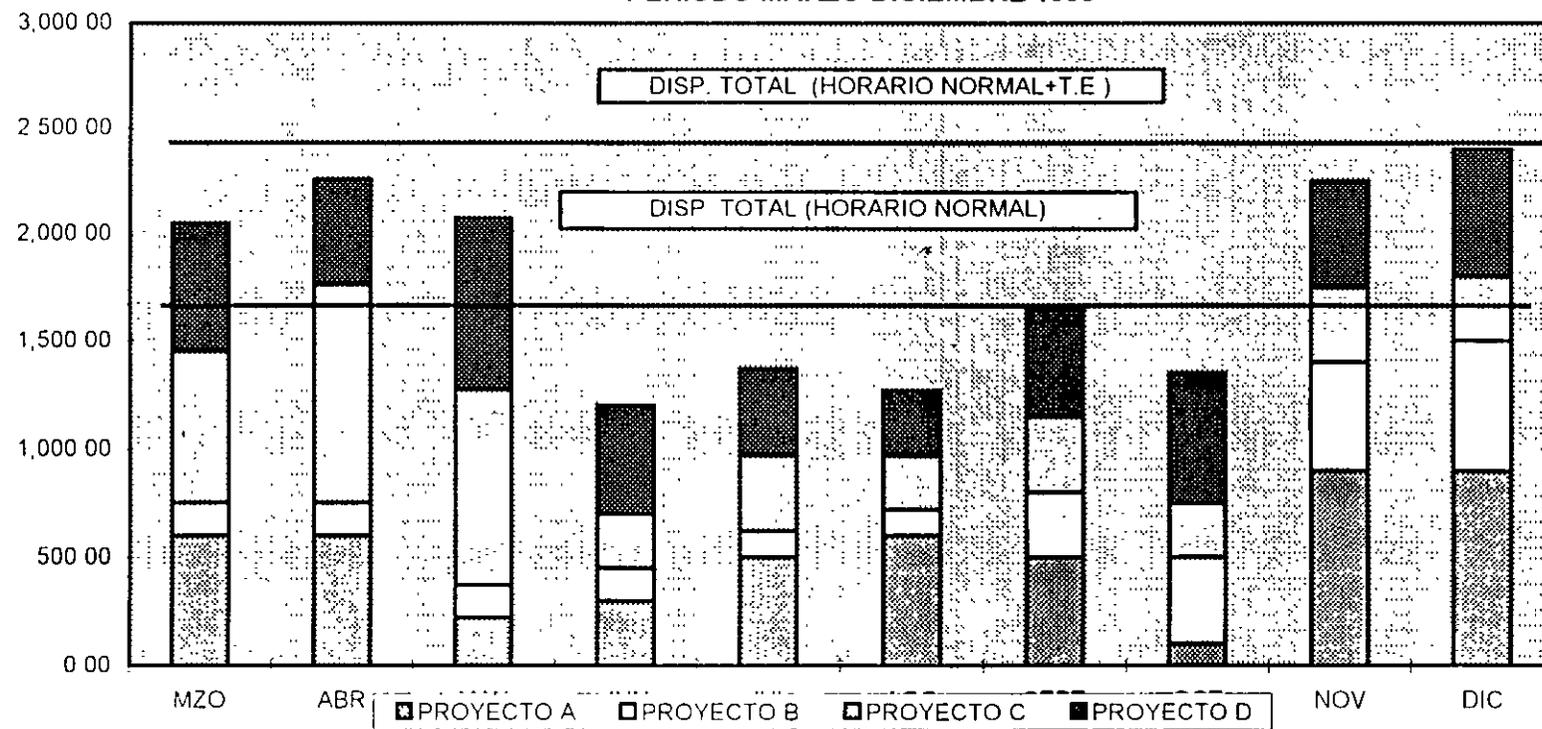
PROYECTO " A "

REQUERIMIENTOS DE PERSONAL
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



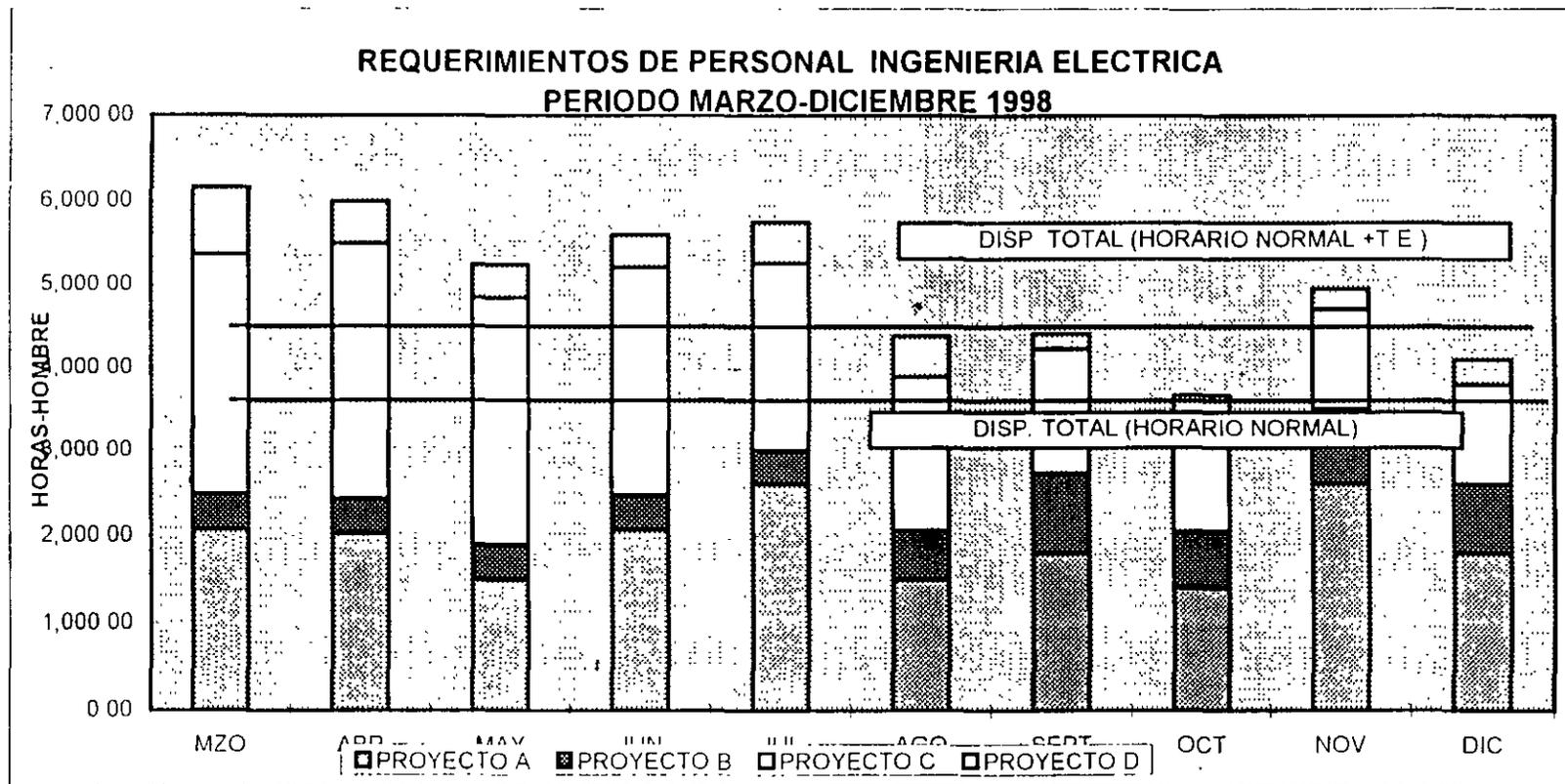
FIRMA DE INGENIERIA

**REQUERIMIENTOS DE PERSONAL INGENIERIA MECANICA
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998**



FIRMA DE INGENIERIA

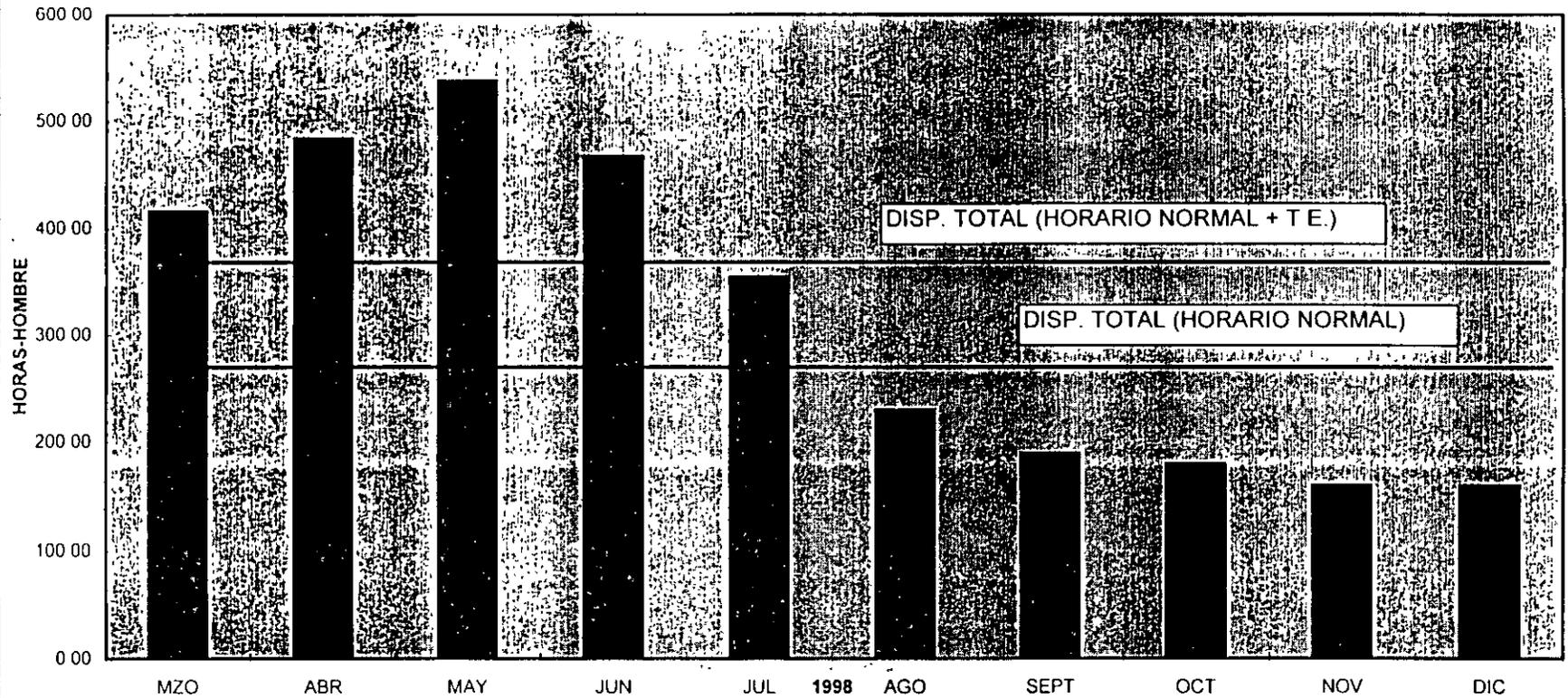
REQUERIMIENTOS DE PERSONAL INGENIERIA ELECTRICA PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



FIRMA DE INGENIERIA

PROYECTO "A"

REQUERIMIENTOS DE PERSONAL CIVIL CONCRETO
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



2.4 ORGANIGRAMA

2.4.1 Enfoque Organizacional

Dentro de la administración de proyectos, uno de los temas que más polémica despierta es el referente a los enfoques organizacionales para la administración de proyectos.

De lo anterior se desprende que para estructurar adecuadamente una buena organización, para la administración de proyectos, es necesario conocer y analizar:

- Las diferentes soluciones posibles, es decir, los diferentes tipos de organizaciones existentes, los principios administrativos en que están basadas y sus características estructurales principales.
- Las ventajas y desventajas que cada tipo de organización nos ofrece.
- La forma de implementación de las organizaciones.
- Los factores clave a evaluar para la adecuada selección de la organización más conveniente.

2.4.2 Tipos de Organizaciones

Las diferentes organizaciones para la administración de proyectos pueden clasificarse de acuerdo a sus características en tres tipos básicos:

- Organización Funcional o Departamental.
- Organización por Grupo Especial de Proyecto, Proyectizada o "Task-Force".
- Organización Matricial.

2.4.3 Organización Funcional o Departamental

Esta organización corresponde a una estructura piramidal tradicional, con la "Alta Gerencia" en la parte superior y la administración en el nivel medio y bajo, abriéndose hacia la parte inferior de la pirámide.

La organización está separada en unidades funcionales o departamentos, de acuerdo a las diferentes disciplinas, encabezadas por una persona (Jefe de Departamento) entrenado y con experiencia en esta disciplina en especial.

Este tipo de organización está basado en los siguientes principios administrativos:

- División de labores. Especialización.
- Proceso Escalar y Funcional: Escalar se refiere al crecimiento vertical y los niveles en la organización. Funcional se refiere al crecimiento horizontal y los departamentos funcionales.
- Rango de Control. Se refiere al número de individuos que un administrador puede supervisar con efectividad.
- Estructura. Ésta refleja los siguientes factores:
 - ◆ Lineal y Apoyo ("Staff").
 - ◆ Unidad de Mando
 - ◆ Relaciones formales de autoridad y responsabilidad, incluyendo la relación tradicional superior-subordinado.
 - ◆ Flujo formal de comunicación e información.

Los anteriores principios están basados en la filosofía administrativa siguiente:

- Todas las actividades importantes de la organización deben de llevarse a cabo a través de la jerarquía vertical.
- La mayor parte del proceso de dirección y toma de decisiones debe hacerse por parte de la alta Gerencia.
- Los niveles en la organización corresponden a los niveles de competencia y talento.
- La relación más importante es la de superior - subordinado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Por sus características, este tipo de organización ofrece las siguientes ventajas, que provienen principalmente de la centralización de recursos similares.

- ◆ La capacitación de técnicos especializados se facilita al estar supervisados y manejados por personas con amplia experiencia en el campo.
- ◆ El desarrollo y las oportunidades para una persona se encuentran perfectamente definidas dentro del departamento, lo que le da seguridad en cuanto a su trayectoria dentro de la organización.

Sin embargo, la organización funcional presenta, debido a la rigidez de su estructura, las siguientes desventajas:

- ◆ Los departamentos funcionales frecuentemente ponen mayor atención a los objetivos de desarrollo tecnológico dentro de su especialidad que a los objetivos del proyecto de tiempo y costo.
- ◆ La falta de motivación y la inercia en el trabajo son problemas que se presentan frecuentemente al estar desarrollando continuamente actividades para proyectos de cuyos objetivos no tienen una visión permanente.

La crítica de este tipo de organización se refleja en la “Ley de Parkinson” y “El Principio de Peter”.

- ◆ Los mecanismos de integración inherentes a este tipo de organización son adecuados para interdependencias de actividades secuenciales (el resultado de las actividades de un departamento funcional sirven de información para el inicio de las actividades de otro), pero son inadecuados para interdependencias recíprocas (las actividades de un departamento afecta las de otro, y las de este último afectan a las del primero).
- ◆ Al partir de la suposición de que la calidad de las cesiones es proporcional al nivel jerárquico en que se tomen, se presenta una monopolización de las decisiones en los niveles altos, lo que ocasiona dos problemas:
 - a).- Las decisiones técnicas no son tomadas por los más capacitados para ello, que son los especialistas que se encuentran en el nivel de operación.
 - b).- Los niveles altos no pueden desarrollar adecuadamente su trabajo con una orientación estratégica en lugar de operativa.
- ◆ Al ser esta organización primariamente vertical, la comunicación horizontal que corresponde al flujo natural del trabajo a través de la organización es difícil, por lo que la estructura es altamente susceptible a sobrecarga de información y se dificulta procesar grandes volúmenes de información altamente técnica, relacionada a diferentes proyectos.
- ◆ La rigidez estructural dentro de la organización y la filosofía administrativa en la que está basada hace que sea excepcionalmente difícil, para una organización de este tipo, ser adaptable e innovadora.

2.4.4 Organización por Grupo Especial de Proyecto o “Task Force”.

En una organización por Grupo Especial de Proyecto o Proyectizada, casi todos los recursos necesarios humanos y materiales requeridos para la realización del proyecto son separados de su estructura funcional normal y reunidos formando una unidad autosostenida encabezada por un Jefe de Proyecto. El Jefe de Proyecto tiene la responsabilidad total de la administración del proyecto y todo el personal queda bajo su autoridad directa durante el tiempo de desarrollo del proyecto. El personal del proyecto se organiza en grupos por áreas funcionales o especialidades.

Los principios administrativos en los que se basa esta organización son los mismos que los de la organización funcional. En efecto, dentro de una organización grande se establece una estructura más pequeña y temporal con el propósito de lograr un determinado objetivo. Sin embargo, se puede observar que la estructura interna de este tipo de organización es funcional.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de este tipo de organización provienen principalmente del tener un solo objetivo (el de un proyecto) y una unidad de mando.

- Entendimiento claro y permanente de los objetivos del proyecto, debido a que el personal está dedicado exclusivamente a la consecución de los mismos.
- Al tener todo el personal un común y único objetivo (el proyecto), se desarrolla un espíritu de grupo.
- La comunicación se facilita e inclusive la comunicación informal resulta efectiva, debido a que es un grupo cerrado en el que todos se encuentran físicamente próximos.
- Debido a que el Jefe de Proyecto tiene la responsabilidad total de la administración y el control de todos los recursos, la consecución del objetivo de tiempo y la coordinación interfuncional se facilitan.
- Autonomía completa del proyecto, lo que facilita la administración del mismo.

La organización proyectizada presente las siguientes desventajas.

- El crear dentro de una organización una estructura nueva, de carácter temporal, altera el funcionamiento de la organización normal.
- Ante la necesidad de proporcionarle a la estructura recursos humanos y materiales propios, se incurre muchas veces en duplicidad de los mismos.

- La utilización efectiva de los recursos es difícil, especialmente en la fase de terminación la que se puede extender por mucho tiempo. Como todas las organizaciones, la organización proyectizada tiene una fuerte tendencia a continuar su existencia.
- Al separarse el personal de su departamento funcional, son alejados también de los mecanismos de capacitación del mismo, por otro lado, al terminar el proyecto, el personal que participó, perdió su lugar dentro de la estructura funcional, por lo que se ocasiona una falta de seguridad en el trabajo.
- Esta estructura está enfocada hacia los objetivo a corto plazo o del proyecto, descuidándose los objetivos a largo plazo de los departamentos funcionales de desarrollo técnicos especializados.

2.4.5 Organización Matricial

La organización matricial fue diseñada con el objeto de maximizar las ventajas de las organizaciones funcional y proyectizada y minimizar sus desventajas, buscando como resultado el tener la mejor utilización de los conocimientos tecnológicos, el uso más eficiente de los recursos y la planeación, control y coordinación requeridos para los diferentes proyectos al menor costo posible.

La organización matricial consiste en una estructura funcional vertical a la cual se le superpone una estructura horizontal encabezada por un Coordinador o Jefe de Proyecto (cuya función básica es la Integración), con objeto de lograr un balance de los objetivos tecnológicos del departamento funcional (Como) con los objetivos de tiempo y costo del proyecto (Que, Cuando, Cuanto). De acuerdo a las necesidades, se pueden diseñar una amplia variedad de estructuras matriciales con diferentes características, según se requiera que el balance de objetivos tienda hacia los funcionales (matricial débil) o hacia los de del proyecto (matricial fuerte).

De esta forma es posible graficar un continuo que vaya de la organización funcional en un extremo hasta la proyectizada en el extremo opuesto. El continuo está basado en la cantidad de personal que trabaja en su departamento contra el personal que es miembro del grupo de proyecto. Se observará que la cantidad de personal en el grupo de proyecto puede oscilar desde cero, en el caso de la organización funcional, pasando por un Coordinador a tiempo parcial, Coordinador a tiempo completo, Jefe de Proyecto hasta un grupo que puede incluir Ingenieros de Sistemas, de Costos, de Programación e inclusive (aunque es una práctica muy limitada) algunas actividades funcionales que sean únicas del proyecto o que sean muy críticas para el proyecto. La diferencia entre Coordinador y Jefe de Proyecto, es la diferencia entre la mera integración y la autoridad para tomar decisiones.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Como puede verse en la figura, la organización matricial realmente reúne las ventajas que fueron previamente mencionadas para las organizaciones funcional y proyectizada.

Las desventajas de este tipo de organización provienen de la existencia de una doble autoridad, la del Jefe de Departamento, en el aspecto funcional, y la del Jefe de Proyecto, en el aspecto administración del proyecto, lo que ocasiona:

- La adopción de una organización matricial debe ser cuidadosamente planeada e implementada, mediante un programa por fases de desarrollo y cambio organizacional para preparar adecuadamente a la organización, con objeto de evitar problemas dentro de la organización de los departamentos funcionales, lo cual implica un proceso largo y difícil.
- Es frecuente la existencia de conflictos entre el Jefe de Proyecto y los Jefes de Departamento cuando no se definen claramente las funciones, responsabilidad y autoridad de cada uno de ellos.
- Otro problema clave de las organizaciones matriciales es la sobrecarga de trabajo en los departamentos funcionales, lo que acarrea conflictos sobre prioridades de los proyectos; para evitar esto, se requiere de la formulación de un plan estratégico que fije prioridades de objetivos y presupuesto que asigne recurso a cada proyecto y de una actualización constante.

2.4.6 Establecimiento de las Diversas Organizaciones

❖ ORGANIZACIÓN FUNCIONAL

De las organizaciones empleadas en la administración de proyecto, la funcional es la más sencilla de establecer y poner en operación. Esto obedece a que esta organización es tradicional, en ella la distribución del trabajo se efectúa por especialidades agrupada en departamentos a personas con intereses y objetivos similares.

Para la administración de proyectos, esta organización requerirá de que personal de las especialidades se capacite en las técnicas de programación y control, disciplinas que por lo general no son clásicas de la formación de las especialidades de ingeniería.

Cabe señalar que al igual que cualquier otra organización tradicional, en ésta, se deberá definir claramente la autoridad y responsabilidad para cada uno de los puestos, así como las líneas de comunicación.

❖ ORGANIZACIÓN DE GRUPO (TASK FORCE).

Esta forma de organización es más difícil de establecer y operar que la anterior. Se puede contemplar como el establecimiento temporal de una pequeña empresa dentro de la compañía en la que el director es el Jefe del Proyecto.

Si esta organización no ha sido empleada previamente en una compañía, es muy conveniente tener pláticas con los directivos que se verán involucrados en su establecimiento y operación para presentar las bases de ella y discutir las ventajas y obstáculos que se pueden presentar en su desenvolvimiento. Asimismo, es recomendable que el cambio a esta organización sea gradual.

A continuación se describen brevemente los obstáculos más importantes y frecuentes que se presentan durante el establecimiento de esta organización:

a).- Selección del Jefe del Proyecto.

Este obstáculo es más marcado si es la primera ocasión que se utiliza esta organización, ya que en general el personal de la empresa no ha tenido experiencia amplia en el manejo de proyectos. Además, aunque si se tenga experiencia en el área de proyectos, es difícil encontrar el Jefe de Proyecto ideal a quien se pueda hacer responsable, casi en su totalidad, del éxito del proyecto; requisito que impone este tipo de organización.

b).- Selección del Personal del Grupo

La situación ideal para la integración eficiente del grupo de trabajo sería aquella en la que el Jefe del Proyecto seleccionara a cada uno de los miembros. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, los Jefes de los Departamentos funcionales, son lo que seleccionan al personal de su especialidad que integrará un cierto grupo. Bajo estas condiciones, no se tiene el mejor personal ya que en ocasiones se puede enviar al menos deseable y también pueden llegar a presentarse conflicto de caracteres.

c).- Antecedentes Profesionales de los Integrantes.

En virtud de que un proyecto de ingeniería demanda de la participación de diversos tipos de ingenieros y técnicos, la integración del grupo se dificulta por dicha heterogeneidad, ya que los intereses personales de los participantes pueden ser muy diferentes.

d).- Carácter Temporal de la Organización.

El carácter temporal del proyecto puede ocasionar inseguridad en los participantes, sobre todo si no se tienen objetivos muy claros y, por otro lado, una dependencia fuerte del departamento funcional al cual están adscritos en forma permanente.

Para disminuir dicha inseguridad, es necesario establecer los objetivos del proyecto así como los personales en forma clara y concisa. También se deberá definir claramente que la evaluación del personal se hará de acuerdo al desempeño en el proyecto y que se tomará en cuenta para recompensas.

e).- Definición de Autoridad y Responsabilidad en el Grupo.

Al igual que en las otras organizaciones, es fundamental, para la buena operación de la misma una clara definición de la autoridad y responsabilidad en cada uno de los distintos puestos.

❖ ORGANIZACIÓN MATRICIAL

Este tipo de organización es difícil de establecer y operar. Su establecimiento no es inmediato, sino que requiere de un tiempo extenso para lograrlo. Al igual que la organización del tipo de grupo (Task Force), es necesario tener sesiones con los directivos claves involucrados para presentarles en forma clara la manera de establecer y operar esta organización, así como sus ventajas y dificultades. Después de este período, se establecerá un plan para ir introduciendo esta forma de organización lentamente. Es indiscutible que para lograr que esta organización opere, requiere del convencimiento y respaldo de los altos directivos de la empresa.

Tomando en consideración que una de las características básicas de esta organización, es que cierta parte del personal tiene dos jefes simultáneamente, su buena operación en parte se logra estableciendo la responsabilidad y autoridad de ambos jefes: Jefe de Proyecto y Jefe funcional, de tal forma que exista un balance entre ambos. Varios autores han establecido las bases para definir las responsabilidades de ambos jefes.

El Jefe del Proyecto define el plan del proyecto (Que), el programa del mismo (Cuando) y el plan financiero (Cuanto) y el Jefe Funcional cuida de la calidad técnica (Como) y designa quién efectúa el trabajo. Esta división es en si puramente teórica, ya que en la práctica uno u otro jefe invaden el otro campo, así el Jefe del Proyecto tendrá que opinar y, en casos, rechazar el trabajo cuando la calidad deje que desear; asimismo, él mismo participará en la selección del personal que ejecute el trabajo cuando éste no se esté realizando satisfactoriamente.

Por lo anteriormente expuesto, se puede apreciar que además de la definición de responsabilidades, es necesario contar con otras estrategias para hacer operante la organización matricial, una de éstas es la negociación en la interfase proyecto / funcional, la cual se logra teniendo en mente el objetivo común de la empresa y un entendimiento y comunicación adecuados, trabajando eficientemente en equipo y empleando las técnicas de resolución de problemas.

2.4.7 Factores para Decidir el Tipo de Organización

Los factores que determinan la selección del tipo de organización para la administración de proyectos son bastante numerosos y han sido apuntados en la literatura (3). La evaluación para la selección tiene que ser minuciosa y cada caso tiene que ser analizado en detalle, tomando en cuenta como mínimo los factores que se describen a continuación:

a).- Complejidad del Proyecto

Este renglón se refiere básicamente al número de departamentos funcionales que se ven involucrados y la interrelación en el flujo de información. En general, cuando el proyecto se torna complejo, las administraciones matriciales y de grupo se vuelven atractivas.

b).- Tecnología del Proyecto.

Este factor se debe considerar como lo avanzado de la tecnología del proyecto en sus diversas especialidades. Si el proyecto es altamente avanzado en la tecnología de diversas especialidades, favorecerá a la organización matricial, la cual podrá garantizar una alta calidad técnica.

c).- Tamaño del Proyecto

En este inciso, se deberán considerar los requerimientos de personal para el proyecto. Así, en general, un proyecto grande favorece a la organización de grupo. Sin embargo, la decisión debe de considerar los diversos factores ya que en un proyecto pequeño no muy complejo preferentemente se maneja también como organización de grupo.

d).- Duración

Una duración amplia tiene a favorecer a la organización matricial.

e).- Importancia

Debido al respaldo que se puede proporcionar a las organizaciones de grupo, existe una tendencia a favorecer a la organización de grupo.

f).- Tipo de Cliente

En muchas ocasiones la decisión se puede inclinar a una u otra organización, dependiendo de la opinión o peticiones de los clientes.

g).- Frecuencia de cambios al Proyecto

La organización matricial tiende a ser más flexible en este aspecto, comparada con las otras organizaciones.

h).- Número de Proyectos Simultáneos

La organización matricial favorece altamente al manejo de varios proyecto simultáneos, en virtud de un mejor aprovechamiento de los recursos humanos.

g).- Dificultad en el Establecimiento de la Organización.

De acuerdo al inciso anterior, la organización funcional es la más simple, siguiendo la de grupo y finalmente la matricial que es la más difícil de establecer y operar.

Finalmente se puede concluir que para los distintos tipos de organización se tiene:

- a). - La administración de los proyectos de una sola especialidad, se realiza en forma eficiente con una organización funcional; sin embargo, estos proyectos son poco usuales.
- b). - La administración de los proyectos de ingeniería que involucran diversas especialidades favorece a las organizaciones de grupo y matricial.
- c). - Las organizaciones matricial y de grupo son difíciles de establecer y operar requiriendo apoyo de la dirección y convencimiento de los participantes de alto nivel.
- d). - La selección entre las diversas organizaciones para administración de proyectos deberá hacerse en forma casuística, tomando en consideración los factores anteriormente descritos.

2.5 REPORTE DE AVANCE

El reporte mensual de avance de proyecto es uno de los documentos cuya elaboración queda normalmente establecida en los contratos de prestación de servicios entre el cliente y la firma de ingeniería.

Este documento es el principal reporte que se desarrolla en el ciclo de vida de un proyecto, y se emite por parte del Jefe de Proyecto al cliente y a los directivos de la compañía de ingeniería con el objetivo de mantenerlos informados del progreso global del proyecto, presentando la evaluación del trabajo desarrollado en el periodo de reporte respecto al trabajo programado, con el fin de analizar posibles desviaciones en el plazo de entrega y en el presupuesto, indicando las acciones correctivas a tomar. El contenido del reporte para un proyecto de ingeniería normalmente es el siguiente:

Contenido.

El reporte de avance mensual del proyecto se elabora, generalmente, considerando los siguientes capítulos adaptados a las condiciones establecidas o negociadas con el Cliente.

- A. Introducción
- B. Resumen
- C. Ingeniería
- D. Procuración
- E. Avance
- F. Programas
- G. Controles
- H. Costo del proyecto
- I. Facturación
- J. Recursos

A continuación se describe de manera resumida la información que debe manejarse en cada uno de los capítulos que forman el documento del reporte de avance.

A) Introducción

Consiste en un informe en el cual se comentan los sucesos relevantes del periodo, las metas alcanzadas, las tendencias observadas, los problemas y pendientes más críticos, así como también las acciones correctivas que resulten necesarias. La forma del informe y los datos indicados dependen importantemente de la modalidad contractual del proyecto.

Asimismo, se mencionan las visitas especiales de personal del cliente, las reuniones importantes entre ambas partes, las visitas realizadas al sitio de la obra, así como los cambios en el personal clave de una u otra parte.

Además de su inclusión, en su caso, en las listas del capítulo 3 se deben destacar los éxitos y resultados, y se mencionan por su nombre los estudios y análisis importantes efectuados, así como las actividades en proceso que lo ameriten, concluyendo con un resumen del estado de facturación y cobranza indicándose únicamente las cifras totales.

B) Resumen

En este capítulo se deben indicar las cifras principales del reporte, como son:

Avance

Indicar que el avance se desglosa en el capítulo 5, proporcionando la cifra global en el texto:

“El avance del mes fue ----%, con el cual el avance global a la fecha es de --%.

Lo anterior es generalmente aplicable tanto a proyectos controlados bajo un esquema por administración como en proyectos bajo un esquema a precio alzado.

Asimismo, cuando se acuerde con el cliente proporcionar otro tipo de información básica, como pueden ser datos de flujo de efectivo, costos promedio de horas-hombre por plano, etc., se deberán suministrar en este capítulo en incisos subsecuentes, siempre y cuando se cuente con la autorización correspondiente a los casos anotados en el capítulo 6.

C) Ingeniería.

En este capítulo se informa de toda la documentación de ingeniería entregada al cliente en sus distintas fases durante el periodo. La información se debe organizar por especialidad y se debe informar de las visitas realizadas al sitio de la obra, de las reuniones entre ambas partes, y de otras actividades, según el interés que manifieste el cliente en que se le reporten casos particulares.

D) Procuración.

Se debe hacer una descripción detallada de los trabajos ejecutados durante el periodo de reporte, incluyendo:

- a) Requisiciones elaboradas de material y equipo.
- b) Solicitudes de cotización elaboradas.
- c) Concursos cerrados.
- d) Tablas comparativas en elaboración.
- e) Tablas comparativas en aprobación.
- f) Tablas comparativas aprobadas.
- g) Cartas de intento en aprobación.
- h) Cartas de intento colocadas.
- i) Pedidos en aprobación.
- j) Pedidos colocados.
- k) Información de fabricante recibida.

E) Avance.

Control de avance del proyecto.

El control de avance del proyecto se presenta en 2 resúmenes de acuerdo a lo siguiente.

Control de avance total.

En este control se informa de los avances alcanzados por las diferentes especialidades que participan en el desarrollo de las actividades del proyecto, informándose de:

- Los porcentajes pesados de cada una de las especialidades, que en conjunto suman el 100% del proyecto.
- El porcentaje de avance, respecto al 100% de cada especialidad, desarrollado durante el periodo de reporte.
- El porcentaje de avance pesado alcanzado por cada especialidad durante el periodo de reporte, en donde la suma de avances de todas las especialidades nos da el avance obtenido durante el periodo.
- El porcentaje de avance acumulado respecto al 100% de cada especialidad, en donde la suma de avances de todas las especialidades nos da el avance total obtenido a la fecha del reporte.

Control de avance por especialidad.

Mediante este documento se lleva el control de avance de todas las actividades que conforman el alcance de trabajo de cada una de las especialidades que participan en un proyecto determinado.

Al igual que en el control de avance total, se manejan los siguientes 4 conceptos.

- Los porcentajes pesados de cada una de las actividades de una determinada especialidad, que en conjunto dan el porcentaje pesado de esa misma especialidad.
- El porcentaje de avance, respecto al 100% de cada actividad, desarrollado durante el periodo de reporte.
- El porcentaje de avance pesado alcanzado por cada actividad durante el periodo de reporte, en donde la suma de avances de todas las actividades de una misma especialidad nos da su avance obtenido durante el periodo.
- El porcentaje de avance acumulado respecto al 100% de cada actividad, en donde la suma de avances de todas las actividades nos da el avance total obtenido por una determinada especialidad a la fecha del reporte.

Curva de Avance

La curva de avance físico acumulado es la gráfica mediante la cual se puede conocer el porcentaje de avance del proyecto en función del tiempo. Esta gráfica es elaborada basándose en el programa de trabajo, determinando un pronóstico de avance correspondiente a cada unidad de tiempo a lo largo de la ejecución del proyecto, analizando de manera importante y profunda cada una de sus etapas con el objeto de estimar los avances alcanzados de la mejor manera posible.

F) Programas.

Se deben incluir los programas actualizados en los formatos de la empresa que, convenidos con el cliente, reflejen el alcance de los servicios contratados, programa general del proyecto; asimismo, deberá haber un programa maestro a nivel ejecutivo que muestre los objetivos por área de trabajo, Gráfica de Gantt y generalmente un programa en el cual aparezcan, entre otras cosas, las necesidades del proyecto en cuanto a información proveniente del cliente, programa de fechas clave del proyecto.

De acuerdo con las normas del proyecto al respecto, se hará la indicación sobre los programas del estado de avance de cada actividad, y deberá registrarse la entrega real de información fundamental en ambas direcciones.

G) Controles

En este capítulo se incluyen los diversos controles del proyecto que se dan a conocer al cliente, actualizados a la fecha de corte, entre los cuales están normalmente los siguientes:

- a) Control de Dibujos
- b) Control de Equipo y Materiales
- c) Proyección de Personal
- d) Control de información faltante
- e) Control de documentos pendientes de aprobación
- f) Control de pendientes de procuración

H) Costo del proyecto

Los informes de costos mensuales son la herramienta del Jefe del Proyecto para informar a todo el personal involucrado del impacto del costo de las decisiones y acciones tomadas durante el mes anterior. Las discusiones de este informe de costos mensual en las juntas del equipo de administración del proyecto, es un camino efectivo para enfocar la atención en áreas donde hay problemas y para crear una atmósfera consciente de los costos, así como para comunicar al cliente del estado del proyecto.

El informe de costos deberá incluir principalmente las siguientes cuatro partes:

- *Una sección narrativa* que explique cualquier cambio mayor del pronóstico del costo hecho durante el mes anterior. También deberá cubrir los problemas potenciales del costo y las acciones correctivas tomadas para minimizar esos problemas
- *Estado costos del Proyecto:* Incluirá los datos necesarios para mantener informado tanto al cliente como al Jefe del Proyecto, de los movimientos del costo del proyecto.

El estado de costos del proyecto, lo constituyen el estado financiero de la ingeniería del proyecto (figura No. 1), que es el documento que se presenta al cliente, y los documentos que deberá considerar el Jefe del Proyecto para efectos de control interno del proyecto como son: El estado financiero interno (figura No. 2), los costos programados y reales del proyecto en forma global (figura No. 3) y los costos programados y reales del proyecto por especialidad (figura No. 4).

Muchos clientes y contratistas presentan su estado de costos mensual en una hoja electrónica. Esto tiene muchas ventajas ya que una simple base de datos puede ser usada por los ingenieros de costos, quienes deberán llevar el control y pronóstico del presupuesto, y por los contadores, quienes necesitan conocer de los compromisos y desembolsos. La computadora es una excelente herramienta para el reporte de costos. Puede decirle al ingeniero de costos cuantas horas - hombre en ingeniería o dinero han sido gastado y por que especialidad.

El estado financiero interno del proyecto deberá considerar los siguientes rubros:

COSTO CONTRATADO	Es el costo fincado en el contrato por los servicios que proporcionará el contratista y aceptado por el cliente.
TOTAL FACTURADO	Es el costo acumulado de facturas emitidas por el contratista a la fecha de corte.
TOTAL PAGADO	Es el monto pagado por el cliente al contratista la fecha de corte.
PENDIENTE POR PAGAR	Es el monto pendiente por pagar a la fecha de corte por parte del cliente.
TOTAL FACTURADO POR AVANCE	Es el monto pagado por el cliente, calculado con base al avance físico aplicado al COSTO CONTRATADO.
MONTO FACTURADO EJERCIDO	Es el monto que cubre las actividades realizadas a la fecha de corte por el contratista.
GASTO ACUMULADO	Son los costos directos, gastos y subcontrataciones realizados por el contratista, para el desarrollo del proyecto hasta la fecha de corte.
UTILIDAD BRUTA	Es el monto que resulta de restar al

% DE UTILIDAD	<p>monto facturado ejercido el gasto acumulado, a la fecha de corte. Es la relación de la utilidad bruta entre el monto facturado ejercido.</p>
MONTO COBRADO	<p>Es el monto cobrado a la fecha de corte por el contratista al cliente. (equivalente al monto pagado)</p>
ADEUDO	<p>Es el importe pendiente por pagar por parte del cliente al contratista, a la fecha de corte. (equivalente a pendiente por pagar)</p>

La figura No. 2 es una muestra del estado de financiero interno del proyecto para la ingeniería desarrollada por el contratista, en el que se observan: El monto fincado en el contrato, los montos facturados y pagados, el gasto, adeudos, la utilidad y avance físico a la fecha de corte.

Los documentos de control interno incluirán también un estado de los costos programados y reales del proyecto en forma mensual que indiquen los costos programados de trabajos programados de ingeniería (CPTP) en el mes, la facturación al cliente y el gasto realizado de los trabajos ejecutados en el mes (CRTE), la figura No. 3 es un ejemplo de la presentación de los costos programados y reales del proyecto en forma mensual, que incluye también el porcentaje de avance programado y real, para que el Jefe del Proyecto tome las acciones necesarias para disminuir la brecha entre la diferencia de avance programado y real, y asignar los recursos sobre las actividades que causan estos movimientos.

En la figura No. 4 se presentan por especialidad además de las Horas – Hombre y los avances programados y reales, los costos programados de los trabajos ejecutados (CPTP) a la fecha, que se compararán con el costo programado de los trabajos programados (CPTP), cuya diferencia deberá analizarse y mencionarse en la sección narrativa del informe de costos, explicando las causas que provocaron el no cumplir con lo programado. En la figura No. 4, se indica también el costo facturado al cliente y los gastos de los trabajos ejecutados (CRTE), estos últimos datos servirán para calcular la varianza en costo, el cual determinará con la diferencia de (CPTP) menos (CRTE), y podremos también calcular el índice de desempeño por especialidad el cual resultará de dividir los costos programados de los trabajos ejecutados (CPTP) entre los gastos de los trabajos ejecutados (CRTE).

- *Registro de cambios de ingeniería:* Es el documento en el que se totalizan las H – H y monto pactados originalmente así como las H – H y monto revisados o acordados. Especifica cada cambio con sus H – H, costo, fecha y oficio de autorización del cliente, un ejemplo de este documento se muestra en la figura No. 5.
- *Cartas y gráficas:* Incluye al nivel de resumen, perfiles de productividad, gráficas de tendencias, y curvas de avance que son usados por el Jefe del Proyecto para el control interno del costo del proyecto.

I) FACTURACION

Este documento incluye un control de la facturación emitida hasta la fecha del reporte, en donde se indican las facturas que se han enviado para pago, informando tanto de los números de facturas, periodo al que corresponden, monto facturado, y el estado que guardan (pagada, en trámite de autorización o con comentarios del cliente). Asimismo, se contabiliza el total pagado a la fecha y el total pendiente de pago. (Figura No. 6)

La facturación del proyecto deberá cubrir los aspectos contractuales fincados entre el cliente y el contratista. En el contrato se especificará el monto de los trabajos, el cual podrá ser convenido de la siguiente forma:

Precio alzado	Monto total cotizado por el contratista y aceptado por el cliente para la realización integral de los trabajos con el alcance y especificaciones acordadas entre las dos partes.
Precios Unitarios	Monto cotizado por el contratista y aceptado por el cliente por tipo de obra, con el alcance y especificaciones acordadas entre las dos partes.
Administración	Monto cotizado por el contratista considerando sus costos, gastos directos y distribuibles, indirectos y reembolsables, con base a tabuladores aprobados e indirectos convenidos.

Asimismo, en un apartado del contrato se establecerán los conceptos de facturación acordados mutuamente entre el cliente y el contratista, que para ejemplo, se muestra en la figura No. 7 dichos conceptos a considerar en la facturación.

J) RECURSOS

En el reporte mensual interno del proyecto, el capítulo de recursos nos indicará la asignación del personal por mes y para todo el proyecto. En este documento, se establecerán los requerimientos de personal para todo el proyecto, mostrando en dicho reporte la disponibilidad total que es la suma de la disponibilidad del personal por honorarios más la disponibilidad del personal de la plantilla perteneciente a la firma de ingeniería, como se muestra en la figura No. 8.

La figura No. 9 nos da un ejemplo del avance del proyecto y los consumos de H – H realizados por especialidad, en la que se puede observar que para algunas especialidades los consumos han sido muy altos para poder llegar al avance programado. Un análisis profundo deberá realizarse para explicar con detalle en la sección narrativa del informe de costos si el consumo excesivo fue ocasionado por el cliente o por omisiones o fallas en el contratista. Las figuras No. 10 y 11 ilustran que los niveles de detalle de los reportes de asignación de recursos se pueden realizar en forma global para todo el proyecto y por especialidad como se muestra para las especialidades de Tuberías y Sistemas.

	ESTADO FINANCIERO DE LA INGENIERÍA DE PROYECTO	No. Proyecto _____ Descripción _____ Reporte No. _____ Mes _____ Hoja _____ de _____
--	---	---

	CONCEPTO	H - H	COSTO (Miles \$)
1	Estimado original total		
2	Estimado original del Ejercicio		
3	Cambios aprobados en el mes		
4	Cambios aprobados a la fecha		
5	Estimado Total actual		
6	Estimado actual del ejercicio		

	CONCEPTO	COSTO (Miles \$)	
		TOTAL PROYECTO	EJERCICIO 19__
7	Monto programado a la fecha		
8	Monto devengado a la fecha		
9	Monto pagado a la fecha		
10	Monto estimado por ejercer		

11	Cambios pendientes de aprobación		
	a)	Solicitada el _____ H - H _____	\$ _____
	b)	Solicitada el _____ H - H _____	\$ _____
	c)	Solicitada el _____ H - H _____	\$ _____
	d)	Solicitada el _____ H - H _____	\$ _____

ESTADO FINANCIERO INTERNO DEL PROYECTO

Figura No. 2

	\$ M.N.
COSTO CONTRATADO	8,115,583.48
TOTAL FACTURADO	5,534,665.62
TOTAL PAGADO	2,507,552.98
PENDIENTE POR PAGAR	3,027,112.64
TOTAL FACTURADO POR AVANCE	5,534,665.52
AVANCE A DICIEMBRE 1997	68.175

MONTO FACTURADO EJERCIDO	5,532,811.05
GASTO ACUMULADO	2,721,851.71
UTILIDAD BRUTA	2,810,959.34
% UTILIDAD	50.81
MONTO COBRADO	2507.552.98
ADEUDO	3,027,112.64

COSTOS PROGRAMADOS Y REALES DEL PROYECTO

Figura No. 3

CONCEPTO	FEB 97	MAR 97	ABR 97	MAY 97	JUN 97	JUL 97	AGO 97	SEP 97	OCT 97
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

COSTOS PROGRAMADOS

INGENIERIA	230 667	578 057	1 263 109	2 146,869	3,223,777	4,884,301	6,169,643	6,704,623	6,947,796
INGENIERIA + ADMINISTRACION (CPTP)	269 437	675 217	1,475 413	2,507,715	3,765,631	5,705,348	7,206,638	7,831,538	8,115,583
% AVANCE	3 32	8 32	18 18	30 90	46 40	70 30	88 80	96.50	100 00
CPTC	269,437	675 217	1,475,413	2 507,715	3,601,696	5,532,811	0	0	0

COSTOS REALES

FACTURADO A CLIENTE	269,437	675,217	1,475 413	2,507,715	3,601,696	5,534,666	0	0	0
GASTO (CRTE)	494,884	872,524	1 305,986	1,801,054	2,335,956	2,721,851	0	0	0
% AVANCE	3 32	8 32	18 18	30 90	44 38	68 20	0 00	0 00	0 00

COSTOS PROGRAMADOS Y REALES DEL PROYECTO POR ESPECIALIDAD

Figura No. 4

ESPECIALIDAD	H - H	PORCIENTO PESO	AVANCE REAL	AVANCE PROGRAMADO	CPT E	CPT P	FACTURADO A CLIENTE	CRTE	VALOR GANADO	
			%	%	COSTO ACUMULADO PROGRAMADO DE TRABAJOS EJECUTADOS	COSTO ACUMULADO PROGRAMADO	COSTO ACUMULADO PROGRAMADO	COSTO ACUMULADO PROGRAMADO DE TRABAJOS EJECUTADOS	VARIANZA EN COSTO	INDICÉ DEL DESEMPEÑO EN COSTO
								GASTOS	VC= CPT E- CRTE	IDC= CPT E/CRTE
INGENIERIA DE PROCESO	217	0 60	100 00	100 00	38,986	38,986	49,025	16,433	22,553	2 4
INGENIERIA DE SISTEMAS	1,983	5 52	85 90	88 90	305,890	316,686	384,671	150,166	155,723	2.0
INGENIERIA DE CONTROL	6,309	17 55	51 90	53 50	588,387	606,670	739,896	477,761	110,626	1 2
INGENIERIA MECANICA	2,484	6 91	69.80	72 00	311,456	321,133	391,679	188,106	123,350	1 7
INGENIERIA DE RECIPIENTES	1,133	3 15	95.00	98 00	193,377	199,386	243,183	85,799	107,578	2.3
INGENIERIA DE TUBERIAS	4,774	13 28	56 80	58.50	486,829	501,956	610,070	361,520	125,309	1 3
INGENIERIA ANALISIS ESFUERZOS	879	2 45	53 00	54 70	83,746	86,348	105,310	66,564	17,182	1.3
INGENIERIA CIVIL	10,402	28 94	78 00	80 40	1,457,869	1,503,169	1,833,433	787,711	670,158	1 9
INGENIERIA ELECTRICA	4,898	13 63	73 20	75 50	644,141	664,157	810,010	370,910	273,231	1 7
OPERACIÓN Y SERVICIOS TECNICOS	831	2 31	24 40	25 20	36,473	37,607	45,866	62,929	-26,456	0 6
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	2,033	5 66	70 00	72 20	255,674	263,619	321,524	153,953	101,721	1 7
TOTAL	35,943	100 00	68 20	70 30	4,402,828	4,539,716				
ADMINISTRACION	9,229		68 20	70 30	1,129,983	1,165,632				
	45,172		68.20	70 30	5,532,811	5,705,348	5,534,666	2,721,851	2,810,960	

CONCEPTOS DE FACTURACION

FIGURA No. 7

CONCEPTO
COSTOS DIRECTOS
MANO DE OBRA DIRECTA (MOD)
GASTOS
VIATICOS Y GASTOS DE VIAJE COMUNICACIONES REPRODUCIBLES MATERIALES DE CONSUMO DIRECTO MATERIALES DE CONSUMO DISTRIBUIBLE SALARIOS DISTRIBUIBLES PREVISION SOCIAL USO DE SISTEMAS DE COMPUTO
INDIRECTOS DE (MOD) Y GASTOS
SUBCONTRATACIONES
INDIRECTOS DE SUBCONTRATACIONES
OTROS GASTOS
CAPACITACION
TOTAL FACTURADO

FIRMA DE INGENIERIA

Figura No. 8

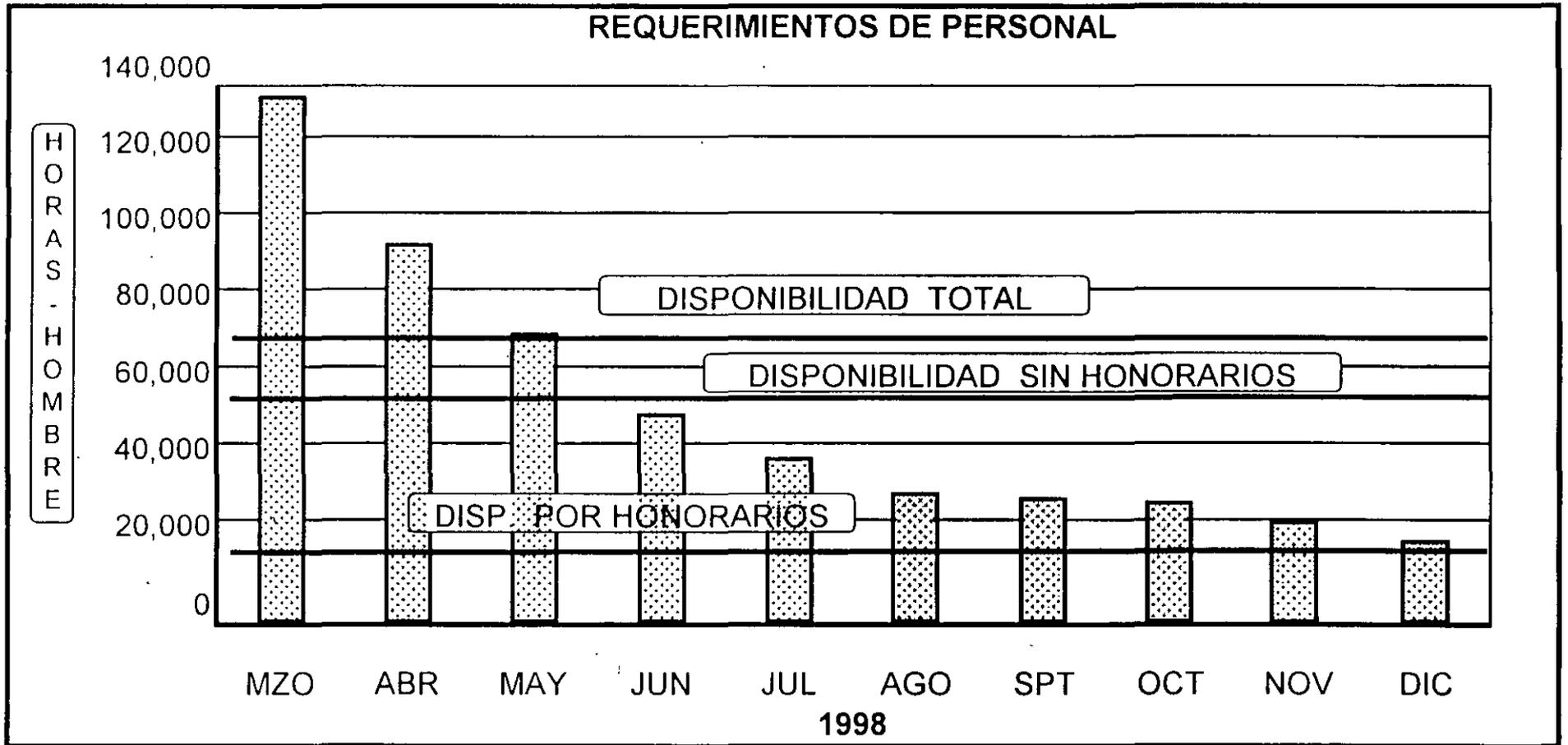
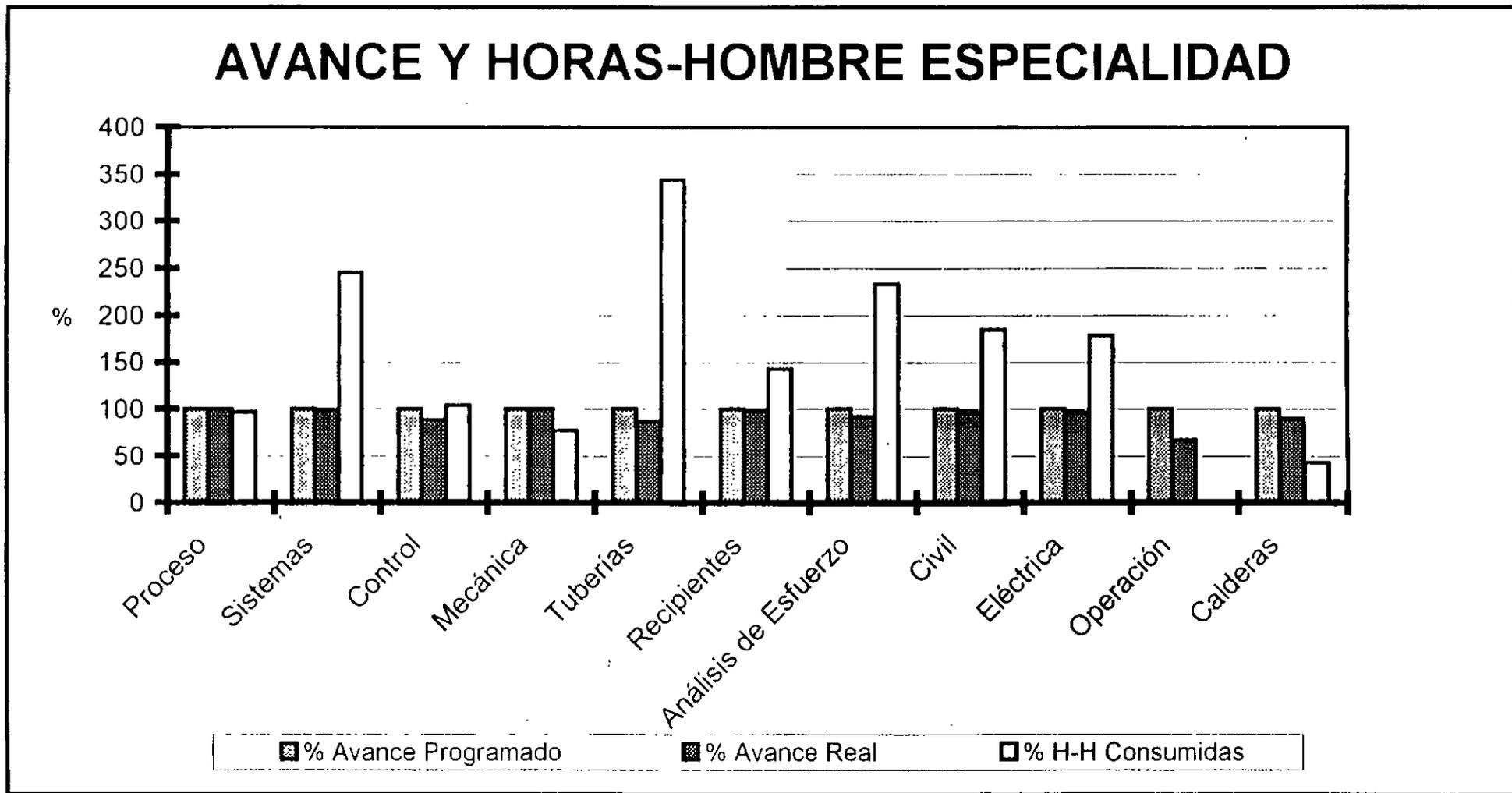
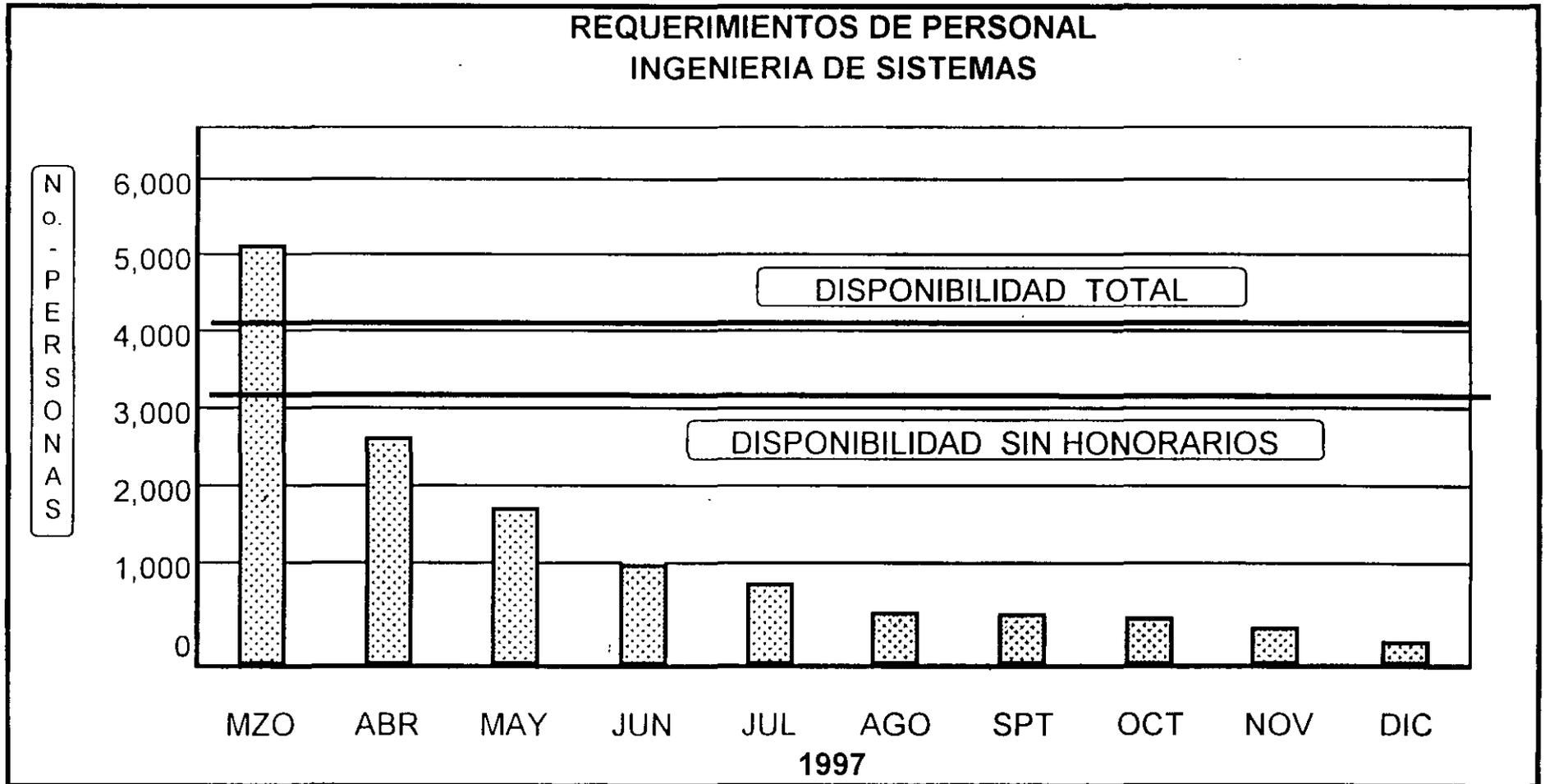


Figura No. 9



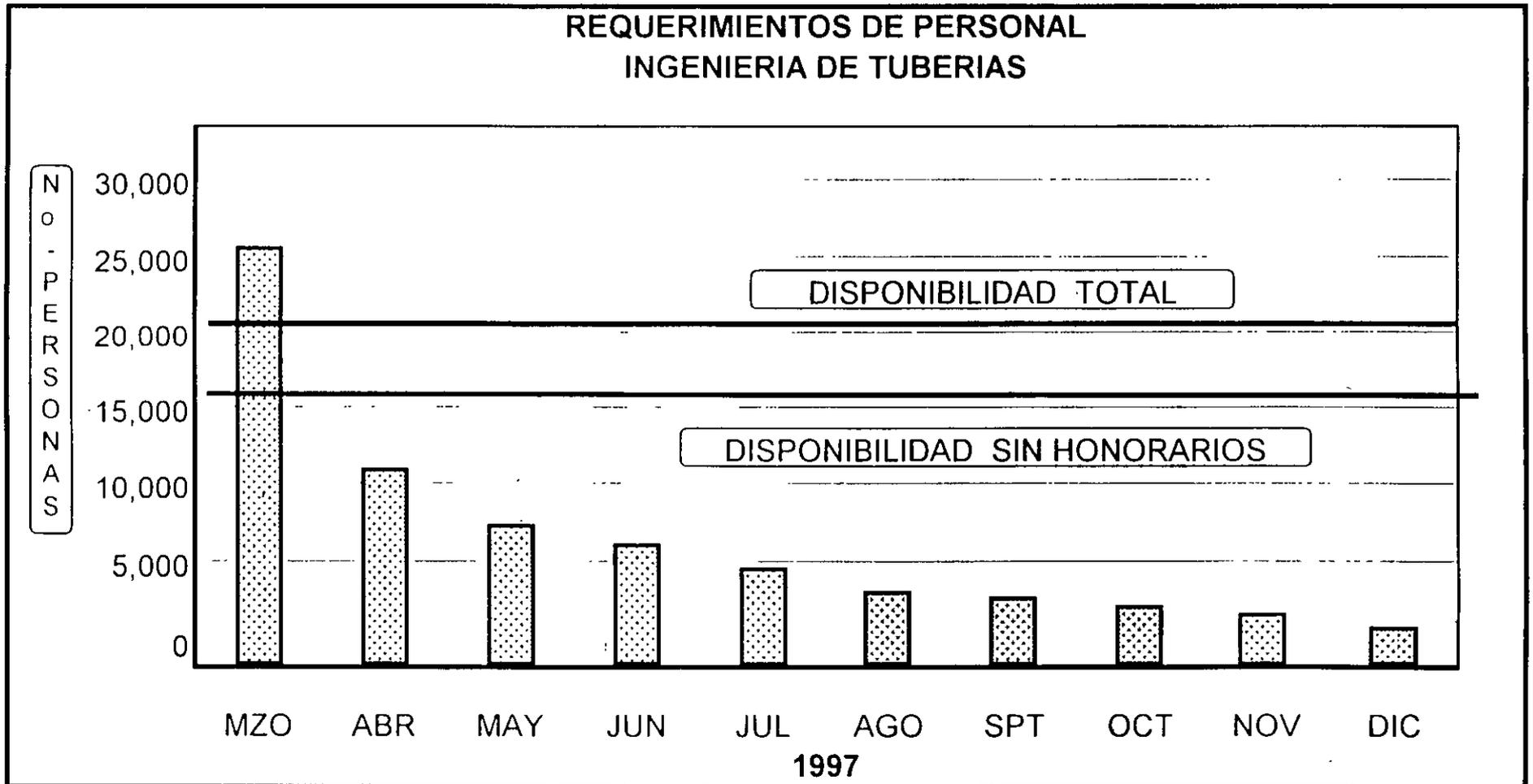
FIRMA DE INGENIERIA

Figura No. 10



FIRMA DE INGENIERIA

Figura No. 11



2.6 PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS

2.6.1 Tipos de Procedimientos.

Los procedimientos administrativos son los documentos que se generan para regular las distintas acciones de tipo administrativo que se llevan a cabo durante el ciclo de vida de un proyecto.

La función principal de este tipo de procedimientos es el de indicar a cada uno de los participantes en el proyecto qué se debe hacer cuando se presenta una acción tanto rutinaria como no programada.

Existen diversos procedimientos administrativos, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Procedimientos internos
 - ✓ Comunicación
 - ✓ Trabajo
 - ✓ Cambios de alcance
 - ✓ Modificaciones
 - ✓ Informativos
 - ✓ Organizacionales
 - ✓ Manejo de documentos
 - ✓ Elaboración de documentos

- Procedimientos externos
 - ✓ Comunicación
 - ✓ Cambios de alcance
 - ✓ Coordinación general

2.6.2 Procedimientos Internos

Los procedimientos internos son los que se elaboran para coordinar las acciones de los participantes en el proyecto dentro de la Firma de Ingeniería, es decir las distintas disciplinas participantes, así como el grupo encargado de la administración del proyecto. Tal como se indicó anteriormente, dentro de este tipo se pueden encontrar los siguientes procedimientos:

➤ Comunicación

Establecen las líneas de comunicación en el proyecto, quién debe reportar a quién, basándose en el organigrama establecido para el mismo.

También, dentro de este tipo de procedimientos, se indica la forma en que se debe reportar, por lo que, es conveniente establecer un sistema de numeración de documentos, de tal forma que los distintos participantes puedan conocer, de una manera sencilla, si cuentan con los oficios, transmisiones, memoranda, etc., que les corresponden.

Un aspecto importante es que los participantes puedan identificar si están trabajando con la última revisión de los documentos de ingeniería que se generan, por ejemplo, la especialidad de Civil debe asegurarse que cuenta con la última revisión del plano de localización general.

Actualmente se están utilizando sistemas de intranets, por medio de correos electrónicos y bases de datos compartidas para transmitir los distintos documentos y mensajes a cada uno de los participantes en el proyecto. En este caso se debe contar con un procedimiento administrativo que indique la forma en que se van a recibir estos documentos y que garantice que cada uno, realmente sea recibido por la persona adecuada.

➤ Trabajo

Los procedimientos de trabajo (Job Procedure) le proporcionan a cada uno de los participantes del proyecto, información sobre la cual se deben de basar. Por ejemplo, el número de proyecto, el nombre del proyecto, las normas y especificaciones a utilizar y las consideraciones especiales para el proyecto.

Este documento debe estar basado en las bases de diseño, el contrato y las especificaciones firmadas para el desarrollo del mismo.

➤ Cambios de alcance

En virtud de que los cambios de alcance son una situación común en cada proyecto, es conveniente contar con uno ó más procedimientos que establezcan la forma de identificarlos, documentarlos y cuantificarlos adecuadamente, a fin de poder presentarlos al cliente en forma oportuna.

Un cambio de alcance, normalmente trae como consecuencia un cambio en el programa del proyecto, por lo que es muy importante determinar si este cambio se encuentra en la ruta crítica del mismo.

➤ Modificaciones

Conforme un proyecto va avanzando, es necesario modificar los distintos documentos que se generan, por lo que se emiten diferentes revisiones o ediciones que contienen la información con que se cuenta hasta ese momento.

Normalmente, una edición presenta una modificación menor al proyecto, pero sirve para informar a cada participante que concepto se modificó. Una revisión normalmente involucra cambios mayores y generalmente se clasifican en "Aprobado para Diseño", "Aprobado para Construcción" y revisiones posteriores a los mismos.

Es importante, que cada cambio, se identifiquen adecuadamente, por medio de triángulos o colores los aspectos que cambiaron.

➤ Informativos

Este tipo de procedimientos proporcionan información valiosa y complementaria a cada uno de los participantes, como por ejemplo; los consumos de horas hombre por periodo, la productividad de los participantes, etc.

➤ Organizacionales

Este tipo de procedimientos indican la estructura organizacional que se debe seguir en el proyecto, indicando claramente quién es el Jefe del Proyecto, sus coordinadores, los responsables de cada una de las especialidades involucradas y las distintas líneas de mando que se deben de seguir, así como los distintos grupos de apoyo o staff que intervienen en el proyecto.

En el caso de que existan otros participantes dentro del proyecto (Stakeholders), distintos al equipo del mismo, como pueden ser proveedores, internos o externos, accionistas, compañías contratistas, asesores y el mismo dueño, se debe definir claramente su forma de participación.

➤ Manejo de documentos

En este tipo de procedimientos se debe definir la forma en que se llevará a cabo el manejo de los documentos durante el desarrollo del proyecto.

Es conveniente contar con una matriz de distribución que indique a quienes se les debe distribuir cada documento y la forma de distribución, como por ejemplo:

- ◆ Original
- ◆ Copias
- ◆ Transmisión
- ◆ Etc.

Dentro de este procedimiento se considera conveniente el adicionar la forma de manejar el registro de dibujos de ingeniería en sus distintas revisiones.

Este registro debe elaborarse en las primeras etapas de la Ingeniería de Detalle, a fin de que el administrador del proyecto pueda conocer el número de documentos esperados y el estado en que se encuentra cada uno de ellos.

➤ Elaboración de documentos

Este tipo de procedimientos se refiere a la elaboración de los documentos administrativos que se deben desarrollar durante el ciclo de vida del proyecto.

Dentro de este tipo de documentos se puede identificar los siguientes:

- ◆ Reportes de avance
- ◆ Reportes de costo
- ◆ Reportes de facturación
- ◆ Reportes de utilización de recursos
- ◆ Programas y curvas de avance
- ◆ Etc.

2.6.3 Procedimientos externos

Existen una serie de procedimientos externos que se deben definir durante la junta de arranque con el cliente, los cuales ayudarán a determinar claramente la manera en que ambas partes se van a coordinar durante el proyecto.

Dentro de este tipo de procedimientos no se está considerando los documentos contractuales como pueden ser; las Bases de Diseño, Bases de Usuario, Convenios y el Contrato mismo.

Dentro de los documentos que es conveniente desarrollar en forma externa están los siguientes:

➤ Comunicación

En este documento se deberán establecer los canales de comunicación entre el Cliente y la Firma de Ingeniería.

Dentro de estos canales de comunicación debe establecerse:

- ◆ ¿A quién se le enviará la documentación?
- ◆ ¿Quién la enviará?
- ◆ ¿Cómo se numerarán los documentos de transmisión?
- ◆ ¿Cómo se numerarán los oficios?
- ◆ ¿Cómo se numerarán los faxes?
- ◆ Otras formas de comunicación

➤ Cambios de alcance

Aunque un proyecto parezca perfectamente definido, es conveniente establecer un procedimiento con el cliente para el caso en que se presenten cambios de alcance, dentro del cual se debe fijar lo siguiente:

- ◆ ¿Cómo se identificarán estos cambios de alcance?
- ◆ ¿Cómo se cuantificará el cambio?
- ◆ ¿Qué precio tendrá?
- ◆ ¿Cómo se determinarán sus repercusiones en el proyecto?
- ◆ Forma de determinar si está en la ruta crítica del proyecto
- ◆ Formas de definir sus repercusiones sobre otras actividades del proyecto.
- ◆ ¿Cómo se procederá en caso de discrepancia?

➤ Coordinación General

Se deben establecer diversos procedimientos generales de coordinación entre la Firma de Ingeniería y el Contratista a fin de poder definir como se van entender en las diferentes situaciones del proyecto. Dentro de estos procedimientos se pueden encontrar, por ejemplo:

- ◆ Formas de entrega de la información
 - Número de copias
 - Forma de entrega de la documentación (Archivos electrónicos, CD, etc.)
 - Índice de la documentación a entregar
- ◆ Procedimientos de facturación

- ◆ Procedimientos de comprobación de avance

2.6.4 Contenido

Un procedimiento administrativo debe contener cuando menos la siguiente información:

a) **Alcance**

En éste se indicará que actividades se cubren dentro del procedimiento correspondiente, asimismo, se deben exponer las razones por las cuales se requiere contar con el documento.

b) **Objetivo**

Se debe indicar claramente que se espera lograr con la elaboración y utilización del procedimiento en cuestión.

Se deberán mostrar tanto los objetivos generales como los objetivos particulares que se esperan cubrir.

c) **Responsabilidades**

Deberá indicarse quienes son los responsables de la aplicación y seguimiento del procedimiento.

Asimismo, se deberá mostrar quienes son los responsables de la distribución, resguardo y aprobación de los procedimientos y la forma en que éste se actualizará.

d) **Definiciones**

Dentro de este capítulo se deberán establecer todos los términos que se considere requieren una aclaración para el entendimiento correcto del procedimiento.

e) **Instrucciones**

Esta es la parte central del procedimiento y es donde se deben indicar claramente los pasos a seguir para alcanzar los objetivos planteados en el procedimiento.

f) **Referencias**

Dentro de este capítulo se deben indicar las referencias, tanto bibliográficas como la correspondencia con otros instructivos o normas que apliquen dentro del alcance del procedimiento que se está estableciendo.

h) **Anexos**

Se deberán anexar todos los documentos que se consideren necesarios para la correcta comprensión y seguimiento del procedimiento en cuestión.

A continuación se muestra un ejemplo de un procedimiento administrativo:

**PROCEDIMIENTO DE COORDINACIÓN
CONTROL DE DOCUMENTOS**

CONTENIDO

I. ALCANCE

II. OBJETIVO

III. DEFINICIONES

IV. RESPONSABILIDADES

V. INSTRUCCIONES

V.I Control de planos de ingeniería

V.II Control de requisiciones de equipo y material

V.III Control de dibujos de fabricante

V.IV Control de consumos de horas-hombre

V.V Control de isométricos de tubería

V.VI Control de la verificación y seguimiento del proyecto

V.VI.I Actualización de las actividades realizadas en el período.

V.VI.II Cuantificación de avance.

VI. REFERENCIAS

VII. ANEXOS

I.- ALCANCE

Durante la ejecución de los proyectos que lleva a cabo la Firma de Ingeniería, se generan una gran cantidad de documentos, tanto de las diversas disciplinas que intervienen en su desarrollo así como del control administrativo, dependiendo de la complejidad y forma en la realización de los mismos.

Por tal motivo resulta necesario llevar a cabo un control eficiente y sistemático de todo tipo de documento generado en cualquier proyecto

El alcance del presente procedimiento es el de establecer una metodología para la recepción, registro, control y transferencia de los documentos del proyecto, así como establecer una guía para el seguimiento y verificación del proyecto.

II.- OBJETIVO

El objetivo del control de documentos es poder contar con un registro histórico y ordenado, que permita conocer todos los documentos que se han iniciado, disponer de un respaldo del avance parcial de los mismos, y para los que ya se han emitido, conocer la revisión bajo la cual están expuestos (preliminar, para cotización, aprobado para diseño y aprobado para construcción) y aquellos que faltan por generarse.

Es importante mencionar que esto se encuentra íntegramente relacionado con el avance total del proyecto, así como la facturación del mismo.

III.- DEFINICIONES

Documento del proyecto. Se consideran como documentos de ingeniería los esquemas, planos y dibujos que sirven como base para las actividades que siguen para la consecución de un objetivo final incluyendo los aspectos relacionados con la construcción de una obra en particular.

Plano del proyecto. Es el documento final editado por cada una de las especialidades que incluye las especificaciones de las actividades de ingeniería a realizar en la construcción o fabricación de un determinado equipo, asimismo se incluyen dimensionamientos, cortes, materiales o detalles particulares que hagan más clara la comprensión del mismo.

Hoja de datos. Es el documento base incluye características esenciales para el diseño mecánico de equipos, tales como propiedades fisicoquímicas, materiales, dimensiones del mismo y boquillas, características de los accesorios con que cuente y que formen parte integral del mismo. La hoja de datos soporta otros documentos considerados dentro de la Ingeniería Básica y de Detalle, y en casos particulares se incluye como anexo en la especificación y requisición de algunos equipos.

Manual del proyecto. Es el compendio de los documentos de ingeniería que se generan durante la ejecución del proyecto.

Especificaciones del proyecto. Comprende las normas y códigos indicados dentro del contrato celebrado con el cliente, así como los estándares y prácticas de ingeniería.

Bases de diseño. Es un cuestionario, llenado por el cliente, o en común acuerdo con el cliente, que agrupa las características de las corrientes a considerar incluyendo el producto final, además de los servicios y calidad de los mismos. Asimismo, dentro de éstas se incluyen las condiciones del sitio donde se realizarán los trabajos, así como cualquier tipo de consideración en la ejecución del proyecto.

Requisiciones. Es el documento que describe los bienes (materiales o equipo) que se requiere concursar para su adquisición. Incluye documentos tales como especificaciones, normas, dibujos, hojas de datos, instructivos, que permiten que los proveedores tengan el conocimiento pleno de lo que se debe cotizar.

Revisión. Se refiere propiamente al tipo de información incluida dentro de los documentos de ingeniería, así como cada vez que surja o sufra una modificación importante que obligue a efectuar un cambio dentro del mismo, lo cual puede surgir por el ajuste a la información de fabricante, información proporcionada por el cliente o como resultado de la información generada durante la ejecución del proyecto. Generalmente las revisiones manejadas en los documentos de ingeniería son preliminar, aprobado para cotización, aprobado para diseño y aprobado para construcción.

Estudios especiales. Se refiere a aquellos estudios que por su naturaleza y/o requerimientos del proyecto deban de realizarse en forma específica para algún tipo de proceso o equipo, éstos pueden realizarse como parte integral de un proyecto o bien como una solicitud directa del cliente.

Especialidades. Comprende las diversas disciplinas que intervienen en la realización de un proyecto, mismas que se encuentran adscritas a la Firma de Ingeniería.

Reporte de avance. Es el documento que agrupa y describe en forma detallada las actividades realizadas durante el período indicado en el mismo reporte. Asimismo, incluye los controles de dibujos de ingeniería, requisiciones, dibujos de fabricante, curva de avance, desglose de los avances alcanzados por especialidad, avance total parcial y avance acumulado, estado de facturación y relación de pendientes. Cabe mencionar que la estructura del mismo depende de los requerimientos del cliente, aunque sin omitir conceptos descritos en esta definición. Por otra parte es el documento que sirve como soporte del avance y facturación generada en el desarrollo del proyecto.

Archivo técnico. Es el compendio de documentos generados por las diversas especialidades, incluyendo las revisiones emitidas durante la ejecución del proyecto, mismos que se agruparán por especialidad y registros en su respectivo formato.

Archivo administrativo. Comprende las diversas comunicaciones escritas tales como oficios, fax, memorándums, etc., generados en forma interna así como con el cliente, mismas que forman parte del control administrativo del proyecto y que se encuentran clasificadas conforme al índice de archivo indicado en el Anexo 19 del presente procedimiento. Todas las comunicaciones deben de mantenerse incluidas en forma de archivos electrónicos, con objeto de llevar un mejor control de las mismas.

Registro de documentos de ingeniería. Es el formato correspondiente a la cantidad de dibujos que serán generados por las diversas especialidades y que incluye los conceptos de fecha de emisión, revisión, avance del mismo y la descripción correspondiente.

Control de requisiciones. Es el registro de las diversas requisiciones tanto de equipo y materiales generadas por las especialidades que intervienen en el proyecto, los conceptos que se encuentran relacionados dentro de este formato incluyen el número de requisición de acuerdo al equipo o material que se va a cotizar, la clave de identificación del equipo requisitado, la descripción del mismo, fecha de emisión de la requisición, recepción de cotización, fecha de la emisión de la tabulación técnica y comercial (en algunos casos), proveedor ganador, fecha de adjudicación del pedido, período de fabricación y llegada al lugar en que será instalado, en algunos casos se incluye el monto con el cual fue asignado el pedido. Este registro debe mantenerse actualizado en forma periódica en archivo electrónico y en forma física para un control adecuado del mismo.

Control de dibujos de fabricante. Es el registro que agrupa los dibujos de fabricante de los proveedores a los que se les ha asignado el (los) equipos y/o materiales de las requisiciones generadas por las diversas especialidades que intervienen en el proyecto. Incluye conceptos tales como número de requisición, proveedor asignado, equipos asignados, descripción de los mismos,

número de dibujo, descripción, fecha de recepción (considerando generalmente tres revisiones), fecha de envío al proveedor y el estado en que fue enviado, éste puede ser preliminar, aprobado con comentarios, aprobado y certificado. Este registro al igual que los otros debe de manejarse en forma física así como en archivo electrónico para un mejor control de los documentos además de la actualización periódica del mismo.

Control de horas-hombre. Es el registro de las horas-hombre asignadas a cada una de las disciplinas que intervienen en el proyecto, así como los consumos que se van dando durante la ejecución del mismo, los cuales deben ser acordes a las actividades requeridas para el cumplimiento de éste. Dicho registro incluye las horas-hombre programadas por especialidad, el consumo de horas-hombre en forma mensual y consumo acumulado de horas-hombre. Este registro debe de realizarse en forma física y magnética, además de actualizarse periódicamente para mantener un control eficiente del mismo.

Control de isométricos de tuberías. Es el registro de los isométricos de tuberías generados durante el desarrollo del proyecto, incluyendo líneas mayores y menores, tanto de proceso como de servicios auxiliares. Dicho registro debe de incluir el número de isométrico, circuito o sistema, número y diámetro y de línea, presión de operación, temperatura, requerimiento de radiografiado, relevado de esfuerzos, aislamiento, revisión y fecha de emisión, tanto de los isométricos de diseño (cuenta F) como los isométricos con soportería (cuenta N). Este registro debe de realizarse en forma física y magnética, además de la actualización periódica del mismo, con el objeto de mantener un control eficiente de éste.

IV.- RESPONSABILIDADES

En todos los casos, el control y seguimiento del proyecto debe llevarse a cabo bajo la responsabilidad del Jefe de Proyecto (JP) asignado, mismo que deberá realizar la actualización y formas de control de los controles y registros descritos en el capítulo de "Definiciones" de este procedimiento, con el apoyo de su equipo de trabajo (coordinador ingenieros de proyecto, secretaria, etc.), así como de todos los Departamentos de especialidades involucradas.

En virtud de las plataformas existentes de hardware y software disponibles en la Firma de Ingeniería. Deberán crearse archivos electrónicos de respaldo de toda la documentación y planos del proyecto.

Será responsabilidad del JP la distribución adecuada de documentos

V INSTRUCCIONES

V.I Control de planos de ingeniería.

Tomando como base las actividades descritas en el programa del proyecto, las distintas especialidades que intervienen en el desarrollo del mismo, elaborarán el correspondiente **registro de dibujos** inherente a cada una de ellas.

Este registro de dibujos contendrá la cantidad y tipo de dibujos que se espera emitir durante su ejecución, tomando siempre en consideración la fecha en la cual han sido programadas las actividades, así como la información con que se cuenta en el momento para el desarrollo de los mismos.

Con la información generada y dirigida al JP, éste elaborará el registro de dibujos conforme al alcance citado en el capítulo de definiciones. Al momento en que se genere la emisión de un dibujo por cualesquiera de las especialidades, éste deberá enviarse al JP, quien inspeccionará y distribuirá dicho documento. Adicionalmente, se llevará un padrón de información generada, con el objeto de observar que especialidades cuentan con esta información, además del cliente.

V.II Control de Requisiciones de equipo y material.

Al igual que los planos y documentos de ingeniería, las especialidades que integran el proyecto emitirán las requisiciones de equipo y material conforme a las fechas indicadas en el programa de ejecución del proyecto. Una vez emitidas al JP, éste efectuará los tramites necesarios para hacerla llegar al cliente. Asimismo, se llevará su registro de las mismas.

V.III Control de dibujos de fabricante.

Una vez adjudicado (s) el (los) equipo (s) y/o materiales el proveedor presentará sus dibujos para aprobación, los cuales serán registrados y distribuidos a las especialidades involucradas dependiendo del equipo en cuestión y conforme a una matriz de distribución. Asimismo, se deberá anotar la fecha de envío de los dibujos a los especialistas, los cuales tendrán el plazo previsto por el JP para la revisión de los mismos. Dentro de este periodo de tiempo podrán surgir cuestionamientos técnicos con relación a las cotizaciones presentadas. Las respuestas deberán de registrarse en el control de dibujos de fabricante.

Una vez revisados los dibujos, éstos serán enviados al proveedor indicando su estado, el JP llevará a cabo el registro tanto del estado como la fecha en que estos fueron emitidos.

Resulta importante mencionar que el presente procedimiento no describe en forma detallada las actividades de procura, por lo que habrá que referirse al procedimiento correspondiente.

V.IV Control de horas-hombre.

Con el objeto de mantener el proyecto dentro de presupuesto, resulta requisito indispensable llevar a cabo un control estricto del consumo real de horas-hombre, contra los estimados, manteniendo la congruencia con el avance generado.

El concepto de los alcances que intervienen en el control de horas-hombre se indica en el capítulo de definiciones. Las horas-hombre programadas y manejadas dentro de este control serán las indicadas en el formato del Anexo 5, generado por la División de Programación. Por otra parte las horas - hombre consumidas se tomarán de los reportes catorcenales de horas - hombre, generados por el Departamento de Planeación, Desarrollo y Estudios Especiales de la Gerencia de Proyectos.

Para mayor referencia sobre el control de horas-hombre es recomendable referirse al procedimiento particular respectivo.

V.V Control de Isométricos de Tuberías.

El Departamento de Tuberías proporcionará al JP la relación de isométricos de tuberías que emitirá durante el desarrollo del proyecto.

Por la magnitud del impacto en la fase de construcción, resulta importante vigilar que la emisión de isométricos se realice dentro de las fecha fijadas en el programa del proyecto.

V.VI Control de la verificación y seguimiento del proyecto.

El control de la verificación y seguimiento del proyecto debe de realizarse en forma continua, en función del tiempo de ejecución y la complejidad del mismo. Esta actividad tiene como finalidad el asegurar que el proyecto se realice dentro de las normas de calidad en el tiempo establecido y con el presupuesto asignado. El seguimiento adecuado permite detectar en forma oportuna las desviaciones y/o anomalías además de permitir llevar a cabo las acciones correctivas para mantener bajo control el desarrollo del proyecto.

La Jefatura de Proyecto realizará la verificación y seguimiento del proyecto por medio de actualizaciones en el desarrollo de las actividades con los especialistas involucrados; la información recopilada se transfiere a la División de Programación para su análisis y actualización del programa del proyecto.

A continuación se describen las actividades para la verificación y seguimiento del proyecto:

V.VI.I Actualización de las actividades realizadas en el período.

El cumplimiento del programa general del proyecto radica fundamentalmente en la realización oportuna de las actividades que conforman la ruta crítica. La verificación en su ejecución resulta fundamental para el control adecuado del proyecto. Por otra parte, las fechas reales de las actividades realizadas en el período de actualización determinarán tendencias en las actividades restantes, el análisis de esta nueva planeación traerá como resultado las actividades que requieren mayor atención tanto en tiempo como recursos, dicho análisis se encuentra conformado de dos etapas.

- 1a. Revisión de actividades críticas. En caso de presentarse un atraso en la ejecución de estas actividades, se analizará si con una mayor asignación de recursos, se puede dar cumplimiento a las fechas programadas que son claves en la ejecución del contrato para no alterar la terminación del proyecto.
- 2a. Revisión de actividades no críticas. La revisión de estas actividades complementa las acciones de control para mantener el desarrollo del proyecto dentro de los límites establecidos en tiempo y costo. Al igual que las actividades críticas se deberán comparar las fechas programadas contra las fechas reales y/o tendencias. Esta comparación permitirá redefinir la asignación de recursos reajustando sólo en caso necesario las fechas de terminación basándose en sus holguras.

V.VI.II Cuantificación de avance.

La medida de avance en la ejecución del proyecto se determina conforme al grado de realización de las actividades inherentes al mismo, por lo que un seguimiento adecuado, garantizará el cumplimiento de cada una de ellas, por lo tanto el Departamento de Programación emitirá el listado de "Actividades a realizar en el período", el cual describe las actividades que dan inicio, ¿cuáles se mantienen ejecutándose? y ¿cuáles han terminado?, el que se

turnará a las diversas especialidades, a través del JP con el objeto de recabar el avance obtenido en el período mencionado con anterioridad, para que posteriormente se devuelva al Departamento de Programación y éste efectúe la actualización del programa de valores, curva de avance y programa general del proyecto, la curva de avance programada es la representación gráfica de las aportaciones periódicas de acuerdo al programa general del proyecto, la curva de avance real es la aportación por las actividades iniciadas o terminadas en el período de actualización. La graficación de ambas curvas será para efectos de comparación y detección de desviaciones.

VI. REFERENCIAS

- Procedimiento de programa de actividades
- Procedimiento de control de horas-hombre
- Procedimiento de transferencia de horas-hombre
- Procedimiento de avance del proyecto
- Procedimiento de cierre de proyecto
- Procedimiento de elaboración de reporte de avance
- Procedimiento de procura de equipo y materiales

VII. ANEXOS

3.0 BASES PARA EL DESARROLLO

3.1 LUGAR PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

El lugar para desarrollar las diferentes actividades requeridas por un proyecto multidisciplinario, depende del sistema de manejo de un proyecto en particular.

Existen dos sistemas básicos de estructurar la organización de un proyecto en una empresa encargada de la ejecución de multiproyectos. En un extremo la organización Funcional o Departamental, y en el otro, la Proyectizada o Task-Force; dadas las condiciones económicas actuales, se requiere optimizar los trabajos de cada uno de los integrantes de los grupos de trabajo, evitando los "tiempos muertos" mediante una adecuada programación de sus actividades; a partir de lo anterior, surgió la organización matricial, en la cual se trata de optimizar las ventajas y minimizar las desventajas de las estructuras proyectizada y funcional.

En este tema, vamos a comentar respecto al lugar requerido para la ejecución de los trabajos de un proyecto Task-Force.

3.1.1 Ubicación física

Para formar un equipo de proyecto eficiente, la medida más fácil que puede poner en juego el jefe de proyecto es situar a las personas del proyecto cerca unas de otras. El hecho de trabajar juntos en el mismo sector geográfico inevitablemente vincula a las personas.

También hay razones muy prácticas para situar juntos a los miembros del personal del proyecto; casi todas se refieren a las buenas comunicaciones. Un recorrido a dos puertas de distancia es más eficaz para discutir un problema que suscita controversias, que la llamada más impersonal por teléfono que habría de hacerse si la persona estuviera a diez minutos de distancia. También se impulsa el espíritu informal gracias al contacto directo con los propios colegas. Además de esto, se reduce el papeleo excesivo, lo cual es sumamente conveniente. Los planes importantes, las especificaciones, las instrucciones y los informes deben asentarse precisamente en documentos, pero constituyen únicamente la décima parte de las comunicaciones en el proyecto y del papeleo coordinador. Casi todo el resto deberá suprimirse, situando a los miembros del equipo cerca unos de otros.

Colocar a las personas cercanas entre si es característica clave del éxito en trabajos de ensayo en sitios especiales para proyectos de desarrollo. Las pruebas empíricas tardan en realizarse, pero el principio de colocar a las gentes cerca unas de otras ha demostrado ser una clave importante para el éxito de los proyectos.

El jefe de proyecto y los miembros clave del equipo no deben permanecer ubicados físicamente en sus respectivos departamentos.

Si un hombre permanece en su escritorio y lugar antiguos, la gente tenderá a seguirle llevando los problemas de rutina, y tendrá que soportar en todo momento una presión dispersora.

Se debe organizar el equipo de proyecto como si fuera un departamento temporal, en un área física separada, sólo así podrán el Jefe de Proyecto y los miembros clave, dedicarle toda su atención al proyecto, ya que éste necesita toda su atención.

Si se saca físicamente a los miembros clave de sus propios departamentos, aún podrán ser distraídos por llamadas telefónicas o comunicados del personal que estaba a su cargo.

Una forma de hacer que esto no pase, es que el jefe del departamento gire un comunicado a los empleados, diciéndoles que ya no lleven a los miembros del equipo, como lo habían estado haciendo, asuntos o problemas sobre el trabajo de rutina; debiéndose informar a los empleados, el nombre de una persona a quién puedan recurrir en busca de las soluciones que él solía darles.

3.1.2 Cuartel general del proyecto

Elija como cuartel general, un salón suficientemente grande para las juntas de los miembros claves del grupo. También deberá tener espacios en las paredes para mostrar las gráficas de planeación y avance.

Monte sobre la pared el diagrama de red de actividades del proyecto y la gráfica de Gantt. Estos, junto con otros datos, pueden proporcionar una guía visual a cada miembro del equipo, a medida que éste avance hacia la meta del proyecto. Asimismo, lleve los registros y reportes de avance en el cuartel general.

3.1.3 Área de Trabajo

El área de trabajo que sea asignada al grupo de proyecto, deberá ser acorde a la magnitud del proyecto por realizar, es decir, si el proyecto a ejecutar es de gran envergadura, con un alcance de actividades que involucra a los diferentes especialistas de la ingeniería, deberá contarse con un área grande que dé albergue a todo el personal que participe en este trabajo.

Una vez conocida el área disponible de trabajo, ésta se deberá distribuir de tal manera de dotar inicialmente de oficinas al grupo de administración y control del proyecto, es decir, el Jefe de Proyecto, el Coordinador de Diseño, el

Coordinador Administrativo, ingenieros de proyecto, programación y costos, personal de contabilidad, secretarías y oficinistas, así como también área para instalar el equipo de cómputo que resulte necesario y el archivo de toda la información generada en el proyecto.

Asimismo, deberá haber un área definida para centralizar el ploteo de los planos que se originen por los diferentes especialistas mediante el uso de sistemas de cómputo; así como también impresoras y copiadoras para uso general del proyecto.

En lo que respecta a las diferentes especialidades que participan en la ejecución de las actividades (proceso, sistemas, control, operación, cambiadores de calor, hornos, mecánica, civil concreto y acero, tuberías, análisis de esfuerzos, eléctrico, dinámica de rotores, etc.), es necesario tratar de ubicar a su personal en áreas definidas para cada una de las disciplinas, tomando en consideración hasta donde sea posible, el acercamiento físico que resulta necesario entre las especialidades de las que su información es predecesora o sucesora. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el personal de cada especialidad debe contar con los recursos informáticos, tanto de equipo como de paquetería, que resulten necesarios para desarrollar sus actividades dentro de los parámetros de tiempo, costo y calidad.

Dentro del área de trabajo, deberá considerarse también, la necesaria para la oficina del ingeniero residente por parte del cliente, quien también deberá contar con área para secretaria, equipo de cómputo y archivo de la información que maneja.

Por otra parte, con el fin de mantener un ambiente agradable, se debe cuidar hasta donde sea posible, aparte de que necesariamente haya una buena iluminación, ventilación y limpieza, que los locales de oficinas, mobiliario y equipo del proyecto sean de calidad semejante a los ocupados por quienes desempeñan trabajos similares en la misma compañía, esto con el fin de evitar resentimientos innecesarios en el personal.

3.2 ASIGNACION DE RECURSOS

El recurso clave en el desarrollo de un proyecto es el elemento humano que participará en la ejecución de tareas bien definidas, pero también es indispensable hacer otras asignaciones.

El proyecto debe iniciarse, ya sea asignándosele realmente los recursos o facultándolo para que los adquiera. Al Jefe de Proyecto no debe ponersele en situación de tener la responsabilidad del trabajo sin los medios a la mano para saber lo que se necesita para ejecutarlo..

Es preciso establecer inmediatamente un presupuesto para el proyecto. Si el Jefe de Proyecto tiene que confiar en el apoyo general de otras divisiones, usando los recursos existentes en ellas, debe recibir las prioridades adecuadas y tener inmediatamente disponibles las instalaciones adecuadas, las cuales deben contar con el equipo necesario para poder desarrollar los trabajos específicos contratados con el cliente.

En un proyecto grande, se tendrá que proporcionar a los miembros del equipo, no sólo las necesidades físicas, sino también las actividades de apoyo. Estas incluyen los servicios de oficina, secretariales y telefónicos. Puede que desee incluir dibujantes y mecanógrafas y proporcionar espacio para catálogos y archivos de especificaciones.

La asignación de los diferentes recursos que una compañía tiene que proporcionar para poder desarrollar un proyecto cubre los siguientes aspectos.

3.2.1 Recursos Humanos

Los recursos humanos se obtienen internamente de los departamentos o áreas funcionales, o sea de toda la organización que no es el proyecto; externamente de subcontratistas y asesores, que ya proporcionando personal o trabajando por su cuenta participan en la ejecución del proyecto.

El aspecto más delicado de los recursos humanos, es el Jefe de Proyecto quien en buena parte es el responsable del éxito del trabajo. Los jefes de sección o responsables de disciplina son, por su carácter de doble responsabilidad, otro elemento que se requiere se maneje con atención.

A continuación se listan algunos de los requerimientos del Jefe de Proyecto

- a) Tener su autoridad y responsabilidad bien definida y documentada.
- b) Tener un adecuado sistema de información.
- c) Entender los problemas de un gerente.
- d) Tener suficiente rango ejecutivo y nivel organizacional.

- e) Al manejar el proyecto, quedar separado del área funcional de la empresa.
- f) Tener gran participación en la definición del grupo básico de trabajo, durante la vida del proyecto.
- g) Tener experiencia en el manejo de proyectos.
- h) Tener un estatus definido respecto al resto de los integrantes del proyecto.

En un proyecto de magnitud considerable, uno que probablemente consuma miles de horas-hombre, el jefe de proyecto trabajará tiempo completo. Pero también se necesitará que algunos miembros del equipo trabajen igual.

Para asegurar la continuidad del proyecto, conviene que una o dos de esas gentes recorran, con el jefe de proyecto, toda la ruta planeada del proyecto.

A medida que avanza el proyecto, una persona pasará a ser, en forma "natural", el asistente del jefe de proyecto, sea que se le dé o no, tal nombramiento.

Una vez que se emprende un proyecto, debe llevarse a cabo, independientemente de los problemas individuales de personal. Si el jefe de proyecto desaparece del cuadro por cualquier motivo, el asistente debe tomar su lugar.

La necesidad de seleccionar buenos empleados para el equipo, se aplica indistintamente a internos y externos. No utilice a una persona que no ha sido probada o a una compañía desconocida. Evítese dolores de cabeza, asegurándose de que todos los miembros del equipo, internos o externos, tengan un "historial" satisfactorio.

Supervisando a los miembros del equipo. Una vez que ha seleccionado a los integrantes del equipo, tendrá que hacerse otra pregunta: "¿Cuál es la mejor manera de supervisarlos?".

Dado que los miembros de su equipo serán gentes de alto nivel, tome en cuenta que son tipos independientes. La mayoría profesionales y por ende competentes en sus campos de trabajo. Usted no puede manejarlos del mismo modo que a otras gentes dándoles órdenes.

El jefe de proyecto les dice a los miembros individuales del equipo qué es lo que debe hacerse, pero no cómo hacerlo. También les hace saber para qué fecha debe estar terminado el trabajo.

Se debe ejercer dirección y control durante todo el avance del proyecto. Un miembro indisciplinado en el equipo podría echar a rodar todo el proyecto. Se debe estar alerta para que esto no suceda.

3.2.2.1 Recursos Tecnológicos.

Los recursos tecnológicos pueden ser propios o externos, y corresponden a los diferentes paquetes de cómputo, software, requeridos por las diferentes especialidades que intervienen en un proyecto para desarrollar sus actividades; como pueden ser los requeridos por ingeniería de sistemas para cálculo de líneas de tubería, válvulas de control, válvulas de desfogue, etc.

Los externos pueden ser nacionales o extranjeros, como ejemplo de estos últimos podemos mencionar la paquetería para desarrollar el diseño completo de la ingeniería de tuberías de una planta, comprendiendo planos de plantas y elevaciones, isométricos de tubería y listas de materiales de tubería.

3.2.3.1 Recursos Físicos

Como recursos físicos se pueden mencionar los requerimientos de áreas de oficina preferentemente integradas o grandes espacios en edificios en donde ubicar a todo el equipo de trabajo de un proyecto.

Asimismo, se deben considerar los diferentes servicios como son teléfonos, red interna de cómputo, Internet, Fax, copiado tanto electrostático como heliográfico.

3.2.3.2 Recursos Materiales.

Los recursos materiales comprenden el equipo y mobiliario de oficina requerido tanto para el personal técnico, como son los ingenieros participantes en el proyecto de las diferentes especialidades, como para el personal administrativo y de servicios, como son el personal de contabilidad, secretarial, oficinistas, intendencia, vigilancia.

Por otra parte, en este renglón se considera también la asignación del equipo de cómputo requerido para la ejecución de los trabajos, el cual deberá cubrir computadoras personales, el software necesario, impresoras en blanco y negro y color, plotters, etc.

3.2.4 Recursos Financieros.

Los recursos financieros para desarrollar el proyecto pueden ser propios o externos, normalmente para proyectos importantes el cliente otorga un anticipo que puede ser del 10 al 20% del costo estimado de los trabajos, que permite iniciar el desarrollo de los mismos, recuperando posteriormente mediante la facturación mensual, los gastos de ejecución del proyecto.

3.2.5 Recursos de Apoyo.

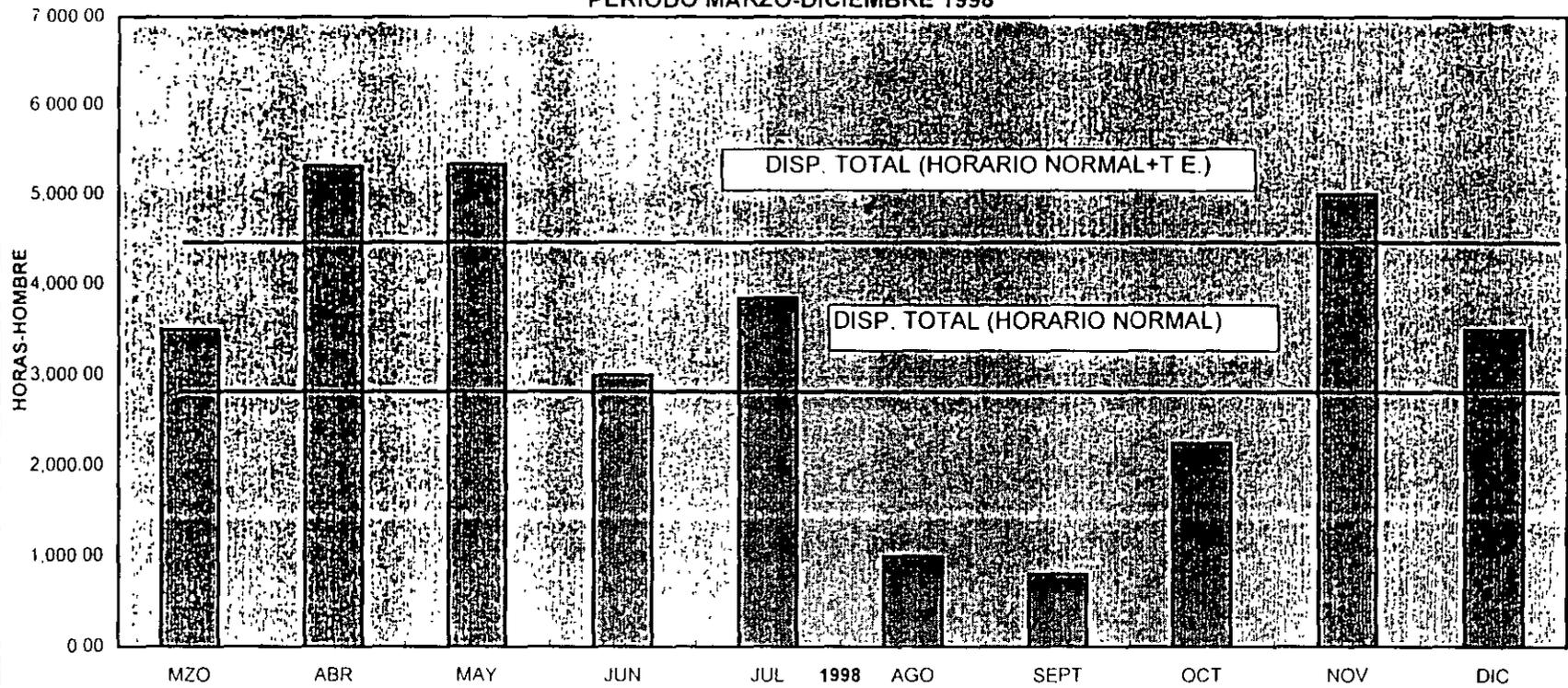
Los recursos de apoyo al proyecto pueden ser muy diversos, como son las fuentes de información que pueden ser internas, biblioteca o manejo de normas, estándares y especificaciones; o externas, que lo mismo puede ser con el cliente, proveedores de equipo, licenciadores de tecnología, o de oficinas gubernamentales.

Asimismo, se debe considerar el apoyo informático que pueda ser requerido, tanto propio como externo.

FIRMA DE INGENIERIA

PROYECTO "A"

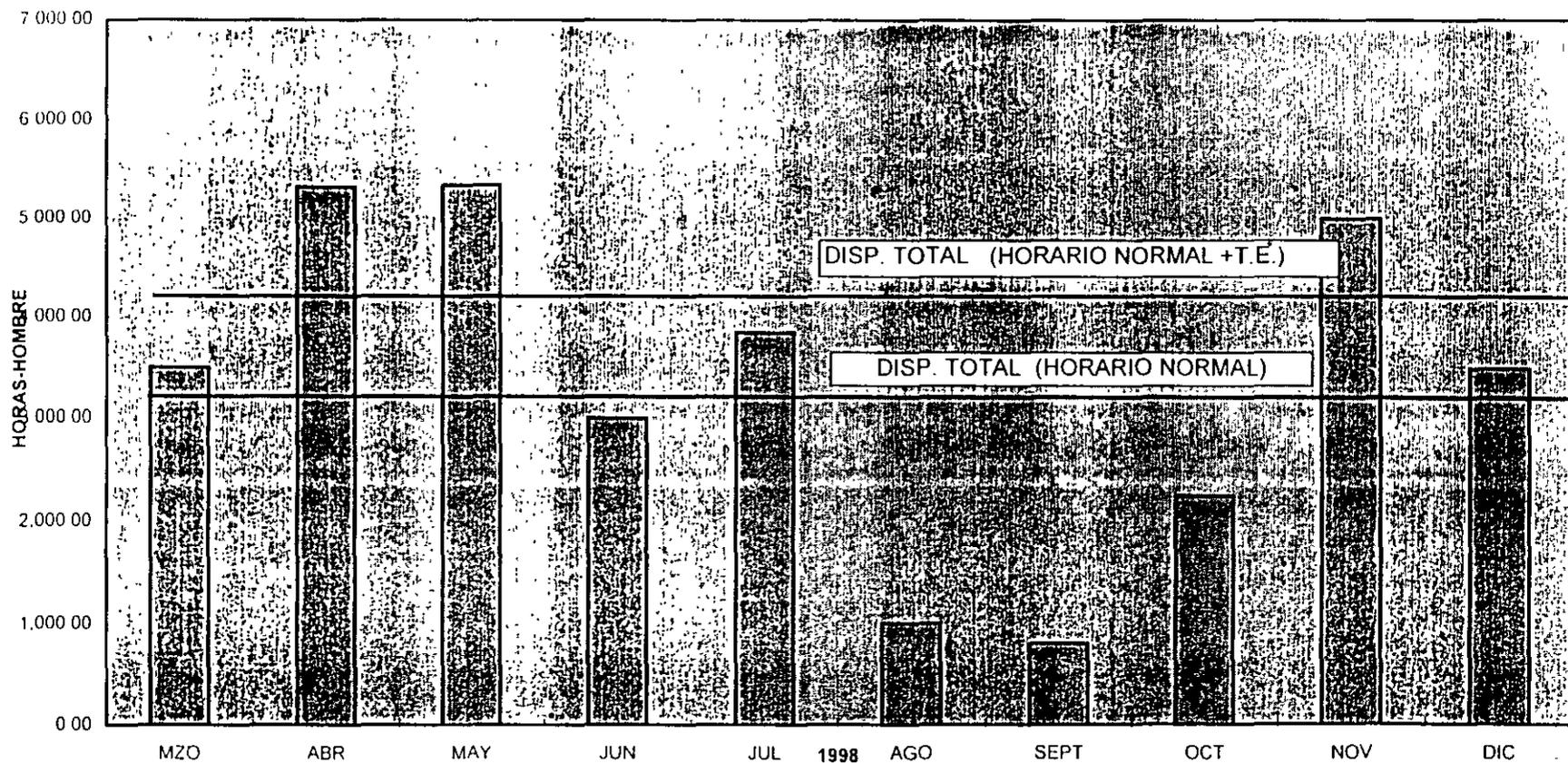
REQUERIMIENTOS DE PERSONAL CAMBIADORES DE CALOR
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



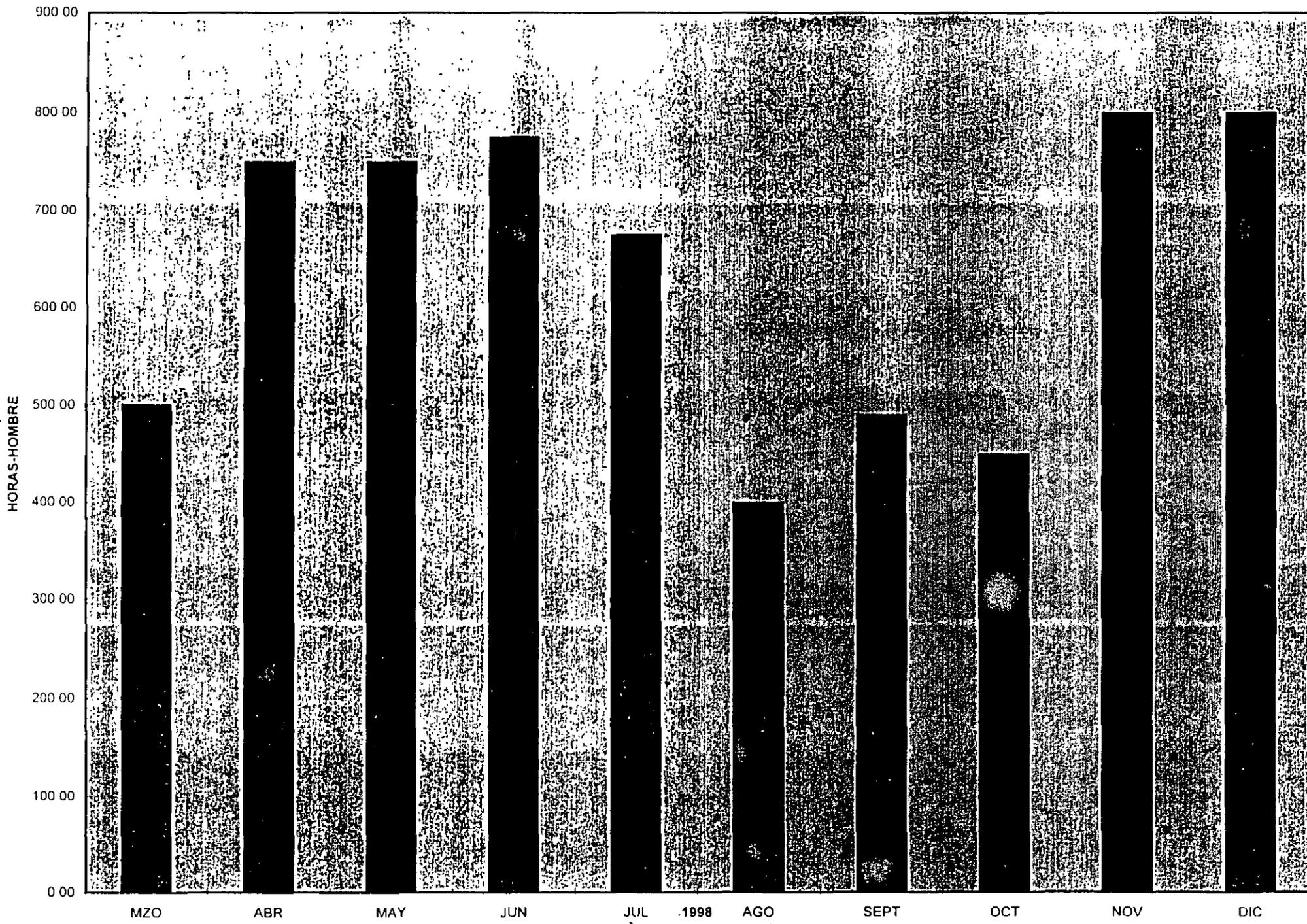
FIRMA DE INGENIERIA

PROYECTO "A"

REQUERIMIENTOS DE PERSONAL INGENIERIA DE TUBERIAS
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



REQUERIMIENTOS DE PERSONAL DE INGENIERIA DE PROCESO
PERIODO MARZO-DICIEMBRE 1998



FIRMA DE INGENIERIA

PROGRAMA DE EROGACIONES DE INGENIERIA DE DETALLE (\$ M.N.)

ESPECIALIDAD	MESES										TOTAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
INGENIERIA MECANICA		48,320	160,640	59,840	63,040	71,040	12,800	5,120				420,800
INGENIERIA ELECTRICA	62,080	71,680	85,120	245,440	275,840	333,120	215,040	248,640	192,320	20,480		1,749,760
INGENIERIA DE TUBERIAS		393,280	915,200	497,280	444,160	939,200	585,920	149,440	128,640	18,560		4,071,680
INGENIERIA DE RECIPIENTES		184,000	176,640	37,120	30,400	14,400	38,400					480,960
INGENIERIA CIVIL ACERO		8,320	481,920	476,480	141,440	340,480	361,920	112,000	62,080	54,720		2,039,360
INGENIERIA CIVIL CONCRETO	5,440	55,360	211,200	291,840	365,120	410,880	407,680	203,520	205,760	48,640		2,205,440
INGENIERIA ANALISIS DE ESFUERZOS		60,160	60,160	138,880	304,000	353,600	271,680	316,480	163,200	22,720		1,690,880
DISEÑO DE PROCESO	159,040	604,160	67,200									830,400
INGENIERIA DE SISTEMAS	230,400	498,880	329,920	38,400	42,880	109,440	241,280	129,920	25,920			1,647,040
INGENIERIA DE CONTROL		59,520	126,080	53,120	213,440	362,038	286,080	64,320	23,680			1,188,278
OPERACIÓN Y ASISTENCIA TECNICA	14,080	96,320	108,800	112,640	45,120	74,240	60,480	70,720	56,640	4,800		643,840
DISEÑO DECAMBIADORES DE CALOR		185,600	466,240	48,640	9,600	9,600	25,600					745,280
DISEÑO DE EQUIPOS DE COMBUSTION		153,600	180,800	27,200	179,840	170,880						712,320
TOTAL	471,040	2,419,200	3,369,920	2,026,880	2,114,880	3,188,918	2,506,880	1,300,160	858,240	169,920		18,426,038

3.3 RECEPCIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA

3.3.1 Desarrollo de la ingeniería Básica

La Ingeniería Básica del Proceso es aquella ingeniería que se refiere a saber como se elabora un producto (know how), en Petróleos Mexicanos esta Ingeniería se adquiere por diferentes medios:

- A) Cuando se trata de procesos de dominio público, estos pueden contratarse con una Firma de Ingeniería Mexicana.
- B) Cuando se trata de procesos que requieren del pago de regalías por el uso de una determinada patente, normalmente se acude a Licenciadores Extranjeros.

A pesar del esfuerzo que Petróleos Mexicanos está haciendo a través del Instituto Mexicano del Petróleo para el desarrollo de procesos, aún se tiene que comprar en el extranjero Ingeniería Básica con tecnología de punta de variados procesos. El desarrollo de éstos, es una labor difícil y costosa, y corresponde al ingeniero Químico su desarrollo. Es importante también hacer ver que aún en los países altamente desarrollados en este campo se importan con mucha frecuencia licencias extranjeras.

3.3.2 Selección de un Proceso.

En Petróleos Mexicanos la selección de un proceso, si este se requiere adquirir en el extranjero, se efectúa en base a un Concurso Internacional.

Si las condiciones comerciales son atractivas, tratándose de un proceso en el cual se cuente con buena experiencia, la selección es fácil; si no existen las condiciones anteriores o se trata de la fabricación de un producto nuevo, la selección se lleva a cabo, haciendo un estudio técnico-económico en base a las ofertas obtenidas para determinar la inversión inicial, los gastos de operación y las conveniencias técnicas en cada caso. Para constatar las ventajas técnicas, se efectúa una investigación directa por medio de visitas a unidades similares en operación que el Licenciador preseleccionado haya vendido.

Consideramos que el factor más importante para la selección de un proceso es la confiabilidad de operación de la unidad.

3.3.3 Paquete de Ingeniería Básica.

La documentación que forma el Paquete de Ingeniería Básica es como mínimo la siguiente:

- A) Descripción detallada del Proceso.
- B) Diagrama de Proceso, donde se incluyan balances de materia y energía y condiciones de operación: presión, temperatura, flujo.
- C) Plano General de Localización sugerido.
- D) Lista de Equipo Básico.
- E) Hoja de datos de los Equipos Básicos, y en casos de Equipos Críticos en la operación de la Planta, especificaciones detalladas y dibujos si se requieren para la fabricación de equipos, como es el caso de reactores.
- F) Consumo estimado de Servicios Auxiliares.
- G) Consumo y especificaciones de reactivos químicos y catalizadores.
- H) Una guía de operación de la unidad.

3.3.4 Recepción de la Ingeniería Básica

Durante el desarrollo y para la aceptación de la Ingeniería Básica, Petróleos Mexicanos normalmente envía un Residente a las oficinas del Licenciador, quien sirve de Coordinador entre Petróleos Mexicanos y el Licenciador, y quién verifica en paralelo con personal de la entidad operativa que la información suministrada por el Licenciador sea clara y completa, de tal manera que permita posteriormente el desarrollo sin ningún tipo de problemas de la Ingeniería de Detalle.

Cuando el paquete de proceso entregado por un Licenciador no contiene la información mínima correspondiente al paquete de ingeniería básica, se hace necesario desarrollar un paquete de ingeniería denominado Front End, cuyo alcance de trabajo corresponderá a la ejecución de las actividades de ingeniería que resulten necesarias, de tal manera que complementen la información suministrada por el Licenciador, a fin de poder determinar con mayor grado de precisión las actividades de Ingeniería de Detalle y en consecuencia, proceder con la ejecución de las mismas.

3.4 INFORMACIÓN DEL SITIO

Desde que se elabora el estudio de factibilidad se inicia la definición de la información del proyecto, este es el caso de la capacidad de la planta, las características del producto y materias primas, y la localización de ésta; con esta información se definen muchos de los datos que forman las Bases de Diseño.

Durante el desarrollo del proceso se requiere de algunos de los datos del lugar, como son la presión atmosférica y las temperaturas ambiente, que forman parte de las Bases de Diseño.

En la Ingeniería de Detalle se definen, antes de iniciar las actividades propias de esta fase, todos y cada uno de los datos y condiciones que complementan la información del sitio y que forman las Bases de Diseño, y que podemos agrupar en los siguientes conceptos:

- A) Consideraciones generales al diseño de la planta.
- B) Características de los datos del lugar.
- C) Características de los Servicios Auxiliares.
- D) Características de las obras de infraestructura disponible.

3.4.1 Consideraciones Generales al Diseño de la Planta.

Aquí nuevamente se define la capacidad de la Planta, la flexibilidad de operación deseada, definiendo el factor de servicio de la Unidad en horas por año, se establece en qué condiciones de falla de los Servicios Auxiliares debe seguir operando la unidad.

Se define la necesidad de futuras expansiones, se establecen nuevamente las especificaciones de los productos y materias primas, las condiciones de presión, temperatura, estado físico y gasto o cantidad a que se entregarán al diseñador en un punto dado. Se establecen las Leyes o Reglamentos a los que debe sujetarse el diseño de la planta en lo referente a protección ambiental, seguridad industrial, uso eficiente de la energía, o cualquier otro requisito.

Y por último, se definen algunas de las características que debe tener la Planta, como son: tipo de instrumentos que se emplearán, requerimientos del sistema de control, se definen el sobrediseño de los equipos mecánicos y todas aquellas preferencias del usuario.

3.4.2 Características de los Datos del Lugar.

Para poder diseñar apropiadamente una Unidad es fundamental establecer las condiciones del diseño, una parte de estas condiciones las da el propio proceso, pero otras son funciones de los datos del lugar.

Los datos del lugar son:

Condiciones Climatológicas
Condiciones del Suelo
Factor Sísmico

Las condiciones climatológicas requeridas en nuestro caso son: presión atmosférica, temperatura ambiente máxima promedio, temperatura mínima promedio, temperatura de bulbo húmedo, humedad atmosférica, velocidad máxima del viento, vientos reinantes, vientos dominantes y precipitación pluvial máxima en una hora o 24 horas.

Las condiciones del suelo son definidas por el Estudio de Mecánica de Suelos, y el factor sísmico es característico de cada lugar y se define en los códigos para diseño y construcción de edificios.

Muchas de estas condiciones influyen directamente en el diseño de los equipos, tal es el caso de la presión atmosférica, que se requiere para la selección de sopladores de aire, o bien para determinar el NPSH disponible de equipo de bombeo que succiona productos de un tanque atmosférico, las temperaturas ambiente son indispensables para el cálculo de enfriadores de aire, o el aislamiento de motores eléctricos, diseño de torres de enfriamiento, etc.

La información sobre precipitación pluvial se requiere para diseñar el sistema de drenajes. La velocidad máxima de viento, la zona sísmica y el estudio de mecánica de Suelos, son indispensables para el diseño de las estructuras, cimentaciones y espesor de recipientes, torres y reactores, en algunos casos.

3.4.3 Características de los Servicios Auxiliares.

Antes de iniciar la Ingeniería de la Planta, es necesario definir las características de los Servicios Auxiliares que se emplearán en la unidad, estos son:

- A) Niveles y características de la corriente eléctrica, confiabilidad y disponibilidad.
- B) Niveles y características del vapor y disponibilidad.
- C) Características del agua de enfriamiento, agua contra incendio, agua para beber, agua para proceso, y para servicios sanitarios.

- D) Fuente de suministro y análisis de agua cruda.
- E) Disponibilidad y características de combustibles.
- F) Características del aire de instrumentos, aire de planta o gas inerte, si lo requiere el proceso.

3.4.4 Características de las obras de infraestructura disponible.

Es de mucho interés conocer la disponibilidad y características de las obras de infraestructura tal como: carreteras, vías y espuelas de ferrocarril, aeropuertos, puertos, etc., las cuales quedan definidas en las Bases de Diseño.

Si la Unidad se está diseñando para una refinería o complejo petroquímico existente, es también importante revisar la capacidad de talleres, bodegas, almacenamientos de materias primas y productos; si se trata de una refinería o de un complejo nuevo, lógicamente se deben considerar todos estos servicios en el proyecto, que frecuentemente se dejan para lo último y resultan a menudo la parte crítica de la puesta en marcha del proyecto.

3.5 CRITERIOS Y BASES DE DISEÑO

En el desarrollo de un proyecto industrial, una vez que se ha hecho la elección del sitio en donde se instalará la planta de proceso, y antes del inicio de la etapa de ingeniería básica, deberán quedar definidos los criterios que aplicarán en el diseño del proceso y del equipo principal, así como los datos y condiciones correspondientes al diseño de la planta.

Posteriormente, y previo al inicio de la etapa de ingeniería de detalle, la información de diseño se complementará con los datos específicos del lugar, los de los sistemas de servicios auxiliares, así como la información referente a las obras de la infraestructura disponible.

Contractualmente, la anterior información queda establecida en los documentos correspondientes a criterios de diseño y bases de diseño, que se comentan a continuación.

3.5.1 Criterios de Diseño.

La finalidad de este documento consiste en establecer e informar la aplicación de todos aquellos criterios que se deben considerar en el diseño del proceso y equipo principal.

Algunos de estos lineamientos son considerados como estándares de diseño de equipo, y como tal deberán aparecer en las especificaciones generales de proceso y en los requisitos específicos, por lo que no es necesario mencionarlos en el documento de Criterios de Diseño, a menos que se presente una excepción en su aplicación.

Las prácticas recomendadas en la Ingeniería Básica cubren tanto aspectos generales de la planta, como parámetros particulares de los equipos:

Criterios generales.

- a) Criterios de sobrediseño de equipo.
- b) Expansiones futuras de planta.
- c) Criterios para absorber cambios en alimentación en las condiciones de operación.

Criterios de equipo:

- a) Flux máximo en calentadores a fuego directo.
- b) Velocidad de flujo en cambiadores de calor.
- c) Requerimientos especiales de materiales de construcción.

3.5.2 Bases de Diseño.

En las bases de diseño se establece toda la información técnica necesaria para desarrollar la ingeniería del proyecto. Para contar con el documento final de bases de diseño, debe seguirse un procedimiento que establece el ordenamiento de los datos y la forma de obtenerlos.

El primer paso a seguir para la elaboración de las bases de diseño, es llenar el Cuestionario de Bases de Diseño, este paso normalmente se lleva a cabo en la "Junta de Arranque" de un proyecto, en la cual se reúnen los representantes de la firma de ingeniería (Jefe de Proyecto) con el cliente.

Un Cuestionario de Bases de Diseño generalmente contiene:

- a) Nombre de la planta o proyecto
- b) Datos de localización de la planta
- c) Función de la planta
- d) Tipo de proceso
- e) Capacidad, rendimiento y flexibilidad
- f) Especificaciones de las alimentaciones
- g) Especificaciones de los productos
- h) Condiciones de las alimentaciones en límites de batería
- i) Condiciones de los productos en límites de batería
- j) Eliminación de desechos
- k) Instalaciones requeridas de Almacenamiento
- l) Condiciones y especificaciones de Servicios Auxiliares
- m) Sistemas de Seguridad
- n) Condiciones Climatológicas
- o) Localización de la planta
- p) Bases de Diseño Eléctrico
- q) Bases de Diseño de tuberías
- r) Bases de Diseño Civil
- s) Bases de Diseño para Instrumentación
- t) Bases de Diseño para Equipo
- u) Normas, Códigos y Especificaciones

El Cuestionario de Bases de Diseño es un documento que establece en forma ordenada y objetiva toda la información que se requiere para iniciar el diseño de una planta de proceso y que después servirá de base para elaborar el documento final.

Es muy importante contar con un procedimiento para su elaboración, revisión, aprobación y manejo, el cual dependerá de las políticas de la compañía que desarrollará el proyecto.

El procedimiento fijará como guía el número de revisiones de las Bases de Diseño que deberán ser emitidas en el transcurso de un proyecto, así como de información mínima que debe incluirse en cada una de ellas, esto sin ser algo limitativo, ya que de hecho, el cliente es quien proporciona la mayor parte de la información cuando contesta el Cuestionario de Bases de Diseño. El Jefe de Proyecto de la firma de ingeniería es el responsable del manejo de este documento.

ENCUESTARIO PARA LA ELABORACIÓN DE BASES DE DISEÑO.

Cliente _____
Nombre de la Planta _____
Localización _____
Proyecto del Cliente _____

1. Generalidades

1.1 Función de la planta

1.2 Tipo de proceso

2. Capacidad, rendimiento y flexibilidad.

2.1 Factor de servicio _____

2.2 Capacidad y rendimiento

a) Diseño _____

b) Normal _____

c) Mínimo _____

d) Nominal _____

2.3 Flexibilidad.

La planta deberá seguir operando bajo las siguientes condiciones anormales:

a) Falla de electricidad: Si _____ No _____

Observaciones: _____

b) Falla de vapor: Si _____ No _____

Observaciones: _____

c) Falla de aire: Si _____ No _____

Observaciones: _____

d) Otras: _____

2.4 ¿Se requiere aumentos de capacidad en futuras ampliaciones?

3 Especificaciones de las alimentaciones de proceso:

Listar las diferentes alimentaciones a la planta, indicando para cada una de ellas su composición, impurezas, flujo, disponibilidad y costo.

4. Especificaciones de los productos.

Indicar las especificaciones y/o composición que deberán tener los productos de la planta, (haciendo referencia a las pruebas analíticas estándar cuando aplique) así como el flujo requerido.

5. Alimentaciones a la planta.

5.1 Condiciones de las alimentaciones en límite de batería.

Alimentación	Estado Físico	Presión man (Kg/cm ²) Max/Nor/Min.	Temperatura (°C) Max/Nor/Min	Forma de Recibo*	Procedencia
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

5.2 Definir los elementos de seguridad existentes que protegen a las líneas de alimentación.

* (Tubería, cilindros, carrostanque, etc.)

6. Condiciones de los productos en límites de batería:

Producto	Estado Físico	Presión man (Kg/cm ²) Max/Nor/Min	Temperatura (°C) Max/Nor/Min	Forma de entrega*	Destino
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

*(Tubería, cilindros, carrostanque, etc)

7. Eliminación de desechos.

7.1 Normas y requerimientos respecto a la pureza de:

- a) Agua _____
- b) Aire _____

c) Otros _____

7.2 Sistemas preferidos de eliminación de desechos.

8. Instalaciones requeridas de almacenamiento.

8.1 Alimentaciones _____

8.2 Productos _____

9. Servicios auxiliares.

9.1 Vapor.

¿Existe vapor disponible en límite de batería?

Si _____ No _____

En caso afirmativo favor de llenar los puntos 9.11, 9.12 y 9.13.

En caso negativo llenar el punto 9.1.4.

9.1.1 Vapor de alta presión en L.B.

	min.	norm	max.
Presión	_____	_____	_____
Temperatura	_____	_____	_____
Calidad	_____	_____	_____
Disponibilidad	_____	_____	_____

Costo _____

9.1.2 Vapor de media presión en L.B.

	min.	norm.	max.
Presión	_____	_____	_____
Temperatura	_____	_____	_____
Calidad	_____	_____	_____
Disponibilidad	_____	_____	_____
Costo	_____	_____	_____

9.1.3 Vapor de baja presión en L.B.

	min.	norm.	max.
Presión	_____	_____	_____
Temperatura	_____	_____	_____
Calidad	_____	_____	_____
Disponibilidad	_____	_____	_____
Costo	_____	_____	_____

9.1.4 En caso de requerirse generación adicional para exportación, indicar cantidad y para qué niveles.

	Baja presión	nivel de vapor Media presión	Alta presión
Presión	_____	_____	_____
Temperatura	_____	_____	_____
Calidad	_____	_____	_____
Cantidad	_____	_____	_____

9.2 Retorno de condensado.

9.2.1 Condensado de alta presión en L.B.

Presión mínima _____
 Temperatura máxima _____

9.2.2 Condensado de media presión en L.B.

Presión mínima _____
 Temperatura máxima _____

9.2.3 Condensado de baja presión en L.B.

Presión mínima _____
 Temperatura máxima _____

9.2.4 Extensión de la recuperación de condensado.

9.3 Agua de enfriamiento.

Fuente de suministro _____
 Sistema de enfriamiento _____
 Presión de entrada en L.B. _____
 Temperatura de entrada en L.B. _____
 Disponibilidad _____
 Presión de retorno en L.B. (Min.) _____
 Temperatura de retorno en L.B. (Máx.) _____
 Factor de incrustación para cambiadores de calor _____

Analisis.

PH _____
 Silice como SiO₂, ppm _____
 Sólidos disueltos totales como Ca CO₃, ppm _____
 Dureza total como Ca CO₃, ppm _____
 Alcalinidad total como Ca CO₃, ppm _____
 Costo _____
 Información adicional _____

9.4 Agua para servicios y usos sanitarios

Fuente de suministro _____
 Presión en L.B. _____
 Temperatura en L.B. _____
 Disponibilidad _____
 Costo _____

9.5 Agua potable.

Análisis químico.

Análisis bacteriológico.

Presión en L.B. _____
Temperatura en L.B. _____
Disponibilidad _____

9.6 Agua contraincendio.

Presión en L.B. _____
Disponibilidad _____

9.7 Agua para caldera.

Análisis _____
PH _____
Dureza total como Ca CO₃, ppm _____
Silice como SiO₂, ppm _____
Contenido de O₂, ppm _____
Contenido de CO₂, ppm _____
Sólidos disueltos totales como Ca CO₃, ppm _____
Alcalinidad _____
Presión en L.B. _____
Temperatura en L.B. _____
Disponibilidad _____
Costo _____

9.8 Agua de proceso.

Fuente de suministro _____
PH _____
Análisis _____
Contenido de gases disueltos _____

Alcalinidad _____
Sílice como Si O₂, ppm _____
Presión en L.B. _____
Temperatura en L.B. _____
Disponibilidad _____
Ca ++ _____
Mg ++ _____
K + _____
Na + _____
Cl - _____
NO₃ - _____
NO₂ - _____
SO₄ = _____
H CO₃ - _____
Costo _____

9.9 Aire de instrumentos.

Suministrado _____
Generado _____

Indicar si se integrará a algún sistema general fuera de L.B.

Si _____ No _____

Capacidad extra requerida _____
Presión del sistema _____
Punto de rocío _____
Impurezas (hierro, aceite, etc.) _____

9.10 Aire de planta.

Suministrado _____
Generado _____

Indicar si se integrará a algún sistema general fuera de L B.

Si _____ No _____

Capacidad extra requerida _____
Presión del sistema _____
Impurezas _____

9.11 Combustible.

9.11.1 Gas

Fuente de suministro _____
Naturaleza _____
Composición base húmeda _____

Peso molecular _____
Densidad relativa _____
Poder calorífico bajo (L.H.V.) _____
Presión en L.B. _____
Temperatura en L.B _____
Disponibilidad _____
Costo _____

9.11.2 Líquido

Fuente de suministro _____
Naturaleza _____
Análisis químico _____

Azufre _____
Carbón _____
Metales _____
Peso específico _____
Viscosidad _____
Poder Calorífico Bajo (L.H.V.) _____
Presión en L.B _____
Temperatura en L B _____
Disponibilidad _____
Costo _____

9.11.3 Sólido.

Fuente de suministro _____
Naturaleza _____
Composición base húmeda _____

Densidad real _____
Densidad aparente _____
Tamaño de partícula _____
Poder calorífico bajo (L H.V.) _____

Forma de entrega _____
Disponibilidad _____
Costo _____

9.12 Refrigeración

Naturaleza del Refrigerante _____
Composición _____

Forma de entrega en L.B. _____
Temperatura en L.B. _____
Disponibilidad _____

9.13 Inertes.

Naturaleza _____
Composición _____

Forma de entrega en L.B. _____

Presión en L.B. _____
Temperatura en L.B. _____
Disponibilidad _____

9.14 Alimentación de Energía Eléctrica

Fuente (s) de Suministro _____

Interrupciones: Frecuencia _____ veces/año
Duración máxima _____ Promedio: _____
Causas _____

Tensión _____
Número de fases _____
Frecuencia _____
Capacidad interruptiva de corto circuito _____
Factor de potencia, min. _____
Número de conductores _____
Material del conductor _____
Aislamiento del conductor _____
Diámetro del ducto _____
Material del ducto _____
Acometida (Subterránea o Aérea) _____

Nivel y coordenadas de la acometida _____

Costo _____

9.15 Alimentación de Energía Eléctrica de Emergencia.

Fuente de suministro _____

Tensión _____

Número de fases _____

Frecuencia _____

Capacidad interruptiva de corto circuito _____

Número de conductores _____

Sección de conductores _____

Material del conductor _____

Aislamiento del conductor _____

Acometida (Subterránea o Aérea) _____

Nivel y coordenadas de la acometida _____

9.16 Teléfonos.

Criterio de comunicaciones externa e interna.

Número de hilos _____

Sección de hilos _____

Capacidad disponible de conmutador (si existe) _____

Acometida (Subterránea o Aérea) _____

9.17 Desfogue.

Responsabilidad de diseño del IMP

Hasta L.B. Si _____ No _____

Hasta el quemador Si _____ No _____

Características de los cabezales disponibles fuera de L.B.

Número _____

Diámetro _____

Especificación _____

Flujo máximo actual _____

Máximo posible _____

Temperatura _____

Causas de desfogue _____

Características del quemador _____

Contrapresión en L.B. _____

10. Sistema de Seguridad.

10.1 Sistemas contraincendio.

Normas o criterio de diseño para:

Red contraincendio. _____

Equipo móvil y portátil _____

Rociadores _____

Cámaras de espuma _____

10.2 Protección personal

Duchas Si _____ No _____

Tomas de aire Si _____ No _____

Otros _____

11. Condiciones climatológicas.

11.1 Temperatura

De ser posible adjuntar un registro diario de temperaturas de los últimos 5 años, si no, llenar el siguiente cuestionario

Máxima extrema _____

Mínima extrema _____

Máxima promedio _____

Mínima promedio _____

Promedio _____

Promedio del mes más caliente _____

Promedio del mes más frío _____

De bulbo húmedo promedio _____

11.2.1 Estadística pluvial

De ser posible adjuntar un registro de precipitación de los últimos 5 años: si no llenar el cuestionario siguiente:

Precipitación pluvial _____
 Horaria máxima _____
 Máxima en 12 ó 24 horas _____
 Anual media _____

11.2.2 Estadística de tormentas eléctricas.

Número de tormentas en cada mes:

Enero _____ Febrero _____ Marzo _____ Abril _____
 Mayo _____ Junio _____ Julio _____ Agosto _____
 Sept. _____ Octubre _____ Nov. _____ Dic. _____

11.3 Viento.

Dirección de los vientos dominantes, De _____ a _____
 Dirección de los vientos reinantes, De _____ a _____
 Velocidad media _____
 Velocidad máxima _____

11.4 Humedad.

Máxima _____ a _____ °C
 Mínima _____ a _____ °C

11.5 Atmósfera

Presión atmosférica _____
 Atmósfera corrosiva Si _____ No _____
 Contaminantes _____

12. Localización de la planta

Adjuntar plano de localización de la planta.

12.1 Coordenadas de limites de batería _____

12.2 Elevación de la planta sobre el nivel del mar _____

12.3 Previsiones para facturas ampliaciones _____

13. Bases de Diseño Eléctrico.

13.1 Código para clasificación de áreas.

13.2 Resistividad eléctrica del terreno:

Promedio _____ Máxima _____ Mínima _____

13.3 Características de la alimentación a motores.

POTENCIA HP	VOLTS	FASES
De _____ a _____	_____	_____
De _____ a _____	_____	_____
De _____ a _____	_____	_____
De _____ a _____	_____	_____

13.4 Corriente para alumbrado.

Volts _____ Fases _____

13.5 Corriente para instrumentos de control.

Volts _____ Fases _____

13.6 Distribución de corriente dentro de L.B. (aérea o Subterránea)

14. Bases de Diseño para Tuberías.

14.1 Soportes de tubería y trincheras

Tipo de soportes _____
 Requerimientos especiales de altura de soportes en L.B. _____

¿Se permite el uso de trincheras? Si _____ No _____

14.2 Drenajes.

Tipos de drenaje	Receptor	Material preferido	Elevación en L.B.
Aceitoso	_____	_____	_____
Pluvial	_____	_____	_____
Sanitario	_____	_____	_____
Químico	_____	_____	_____

14.3 Dibujos.

Tipo de dibujos que se desean:

Plantas y elevaciones	Si _____	No _____
Isométricos de tubería de Acero al Carbón	Si _____	No _____
Isométricos de tubería de Inoxidable	Si _____	No _____
Despieces de tubería de Acero al carbón	Si _____	No _____
Despieces de tubería de Inoxidable	Si _____	No _____

15. Bases de Diseño Civil

15.1 Solicitaciones por viento y sismo.

15.1.1 ¿Se acepta el uso del "Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E."?

Sismo Si _____ No _____
 Viento Si _____ No _____

15.1.2 Solicitaciones por viento.

(No aplica en caso de aceptarse el uso del Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E.).

ALTURA PRESION SOBRE UN PLANO PERPENDICULAR
 EN KG/CM²

15.1.3 Solicitaciones por Sismo.

(No aplica en caso de aceptarse el uso del Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E.).

TIPO DE ESTRUCTURA	COEFICIENTE SISMICO
_____	_____
_____	_____
_____	_____

15.2 Nivel de piso terminado _____

15.3 Nivel Freático _____

15.4 Información general sobre el tipo de suelo _____

15.5 Tipo de edificios o construcciones que se desean dentro de L.B.

Cuarto de control de instrumentos	Si _____	No _____
Cuarto de control de eléctrico	Si _____	No _____
Oficinas	Si _____	No _____
Sanitarios	Si _____	No _____
Cobertizos para compresoras de Proceso	Si _____	No _____
Cobertizos para compresoras de Aire	Si _____	No _____
Cobertizos para bombas	Si _____	No _____
Otros _____		

16. Bases de Diseño para Instrumentos.

16.1 Sistema de control:
 a) Sistema de control avanzado _____
 b) Sistema de control distribuido _____

16.2 Tipo de señal

16.3 Cableado.

16.4 La consola multipunto de temperatura será montada en:

Consola tipo escritorio _____ tablero _____

16.5 ¿Se requiere totalización continua de flujo de las corrientes de entrada y salida de la planta?

16.6 ¿Se requiere medición y registro de flujos totales de servicios?

¿Con totalización continua? _____

16.7 Definir preferencia de totalizadores.

a) Montado en tablero con señal analógica _____

b) Montado en tablero con señal digital (tipo turbina) _____

c) Local con medidor de desplazamiento positivo

16.8 ¿Se requiere dejar conexiones para medición de flujo de todos los servicios individuales?

(por ejemplo. combustible a calentadores, agua a enfriadores)

16.9 ¿Hasta que grado de medición de temperatura deberán ser equipados los intercambiadores de calor?

Sólo termopozo _____ Indicadores de temperatura _____

16.10 ¿Además de los analizadores de corrientes continuas necesarias para el proceso, qué analizadores adicionales se requieren?

16.11 La calibración de la instrumentación será en las siguientes unidades:

Presión lb/pulg² _____ KG/CM² _____ Bars _____

Pascal _____

Temperatura °F _____ °C _____ °R _____ °K _____

	Métrica	Inglesa
Flujo de líquidos	_____	_____
Vapor	_____	_____
Vapor de agua	_____	_____
Reactivos	_____	_____
Agua	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

17. Bases para Diseño de Equipo.

17.1 Compresores.

Tipo preferido de compresores _____
 Tipo preferido de accionadores _____
 Sobrediseño deseado _____

17.2 Bombas.

Tipo de accionadores _____
 Sobrediseño deseado _____

17.3 Cambiadores de calor.

Información disponible sobre factores de incrustación determinados en operación. _____

17.4 Enfriadores de aire

18 5 Normas, códigos y especificaciones (Del cliente o de la firma de ingeniería).

3.6 NECESIDADES DE INFORMACION Y COMUNICACIÓN INTERDISCIPLINARIA.

En la ejecución de proyectos de ingeniería multidisciplinarios, el manejo de la información así como la comunicación entre los diferentes especialistas participantes en los trabajos es primordial para el buen desarrollo de los mismos.

Así como el Jefe de Proyecto, debe estar informado de todo lo que acontece en un proyecto y mantenerse comunicado internamente con todas las áreas técnicas y administrativas que participan en el mismo trabajo (aparte de la comunicación que debe guardar externamente tanto con el cliente como con los diferentes proveedores de equipo y materiales), los responsables de cada especialidad deberán mantenerse informados de las últimas revisiones que guardan los documentos que ellos requieren para desarrollar las actividades que son su responsabilidad dentro del alcance global de trabajo del proyecto. Lo anterior se logra mediante una buena comunicación a través del Jefe de Proyecto o de sus ingenieros coordinadores, o si el caso lo amerita, en reuniones sancionadas por el Jefe de Proyecto, directamente de los especialistas que generan los documentos requeridos para poder desarrollar sus actividades y editar los documentos que le corresponden.

A continuación, se mencionan tanto las actividades o documentos de control como los diferentes tipos de reuniones o acciones a tomar, que es necesario tener en consideración como apoyo de las actividades de cada una de las especialidades participantes en la ejecución de un proyecto de ingeniería multidisciplinario.

3.6.1 Información general del proyecto.

Antes del inicio de los trabajos de un proyecto, una visita al sitio de la obra por parte del Jefe de Proyecto y de los responsables de especialidad, permitirá conocer aspectos particulares como: topografía del terreno, construcciones vecinas, soporterías de integración, requerimientos de seguridad para la obra a instalarse, etc., lo cual redundará en el desarrollo de un mejor diseño de la ingeniería requerida.

Cada área de especialistas necesita conocer a detalle el alcance del trabajo por ejecutar, con lo que podrán definir los límites a los que se circunscribirán los trabajos de diseño.

Con las bases de diseño se definen los criterios que aplicarán en el diseño del proceso y del equipo principal, así como los datos y condiciones correspondientes al diseño de la planta.

El estimado de H-H y la definición de los planos a elaborar, es la parte de la planeación del trabajo de ingeniería que permite, por una parte, conocer a los especialistas las H-H con que cuentan para desarrollar sus trabajos comprometidos así como el tiempo establecido para su ejecución; y por la otra parte, ayuda al Jefe de Proyecto en el control, tanto del tiempo (mediante el programa general de trabajo) como del costo (por medio del control de H-H de la ingeniería así como su estimado y control de costo).

Asimismo, mediante la definición de un criterio de avance de planos, se uniformiza el criterio de todas las personas que intervienen en el proyecto en lo referente a la estimación de avances, y de esta manera, evitar valuaciones por arriba o abajo de la realidad.

El control de la información, permite conocer con que información se cuenta, en forma ordenada cronológicamente y por proveedores y/o equipos.

Mediante el manejo de la Bitácora de Diseño, se puede llevar un registro total de las instrucciones y acuerdos que se toman sobre la marcha en el desarrollo de un proyecto, y garantiza que dicha información sea conocida en forma inmediata por todas las personas involucradas.

La proyección de personal es el documento que permite planear y vigilar que el proyecto en todo momento cuente con el personal necesario, para marchar con el ritmo planeado.

3.6.2 Información específica por actividad.

La información predecesora, es la información necesaria para desarrollar una actividad. Disponer de la información básica de secuencias o bien de la matriz de precedencias en donde están definidas todas las actividades posibles de realizar en un proyecto, así como aquellas que son requeridas para dar inicio a una actividad en particular. Es necesario no iniciar la actividad en estudio sin antes haber concluido la última que le antecede.

Se muestran como ejemplo unos diagramas esquematizados de información básica necesaria en el desarrollo de un proyecto, que nos indican la información requerida para desarrollar cada actividad.

Asimismo, se muestra un diagrama de flujo de información durante el desarrollo de un proyecto, en donde se indica como desde el inicio de un proyecto se van generando los diferentes documentos, tomando como base la definición de las bases de diseño, la propuesta de un esquema de proceso y, a partir de este, el desarrollo de la ingeniería básica con la emisión del diagrama de flujo de proceso, el diagrama de balance de servicios auxiliares y las hojas de datos de torres, recipientes, reactores, bombas, cambiadores de calor, compresores, etc.; información que a su vez sirve de base para elaborar

el plano de localización general, así como los planos mecánicos de calentadores a fuego directo, cambiadores de calor, torres, recipientes, reactores, tanques atmosféricos, filtros. Por otra parte se tienen los diagramas de tubería e instrumentación de proceso y servicios auxiliares.

Las hojas de datos dan paso a las hojas de especificación de bombas y compresores. Los planos mecánicos de equipo y el plano de localización general son la precedencia para poder iniciar:

- los planos civiles, tales como, cimentaciones de equipo, pavimentos, edificios, soportería de tubería, estructuras, plataformas, escaleras, drenajes, etc.
- planos de tuberías, como son: plantas y elevaciones, isométricos, tubería subterránea, sistema contra incendio, estudio de puentes, localización de boquillas, etc.
- planos eléctricos (los cuales también requieren de los diagramas de tuberías e instrumentación para su elaboración): clasificación de áreas, tierras y apartarrayos, diagramas de control, sistema general de fuerza, alumbrado en equipos, coordinación de protecciones, diagrama unifilar, etc.
- por último, teniendo como precedencia los diagramas de tubería e instrumentación tanto de proceso como de servicios auxiliares, se obtienen las hojas de especificación de instrumentos, válvulas de control, válvulas de relevo, definición de los sistemas de control distribuido, etc.

3.6.3 Comunicación.

La junta de arranque del proyecto permite presentar a todas las personas que estarán involucradas en el proyecto, acerca de las características del mismo, y sentar las bases principales en que se apoyará el diseño.

La revisión semanal del estado del proyecto se efectúa entre el Jefe de Proyecto y los responsables de cada especialidad, permite conocer semanalmente el estado de los trabajos de cada grupo, así como sus necesidades tanto de información como de personal.

La junta quincenal con el cliente permite mantener informado al cliente del estado del proyecto y conocer sus indicaciones o peticiones en los aspectos de importancia en el proyecto.

En las juntas de depuración de documentos de proyecto, participan con el Jefe de Proyecto las especialidades que originan los documentos así como las que requieren de esta información como precedencia para desarrollar sus documentos comprometidos en el alcance de los trabajos.

Los documentos que se discuten en juntas de depuración son los siguientes:

Cuestionario de bases de diseño
Diagrama de flujo de proceso
Plano de localización general de equipo
Diagramas de tubería e instrumentación de proceso
Diagramas lógicos de control
Sistema de desfogue
Plano de derechos de vía de rutas subterráneas de tubería, drenajes y acometidas eléctricas respecto a las cimentaciones en general.

Por otra parte, el chequeo cruzado de la información generada, permite que el diseño de cada fase sea congruente con el de los demás y evitar errores por interferencias o malas interpretaciones.

FIRMA DE INGENIERIA
MATRIZ DE PRECEDENCIAS DE CAMBIADORES DE CALOR
PROYECTO "A"

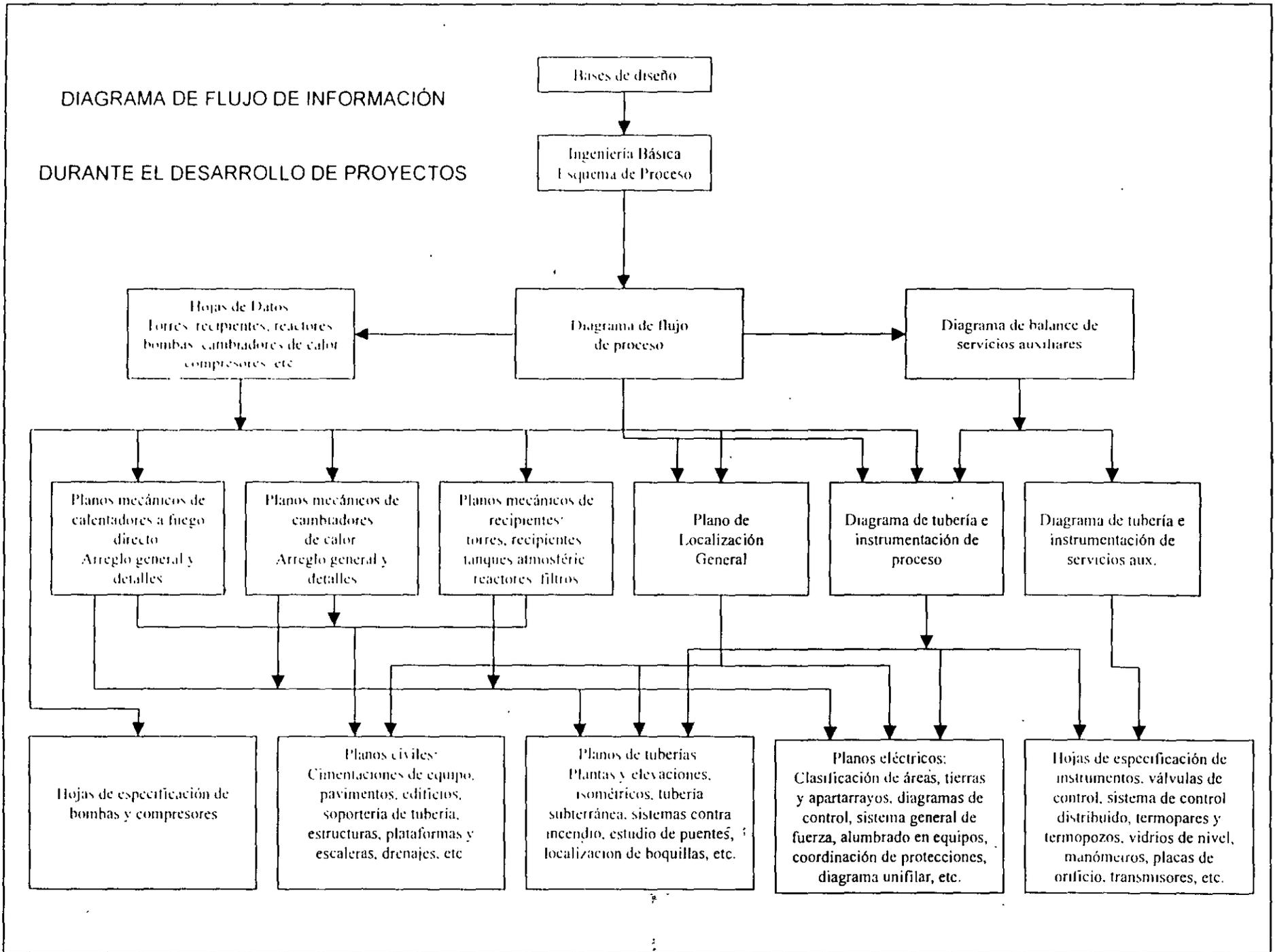
NO.	DESCRIPCION	DURACION (DIAS)	PREDECESOR
1	Diseño Mecánico y Térmico de Intercambiadores de Calor	42	Información de proceso para transferencia de calor
2	Requisición de Intercambiadores de Calor	10	Diseño Mecánico y Térmico de Intercambiadores de Calor
3	Tabulación Técnica de Intercambiadores de Calor	20	Recepción de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor Preselección de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor
4	Revisión de Dibujos de Fabricante de Intercambiadores de Calor	10	Recepción de Dibujos de Fabricante de Intercambiadores de Calor
5	Solicitud Cotización de Intercambiadores de Calor	5	Requisición de Intercambiadores de Calor
6	Recepción de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor	21	Pedido Cotización de Intercambiadores de Calor
7	Preselección de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor	10	Recepción de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor
8	Tabulación Comercial de Intercambiadores de Calor	10	Tabulación Técnica de Intercambiadores De Calor Preselección de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor
9	Aclaraciones de Intercambiadores de Calor con el Fabricante.	10	Preselección de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor
10	Carta de Intento de Intercambiadores de Calor	2	Tabulación Técnica de Intercambiadores de Calor Tabulación Comercial de Intercambiadores de Calor Aclaraciones de Intercambiadores de Calor con el Fabricante.
11	Orden de Colocación de Intercambiadores de Calor	5	Carta de Intento de Intercambiadores de Calor Recepción de Cotizaciones de Intercambiadores de Calor Tabulación Comercial de Intercambiadores de Calor
12	Manufactura y Entrega de Intercambiadores de Calor	168	Orden de Colocación de Intercambiadores de Calor
13	Recepción de Dibujos de Fabricante de Intercambiadores de Calor	21	Orden de Colocación de Intercambiadores de Calor

FIRMA DE INGENIERIA
MATRIZ DE PRECEDENCIAS DE CAMBIADORES DE CALOR
PROYECTO "A"

NO.	DESCRIPCION	DURACION (DIAS)	PREDECESOR
14	Diseño Térmico y Mecánico de Rehervidores/Condensadores.	42	Información de proceso para transferencia de calor
15	Requisición Rehervidor/Condensador	5	Diseño Térmico y Mecánico de Rehervidores/Condensadores.
16	Tabulación Técnica de Rehervidor/Condensador	20	Recepción de Cotización de Rehervidor/Condensador Preselección de Cotización Rehervidor/Condensador
17	Revisión de Dibujos de Fabricante de Rehervidor./Condensador.	10	Recepción de Dibujos del Fabricante de Rehervidor/Condensador
18	Solicitud Cotización de Rehervidor./Condensador.	5	Requisición Rehervidor/Condensador
19	Recepción de Cotización de Rehervidor/Condensador	21	Pedido Cotización de Rehervidor./Condensador
20	Preselección de Cotización Rehervidor/Condensador	10	Pedido Cotización de Rehervidor./Condensador
21	Tabulación Comercial de Rehervidor/Condensador	10	Tabulación Técnica de Rehervidor/Condensador Preselección de Cotización Rehervidor/Condensador
22	Aclaraciones de Rehervidor/Condensador con el Fabricante	10	Preselección de Cotización Rehervidor/Condensador
23	Carta de Intento de Rehervidor/Condensador	2	Tabulación Técnica de Rehervidor/Condensador Tabulación Comercial de Rehervidor/Condensador Aclaraciones de Rehervidor/Condensador con el Fabricante.
24	Orden Colocación Rehervidor/Condensador	5	Recepción de Cotización de Rehervidor/Condensador Tabulación Comercial de Rehervidor/Condensador Carta de Intento de Rehervidor/Condensador
25	Manufactura y Entrega de Rehervidor/Condensador	168	Orden Colocación Rehervidor/Condensador
26	Recepción de Dibujos del Fabricante de Rehervidor/Condensador	21	Orden Colocación Rehervidor/Condensador

DIAGRAMA DE FLUJO DE INFORMACIÓN

DURANTE EL DESARROLLO DE PROYECTOS



3.7 PROCESO DE MEJORA CONTINUA Y CALIDAD

3.7.1 El Mejoramiento Continuo

El mejoramiento continuo ha sido un pilar fundamental para el desarrollo y evolución de lo que ahora se conoce como calidad total, cuyo origen se podría ubicar en el enfoque del mejoramiento continuo (Shewart) que se orientaba hacia la reducción constante de la variabilidad de los procesos, debido a que consideraban a ese factor como el principal causante de los problemas relacionados con la falta de calidad en aquellos tiempos en que la estandarización comenzaba a ser la plataforma de despegue de la industria. Esta idea, como ya se sabe, fue reforzada después por Deming, Taguchi y todos aquellos que han aplicado un enfoque estadístico para el control de la calidad. Sin embargo, poco a poco creció la importancia de mejorar otros procesos, no solamente los productivos, para poder ofrecer un producto y un servicio que diera satisfacción a las necesidades y expectativas del cliente. Así es como Juran, desde principios de los años cincuenta ha impulsado la idea del "mejoramiento proyecto a proyecto". Por otro lado, los japoneses dieron un gran impulso al concepto a través del *kaizen*, que significa mejoramiento continuo, que se debe concretar no solo a procesos productivos sino a todas las operaciones de la empresa, siempre con la orientación hacia la satisfacción del Cliente.

El mejoramiento continuo se logra a través de todas las acciones diarias, por pequeñas que estas sean, que permiten que los procesos y la empresa sean más competitivos en la satisfacción del Cliente. La velocidad del cambio dependerá del número de acciones de mejoramiento que se realicen día a día y de la efectividad con que estas se realicen, por lo que es importante que el mejoramiento continuo sea una idea internalizada por completo en la conducta de todos los miembros de la organización, convirtiéndose en una filosofía de trabajo y de vida. Las personas tienen que estar convencidas del beneficio en lo individual al adoptar esta filosofía, y la organización tiene la responsabilidad de motivarlos para tal efecto, además de procedimientos estandarizados y técnicas de análisis apropiadas para orientar correctamente sus deseos de mejoramiento.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que para ciertos procesos muy utilizados y obsoletos el mejoramiento continuo podría no ser el remedio apropiado, pues involucraría muchos recursos y esfuerzo para mejorar con la velocidad que exige el mercado en que la empresa compite. En casos extremos se aplica el mejoramiento radical, lo que implica la reingeniería de procesos.

Existen dos tipos de programas estándar para el mejoramiento de la calidad de las organizaciones: Las Normas ISO Serie 9000 (o su equivalente BS 5750), y los premios de calidad otorgados a las organizaciones tomando como

base un modelo preestablecido, como los Premios Deming (Japón), Nacional de Calidad (México), Malcom Balridge (Estados Unidos) y Europeo.

3.7.2 Objeto de un programa de mejora continua y calidad

El objeto de contar con un plan de mejora continua para el desarrollo de ingeniería de proyectos es la identificación y realización de acciones a corto, mediano y largo plazos que mejoren la calidad de la ingeniería, así como que los servicios prestados excedan las expectativas del Cliente, generando una mejora tangible a la empresa, tanto en ingresos como en prestigio.

Las acciones tendientes a mejorar la calidad de la ingeniería deberán ser parte de un plan global de mejora continua de la empresa y manejado en paralelo con programas similares y compatibles, como son: el programa de aseguramiento de calidad, calidad total, y otros.

El enfoque de un programa de administración de calidad, del cual el plan de mejora continua forma parte, debe aplicarse de manera simultánea a la administración del proyecto y al producto o productos del proyecto. El omitir el cumplimiento de cualquiera de estos enfoques de calidad, puede tener graves consecuencias para el proveedor del servicio o para el Cliente.

3.7.3 Elementos que comprende un proceso de mejora continua y calidad

En general y salvo variaciones de terminología, la metodología de mejora continua abarca los siguientes elementos que cubren el proceso completo:

Atributos de calidad.- Acorde con las expectativas identificadas inicialmente con el Cliente (especificaciones del servicio y especificaciones del producto), el Proceso de Mejora Continua y Calidad (PMCC) cumplirá con ellas dentro de un marco de normatividad, confiabilidad, consistencia, seguridad y protección ambiental.

Diagnóstico.- Mediante el análisis de las expectativas del Cliente, en relación con los objetivos de calidad de la empresa, determinar la creación del plan de mejora continua tendiente a satisfacer y superar las expectativas del Cliente, ofreciendo una ingeniería de alto contenido tecnológico.

Elaboración del Plan.- Del análisis de expectativas, identificar las acciones a realizarse de manera inmediata, a mediano y a largo plazos, que aseguren el cumplimiento de los atributos de calidad del proyecto en todo su plazo de ejecución.

Determinación de recursos requeridos.- Tomando como base el PMCC, identificar los recursos humanos, financieros, tecnológicos y materiales requeridos durante las diferentes fases del proyecto.

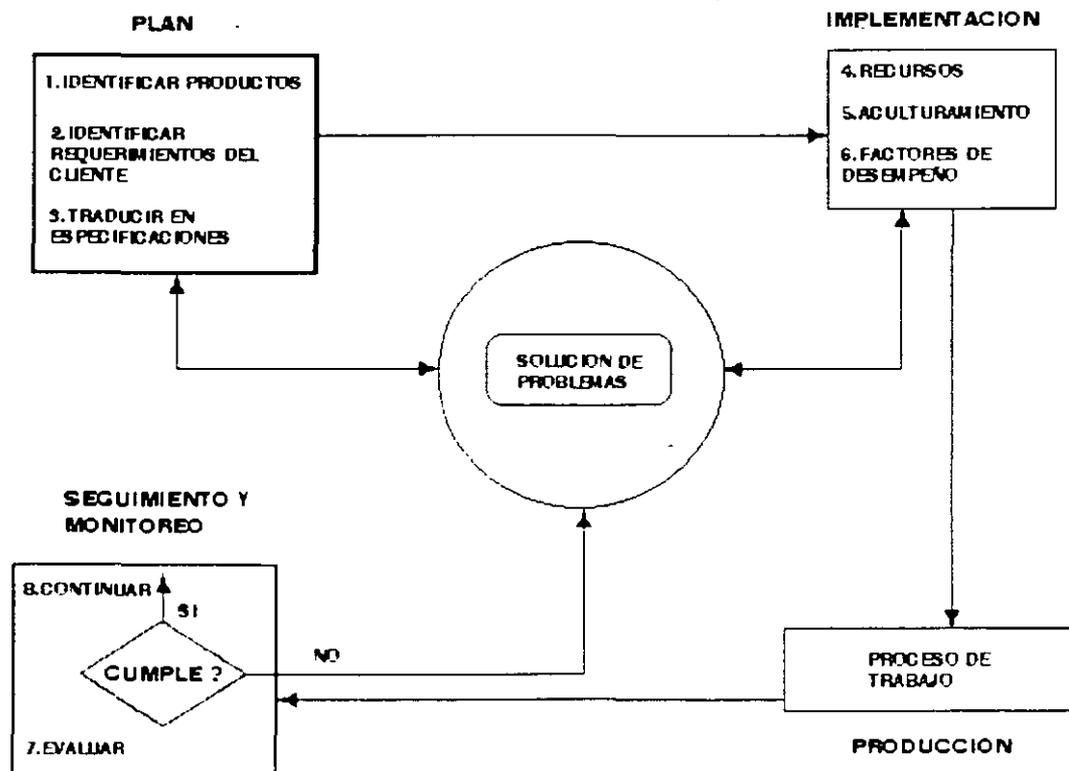
Implementación del plan.- La implementación del plan requiere de la plena difusión del mismo y el aculturamiento del personal participante en sus diferentes niveles. Así mismo, una vez creada la conformación de los grupos, requiere la asignación de recursos y responsabilidades.

Seguimiento y monitoreo.- Para evaluar el comportamiento del PMCC y su efecto en los servicios de ingeniería del proyecto, se deben establecer los factores de desempeño para cuantificar aspectos tales como: frecuencia de errores, revisiones, no conformidades, retrasos, etc., con el propósito de utilizarlos como guías para la toma de decisiones correctivas en su caso.

Se deberá crear el grupo o comité de seguimiento y control del PMCC, definir la documentación para el seguimiento y control, con base en los índices de desempeño establecidos, determinar la programación de juntas de seguimiento y realizar auditorías de control.

Retroalimentación.- Los resultados obtenidos durante el seguimiento y control, servirán para retroalimentar el proceso mediante las acciones de: documentación, identificación de desviaciones del plan, determinación de desviaciones, estado de resultados, reporte y recomendaciones periódicas.

PROCESO DE MEJORA CONTINUA Y CALIDAD



Como se puede observar, este es un proceso cíclico que busca la calidad de lo que se produce y lo verifica constantemente, no como el antiguo concepto de calidad, que se basaba en inspección para discriminar los artículos buenos de los defectuosos. En la actualidad el enfoque se ha dirigido a la administración de la calidad, adicionando en las políticas empresariales principios como los siguientes:

- La calidad la define el Cliente
- La calidad está ligada con la rentabilidad
- La calidad se ha convertido en una arma competitiva
- La calidad es ahora una parte integral del proceso de planeación estratégica
- La calidad requiere un compromiso de toda la organización

Los expertos que más han contribuido internacionalmente al éxito del movimiento de calidad son W. Edwards Deming, Joseph F. Juran y Phillip B. Crosby

3.7.4 Aplicación del programa

El éxito de un plan de mejora continua consiste en que el grupo de administración del proyecto comprenda que la administración moderna de la calidad se complementa con la administración moderna de proyectos. Ambas especialidades deben reconocer la importancia de satisfacer o exceder las necesidades de satisfacción, entendimiento, participación y decisión del Cliente. Esto requiere una combinación de cumplimiento con especificaciones (el proyecto debe producir lo que se dijo que produciría) y ser adecuado para su aplicación (el producto o servicio debe satisfacer una necesidad real).

Puesto que todo programa de calidad tiene entre sus indicadores un indicador económico que se le conoce como "costos de calidad". Estos costos de calidad se clasifican en: a) aquellos que están relacionados con la medición de la calidad y la prevención de la ocurrencia de problemas de la calidad (conocidos como costo de evaluación y prevención de la calidad), y b) los que son consecuencia de la existencia de los problemas de calidad (conocidos como costos por falta de calidad). Es obvio que se debe buscar tener un adecuado balance de verificación, ya que el costo involucrado en evitar errores es siempre menos que el costo por corregirlos, en lo que a ingeniería se refiere.

Además, las iniciativas de mejora continua implementadas por la organización de la empresa (por ejemplo: TQM, Mejora Continua y otras) pueden mejorar tanto la calidad de la administración de la ingeniería, como la calidad del producto de la ingeniería.

Sin embargo, existe una importante verdad que el grupo de administración del proyecto debe tener en cuenta, la naturaleza temporal del proyecto significa que la inversión en mejora de calidad del producto, especialmente detección y prevención de errores, deben ser siempre iniciativas de la compañía, ya que el proyecto no puede durar lo suficiente para recibir la total retroalimentación de las ventajas y recompensas del PMCC.

Cada persona en la empresa juega un papel importante en la administración de calidad. Todos los niveles deben participar activamente para que una organización se convierta en una organización de calidad y, según Deming, la clave para una implementación exitosa de la calidad empieza por los altos niveles. La alta administración debe crear el ambiente de cooperación entre los grupos, derribando las barreras organizacionales.

Dentro del proyecto, el Gerente de Proyecto es el responsable último de la calidad, así como el Director General es el último responsable de la calidad en la empresa. El Gerente de Proyecto selecciona los procedimientos y políticas que mejor encajan en su proyecto, por lo que es quien mantiene el mando en el control de la calidad. De forma semejante, el Gerente de Proyecto debe crear un ambiente que promueva la confianza y la cooperación entre los miembros de su equipo de trabajo.

Los miembros del grupo deben ser entrenados en identificar problemas, recomendar soluciones y en implementar las soluciones recomendadas. También deben tener la autoridad para detener el proceso cuando un producto se encuentre fuera de los parámetros especificados. En otras palabras, deben estar capacitados para en algún momento en el desarrollo del proyecto, detener cualquier actividad que esté fuera de los límites de calidad que fueron establecidos para el proyecto y, posteriormente, trabajar hacia la solución del problema, proponiendo alternativas viables de solución.

3.8 EVALUACION DE LOS AVANCES DE LOS DOCUMENTOS

3.8.1 Objetivo de determinar los avances en documentos

Los documentos de ingeniería tienen diferentes etapas de edición durante la vida de un proyecto. Hay documentos de ingeniería cuyas primeras etapas se emiten durante las fases tempranas del proyecto y sus etapas finales se emiten después de que el proyecto ha avanzado y generado más información. Otros documentos sólo son emitidos hasta que el proyecto se encuentra con cierto avance y la disponibilidad de información es suficiente.

Es importante reconocer que un plano de ingeniería pasa por diferentes etapas, en las cuales progresivamente va acumulando información y va teniendo una utilización diferente en cada una de sus ediciones, según se van cumpliendo sus precedencias parciales de otras especialidades o de externos, como puede ser información de dibujos de fabricante de equipos o resultados de estudios de campo.

El caso de un DTI o un PLG es típico, sus etapas van desde "preliminar", pasando por "para aprobación", siguiendo "para diseño", hasta llegar a su etapa "para construcción".

El hecho de que en cada etapa vaya acumulando información, es indicativo de que los documentos precedentes le van suministrando la información de que se dispone en el momento. La especialidad responsable de la elaboración de los documentos emplea una cantidad de esfuerzo y asignación de recursos en la preparación de cada una de las etapas, siendo en cada caso diferente. Esto se debe a la cantidad de horas que se emplean en cálculos, revisión de dibujos de otras especialidades y de fabricante, juntas de depuración, diseño y dibujo que la especialidad correspondiente requiere para preparar y emitir cada una de las ediciones de sus planos y diagramas.

El objeto de medir avances de los documentos es tener una medida de correlación de progreso del proyecto contra consumo de horas-hombre de una manera lo más representativa posible. De otra manera, existen dos maneras de medir avance: a) si se tomara avance de un plano solo hasta que se concluye al 100%, obtendríamos parámetros que no reflejarían la realidad, porque el avance aparecería muy por debajo del consumo de horas mientras el proyecto llegara a la fase en que la mayoría de los planos fuera editada; b) si se tomara avance en forma subjetiva y sujeta al criterio del especialista, podríamos obtener igualmente información poco confiable y hasta caer en lo opuesto, que la curva de avance apareciera por encima de la del consumo de horas-hombre y se igualarían cuando se concluyera la mayor parte de los planos.

3.8.2 Etapas en la edición de documentos

Las etapas por las cuales puede ir avanzando un diagrama o plano de ingeniería, durante el desarrollo del proyecto, que generan la edición del documento y su distribución entre especialidades y/o al Cliente, son típicamente las siguientes:

- Preliminar
- Para Diseño
- Para Cotización
- Para Aprobación
- Para Construcción
- Como se Construyó

Para cada caso, la especialidad responsable cuenta con la estadística del consumo de horas-hombre, esfuerzo de cada etapa de sus documentos, así como los factores que se involucran, dependiendo del tamaño, tipo y complejidad de la instalación que se diseña.

Es precisamente esa estadística y factores la base para la estimación de las horas-hombre, ya que se hace un cálculo aproximado del número de planos y diagramas de cada tipo que se requerirán durante la ingeniería.

Igualmente, cuando se programa a detalle cada uno de los documentos, las horas-hombre de cada etapa constituyen precisamente su porcentaje parcial respecto al total en el documento.

3.8.3 Definición de los avances parciales

Por ejemplo, en el desarrollo de la ingeniería, tomaremos las etapas típicas de un DTI, asociando los porcentajes parciales de consumo de horas hombre, de donde tomaremos los avances parciales que servirán para medir el cumplimiento del programa de edición de la ingeniería y que también nos da la base para determinar la eficiencia en el uso de los recursos (productividad):

Etapas	Horas-Hombre (Programadas)	% parcial de la etapa
Inicio	10	6
Preliminar	40	24
Para Aprobación	40	24
Para Diseño	20	12
Para Construcción	40	24
Como se construyó	15	10
Total	165	100

Las horas-hombre por etapa de este ejemplo y la forma de acumular el 100 % de avance del documento no son representativas de la realidad, ya que como

se dijo, en cada caso se definirá el esquema particular. Adicionalmente, la Gerencia en concordancia con el Cliente, determinará si se considera el 100% de avance del documento cuando se emita para construcción, dejando la etapa restante fuera de la medición normal de avance de la ingeniería.

Si, durante el desarrollo de la ingeniería, se cuenta con los medios para registrar los consumos reales de horas-hombre por documento, será factible entonces, hacer una medición de la productividad obtenida por la especialidad por documento y global, ya que se podrá obtener el cociente de horas consumidas para lograr el avance de una etapa del plano, entre las horas programadas para dicha etapa (horas-hombre ganadas, según el concepto de Earned Value). Un cociente > 1.0 indica baja eficiencia, mientras que un resultado < 1.0 nos dirá que el valor del producto emitido es mayor que los recursos (horas-hombre) empleadas en su producción.

Para la actividad de emisión de documentos de procura de equipo y material, se tiene una situación de alguna manera semejante a la de planos y diagramas. Se pueden asignar porcentajes parciales a las etapas por las que pasa el trámite de compra de un equipo: emisión de la requisición para concurso, la etapa de tabulación técnica, la tabulación económica, la entrega del pedido, la junta de coordinación, la revisión de dibujos de fabricante, la inspección y pruebas en taller y la recepción en el sitio de la obra.

Por otro lado, existen documentos como los isométricos de tuberías, cuyo avance se determina de manera muy diferente a la de los planos y diagramas. Es una práctica común definir el total de isométricos a emitir para un área, como el 100% de la actividad. Así, el avance de un total de 250 isométricos programados para el área 100, será de 50% cuando hayamos emitido 125 isométricos.

También existen planos de diseño, los que no pasan por diferentes ediciones antes de emitirse para construcción. Es el caso, por ejemplo, de muchos planos típicamente de ingeniería de detalle que toman como base la información de planos, diagramas, datos del lugar de la construcción y que se emiten directamente en una sola edición. Aquí aparecen los planos civiles de diseño de estructuras, cimentaciones, planos de detalles de cortes y fachadas de edificios, etc. Estos planos logran su 100% de avance en esta sola emisión, sin contar las horas requeridas para emitir la edición "como se construyó".

Una combinación de estos mecanismos para medir avance en la emisión de documentos, nos da los elementos para establecer la curva de avance físico de la ingeniería, el programa de consumo de horas-hombre, las cargas de trabajo por especialidad, en fin, una serie de documentos de planeación y posteriormente de seguimiento y control del desarrollo de los trabajos.

3.9 CAMBIOS AL DISEÑO

3.9.1 Alcances del Proyecto

Los cambios al alcance son, por lo general, inevitables aún teniendo la mejor planeación, las mejores bases de diseño y los criterios de diseño perfectamente definidos.

En el contexto del proyecto, el término Alcance se puede referir a:

Alcance del producto – las características y funciones que debe cumplir el producto o servicio contratado.

Alcance del proyecto – el trabajo; en cantidad y calidad; que se debe ejecutar con el fin de producir el producto o servicio con las características y funciones especificadas.

El cumplimiento del alcance del producto se mide comparando contra las especificaciones, mientras que el cumplimiento del alcance del proyecto se mide contra el plan (programa y costo)

Sucede en ocasiones que, una vez iniciada la ingeniería, el Cliente suele tomar la decisión de hacer una modificación al alcance de la obra a ejecutar, por así convenir a sus intereses. Puede ser que requiera una modificación de la distribución de las áreas, incluir una sección que no estaba considerada, definir especificaciones adicionales para un sistema de telecomunicaciones, cambiar los materiales o los acabados de un edificio, incluso hasta un cambio de capacidad de las instalaciones.

3.9.2 Impacto en el Proyecto

Sin importar el origen de los cambios al diseño de una instalación, es necesario determinar el impacto que se tendrá sobre el proyecto.

Los parámetros que determinan un proyecto son el programa (tiempo), el costo y el alcance. Los cambios al proyecto pueden llegar a impactar en alguno o en todos estos parámetros, o quizá en ninguno de ellos.

Hay cambios que involucran la necesidad de realizar más ingeniería de la considerada al inicio, lo que modifica el alcance, incrementando por ejemplo el número de documentos a emitir. De este cambio se derivará un incremento al costo del proyecto y muy probablemente un incremento al tiempo requerido para concluir el proyecto.

Puede haber casos en que la modificación solamente afecte el tiempo o solamente el costo. Incluso se puede dar que una modificación de alcance tenga un impacto nulo en los parámetros de tiempo y costo del proyecto.

En cualquier caso, es indispensable contar con los elementos para llevar un registro de los cambios y sus efectos en el proyecto. Cualquier cambio en los parámetros del proyecto debe ser entendido, respaldado, aceptado y autorizado por ambas partes: el proyecto y el Cliente.

3.9.3 Control de Cambios

El programa de control de cambios establece un método para la evaluación oportuna de los efectos de los cambios en un proyecto. El procesamiento de los cambios al diseño se requiere para evaluar en forma definitiva su efecto en el costo, programa, utilidades, metas de un proyecto y para proporcionar información al Cliente, con el fin de obtener su conformidad para una modificación al contrato.

Un cambio de alcance es una variación potencial que involucra los límites de trabajo, los criterios funcionales o capacidad de la instalación a diseñar y sus sistemas individuales; o el alcance y naturaleza de los trabajos contratados por el Cliente. Un cambio también incluye el trabajo requerido para evaluar todas las revisiones, adiciones o cancelaciones que involucre el cambio de alcance. Dentro de un programa de control de cambios se registran los cambios y sus efectos, se obtiene la aprobación del Cliente y se modifican los documentos contractuales.

El alcance de un proyecto está expresado en el Contrato, en las Bases de Diseño, el documento de Alcances de los Servicios y en el presupuesto. Se debe mantener en operación un sistema de evaluación de tendencias y pronósticos, con el fin de evaluar e informar oportuna y constantemente al Cliente acerca de los cambios significativos que signifiquen efectos potenciales o que afecten el programa o costo del proyecto.

Una vez que se identifica un cambio de alcance, se requiere la documentación que lo respalde y la evaluación de los efectos en costo y programa. Para facilitar este proceso, se inicia una Orden de Cambio. En el caso de que se requiera la inversión considerable de tiempo y recursos para evaluar la orden de cambio, se deberá recabar la autorización por escrito del Cliente antes de proceder a su evaluación.

En cualquier caso, los resultados de la evaluación de cada Orden de Cambio deben ser emitidos para revisión de la empresa antes de somerla a la aprobación del Cliente. Una vez contando con la autorización interna, el Gerente de Proyecto emite la Orden de Cambio para aprobación del Cliente.

En la mayoría de los casos, la realización de los cambios no da inicio si no se cuenta antes con la aprobación del Cliente a la Orden de Cambio.

Una Orden de Cambio puede ser iniciada por el Gerente de Proyecto cuando sean cambios solicitados por el Cliente. Los líderes de cada especialidad técnica o el Gerente de Controles del Proyecto pueden también iniciar una Orden de Cambio.

Cada Orden de Cambio será registrada por el Gerente de Controles del Proyecto en el Control de Ordenes de Cambio, con el fin de mostrar el estado de la Orden de Cambio y el efecto acumulado de las Orden de Cambio autorizadas y por negociar. Con esta información se actualiza el pronóstico del presupuesto de ingeniería.

Además de verificar que esté adecuadamente evaluada y registrada la Orden de Cambio, el Gerente de Proyecto deberá evaluar el efecto del cambio en los siguientes aspectos donde sea aplicable:

Costo total para el Cliente

Penalizaciones

Utilidades

Horas-hombre de ingeniería

Programa

Costos Directos e Indirectos

El Gerente de Proyecto otorga inicialmente la aprobación o rechazo de la Orden de Cambio. Si la Orden de Cambio es aprobada, se envía copia a los miembros del grupo de proyecto que se vean involucrados, con el objeto de que la revisen y aporten cualquier dato adicional pertinente.

El Gerente de Proyecto tramita la Orden de Cambio hacia la empresa, para asegurar que todas las Ordenes de Cambio cumplen los requerimientos legales y de la empresa.

Posteriormente, la Orden de Cambio es enviada al Cliente para aprobación y firma. Al recibirla del Cliente, el Gerente de Proyecto la distribuye por medio del Gerente de Controles a cada disciplina y envía el original al grupo de administración de contratos. Además se registra en el control de Ordenes de Cambio para mostrar si finalmente fue aprobada o desaprobada por el Cliente.

El Gerente de Proyecto debe asegurarse que el impacto de las Ordenes de Cambio sea mostrado en los programas de trabajo, así como en los presupuestos de horas-hombre y de costos del proyecto y se hagan las adecuaciones correspondientes al contrato, para que se integren en el Ciclo de Administración del Proyecto.

3.10 EDICION DE DOCUMENTOS

3.10.1 Las Diferentes Ediciones de los Documentos de Ingeniería

Como se definió en el punto 3.8 “Evaluación de los Avances de los Documentos”, la ingeniería recurre a preparar diferentes ediciones en los planos y diagramas en que se plasman los diseños de las instalaciones.

Esta forma de trabajo responde a la necesidad de comunicar entre grupos de trabajo y al Cliente, el estado de un diseño particular. Esto puede, a su vez, ser utilizado por las especialidades para posteriores diseños, o en campo para la construcción de equipos y la erección de las instalaciones.

Prácticamente cualquier diseño se realiza en etapas y no en un solo esfuerzo del grupo especialista. Esto obedece también a la cantidad de información de que se dispone a lo largo del proyecto. Esto queda definido por las precedencias de los documentos establecidas en el punto 3.6 “Necesidades de información y comunicación interdisciplinaria”.

De esta forma, no será necesario esperar a que un diseño esté completo al 100% en todos sus aspectos para hacerlo llegar a los especialistas en turno. Esa forma de trabajar sería en serie, lo que naturalmente involucraría tiempos excesivamente largos y muchos tiempos muertos en los grupos de trabajo.

3.10.2 Definición de las Ediciones a Emitir en Planos de Ingeniería

Se pueden definir tres principales grupos de documentos en la ingeniería, dependiendo de las ediciones que se realizan para concluir su objetivo.

Planos y diagramas que van acumulando información y que se emiten en diferentes ediciones a lo largo del proyecto, en función de la información que contienen y el propósito para el que sirven.

En esta categoría se tienen diagramas como el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI), el Plano de Localización General de Equipos, Proyectos Arquitectónicos, etc. En ellos se tiene una primera edición, en los que se plasma la información que se desprende de las Bases de Diseño y los Criterios de Diseño proporcionados por el Cliente. Posteriormente, al realizarse los primeros cálculos y determinaciones, como dimensiones de equipo, condiciones de operación o consumos de energía eléctrica, se adiciona esta información y se puede incluso, dependiendo de lo establecido por el Cliente en el contrato, prepararse una emisión para aprobación. Esta edición tendría la misión de obtener la confirmación del Cliente de su aceptación a los arreglos, espacios y dimensiones resultantes, una vez que los especialistas del Cliente tuvieron la oportunidad de revisar aspectos de áreas para mantenimiento, almacenamiento de materias primas, en proceso y producto terminado, vías de escape, etc.

Otra posible edición sería para que otras especialidades utilicen la información disponible ya validada para iniciar sus diseños. Esta edición se llamaría para diseño, la cual es de circulación interna dentro del grupo de proyecto, y que en muchas ocasiones marca el inicio de diseños detallados de partes como: arreglos de tuberías, arreglo de equipo en cuartos de control eléctrico, arreglos mecánicos en casas de compresores y bombas, etc.

Es común que con cada emisión de diagramas, planos e isométricos, en los que se distribuyen al cliente, a campo e internamente entre especialidades, se maneje un número de revisión del documento. Es decir, cuando un plano, por ejemplo el de localización de equipo, se emite por primera vez para revisión y comentarios internos, se le aplica un número de revisión. Cuando se emite nuevamente, después de que se recabaron, analizaron y aplicaron los comentarios de las especialidades y de la Gerencia del Proyecto, se cambia a la siguiente revisión y se distribuye "para aprobación" del Cliente.

Al contar con la autorización del Cliente y contando con mayor información originada por el avance del proyecto, como son dimensiones definitivas de diseño de equipos, definiciones de áreas de almacenamiento de la planta, dimensiones y orientaciones de los equipos, etc., se emite con cambio de revisión "para diseño".

Finalmente, cuando se cuenta con las dimensiones de fabricante, diseño de detalle de los edificios y de los racks de tubería, se cambia la revisión y se emite "aprobado para construcción".

Existen diferentes métodos entre firmas que desarrollan ingeniería, en lo que respecta a la numeración de las ediciones o revisiones de sus documentos.

Una de ellas, por ejemplo, es la de usar letras en aquellas revisiones que se emiten para uso interno de la empresa, y números para las revisiones que se emiten al Cliente y Campo. De esta manera, las revisiones con su descripción serían como se muestra a continuación:

REVISIÓN	DESCRIPCION
A	Preliminar
B	Para comentarios
C	Para junta de depuración
0	Para aprobación
1	Para diseño
2	Para diseño final
3	Para construcción

En estos casos, en las disciplinas que solamente tienen la edición para construcción, a la revisión 0 le corresponde la descripción "Para construcción", conservando las letras para las ediciones de manejo interno.

Otra manera de asignar la numeración, difiere de la anterior en que desde la primera edición interna se asigna números a las revisiones, quedando de la siguiente forma:

REVISIÓN	DESCRIPCION
0	Preliminar
1	Para comentarios
2	Para junta de depuración
3	Para aprobación
4	Para diseño
5	Para diseño final
6	Para construcción

Es una buena práctica el incluir una lista de cambios para cada revisión que se emita posteriormente a la de "Para construcción", con el fin de hacer evidente aquello que motivó los cambios y en que consisten los mismos en el documento, con respecto a la revisión anterior. Esto es con el fin de que el personal de construcción en campo identifique más rápido y más claramente las modificaciones que originaron esta nueva revisión y en qué parte del documento se localizan.

Para efectos de control del proyecto, y también en caso de auditorías, es muy útil que haya coincidencia entre las descripciones de la lista de cambios y lo consignado en la Orden de Cambio, puesto que cualquier modificación posterior a la revisión "Para construcción" debe tener su origen en una Orden de Cambio y estar plenamente documentada.

Otra práctica, no muy generalizada, es la de utilizar una secuencia de numeración adicional a las revisiones y que se les llaman "ediciones". La utilidad para la Firma de Ingeniería es la de controlar emisiones intermedias de un plano entre revisiones, cuando es necesario agregar o enmendar información contenida en el documento y que no resultan tan considerables como para ameritar un cambio de revisión.

Con las ediciones intermedias la empresa circula información actualizada internamente entre especialistas con el fin de permitir la continuidad de los diseños, sin perder el control de documentos. Esto significa que la revisión 0 de un plano, puede tener las ediciones A, B y C, mientras la revisión 1 puede existir en las ediciones consecutivas D, E, F y G. Este proceso de control de ediciones admite que las diferentes especialidades puedan compartir información plasmada en planos oficiales, llevar el control de la información generada y recibida, y hablar un lenguaje común cuando se mencione un documento de referencia.

Este método significa el manejo de un mayor número de copias para distribución ya que todas las especialidades deberán contar con la versión actualizada de cada plano y diagrama y así evitar confusiones y errores en los diseños. Una ventaja del método es que la adición y corrección de información de un plano puede publicarse conforme se plasma en el original y evita el tener que recurrir a la distribución de escritos y/o bocetos con la información que se requiere o es necesario compartir sin esperar a que se complete toda la información que el procedimiento exige para la revisión siguiente.

3.11 COMUNICACIÓN CON EL CLIENTE

3.11.1 El Procedimiento de Trabajo

La comunicación con el Cliente en el entorno de un proyecto es una actividad que debe ser considerada como el intercambio oficial de información, órdenes, cambios, notificaciones, etc., y que esas comunicaciones forman parte contractual y, por ello, tienen valor legal, aplicable para ambas partes. Es por lo tanto un aspecto que debe recibir la atención que merece por parte del Gerente de Proyecto y de sus colaboradores.

Es común que a la firma de un contrato para la ejecución de un proyecto se establezca un Procedimiento de Trabajo, elaborado por ambas partes, en el que se expresan las prácticas a que se debe sujetar la relación Cliente-proveedor de servicio.

Dentro de las prácticas a regular, el Procedimiento de Trabajo, cubre la relacionada con la comunicación entre el Cliente y la empresa prestadora del servicio.

El Cliente nombra su representante, quien fungirá como Director del Proyecto o Gerente de Proyecto por su parte. Igualmente, se nombra un Residente para el proyecto, quien será el que se encontrará presente físicamente en las oficinas destinadas para el proyecto.

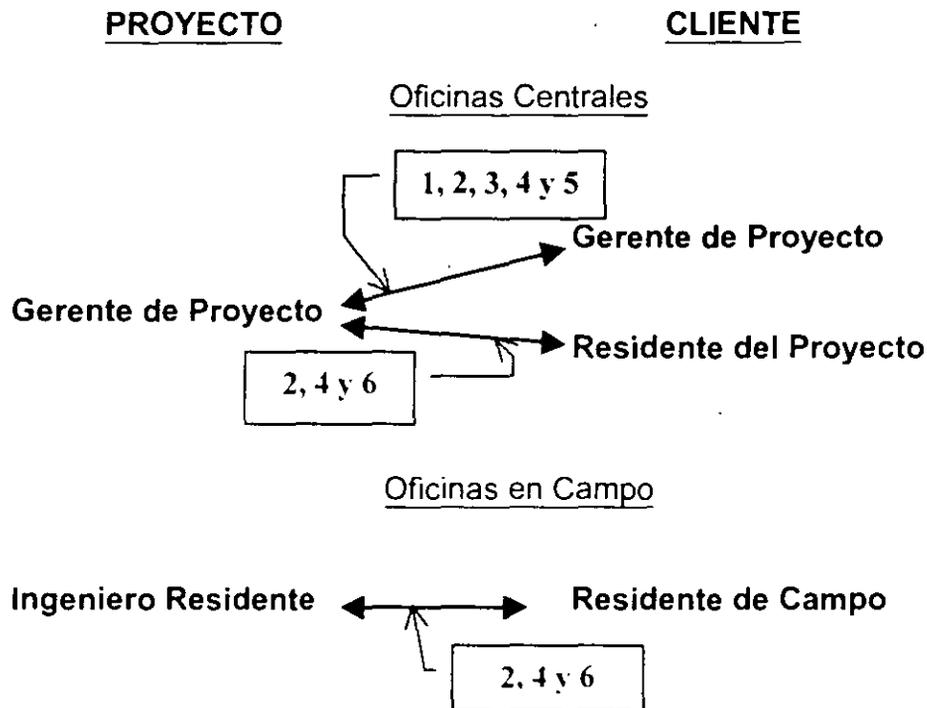
A su vez, la empresa prestadora de servicio nombra al Gerente del Proyecto, quien tendrá la representación de la empresa para lo relacionado con el proyecto. Adicionalmente se definen los apoderados legales por ambas partes para todo lo concerniente.

Además de definir el nivel de autoridad de sus representados y colaboradores para lo que se refiere a autorizaciones de documentos comerciales y otros aspectos, se establecen claramente los niveles de comunicación que se pueden dar por las partes. De esta forma definen cómo van a fluir las comunicaciones en uno y otro sentido. Se deben indicar las vías de comunicación que existirán, ya sea por ejemplo: teléfono, fax, transmisiones de documentos, cartas, oficios, e-mail, etc.

Se requiere especificar también cuales asuntos se pueden tratar en cada una de estas vías de comunicación. Por ejemplo, en fax y teléfono no se hacen comunicados oficiales, sino solamente aquella información que no constituya una definición o cambio de alcance o que afecte las bases del trabajo. Para ello se debe utilizar exclusivamente los oficios. Es común que se prefiera que las indicaciones hechas por vía telefónica sean confirmadas por vía de carta.

3.11.2 Procedimiento de Control de la Comunicación

El documento que recoge todas y cada una de las definiciones y establece las reglas de la comunicación con el Cliente es el procedimiento de control de la comunicación. Aquí se describen los posibles canales de comunicación del proyecto, por ejemplo, en un proyecto con oficinas centrales y oficinas en campo, podrían ser así:



Donde:

- | | | |
|--------------|------------|-----------------|
| 1 = Oficio | 2 = Carta | 3 = Fax |
| 4 = Teléfono | 5 = e-mail | 6 = Transmisión |

En el procedimiento se describen comúnmente aspectos que, de no ser definidos desde el principio, serán causa de diferencias entre los participantes y se tendrán que ir adoptando durante el desarrollo del proyecto.

Aquí es conveniente revisar los archivos de las Lecciones Aprendidas de la empresa, con objeto de encontrar aquellas prácticas que dieron mejores resultados y cuales han sido las que han causado problemas. Así tendremos la definición de una mecánica de comunicación que cumpla su cometido de la mejor manera y al mismo tiempo permita que la relación con el Cliente sea lo más cordial posible.

Un aspecto importante es el establecimiento de los formatos para asignar la numeración consecutiva de los documentos. Si se define y emplea de manera correcta, este procedimiento hará que la recuperación de información del proyecto sea una labor sencilla.

Un ejemplo de numeración de escritos es el siguiente:

FAX-CL-FI-4286/OC/-016/98

TR-FI-CL-4286/SO/-125/98

FI-CL-4286/SO/-032/98

GP-FI-CL/OC/-4286-29/98

En el primer caso se trata de una comunicación vía fax generado en oficinas centrales (OC) del proyecto (Orden de Trabajo No. 4286), del Cliente a la firma de ingeniería, con el número consecutivo 16 y corresponde a 1998.

Para el segundo es una transmisión de documentos de la firma al Cliente en el sitio de la obra (SO), con el número consecutivo 125. El tercero es una carta de la firma al Cliente en el sitio de la obra con el número 32. Finalmente, una comunicación entre Gerentes de Proyecto, de la firma de ingeniería al Cliente, corresponde como es natural, a oficinas centrales y tiene el número 29.

Obviamente que este sistema debe ir emparejado con un sistema igualmente correcto de archivo para que rinda sus frutos en toda su extensión, guardando una carpeta o un archivo electrónico con el registro de la correspondencia enviada por tipo, asunto, destinatario y fecha; correspondencia recibida por tipo, asunto, originador y fecha.

Esta práctica es indispensable para cumplir con un programa eficiente de calidad en la administración del proyecto, permitirá una respuesta rápida y sin equivocaciones en caso de una auditoría del Cliente o de calidad y, al término del proyecto, eliminará obstáculos en el armado del archivo maestro para entrega del proyecto. Igualmente, será de extrema utilidad para el análisis de las Lecciones Aprendidas, que se presenta en la siguiente sección.

3.12 ESTIMADO DE COSTOS

3.12.1 Generalidades

La limitación de los recursos económicos de nuestro país, frente a las exigencias planteadas por su actual desarrollo, obliga al ingeniero de costos a la aplicación correcta de las técnicas de estimación de costos para garantizar la rentabilidad de las inversiones.

Con el desarrollo tecnológico, se visto la necesidad de contar con ingenieros especializados en aspectos económicos que apoyen a la gerencia y/o a la dirección de la empresa proporcionando un panorama claro y preciso de la situación económica de los proyectos y que permita a estas entidades tener el soporte necesario para la toma de decisiones.

3.12.2 Definición de Ingeniería de Costos

Definiendo la ingeniería de costos diremos que **es el campo de la ingeniería en el que se utilizan la experiencia y criterio del profesional en la aplicación de principios y técnicas científicas a los problemas de estimación de costos, control de costos y rentabilidad de inversiones.**

3.12.3 Aplicación de los Estimados de Costo

Los estimados de costo son una operación continua dentro del ciclo de vida del proyecto. La información que genera cada fase del proyecto, sirve como parámetro de costo, indicándonos la precisión del estimado. Los estimados de costo se efectúan para:

- a) Autorización de inversiones
- b) Análisis económico de alternativas
- c) Programas de erogaciones
- d) Licitaciones para construcción de plantas e instalaciones costafuera.
- e) Revamps
- f) Valuación de activos fijos
- g) Control del proyecto

Autorización de Inversiones

Para poder autorizar una inversión, se requiere que el estimado de inversión este elaborado bajo las técnicas y procedimientos confiables, que permitan dar los elementos suficientes para tomar la decisión de realizar el proyecto. En el estimado de inversión, el rubro más importante es la estimación de costos de equipo; ya que a partir de este concepto se determinarán mediante factores aplicados al costo del equipo los costos de los materiales tales como: tubería, válvulas, conexiones de tubería, concreto, acero, eléctrico, aislamiento y pintura, así como la estimación de los conceptos de: construcción, ingeniería, administración, pruebas y arranque y utilidad.

La autorización de inversiones también se aplica para la adquisición de equipo, ya que el determinar el costo esperado del equipo, servirá para fines de presupuesto y control del mismo.

b) Análisis económico de alternativas:

Es importante proporcionar el costo óptimo del equipo que cumpla con las condiciones requeridas del proceso.

c) Programa de erogaciones

Es necesario desarrollar un programa que indique fechas en que se tendrá que desembolsar el capital, mismo que se hará conforme lo manifieste la planeación del programa general del proyecto.

d) Licitaciones para construcción de plantas e instalaciones costa fuera.

En las licitaciones, la estimación de costo del equipo es de gran importancia, se realiza, para confrontarlo con las cotizaciones que presente el proveedor, y poder negociar el costo con el que se fincará el pedido (en caso de que la propuesta que presente el contratista sea la oferta ganadora de dicha licitación).

e) Revamps

Dada la competencia por participar en un mercado global cada vez más exigente, la planta industrial necesita renovarse, es decir aplicar la reingeniería tanto en sus procesos administrativos como procesos de producción, por lo tanto requiere modernizar sus instalaciones, esto implica efectuar Revamps a sus equipos, como es el modificar el tamaño de las torres, aumentar el número de platos, agregar y/o modificar serpentines de tubos de hornos, etc., realizando los correspondientes estimados de costo de equipo, a fin de determinar el importe de las adecuaciones.

f) Valuación de activos fijos

En evaluaciones de activos fijos, el estimado de costo de equipo se realiza periódicamente con el objeto de tener el inventario y valor de las instalaciones actualizadas, con el objeto de tener una base de negociación para efectos de venta o transferencia de los recursos patrimoniales. En estos estudios se calculan: el valor de reposición de los equipos, el valor actual de los equipos, la vida útil remanente, y la depreciación anual.

g) Control del proyecto

Actualmente la modalidad de los contratos de construcción es "Llave en mano", por lo que el control de la inversión esta en función directa con el programa de avance del proyecto (schedule of values).

3.12.4 Tipos de Estimados de Costo

El rango de aproximación del estimado de costo de inversión, depende de la cantidad y calidad de la información de que se dispone, ya que es de esperarse que conforme avanza el proyecto tendremos más información y los estimados se irán afinando. Los estimados de costos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el grado de aproximación y con la información disponible, como se muestra en la tabla No. 1.

A continuación se menciona la información requerida para la elaboración de los estimados de costo en sus diferentes tipos:

Estimados de Orden de magnitud $\pm 40\%$

Para realizar este tipo estimado para el caso de un proceso estándar, se requiere de la siguiente información:

Producto, capacidad, localización, requerimientos del sitio y de servicios auxiliares, edificios e instalaciones auxiliares requeridas, requerimientos de almacenamiento y manejo de materias primas y productos.

Entre los métodos más conocidos, dentro de este tipo de estimado está el exponencial. Consiste en multiplicar el costo conocido de un equipo o planta por la relación de capacidades, elevado a un exponente típico. La ecuación representativa de este método es la siguiente:

$$C = Cr (Qc/QR)^n$$

donde:

C = costo a estimar para el tamaño **Qc**

Cr = costo conocido del tamaño **QR** de referencia

Qc = tamaño del equipo o planta a estimar

QR = tamaño del equipo o capacidad de la planta de referencia

n = exponente

El factor (**n**) es frecuentemente cercano a **0.6**, y por esta razón el método también se le llama el método de los seis décimos.

Varios autores han desarrollado valores del exponente (**n**) tanto para equipos como para procesos, los cuales algunos se detallan en las tablas No. 2 y 3.

Tabla 2, exponentes típicos (**n**) para escalación de costos de equipo.

equipo	(n)
Agitadores	0.50
Bombas	0.60
Caldera paquete	0.75
Calentadores de proceso	0.80
Cambiadores de calor	0.60
Compresores centrífugos	0.75
Compresores recíprocos	0.75
Enfriadores por aire	0.80
Motores eléctricos-tefc	0.60
Paquetes de refrigeración	0.75
Recipientes	0.65
Sopladores	0.65
tanques de almacenamiento	0.70
torres	0.70
torres de enfriamiento	0.74
transformadores	0.65
transportadores	0.70

Tabla 3 exponentes típicos (n) para escalación de plantas.

producto	capacidad	unidad	(n)
Amoniaco	37-110	1000 tpa	0.63
Butadieno	5-400	1000 tpa	0.65
Cemento			0.86
Cloro	3-350	1000 tpa	0.44
Destilación atmosférica	20-500	1000 bpd	0.90
Destilación al vacío	20-500	1000 bpd	0.70
Metanol	12-200	100000 tpa	0.78
Refinería			0.57
Azufre	2-78	1000 tpa	0.71
Hidrogeno	10-50	mmpcsd	0.68
Oxígeno (liquido)	200-1100	1000 tpa	0.37

Estimado para estudio \pm 30 %

Para elaborar este tipo de estimados, se requiere de la siguiente información:

Localización, esquema del proceso, lista de equipo predimensionada y con especificaciones de materiales, tamaños aproximados y tipo de construcción para edificios y estructuras, cantidades aproximadas de servicios auxiliares, diagramas de tuberías preliminares, lista preliminar de motores dimensionados, horas-hombre para ingeniería y dibujo.

La estimación de costo de equipo se realiza mediante correlaciones y/o ecuaciones de costo; procedimiento, que relaciona las principales variables técnicas de los equipos tales como potencia, peso, capacidad y áreas de transferencia, contra costo.

También se recurre a los proveedores solicitando cotización de los equipos; o por analogía; es decir consultando referencias de órdenes de compra de equipos similares.

También se puede recurrir a software comercial para realizar los estimados de costo y/o a fuentes bibliográficas especializadas en estimación de costos.

Este método relaciona el costo de los materiales (tubería, válvulas, conexiones, concreto, acero, aislamiento, instrumentos, eléctrico y pintura) y construcción al costo del equipo de proceso.

Estimado preliminar \pm 20%

Estos estimados que se utilizan para autorización de presupuestos, requieren de la siguiente información:

Localización, descripción general del sitio, mecánica de suelos, caminos, vías de ferrocarril, etc., diagrama de flujo de proceso preliminar, lista de equipo con dimensiones y materiales, plano de localización preliminar, tamaño y tipos de construcción, croquis de cimentaciones, anteproyecto arquitectónico y estructural, diagrama de servicios auxiliares y hojas de datos preliminares, diagramas y especificaciones de tuberías, especificaciones de aislamiento, lista preliminar de instrumentos, lista preliminar de motores con dimensiones, especificaciones y tamaños de subestaciones, especificaciones preliminares de alumbrado, horas hombre de ingeniería y dibujo.

Este tipo de estimado se realiza a partir de cantidades y costos unitarios; es decir, el costo del equipo se estima de acuerdo a cotizaciones de fabricantes, la ingeniería en base a las horas-hombre y el costo unitario por especialidad, los materiales a partir de cantidades de materiales preliminares con listas de precios de fabricantes. La construcción se puede calcular ya sea por medio de factores a partir del costo del equipo o por conceptos de obra.

Estimado definitivo \pm 10%

Este estimado se realiza para efectos de control del proyecto, principalmente referido a la fase de construcción, la información que se requiere para este tipo de estimados es la siguiente:

Plano de localización general y topográfico, diagrama de flujo de proceso definitivo, lista de equipo definitiva, hojas de datos y planos mecánicos de equipos, arreglos generales y elevaciones de edificios, Balances de servicios auxiliares, diagramas de tuberías definitivos, lista de equipo y tubería para aislamiento, especificaciones de aislamiento, diagramas de instrumentación y lista definitiva, lista de motores y tamaños definitivos, especificaciones de control, interconexión y alumbrado de instrumentos, diagrama unifilar definitivo.

Las principales fuentes de información de costo para estos estimados, son las órdenes de compra de equipo y materiales, la construcción se estima aplicando precios unitarios a conceptos de obra, la ingeniería se calcula aplicando a las horas - hombre consideradas en el alcance del proyecto el costo de la hora - hombre por especialidad. Este costo deberá confrontarse periódicamente con el costo real de ingeniería con el fin de realizar los ajustes que se requieran para el control y seguimiento de avance del proyecto.

Estimados definitivos ± 5%

Se realizan cuando el proyecto se encuentra en la fase de construcción, se requiere que la ingeniería este completa hasta el punto donde las cantidades de materiales definitivas puedan obtenerse de DTI's, isométricos, dibujos de plantas y elevaciones y de documentos con un detalle definitivo para la cuantificación de materiales y volúmenes de obra. La información requerida para este tipo de estimados es la siguiente:

Plano de localización general y topográfico, estudio de mecánica de suelos, dimensiones de caminos y accesos, facilidades para desarrollo del sitio, diagrama de flujo de proceso APC, especificaciones generales y hojas de datos de proceso, ordenes de compra, diseño arquitectónico y áreas de construcción, dibujos detallados y volumen de obra, balance de energía con información de proveedores, isométricos y volúmenes de obra, especificaciones, cédulas de aislamiento y volúmenes de obra, diagramas de instrumentación, cotización de proveedores y volumen de obra de instalación, lista aprobada de motores y tamaños, especificación y tamaño de subestaciones, especificaciones del sistema de distribución de fuerza, diagrama unifilar aprobado para diseño, dibujos finales y volúmenes de obra, Horas - hombre de ingeniería, mano de obra por cuadrilla y supervisión.

3.12.5 Procedimiento de Cálculo para el Estimado de Inversión Total

En toda firma de ingeniería se debe contar con procedimientos y métodos propios de estimación de costos de una manera simplificada, aprovechando para ello el desarrollo de sistemas informáticos. Una de las funciones esenciales clave para desarrollar un buen sistema de ingeniería de costos dentro de una organización, es el establecimiento y utilización de métodos de estimación y bancos de datos sólidos.

Los ingenieros de costos traen consigo un respaldo de conocimientos a menudo en la forma de colección de notas o copias de estimados anteriores que han realizado y acumulado en bancos de datos, convirtiéndose esta información en el núcleo de los métodos de estimación de las compañías.

¿Porqué los métodos de estimación son críticos?

Existe una pequeña duda acerca de que la espina dorsal de un estimado sea el método empleado en su preparación. Después de estimar las bases, el método es el más importante elemento. De hecho, los buenos métodos estimativos permiten al estimador tomar ventaja de un buen fundamento de estimación y en consecuencia preparar un buen estimado. Existen varias razones del porqué los métodos estimativos son importantes y justifican el esfuerzo para producir: **Consistencia, precisión, economización de tiempo y dinero, disponibilidad, confiabilidad, buen espíritu de equipo y entrenamiento.**

La razón por la cual los métodos de desarrollo serán utilizados por todos los ingenieros de costos de la compañía se justificaría si todos sus estimados fueran consistentes en formato y acercamiento, con lo cual sería mucho más fácil analizar los resultados (real - versus - estimado). Esto es muy importante en el incremento del nivel de precisión del estimado preparado por la compañía. Como las fallas son descubiertas, pueden corregirse las bases por medio de retroalimentación y esta buena sintonía del método redundará en el mejoramiento de la precisión del estimado. Debido a que el método es esencialmente un preestimado basado en el historial del banco de datos, los estimadores no tienen que reinventar la rueda cada vez que ellos estiman una cimentación de concreto o un soporte estructural. Se efectuó una sola ocasión por los métodos del grupo en un formato que permite a los estimadores tomar ventaja del tiempo útil del preestimado.

Se debe hacer notar que el método de estimación es típicamente desarrollado como un esfuerzo conjunto entre el diseñador y el ingeniero de costos. Este esfuerzo conjunto es en realidad una forma de inteligencia artificial (IA).

Tanto para los gerentes como para los ingenieros de costos, las ventajas aumentan cuando existen buenos métodos estimativos que permitan analizar objetivamente los excesos en el proyecto y determinar por lo tanto el problema que se tenía en la base estimativa o en el resultado de una estimación pobre.

Los métodos también se utilizan en el entrenamiento de nuevos e inexpertos ingenieros de costos. Ellos proporcionan una inmediata y consistente introducción para el nuevo ingeniero , no solamente para la estimación aproximada sino también para la manera en que la compañía realiza negocios, ya que esto es en efecto, lo que los métodos están prediciendo.

Los métodos de estimación que se realizan mediante factores, utilizan como referencia el estimado de costo de los equipos, al que se le aplican los factores que cada compañía ha determinado para calcular los conceptos de: **materiales (tubería, instrumentos, acero, concreto, eléctrico, aislamiento y pintura), construcción, ingeniería, administración, pruebas y arranque, capacitación y utilidad.**

3.12.6 Parámetros de Estimación de Costo

El costo del equipo en una planta de proceso, representa el rubro más importante dentro de un estimado de inversión, ya sea de orden de magnitud, estudio, presupuesto o definitivo, por lo que de ahí se deriva la necesidad de disponer de métodos confiables que permitan una correcta estimación del costo del equipo. Para ello, el ingeniero de costos deberá conocer cuales son las variables técnicas del equipo que estarán directamente relacionadas con su costo, y preparar sus herramientas de estimación como son las gráficas y/o correlaciones de costo. A continuación en la tabla No. 4, se presentan los parámetros que deberán considerarse en la estimación de costo de los equipos.

Asimismo, se describe en el esquema No. 1 el procedimiento para la realización estimados de costo de inversión y en el esquema No. 2 se detalla el método de Guthrie utilizado en la elaboración de los estimados de inversión.

Esquema No. 2 Método modular para estimados de inversión (K. M. Guthrie)

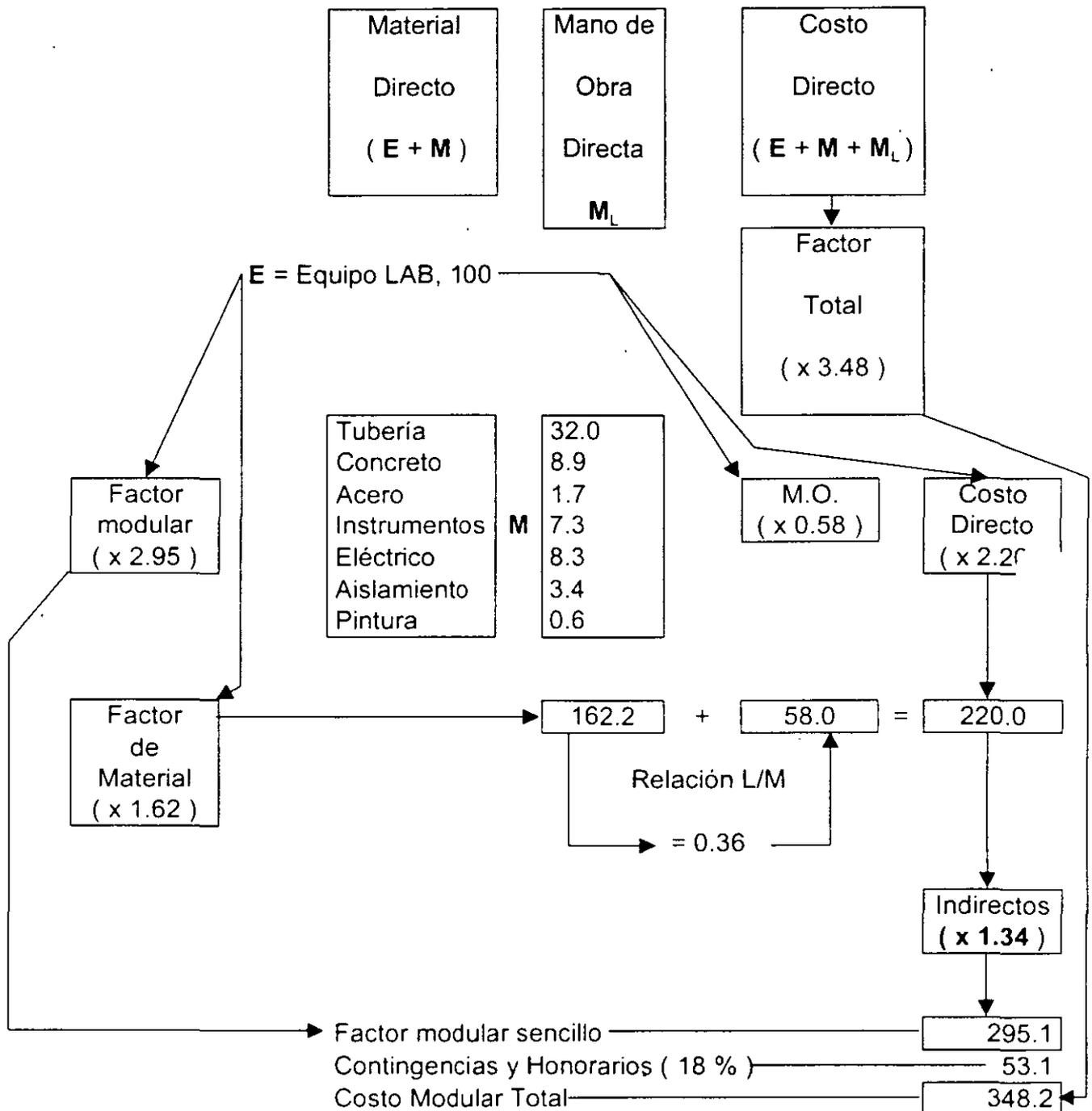


Tabla No. 1

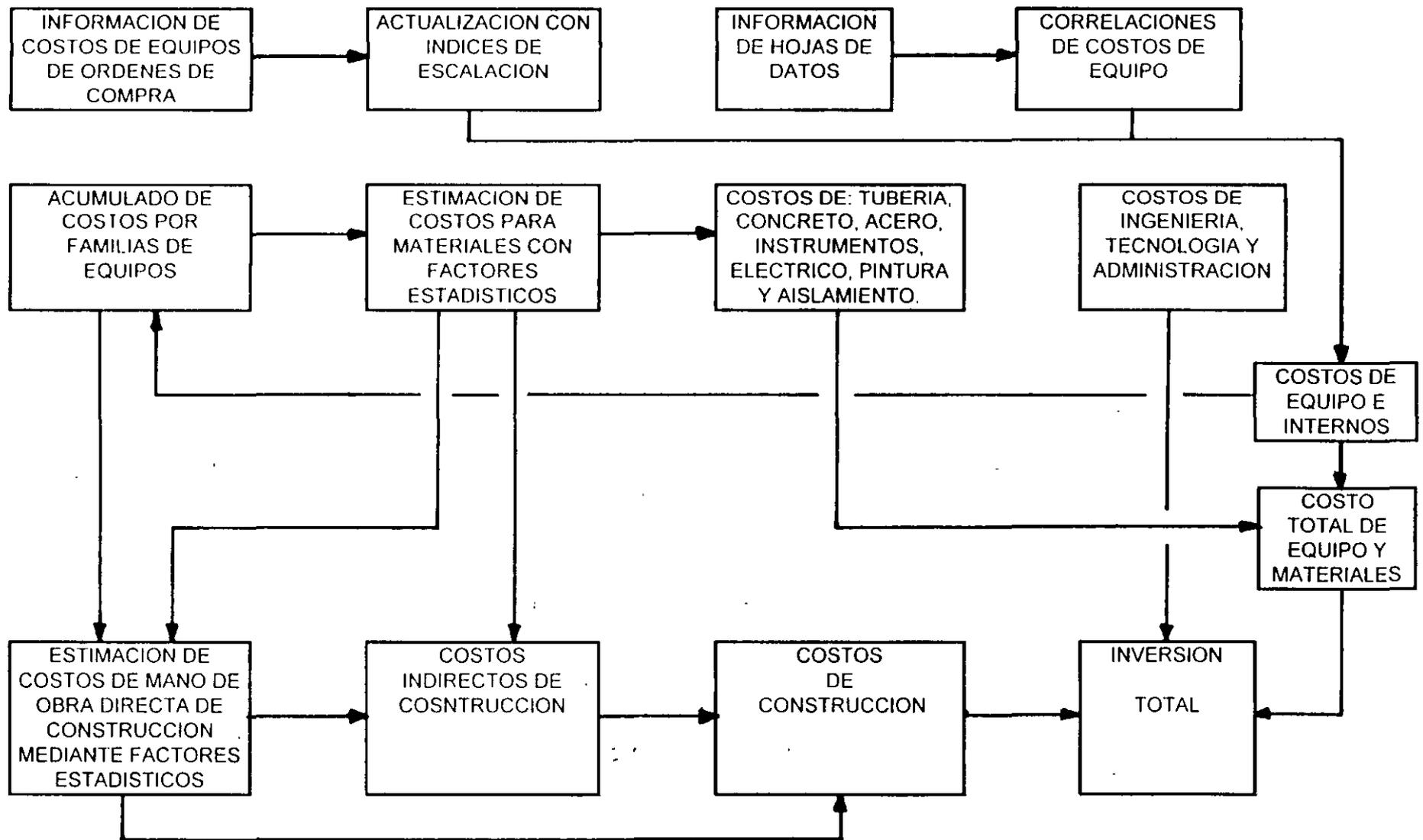
D E F I N I T I V O
 C O N T R O L
 A U T O R I Z A C I O N
 E S T U D I O
 M A G N I T U D

COSTO ESTIMADO					INFORMACION	CONCEPTO
±5%	±10%	±20%	±30%	±40%		
X X X X X	X X X X	X X X	X		LOCALIZACION MECANICA DE SUELOS DIMENSIONES DE CAMINOS Y ACCESOS TOPOGRAFIA Y MOVIMIENTO DE TIERRAS DESARROLLO DEL SITIO	SITIO
X	X	X	X		CROQUIS PRELIMINAR APROBADO PARA DISEÑO APROBADO PARA CONSTRUCCION	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
X X	X X	X X	X		PREDIMEN Y MATL S DE CONSTRUCCION ESPECIF GRALES Y HOJAS DE DATOS DISEÑO MECANICO COTIZACIONES ORDEN DE COMPRA	LISTA DE EQUIPO
X X	X X X	X X X X	X		TAMAÑOS APROX Y TIPOS DE EDIFICACIONES CROQUIS DE CIMENTACIONES DISEÑO ARQUITECTONICO DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR DISEÑO ESTRUCTURAL COMPLETO DIB DETALLADOS Y VOLUMEN DE OBRA	EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS
X	X	X	X		VALORES DE LITERATURA BALANCE DE ENERGIA PRELIMINAR BALANCE DE ENERGIA PARA DISEÑO B DE E CON INF DE PROVEEDORES	REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS AUXILIARES
X	X	X	X		CORRELACIONES DE COSTO ESTIMACION DE MATL S DE DTI'S ARREGLO DE TUBERIAS Y CUANTIF MATL'S ISOMETRICOS Y VOL DE OBRA	TUBERIAS
X	X X	X			ESPECIFICACIONES GENERALES ESTIMACION MATL'S DE DTI'S ESPECIF CEDULA DE AISL Y VOL OBRA	AISLAMIENTO
X X	X	X	X		CORRELACIONES DE COSTO LISTA DE INSTRUMENTOS PRELIMINAR DIGRAMAS DE INSTRUMENTACION COTIZACIONES Y VOLUMENES DE OBRA	INSTRUMENTOS
X X X X Y	X X X X	X X X	X X		CORRELACIONES DE COSTO LISTA PRELIMINAR DE MOTORES LISTA APROBADA DE MOTORES Y TAMAÑOS ESPECIF Y TAMAÑO DE SUBESTACIONES ESPECIF SIST DISTRIBUCION DE FUERZA ESPECIF PRELIM DE ALUMBRADO ESPECIF PRELIM DE ALAMBRADO DIAGRAMA UNIFILAR APROB P/DISEÑO DIBUJOS FINALES Y VOLUMEN DE OBRA	ELECTRICO
X X X	X	X	X		INGENIERIA Y DIBUJO MANO DE OBRA POR CUADRILLA SUPERVISION	H - H
				X	PRODUCTO CAPACIDAD, LOCALIZACION Y REQUERIMIENTOS DEL SITIO	PROCESO ESTANDARD

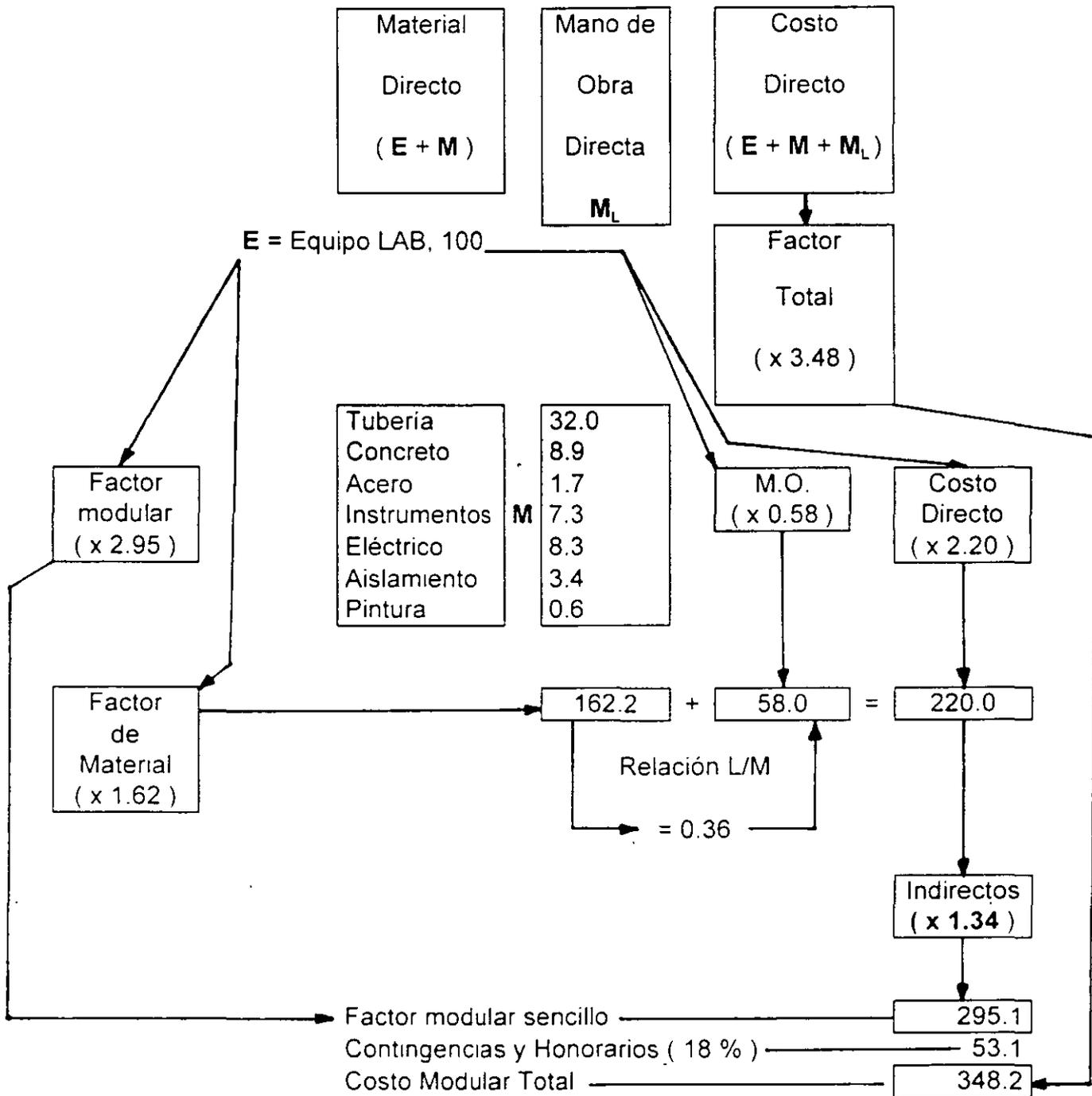
Parámetros de costo de equipos: Tabla No. 4

Hornos	Carga térmica, tipo de horno, tipo de proceso, materiales de tubos de radiación, presión de diseño.
Torres	Tipo de torre, dimensiones, presión de diseño, temperatura de diseño, material de construcción, peso.
Internos de torres: Platos	Tipo de diseño, material de construcción de plato, calibre de plato, tipo de válvulas, material de válvulas, peso.
Empaques	Tipo de empaque, tamaño, material de construcción, peso.
Reactores, recipientes, filtros	Dimensiones, presión de diseño, temperatura de diseño, material de construcción, peso.
Tanques de almacenamiento	Tipo, dimensionamiento, capacidad, material de construcción, peso
Cambiadores de calor	Area, tipo, presión de diseño, material de tubos, material de coraza, peso.
Enfriadores por aire	Area desnuda, tipo, material de tubos, material de aletas, peso
Bombas	Tipo, potencia, capacidad, cabeza, velocidad, material de construcción, peso.
Compresores	Tipo, potencia, capacidad, material de construcción, peso
Motores eléctricos	Tipo, potencia, velocidad, peso
Turbinas de vapor/gas	Tipo, potencia, peso.
Equipos paquete	Tipo, capacidad, material de construcción, peso.

ESQUEMA No. 1 PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION DE COSTOS DE INVERSION



Esquema No. 2 Método modular para estimados de inversión (K. M. Guthrie)



Los conceptos que integran la inversión fija de un proyecto son:

Figura No. 3

Proyecto:	Fecha:
Capacitación:	Elaborado por:
Localización	Costo en miles de US Dls.
Cliente:	Tipo de cambio:

Equipo	Suministro (A)	Instalación (B)
Hornos	413	41
Torres	1,545	131
Internos de Torres	3	
Reactores	35	4
Recipientes verticales	219	17
Recipientes horizontales	284	31
Filtros	6	0
Esferas	39	5
Tanques de almacenamiento	125	10
Cambiadores de calor	877	105
Enfriadores por aire	59	5
Bombas	484	47
Compresores		
Turbinas de vapor		
TOTAL DE EQUIPO	4,088	396

Materiales	Suministro (C)	Instalación (D)
Tubería, válvulas y conexiones	1,428	999
Concreto	241	169
Acero	125	75
Eléctrico	208	104
Instrumentos	289	203
Aislamiento	171	102
Pintura	27	24
TOTAL DE MATERIALES	2,488	1,676

Figura No. 4

Concepto	Miles de US Dls
Equipo (A)	4,088
Materiales(C)	2,488
Construcción (B+D)	2,072
Indirectos de Construcción	691
Ingeniería	882
Administración	467
Catalizadores	102
Pruebas y arranque	377
Utilidad	799
INVERSION TOTAL	11,965

ESTIMADO DE INVERSION DE UNA PLANTA DE ALQUILACION

EQUIPO: HORNOS

PROYECTO:

PLANTA:

LOCALIZACION:

CLAVE	SERVICIO	CANT	TIPO	CAPACIDAD (Kcal/hr) (10 ⁶)	MATERIAL TUBOS	PRESION DE DISEÑO (Kg/cm ²)	TEMP. DE DISEÑO (°C)	PESO Kg	COSTO US Dls. Enero/98	OBSERVACIONES
BA-201	Main F reboiler furnace	1	Horizontal	10 23	acero al carbón			121,273	412,500	
									412,500	

ESTIMADO DE INVERSION DE UNA PLANTA DE ALQUILACION

E Q U I P O : TORRES, REACTORES, RECIPIENTES, FILTROS, TANQUES

PROYECTO
PLANTA.
LOCALIZACION:

CLAVE	SERVICIO	CANT.	TIPO	DIAM. mm	LONG. T-T mm	MATERIAL		INTERNOS		ESPESOR		DISEÑO		PESO Kg	COSTO US Dis Enero/98	OBSERVACIONES
						CUERPO	CABEZAS	TIPO	MATERIAL	ENV. mm	CAB. mm	PRESION Kg/cm2	TEMP. °C			
DA-201	DME Stripper	1	V	1 829	45 720	AC	AC	Platos	AC						306,700	
DA-202	Acid Settler	1	V	2 972	12 141	AC	AC	Platos	AC						118 900	
DA-203	Acid Perla Column	1	V	610	2 438	AC	AC	----	----						115,500	
				405	3 505			Platos	AC							
DA-204	Main Fractionator	1	V	2 667	18 898	AC	AC	Platos	AC						913,200	
				3 353	36 119	AC	AC	Platos	AC							
DA-205	Butane Rectifier	1	V	1 219	18 288	AC	AC	Anillos Raschig	AC						95,300	
DA-206	HF Stripper	1	V	610	11 582	AC	AC	Anillos Raschig	AC						42,500	
				1 067	2 134			----	----							
DA-207	Acid Relief Neutralizer (ARN)	1	V	1 245	7 544	AC	AC	Deflectores	AC						68 800	
				2 362	4 775			----	----							
DC-201	Hydrisom Reactor	1	V	762	11 176	AC	AC								35,230	
FA-202	DME Stripper Accumulator	1	H	2 896	11 278	AC	AC	----	----						116,000	
FA-203	DME Stripper Water Keg	1	V	254	1 219	AC	AC	----	----						3,400	
FA-206	Fresh Feed Drier K O Drum	1	H	1 829	5 486	AC	AC	----	----						35,300	
FA-207	ASO Caustic Washer	1	H	1 600	4 801	AC	AC	----	----						18,800	
FA-208	ASO Surge Drum	1	H	1 753	3 505	AC	AC	----	----						17 900	
FA-209	Main Fract /HF Stripper Accum	1	H	2 438	9 906	AC	AC	----	----						95,900	
FA-210	Vent Gas Absorber	1	V	289	3 048	AC	AC	Anillos Raschig	AC						6,970	
FA-211 A/B	Propane Defluorinators	2	V	508	1 981	AC	AC								15,520	
FA-212	Propane KOH Treater	1	V	432	2 032	AC	AC								4,930	
FA-213 A,B	Butane Defluorinators	2	V	1 448	5 486	AC	AC								95,400	
FA-214	Butane KOH Treater	1	V	1 067	4 115	AC	AC								28,160	
FB-201	Acid Storage Tank	1	H	3 353	12 192	AC	AC								95,700	
FB-202	Acid Unloading Tank	1	H	2 438	6 096	AC	AC								28,900	
FB-203	Caustic Dilution Tank	1	V	3 962	3 658	AC	AC								13,900	
FB-204	Calcium Chloride Tank	1	V	3 048	2 743	AC	AC								10,400	
V-402	Caustic Storage Tank	1	V	3 980	3 750	AC	AC								14,700	
FF-202 A/B	Fresh Feed Guard Driers	2	V	1,067	5 486	AC	AC								64,400	
															2,362,410	

ESTIMADO DE INVERSION DE UNA PLANTA DE ALQUILACION

E Q U I P O: CAMBIADORES DE CALOR Y ENFRIADORES POR AIRE

PROYECTO:
PLANTA
LOCALIZACION

CLAVE	SERVICIO	CANT	TIPO TEMA	CARGA TOTAL Kcal/hr x 10^6	SUP. POR SHELL m^2	TAMAÑO		MATERIAL		COND. DE DISEÑO				PESO Kg	COSTO US Dis. Enero/98	OBSERVACIONES
						SHELL ID (mm)	LONG TUBO (mm)	SHELL	TUBOS	SHELL		TUBOS				
										PRESION Kg/cm2	TEMP. °C	PRESION Kg/cm2	TEMP °C			
EA 201	Hydnson Feed Bottoms Exchanger	1		0.779											19,476	
EA 202	Hydnson Feed Heater Cooler	1		0.150											53,224	
EA 203	DME Stripper Feed Heater	1		0.694											6,395	
EA 204	DME Stripper Reboiler	1		2.706											16,643	
EA 205	DME Stripper Condenser	1		2.794											59,547	
EA 206	Olfin Cooler	1		0.649											17,598	
EA 209	Fresh Feed Drier Regen. Heater	1		0.271											6,065	
EA 210	Fresh Feed Drier Regen. Condenser	1		0.259											11,463	
EA 211 A/B	Acid Coolers	2		1.930											112,825	
EA 212	Acid Vaporizer	1		0.439											39,373	
EA 213	Isobutane Vaporizer	1		0.096											4,283	
EA 214	ASO Caustic Heater/Cooler	1		0.141											1,740	
EA-215	ASO Surge Drum Heater	1		0.005											204	
EA 218	Main Fractionator Feed/Recycle Exch	1		1.542											21,162	
EA 217	Main Fractionator Feed/Bottoms Exch	1		1.491											25,319	
EA 218 A/B	Main Fractionator (if Stripper OH Cond	2		6.618											233,086	
EA 219	Butane Rectifier Condenser	1		10.674											44,359	
EA 220	Main Fractionator Inter heater	1		4.158											52,445	
EA 221	Isobutane Recycle Subcooler	1		3.835											101,952	
EA 222	Alkilate cooler	1		0.776											16,076	
EA 223	Main Fract. Bttms Pump Flush Cooler	1		0.173											5,158	
EA 224	HF Stripper Reboiler	1		0.095											2,857	
EA 225	Propane Recycle/Pump Flush Cooler	1		0.033											3,259	
EA 226	Propane Defluornator Feed Eff. Exch	1		0.005											587	
EA 227	Propane Defluornator Feed Heater	1		0.008											601	
EA 228	Propane Condenser	1		0.009											1,726	
EA 229	Butane Defluornator Feed Heater	1		0.212											5,221	
EA 230	Butane Condenser	1		0.592											14,637	
															877,281	
EC-501	Condensate Air Cooler	1													58,700	
															58,700	

ESTIMADO DE INVERSION DE UNA PLANTA DE ALQUILACION

EQUIPO: BOMBAS

PROYECTO
PLANTA
LOCALIZACION

CLAVE	SERVICIO	CANT	TIPO	CAPACIDAD (m ³ /hr)	CABEZA (m)	POT (KW)	MATERIAL		TIPO DE SELLO	PRESION DE DISEÑO (Kg/cm2)	TEMP. DE DISEÑO (°C)	ACCIONADOR		PESO Kg	COSTO US Dls Enero/98	OBSERVACIONES
							CARCAZA	IMPULSOR				TIPO	KW			
GA 202 A/B	DME Stripper Reflux (SOR)	2	Centrifuga			6.2	A C	A C				Motor eléctrico		16,520		
GA 205 A/B	Fresh Feed (Dior Regen Pump)	2	Centrifuga			0.2	A C	A C				Motor eléctrico		7,280		
GA 206 A	Acid Reculn Feed (Min. Temp.)	2	Centrifuga			0.3	A C	A C				Motor eléctrico		7,600		
GA 207 A/B	Main Fractionator Feed (Min. Temp.)	2	Centrifuga			157.5	A C	A C				Motor eléctrico		229,760		
GA 208 A/B	ASO Caustic Circ	2	Centrifuga			0.4	A C	A C				Motor eléctrico		7,840		
GA 209 A	ASO Transfer	2	Centrifuga			1.1	A C	A C				Motor eléctrico		9,520		
GA 210 A/B	Main Fractionator Reflux	2	Centrifuga			29.6	A C	A C				Motor eléctrico		64,760		
GA 211 A/B	Main Fractionator Reboiler	2	Centrifuga			102.9	A C	A C				Motor eléctrico		86,480		
GA 212 A/B	ARN Caustic Circ	2	Centrifuga			4.0	A C	A C				Motor eléctrico		13,360		
GA 213 A	Dilute Caustic	2	Centrifuga			3.1	A C	A C				Motor eléctrico		13,480		
GA 214	Calcium Chloride	1	Centrifuga			0.4	A C	A C				Motor eléctrico		3,880		
GA 215 A/B	Spent Caustic Neutralizer Sump	2	Centrifuga			3.2	A C	A C				Motor eléctrico		17,400		
P 401	Caustic Storage Pump	1	Centrifuga				A C	A C				Motor eléctrico		5,900		
															483,780	

3.13 LECCIONES APRENDIDAS Y DOCUMENTACION

3.13.1 Objetivo

Las lecciones se pueden aprender de todos y cada uno de los proyectos, aún si el proyecto no es exitoso. La mayoría de las compañías no documentan las lecciones aprendidas, debido a que los empleados se rehusan a estampar su firma en documentos que indican que las lecciones fueron aprendidas de errores que ellos provocaron. Los empleados terminan repitiendo una y otra vez los errores que otros cometieron y terminan aprendiendo de sus propios errores en vez de los de otras personas.

Cómo implementar el programa de Lecciones Aprendidas es un problema clave. Recientemente una compañía terminó exitosamente un proyecto que requirió de varias decisiones y enfoques innovadores en cuanto a la forma de conducir los negocios. Durante la junta de arranque de operaciones, la alta gerencia decidió que toda la compañía debería beneficiarse de las experiencias ganadas en este proyecto.

El asesor ejecutivo dismanteló al grupo del proyecto y asignó a cada uno a diferentes departamentos de la compañía, pensando que este conocimiento se diseminaría. El experimento falló en cuanto las lecciones aprendidas se olvidaron.

Ahora el énfasis se pone en documentar las lecciones aprendidas. La compañía Boeing lleva registros diarios de las Lecciones Aprendidas en cada proyecto de diseño de aviones. Otra compañía lleva al cabo reuniones de post-implementación en las que el grupo de proyecto debe presentar un estudio de tres a cinco páginas en los que se documenten los éxitos y fallas del proyecto. Este reporte es estudiado por el área de capacitación en el entrenamiento de profesionales para futuros gerentes de proyecto. Algunas compañías se van a los extremos, ordenando que los Gerentes de Proyecto lleven bitácoras diarias de todas las decisiones, así como un archivo con toda la correspondencia del proyecto. En proyectos mayores esto debe ser impráctico.

La mayoría de las compañías parecen preferir juntas de post-implementación y reportes documentados. El problema viene cuando se debe realizar la reunión. Una compañía emplea gerentes de proyecto en su área de desarrollo y producción de nuevos productos. Cuando el primer lote de producción está completo, la compañía lleva al cabo la reunión para revisar y discutir lo que se aprendió. Aproximadamente seis meses después, la compañía realiza una segunda reunión para analizar la respuesta de los Clientes al producto. Ha habido situaciones en que la respuesta de los Clientes indicaron que lo que la compañía pensó que se hizo correctamente, realmente habían sido decisiones equivocadas. Como consecuencia, se programó una segunda reunión de seguimiento a partir de un segundo reporte.

3.13.2 Documentación

Es importante la labor del GP en la documentación del reporte histórico del proyecto. Se requiere la definición de los apartados o archivos de que constará el reporte. Es absolutamente indispensable la disciplina y constancia de organizar y registrar todos los eventos significativos durante la vida del proyecto, con el objeto de poder recuperar, analizar y tomar conclusiones de los eventos y decisiones ocurridas en el desarrollo de la ingeniería del proyecto.

El reporte histórico es a la vez un registro y una crítica de los eventos significativos ocurridos durante la vida del proyecto. Tiene la finalidad de reunir la historia completa y permanente del proyecto y generalmente es para uso exclusivamente interno de la empresa.

Para todo proyecto debe prepararse el reporte histórico. El índice típico para este reporte se muestra en el Anexo 1, que muestra los temas principales a cubrir. El Anexo 2 es una muestra de la información que deberá registrarse en cada sección. Estos ejemplos son sólo guías generales, puede haber características muy especiales que, a juicio del Gerente de Proyecto, requieran de ser incluidas en el reporte. En cualquier caso, la empresa debe tener definido el formato básico que debe ser seguido en todos los proyectos, para asegurar la uniformidad entre reportes.

Es recomendable hacer uso al máximo disponible de gráficas, tabulaciones y material ilustrativo. Es indispensable incluir toda la información relevante en forma descriptiva, especificaciones, cantidades, costos y horas-hombre del concepto registrado. Aquellos costos que no sean directos del proyecto, como indirectos, utilidad bruta, etc., no se deben incluir en el reporte.

Al inicio del proyecto se debe realizar la planeación de este reporte por el Gerente de Proyecto, por lo que conviene analizar las particularidades del trabajo a realizar y definir aquellos apartados que aplicarán.

Es conveniente considerar el uso de un sistema mecanizado para tener organizado el registro y documentación de los eventos del proyecto. Existen en el mercado paquetes de software disponibles para tal efecto. Lo importante es tener la disciplina y constancia de registrar desde un inicio y durante la vida del proyecto, como una de las actividades rutinarias y no esperar a que se acerque el término del programa. La información se debe registrar cuando todavía está vigente y el personal involucrado con el conocimiento de los hechos está disponible. El reporte debe terminarse y emitirse para revisión antes del cierre de la oficina del proyecto y en ningún caso debería ser después de tres meses de haber emitido el último paquete de trabajo al Cliente.

La revisión y aprobación final debe involucrar al Gerente de Proyecto y a los Gerentes funcionales de la empresa.

ANEXO 1

ÍNDICE DEL REPORTE HISTORICO DE LECCIONES APRENDIDAS

Sección 1 INFORMACIÓN DEL PROYECTO

1.1 Introducción y Alcance

- 1.1.1 Descripción del Proyecto
- 1.1.2 Reporte fotográfico
- 1.1.3 Cliente
- 1.1.4 Alcance del proyecto
- 1.1.5 Descripción del contrato
- 1.1.6 Financiamiento

1.2 Información del sitio

- 1.2.1 Ubicación
- 1.2.2 Topografía y condiciones del suelo
- 1.2.3 Clima
- 1.2.4 Sistemas de comunicación
- 1.2.5 Poblaciones cercanas, hospedaje

1.3 Historia del proyecto y organización

- 1.3.1 Historia del proyecto
- 1.3.2 Organización del proyecto
 - 1.3.2.1 Organización de ingeniería
 - 1.3.2.2 Organización de Servicios de Soporte
 - 1.3.2.3 Organización de procura
 - 1.3.2.4 Relaciones laborales, subcontratos y seguridad
 - 1.3.2.5 Organización en campo
 - 1.3.2.6 Organización de arranque y operación

1.4 Información general del proyecto

- 1.4.1 Ingeniería
- 1.4.2 Programación
- 1.4.3 Ingeniería de costos
- 1.4.4 Procura
- 1.4.5 Subcontratos y relaciones laborales
- 1.4.6 Asistencia técnica en campo, arranque y operación

Sección 2 RESUMEN DE COSTOS

- 2.1 Información general del proyecto
- 2.2 Resumen de Presupuestos, Pronósticos y Costos Reales
- 2.3 Resumen de Ordenes de Cambio
- 2.4 Servicios por otros
- 2.5 Costos de ingeniería
- 2.6 Resumen de horas-hombre consumidas
- 2.7 Presupuesto Final contra Costos Finales

Sección 3 ESTUDIOS DE COSTOS

- 3.1 Equipo principal
- 3.2 Tuberías
- 3.3 Materiales
- 3.4 Subcontratos
- 3.5 Mano de Obra
- 3.6 Renta de Espacio, Mobiliario
- 3.7 Distribuibles
- 3.8 Soporte Administrativo
- 3.9 Análisis detallado
- 3.10 Curvas de Avance

Sección 4 LECCIONES APRENDIDAS

- 4.1 Administración del Contrato
- 4.2 Administración de Proyecto
 - 4.2.1 Planeación
 - 4.2.2 Organización
 - 4.2.3 Ejecución
 - 4.2.4 Monitoreo
 - 4.2.5 Controles de ingeniería
- 4.3 Ingeniería
 - 4.3.1 Proceso
 - 4.3.2 Tuberías
 - 4.3.3 Mecánico
 - 4.3.4 Civil
 - 4.3.5 Eléctrico
 - 4.3.6 Instrumentación y Control
 - 4.3.7 Diseño de Equipos

INFORMACIÓN QUE SE DEBE INCLUIR EN EL REPORTE HISTORICO DE LECCIONES APRENDIDAS

Sección

- 1.1.1 Descripción del Proyecto
- Describir brevemente la naturaleza del proyecto, planta, estación o ducto, tipo de proceso y capacidad.
- 1.1.2 Reporte Fotográfico
- Incluir las fotos más representativas 10 a 12 de interés general, además de otras fotos que puedan ser de interés en otras secciones.
- 1.1.3 Cliente
- Dar un breve antecedente del Cliente, mostrando un organigrama del grupo director del proyecto, mostrando nombres y puestos del personal responsable involucrado con el proyecto. Describir cualquier detalle relevante de acuerdos especiales para el proyecto. Describir a detalle las relaciones de trabajo con el cliente y dar sugerencias para mejorarlas en trabajos futuros
- 1.1.4 Alcance del Proyecto
- Dar un resumen del alcance del proyecto, incluyendo una descripción concisa de las instalaciones involucradas
- 1.1.5 Descripción del Contrato
- Definir los acuerdos contractuales, indicando el tipo de contrato firmado, es decir, precio fijo, por administración, reembolsable con un porcentaje, etc. Describir los límites de alcance de la empresa.
- 1.1.6 Financiamiento
- En proyectos internacionales, indicar los acuerdos de financiamiento con el Cliente, puntualizando en el impacto de los financiamientos en el programa y costo del proyecto.

1.2.1 Ubicación

Proporcionar un mapa del área, mostrando la localización de todas las instalaciones, indicando distancias entre puntos.

1.2.2 Topografía y Condiciones del Suelo

Indicar la topografía del lugar, el efecto de las condiciones del suelo y del nivel freático y cualquier condición especial encontrada en el sitio.

3.14 ENTREGA DEL PROYECTO EJECUTIVO

3.14.1 Eventos En La Entrega Del Proyecto

Se requiere que la empresa tenga un sistema y un criterio uniforme en las actividades que realizan las diferentes áreas responsables de la administración de los proyectos para el cierre de los mismos, y contar con una delimitación clara de las responsabilidades y la toma de decisiones involucradas en el proceso.

Los eventos que se presentan en el proceso de cierre y entrega de un proyecto de ingeniería, se describen a continuación:

Definición de los productos y sus especificaciones.- En el contrato se establecen las condiciones contractuales, las bases técnicas y los alcances físicos de los productos o servicios contratados. En la ingeniería éstos pueden ser, para el caso de una planta de dos áreas de proceso y una de servicios auxiliares, más su integración. Los productos serían los planos aprobados para construcción; las órdenes de compra o pedidos para la totalidad de los equipos y materiales con especificaciones y hojas de datos anexas; la cuantificación de los conceptos de obra civil y electromecánica; el libro de proyecto, con el compendio de los planos, diagramas hojas de datos, memorias de cálculo, especificaciones de equipos, requisiciones y órdenes de compra, volúmenes de obra, etc.; y el libro de fabricante, con todos los dibujos de fabricante certificados.

Entregas parciales.- Durante el desarrollo de la ingeniería se van produciendo los documentos que constituyen los productos contratados. Así, llegará la fecha clave en que se concluya la emisión de planos de la primera sección de proceso, después la segunda, posteriormente la ingeniería para el área de servicios auxiliares y finalmente la integración. En una secuencia semejante, se irán emitiendo con algún defasamiento los volúmenes de obra. También se irán ensamblando y entregando los libros de fabricante para cada área, así como los libros de proyecto.

Las cartas de transmisión serán los elementos que tiene el proyecto para efectuar las entregas parciales. El Cliente a su vez, recibirá los productos, hará la revisión y en su caso, aprobará individualmente los documentos en cuestión. Este acto constituirá en sí mismo la aceptación tácita de los mismos y, pasado el término establecido para presentar al proyecto una observación o rechazo, constituirá la aceptación expresa de los productos parciales recibidos.

Cierre del proyecto con el Cliente.- El Gerente de Proyecto notifica al Cliente la terminación oficial de los trabajos o servicios de ingeniería contratados, dando seguimiento a la recepción de los mismos por parte del Cliente. Simultáneamente, siguiendo los procedimientos internos de la empresa, el Gerente de Proyecto hace la notificación a los departamentos involucrados (p. ej.

: Contabilidad de Costos, Planeación, Cobranzas, Contratos) de que el proceso de finiquito ha sido iniciado.

Aquí se desarrolla una serie de actividades secuenciales que conducen a la presentación de documentación y notificaciones en ambos sentidos. Una secuencia típica se describe a continuación de manera enunciativa, aunque pueden existir variaciones de empresa a empresa y en función de lo que se acuerde con el Cliente. Se presenta a manera de tabla los pasos secuenciales, responsabilidad y un ejemplo de las formas típicas (Anexo 1) que se emplean para realizar el trámite en cuestión:

	Responsable	Actividad	Forma
1	Cliente	Activa a la Firma de Ingeniería la entrega de la documentación generada durante el desarrollo de las actividades amparadas en el contrato	001
2	Firma de Ingeniería	Notifica al Cliente al término de los trabajos	002
3	Cliente	Recibe la notificación de terminación y verifica que estén debidamente concluidos y confirma a la Firma de Ingeniería su aceptación o rechazo. En el caso de aceptarse, procederá a notificar a la Firma de Ingeniería que inicie la solicitud de recepción, dentro de un plazo de 60 días hábiles. En caso de rechazo procede el paso 5	003
4	Firma de Ingeniería	Solicita oficialmente la autorización para llevar al cabo la recepción final del proyecto. Ver paso 6	004
5	Cliente	En caso de no aceptar la recepción oficial del contrato, deberá generar un oficio de justificación a la Firma de Ingeniería	005
6	Firma de Ingeniería	Prepara expediente para cierre de proyecto, con la siguiente documentación: a) Asignación b) Propuesta c) Contrato de Orden de Trabajo d) Fianzas e) Estado de Facturación f) Copia de las estimaciones g) Documentos varios de respaldo, complemento de cierre.	
7	Cliente	Elabora oficio de autorización de recepción del proyecto y programa firma del Acta de Recepción, indicando lugar, fecha y hora.	006
8	Firma de Ingeniería	Verifica que a la fecha de cierre no existan pendientes de pago de estimaciones. En caso de existir, deberá conciliarse y obtener el pago correspondiente por parte	

	Responsable	Actividad	Forma
		del Cliente.	
9	Firma de Ingeniería - Cliente	Se lleva al cabo el protocolo de cierre del proyecto, levantando acta de entrega – recepción, firmándola los representantes autorizados de ambas partes	
10	Firma de Ingeniería	Organiza el archivo técnico y administrativo	
11		Fin del trámite	

3.14.2 Cierre Interno del Proyecto

El Gerente de Proyecto, en forma conjunta con los Departamentos de la Empresa, preparará un reporte ejecutivo con la siguiente información básica del proyecto:

- a) Nombre del Proyecto
- b) Objetivo
- c) Margen Bruto de Utilidad
- d) Consumo histórico de horas-hombre por especialidad
- e) Facturación
- f) Relación costo beneficio
- g) Lecciones Aprendidas

Esta información será de suma utilidad si se analiza y se integran los resultados al proceso de mejora continua

3.14.3 Retroalimentación del Cliente

Como parte del cierre del proyecto, el Gerente de Proyecto solicitará al Cliente el llenado de un cuestionario de retroalimentación. Este cuestionario servirá para conocer los puntos de vista del Cliente referente a los trabajos ejecutados considerando su valor estratégico y la forma en que se ejecutó el proyecto. (Anexo 3)

Una vez obtenido el cuestionario debidamente requisitado, este se hará del conocimiento de los Gerentes de Especialidad y los Gerentes Ejecutivos

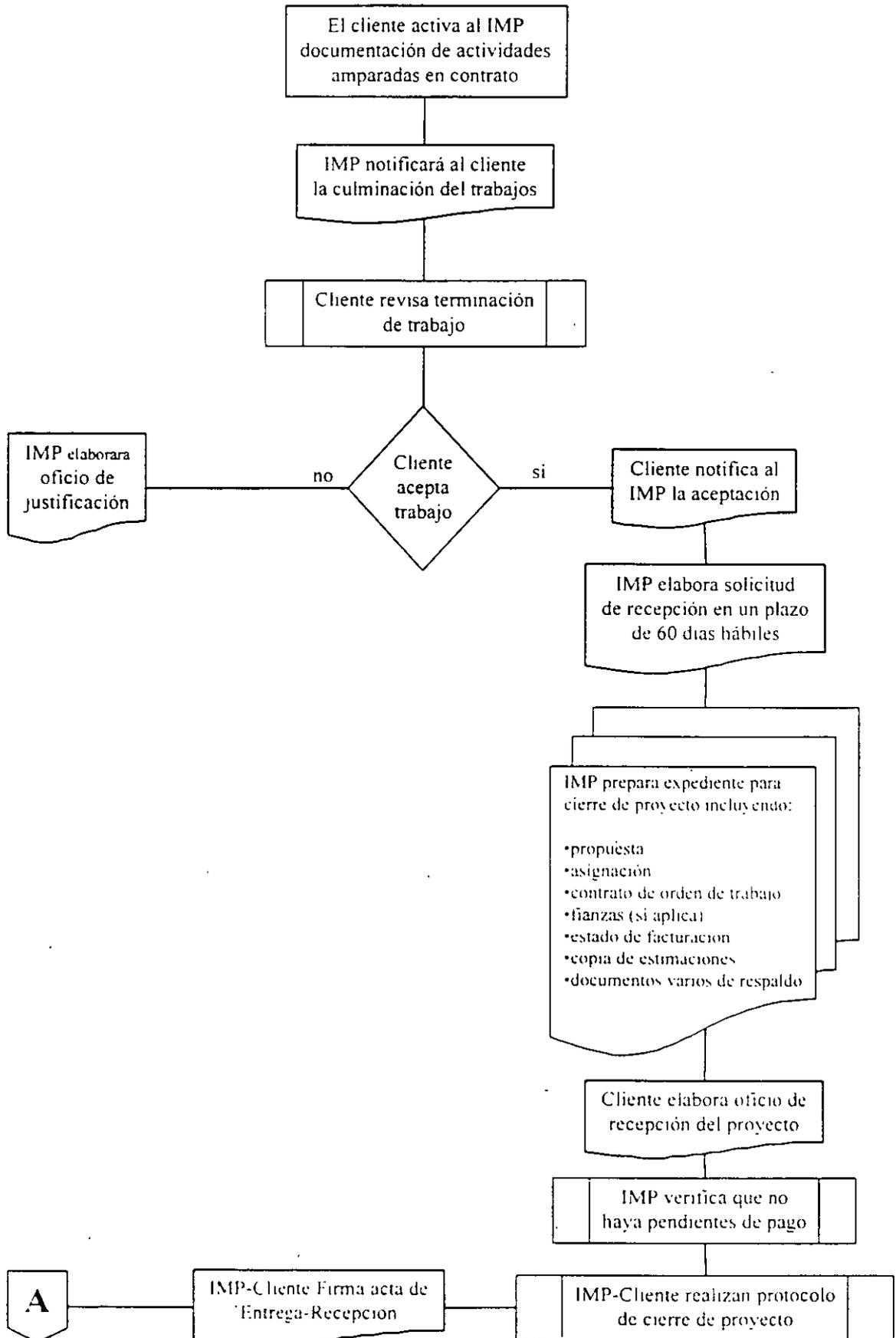
Anexo 1. Flujograma

Anexo 2. Formatos para cierre de proyecto con el Cliente.

Anexo 3. Cuestionario de retroalimentación con el Cliente.

ANEXO 1
FLUJOGRAMA

Cierre de Proyecto con Cliente



**Cierre de Proyecto con Cliente
(continuación)**

A

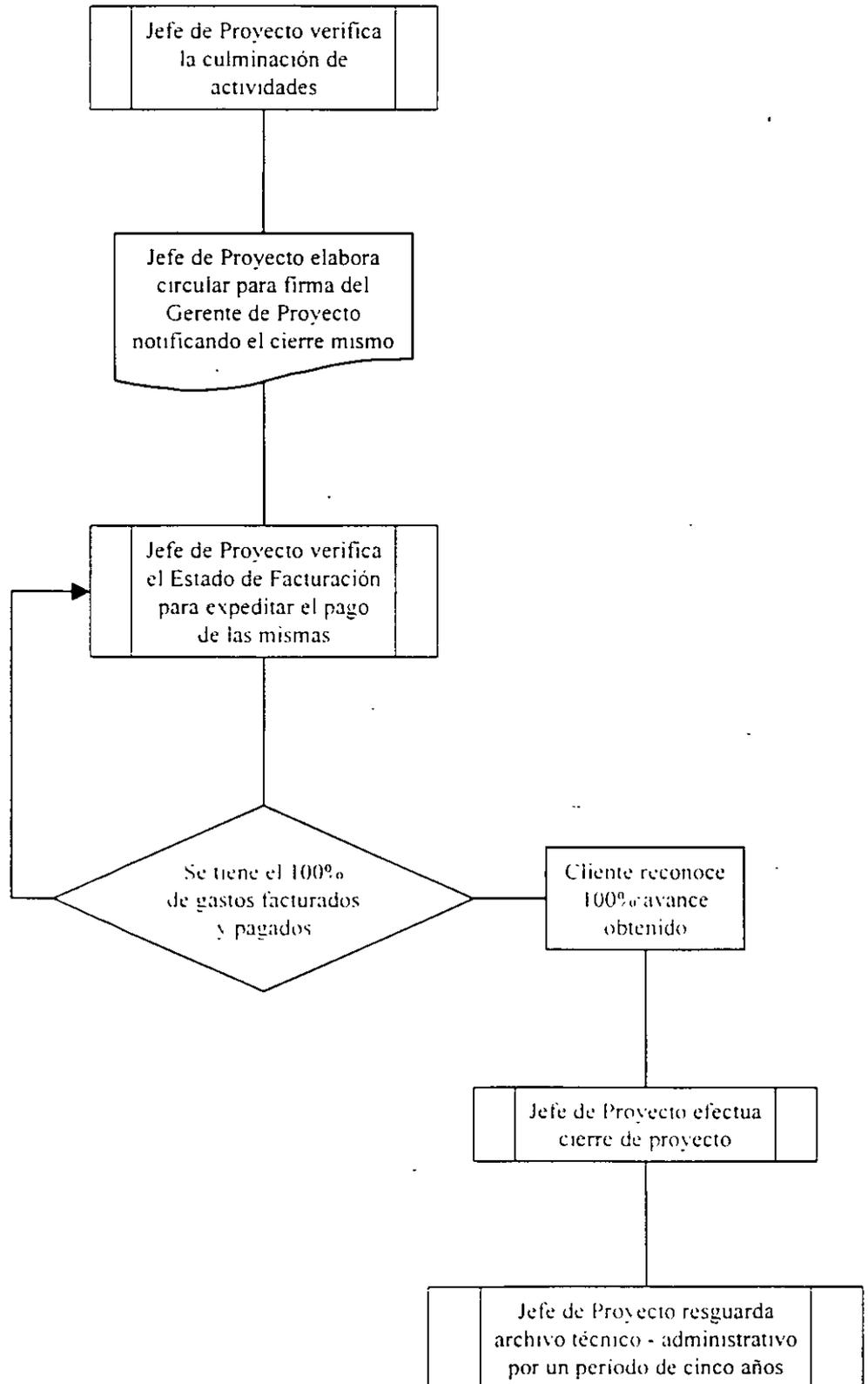
IMP organiza archivo
Técnico - Administrativo

IMP solicita al cliente
el llenado del cuestionario
para evaluación del
servicio prestado

El Jefe de Proyecto hace del
conocimiento los resultados
a los Gerentes de Rama
y Subdirector de Ingeniería

Terminación
del
Procedimiento

Cierre interno de Proyecto



ANEXO 2

FORMATOS PARA CIERRE DE PROYECTO CON EL CLIENTE

FORMA: _____001

México, D.F., a ___ de _____ de 199__

FIRMA DE INGENIERIA
Funcionario Responsable
Presente.-

No. De referencia: _____

Asunto: Activación de la entrega de
documentación para
recepción de contrato

Por este conducto solicito a usted su intervención, con el objeto de activar la preparación de la documentación generada en el Contrato No. _____, Para la entrega de la misma a (nombre del cliente), dado que su vigencia esta por terminar el día ___ de _____ de 199__.

A fin de no incurrir en violaciones respecto a lo que establece la Ley de Obras Públicas (*) y el propio contrato, agradeceré se lleve a cabo lo solicitado anteriormente; a la brevedad posible.

Atentamente

Funcionario Responsable por el Cliente

C.c.p.

(*) = Si aplica

FORMA: 002

México, D.F., a ___ de _____ de 199_

CLIENTE
Funcionario Responsable
Presente.-

No de referencia: _____

Proyecto: _____

Partida Presupuestal: _____

Asunto: Aviso Terminación de Trabajos.

Por medio del presente le informo que estamos dando por terminados los trabajos correspondientes al Contrato No. _____, que ampara el desarrollo de los trabajos correspondientes a: _____ del proyecto de referencia, cuyas características son las siguientes:

1. Vigencia original
2. Ampliación de vigencia
3. Horas-Hombre originales
4. Horas-Hombre ampliación
5. Horas-Hombre totales
6. Importe original
7. Importe de ampliación
8. Importe total
9. Avance total
10. Horas-hombre consumidas totales
11. Importe facturado total

Sobre el particular, me es grato remitir a usted la información derivada del objeto del contrato antes mencionado misma que a continuación se detalla:

- A - Relación de planos (Código y número de plano)
- B.- Libros de proyecto
- C - Memorias de cálculo.

En espera de que la documentación antes mencionada merezca su aprobación, nos ponemos a sus órdenes.

Atentamente

Funcionario Responsable
FIRMA DE INGENIERIA

C c p

FORMA: 003

México, D.F., a __ de _____ de 199_

FIRMA DE INGENIERIA
Funcionario Responsable
P r e s e n t e.-

No de referencia: _____

Asunto: Aceptación de trabajos concluidos del
Contrato No..

En respuesta a su oficio No _____, de fecha _____, mediante el cual nos informa de la terminación de los trabajos correspondientes al Contrato No. _____, que ampara el desarrollo de los trabajos relativos a: _____ correspondiente al (los) proyecto(s) No(s): _____, y cuyas características son las siguientes:

1. Fecha de inicio
2. Fecha de terminación contractual
3. Fecha de terminación última estimación
4. Horas-Hombre totales
5. Monto original contratado
6. Monto con ampliaciones
7. Monto erogado
8. Partida presupuestal
9. Avance total

Ratificamos que con fecha _____, ha sido recibida y aceptada a nuestra entera satisfacción toda la información derivada del presente, misma que se relaciona a continuación:

- A.- Relación de planos (Código y número de planos)
- B.- Libros de proyecto
- C - Memorias de cálculo.

Con lo anterior se dan por terminados y concluidos los trabajos objeto de este contrato.

A t e n t a m e n t e

Funcionario Responsable por el Cliente

C.c p.

FORMA: 004

México, D.F., a __ de _____ de 199_

CLIENTE
Funcionario Responsable
Presente.-

Atención: Funcionario

Asunto: Solicitud de autorización para
recepción del Contrato No. _____

En relación con el Contrato No _____, relativo a: _____, solicitamos a usted se nos autorice su recepción, en virtud de que los trabajos fueron terminados el día ____ de _____ de 199_ y entregados a satisfacción del personal responsable a su digno cargo con un avance final de ____% y un monto total generado de \$ _____ (\$ _____).

Por este mismo conducto, informamos a usted que los trabajos correspondientes a este contrato han sido totalmente liquidados por ustedes.

Asimismo, comunicamos que (nombre del cliente) ha recuperado la totalidad del anticipo que nos autorizó para el inicio de los trabajos.

Nota: En caso de que no se hubiera solicitado y/o autorizado algún anticipo, se deberá manifestar, de igual manera detallar las razones, en caso de no haber llegado al 100% de avance de trabajos contratados.

Esperando que lo anterior sea de su aprobación, quedamos de usted.

A t e n t a m e n t e

Funcionario Responsable
FIRMA DE INGENIERIA

C.c.p

FORMA: 005

México, D.F., a __ de _____ de 199_

FIRMA DE INGENIERIA
Funcionario Responsable
Presente.-

No de referencia: _____

Asunto: JUSTIFICACION
de la no recepción oficial
del Contrato No _____

En atención a su solicitud de recepción oficial del Contrato No _____, nos permitimos informar a usted que consideramos que no es aceptable en virtud de: _____ por lo que consideramos que no ha quedado concluido el compromiso contractual contraído por la empresa a su digno cargo.

(Explicar los motivos que generaron el rechazo de la solicitud de autorización de recepción.)

Por lo anterior, solicito se sirva indicar un plazo adecuado para llevar a cabo la adecuación correspondiente con objeto de dejar concluido a satisfacción el compromiso contratado.

Atentamente

Funcionario Responsable por el Cliente

C.c.p.

FORMA: 006

México, D.F., a ___ de _____ de 199__

FIRMA DE INGENIERIA
Funcionario Responsable
Presente.-

Asunto: Autorización de la recepción del
Contrato No.

En respuesta a su oficio No. _____, de fecha _____ de 199__ con un avance del ___% y con un monto total erogado de \$ _____ (\$ _____).

Nota: Se deberá detallar la razón, en caso de no completar el 100% de avance de los trabajos.

Comunicamos a usted nuestra autorización para que se proceda a la recepción del mencionado contrato, debiendo elaborarse un acta de entrega-recepción final de los trabajos, para lo cual los citamos al responsable del cierre y representante legal el día ____, a las ___ horas. , en _____.

Atentamente

Funcionario Responsable por el Cliente

C.c.p.

ANEXO 3

**CUESTIONARIO DE RETROALIMENTACIÓN
CON EL CLIENTE.**

Instrucciones para el llenado del Cuestionario de Retroalimentación del Cliente

El cuestionario de retroalimentación de clientes de la FIRMA DE INGENIERIA, está orientado a conocer su punto de vista sobre los trabajos ejecutados para usted y su empresa. El cuestionario considera dos aspectos, el valor estratégico y la ejecución del proyecto.

- ◆ El valor estratégico se refiere a por qué se llevó a cabo el proyecto, es decir, cual es el valor global del proyecto en términos de su importancia dentro del programa real de su empresa, el valor técnico del mismo y los beneficios económicos potenciales de los resultados del proyecto.
- ◆ La ejecución del proyecto se refiere al modo en que la FIRMA DE INGENIERIA desarrolló sus servicios para el proyecto.

Por favor complete el cuestionario anexo, usando tinta negra, como sigue:

1. Revise y llene la información del cuadro de datos del proyecto, verificando su validez.
2. Complete los puntos 1 a 22, ya sea indicando su puntuación, o escribiendo una respuesta de tipo narrativa, según considere apropiado.
3. Regrese el cuestionario debidamente contestado al Responsable de Proyecto que lo atendió, o bien, por el medio de comunicación que prefiera; incluyendo los siguientes datos:

Atención:

Domicilio:

Fax:

Email:

Agradecemos de antemano la atención brindada para el llenado del cuestionario. Su retroalimentación será empleada para cubrir de mejor manera sus necesidades en proyectos futuros, dentro de nuestro actual programa de "Mejora Continua de Ingeniería". La información proporcionada será manejada en forma confidencial y exclusivamente para los fines descritos.

Cuestionario de Retroalimentación del Cliente

Fecha: _____

Nombre del Proyecto: _____

No. Proyecto FIRMA DE INGENIERIA: _____ No. Proyecto Cliente: _____

Contacto del Cliente: _____

Contacto de la FIRMA DE INGENIERIA: _____

Concepto	Puntuación (a)												
	1	2	3	4	5	6							
	Bajo		Medio		Alto	N/A							
Valor estratégico: (Por qué se desarrolló este proyecto?)													
1. La importancia de este proyecto para lograr los objetivos de su programa es: <small>(Por ejemplo, si el presupuesto fuera disminuido, cual seria la probabilidad de que el proyecto sea ejecutado?)</small>													
2. El significado del éxito o falla de este proyecto para alcanzar los objetivos de su programa es:													
3. El grado de integración nacional de este proyecto es:													
4. El impacto científico/tecnológico de este proyecto en su campo es:													
5. El reto técnico asociado con la terminación exitosa de este proyecto es:													
6. El potencial para el ahorro o eliminación de costos resultantes, en caso de lograr los objetivos de este proyecto son:													
7. El potencial para reducir a futuro responsabilidades ambientales, de seguridad y de salud es:													
De los conceptos antes indicados, identifique los tres más importantes para usted													
<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">4</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">5</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">6</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">7</td> </tr> </table>							1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7							
(a) N/A = No aplica													

Cuestionario de Retroalimentación del Cliente

9. Por favor proporcione cualquier otra información sobre el valor del trabajo desarrollado bajo este proyecto:

Concepto	Puntuación								
	1 Bajo	2	3 Medio	4	5 Alto	6 N/A			
Desarrollo del Proyecto: Evalúe la habilidad de la FIRMA DE INGENIERIA para									
1. Comprender lo que necesita el proyecto y cómo obtenerlo									
2. Integrar tecnologías, metodologías o disciplinas que mejoren el desarrollo del proyecto									
3. Organizar los recursos requeridos (Por ejemplo, personal clave, instalaciones y/o equipos, etc)									
4. Entregar productos o servicios a tiempo									
5. Entregar productos o servicios con un costo/beneficio									
6. Trabajar eficientemente con usted, siendo flexibles y respondiendo a sus necesidades y expectativas									
7. Entregar productos que cumplan sus expectativas de calidad									
8. Suministrar nuevas tecnologías o métodos técnicos que pueden ser susceptibles de posterior desarrollo									
9. Establecer asociaciones industriales con empresas fuertes en comercialización de nuevas tecnologías									
10. De los conceptos listados anteriormente, marque los cuatro más importantes para usted.									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Cuestionario de Retroalimentación del Cliente

1. ¿Cómo nos compara con nuestros competidores?

2. ¿Cómo podemos servirle mejor?

3. Por favor suministre cualquier otra información que quiera expresarnos sobre nuestros servicios (Por ejemplo, como evalúa los beneficios intangibles de nuestros servicios, tales como objetividad, honestidad, compromiso; ¿Como podemos mejorar?).

3.15 JUNTAS

Durante el desarrollo de un proyecto, tienen lugar gran cantidad de reuniones, en las que se conjunta el tiempo y las habilidades y conocimientos de los miembros del grupo del proyecto.

Es muy común en las organizaciones la renuencia o rechazo a las juntas, ya que, cuando no se manejan adecuadamente, se convierten en enemigos del tiempo de las personas. Y normalmente, a uno no le agrada que haya factores que afecten nuestra agenda de trabajo, cuando tiene unos compromisos y metas que cumplir.

Es conveniente sacar el mejor provecho de las reuniones y realizar solamente aquellas reuniones que sean absolutamente indispensables. Es la labor del Gerente de Proyecto y sus colaboradores el lograr que esto se cumpla y que las reuniones del proyecto sean plenamente productivas.

Es importante también recordar que una junta es una actividad de grupo y que por ello, bien dirigida debe contribuir a fomentar y mantener el orgullo de pertenencia al grupo de proyecto y a dejar en los asistentes el sentido de satisfacción de haber participado en una reunión efectiva en la que se hace uso adecuado de su tiempo y que su aportación tendrá un impacto favorable en el proyecto.

3.15.1 Tipos de Juntas

Dentro de un proyecto se desarrollan juntas de información, en las que se cita para presentar a los integrantes del grupo los logros del proyecto, las amenazas y las oportunidades, de manera que todo mundo esté en conocimiento del marco y ambiente en que se realiza el proyecto, de manera que puedan poner oportunamente su experiencia, todas las habilidades y dedicación al cumplimiento del proyecto dentro del alcance, programa y costo planeados.

A estas juntas se convoca a los líderes de las disciplinas técnicas, así como a los responsables de la programación, estimación y control de costos del proyecto.

Existen las reuniones para la presentación y discusión de problemas específicos que amenazan o que ya involucran una desviación a los parámetros de cumplimiento del proyecto. En ellas se requiere que la presentación de los problemas potenciales o reales sea de manera concisa pero plena e incluya alternativas de solución y el impacto que representa para el proyecto. Se requiere que la discusión se centre en la búsqueda de soluciones y en la selección que involucre menor riesgo y menor repercusión, así como en plantear cursos alternativos que incluso, mitiguen los efectos.

A estas reuniones se debe convocar a aquellos elementos que se vean involucrados en el problema, sin faltar quienes puedan aportar medios de solución a los mismos.

Las reuniones de revisión de proyecto con el Cliente se llevan a cabo con la periodicidad acordada en el contrato, y se tendrán reuniones extraordinarias cada vez que el Gerente de Proyecto y el representante del Cliente así lo decidan. En estas reuniones se presentan los avances, las erogaciones y se plantean aquellos puntos que requieren discusión entre ambas partes, como pueden ser: problemas no previstos que incidan en la realización del proyecto, cambios al proyecto, retrasos de fabricantes de equipo, cambios en los integrantes clave en alguna de las partes, etc.

El Gerente de Proyecto decidirá quienes son los convocados a este tipo de reuniones.

3.15.2 Realización de las Juntas

La junta que se desea realizar debe ser perfectamente planeada, debidamente convocada, estrictamente controlada en su desarrollo, eficazmente concluida y, finalmente, seguida de manera estricta en sus compromisos, para que rinda los frutos que se persiguen y además, se logre de manera productiva.

3.15.2.1 Planeación

El Gerente de Proyecto debe realizar una cuidadosa planeación de la junta tomando en cuenta:

El día y la hora.- Debe tomar en cuenta los factores que pueden incidir en el éxito de los objetivos establecidos, como son la disponibilidad y ánimo de la gente en lunes por la mañana, por ejemplo, cuando existe el peligro de que haya retraso en la llegada del personal, o en las tardes, después de la comida, cuando es difícil mantener la atención fija. En ocasiones se puede considerar que una junta de dos horas de duración esperada, inicie dos horas antes de la salida. De esta manera, todos los presentes estarán más conscientes del tiempo y tenderán a no desperdiciarlo, alargando innecesariamente la reunión.

Asistentes.- Convocar a quienes estén enterados de los detalles y su posible solución, a quienes deban o puedan estar enterados de lo que se va a informar, y no convocar a aquellos que por su rango no puedan dejarse fuera de la misma. Se requiere considerar que cada junta tiene además de todo, un costo para el proyecto y que mientras más elementos dediquen su tiempo a asistir a la reunión, más alto será su costo de realización, sin que por ello signifique más o mejores resultados para el trabajo.

Agenda.- Definir claramente y en forma concisa el objetivo de la reunión, así como aquellos puntos que se van a tratar y el orden en que conviene en que se aborden. No es adecuado incluir demasiados puntos y tratar que se dedique un tiempo muy reducido a cada uno para no alargar la sesión. Además, esto traería como consecuencia que un mayor número de participantes tenga que ser invitado, aunque no hayan de participar mas que en algunos de los temas. Siempre es preferible programar dos reuniones en que los temas se seleccionen por afinidad y con un número reducido de participantes cada una.

Es una buena práctica el enviar la agenda de la reunión a todos los asistentes convocados, esto les dará tiempo de preparar su parte con tiempo. Si alguien tiene que preparar y presentar en la junta algún informe, es conveniente incluir su nombre en la agenda frente al tema que le corresponde. Hay que reconocer que cuando la gente puede presentarse a una reunión con su parte ya preparada, ahorra tiempo a todos los que atiendan a la junta.

Es recomendable en muchos casos, incluir en la agenda, el estimado de costo de la reunión, calculado tomando como base los participantes invitados, su nivel o categoría y la duración esperada. Con ello, todos estarán conscientes del costo que tendrá para el proyecto. Así, al final de la junta, por la duración y los asistentes que participaron, se podrá calcular el costo real que tuvo la junta. Esta práctica puede contribuir a concientizar al personal del costo del tiempo y la necesidad de emplearlo en la forma más eficiente y eficaz.

Lugar de la reunión.- Se debe pensar en un lugar adecuado para la reunión considerando que se pueda contar con el espacio y amplitud suficientes y los espacios y comodidad adecuados, según el número de asistentes. Es conveniente que la sala de la junta cuente con la suficiente privacidad como para evitar que el movimiento normal de las personas ajenas a la junta, altere y distraiga a quienes están en la reunión. Por otro lado, es importante tomar en cuenta que, en ocasiones es necesario tratar temas en los que es necesario contar con intimidad y que no conviene expresar abiertamente y/o que pueda inhibir a los participantes a abordar el tema por temor a ser escuchado por alguien ajeno a la reunión.

3.15.2.2 Desarrollo

El Gerente de Proyecto es responsable de dirigir y controlar la reunión, comenzando por el rigor en cuanto a la puntualidad, seguido por el inicio o arranque de la reunión, en la que hará la presentación del objetivo y buscando captar la atención y el interés de los asistentes, evitando que el inicio sea frío y sin la integración necesaria. Otro aspecto esencial es el del tiempo de exposición y/o de discusión de algún tema; debe regirse en lo posible por el tiempo disponible para cada punto de la agenda.

Es también importante designar a la persona responsable de tomar las notas de la junta o minuta de la reunión. Esta persona deberá ser capaz de comprender los asuntos que se plantean y saber dar la redacción adecuada al tema desarrollado, a los acuerdos y los compromisos. De esta manera podrá ser de gran ayuda para auxiliar en el control de la reunión.

Es conveniente que el Gerente de Proyecto logre crear un clima humano de grupo en las juntas, además que como líder tiene que ser promotor e instigador, moderador y cuando sea necesario, hacer uso de su autoridad y no ser tibio o conciliador. En ocasiones, cuando es indispensable ir al fondo de un asunto, el Gerente de Proyecto debe incluso provocar el conflicto, ya que de otra manera se obtendría un tratamiento superficial o imperfecto del asunto. Para ello, el Gerente de Proyecto debe conocer al personal de su proyecto y reconocer la forma en que conviene dirigir la discusión para no caer en posturas personales o en enfrentamientos francos.

El Gerente de Proyecto es quien podrá decidir cuando un punto ha sido suficientemente discutido y es el momento de tomar acuerdos y compromisos. Debe saber reconocer el Punto de Saturación, es decir cuando el tema ya fue agotado y se pueden tomar decisiones o, cuando por más tiempo y argumentos se dediquen a un punto, o por falta de información se da la especulación, y no se puedan lograr resultados positivos.

Cada punto tratado, con sus acuerdos y compromisos será escrito conforme se va desarrollando la reunión y es recomendable que se dé lectura al tema y a las resoluciones, indicando los compromisos concretos, la fecha prometida y al responsable de su ejecución.

No se debe dejar que las discusiones se alarguen demasiado, teniendo respeto por el tiempo de cada uno. Así mismo se debe controlar las discusiones, evitando que se den los enfrentamientos entre integrantes, cuando alguno se sienta afectado o agredido en su parte del proyecto. A veces es inevitable que el trabajo de algún especialista se vea afectado y que sea necesario modificarlo e incluso que lo tenga que repetir. Esto hace que las gentes reaccionen y lo manifiesten en la reunión. Ahí es donde entra la habilidad del Gerente de Proyecto para mediar y poner las cosas en su lugar.

En ocasiones, será necesario que el Gerente de Proyecto intervenga para abundar o clarificar lo expuesto por alguno de los participantes que no ha sido muy elocuente o conciso, evitando de esta manera, los sobreentendidos, los argumentos implícitos y los malos entendidos.

Al concluir la junta, conviene que el Gerente de Proyecto haga un resumen de los acuerdos y solicite la retroalimentación de alguno o algunos de los presentes, con el objeto de verificar que cada cual entendió perfectamente los acuerdos, especialmente aquellos aspectos que considere relevantes para el

desarrollo de los trabajos. Esta práctica asegura que, cuando cada uno regrese a su lugar de trabajo, lleve la idea precisa de lo acordado y sus implicaciones

3.15.2.3 Seguimiento

Posteriormente a que se celebró la junta, el Gerente de Proyecto deberá asegurarse que la minuta de la reunión sea distribuida dentro del día siguiente. Es también su labor hacer un seguimiento de los compromisos adquiridos, vigilando que se cuente con todos los antecedentes y la información precedente para el cumplimiento de los compromisos en la fecha establecida.

En el terreno personal, es recomendable que el Gerente de Proyecto se acerque a aquella persona que durante la junta se vio alterada por sentirse afectada o agredida o que una decisión no fue justa con él, con el objeto de disolver las tensiones y resolver la situación, evitando que el malestar continúe más allá de lo normal.



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

Selección y Aplicación de la Tecnología

Ing. José Antonio Esteva Maraboto
Palacio de Minería
1998.

Selección y aplicación de tecnología

Uso de los conocimientos y la información para producir efectos económicos tangibles

Gestión de la tecnología

- Uso de la capacidad de la organización para enfrentar los problemas de la empresa y generar y aprovechar oportunidades
- Uso de conocimientos y experiencias previas que sean aplicables para mejorar rentabilidad y la competitividad
- Capacidad de decidir libremente las opciones más convenientes

Contenido

- Definiciones básicas
- La tecnología en la empresa
- Ciclo de la tecnología y formas de adquisición
- Tecnología y estrategia
- Fuentes de tecnología
- El ciclo de los proyectos

Conceptos básicos

- La tecnología es un recurso de la economía
- Es *habilitadora* de propósitos concretos
- Resulta principalmente de la experiencia productiva
- Siempre está inconclusa
- Está sujeta a un proceso de destrucción creativa

Visiones sobre la tecnología

- Paquete de información
- Cerrado e invariable
- Utilizado como insumo de los procesos productivos
- Capacidad acumulativa
- De interpretar y aplicar experiencias y conocimientos
- Para atender a necesidades concretas de la producción y la comercialización

- Soluciones hechas en busca de problema
- Definición del problema y búsqueda de mejor solución

Propósitos de la selección

- Saber cómo hacer las cosas (know how)
- Saber por qué se hacen así las cosas (know why)
- Saber qué cosas hacer (know what)

Modelos de interpretación

- Tecnología implícita
- Caja negra
- Acumulación
- Desarrollo lineal
- Creación original
- Integración a partir de elementos

Tecnología implícita

- La empresa no necesita adquirir tecnología
- Sabe por experiencia cómo hacer las cosas
- Eventualmente puede servirse de sus observaciones de lo que hacen otros
- Si hay problemas los enfrenta y resuelve sobre la marcha

Caja Negra

- Todo lo necesario puede obtenerse en un paquete
- Es mejor no hacerle cambios
- Debe negociarse un compromiso de actualización por el suministrador
- Los problemas que no se puedan resolver localmente se consultan
- Se prepara al personal para usar

Acumulación

- La empresa aprende de su propia experiencia productiva
- Registra cuidadosamente los resultados y los incorpora a sus conocimientos previos
- Si necesita ayuda la busca y se asegura de registrarla también

Desarrollo lineal

- Los conocimientos se originan a través de la investigación
- Se les identifican aplicaciones y a partir de ello se desarrollan los proyectos de ingeniería
- Los proyectos se dimensionan y se realizan
- Cada quien es responsable de su tramo

Creación original

- Los nuevos conocimientos se obtienen a través de acciones de investigación
- Una vez desarrollados se adaptan para uso industrial a través de escalamiento y producción de prototipos
- Por último se diseñan y prueban los procesos de producción necesarios

Integración de la tecnología

- La tecnología nunca es un caso terminado
- No es un paquete único y hecho sino armonización de varias tecnologías concurrentes
- Incorpora conocimientos de orígenes diversos: experiencia productiva, compra de tecnología, transferencia de otros campos, investigación y desarrollo

La tecnología en la empresa

- Una misma empresa puede hacer utilidades con una tecnología y pérdidas con otra
- De dos empresas que usan la misma tecnología una puede hacer dinero y la otra perder.

- El impacto económico de las opciones tecnológicas no sólo depende de su contenido o de su originalidad sino también de la organización que las usa y de las circunstancias en que se aplica.

El ciclo tecnológico

- Necesidad detectada
- Conocimientos disponibles
- Desarrollo tecnológico
- Pruebas de aplicación
- Registro de operación
- Experiencia acumulada

Beneficios de la tecnología

- Mejoramiento de los costos
- Aumento y preservación de la calidad
- Aumento en la participación de mercados
- Aumento en el valor económico agregado
- Aumento en la utilización de las inversiones
- Aprovechamiento de insumos disponibles
- Protección del medio ambiente

Posibles visiones sobre la vida útil de la tecnología

- Hasta que se haya amortizado la inversión realizada
- Hasta que aparezca una nueva opción que supere
- Hasta que deje de ser negocio

Formas de la tecnología

- Concepto del producto
- Especificaciones de fabricación
- Diseño de los procesos
- Maquinaria y equipo
- Administración de la producción
- Comercialización y gestión
- Formación de personal

Formas de adquisición

- Compra de elementos con tecnología incorporada
- Experiencia directa de producción
- Asistencia técnica
- Alianza con otras empresas
- Investigación y desarrollo
- Investigación subcontratada

Ciclo de adquisición

- Identificación de necesidades
- Identificación y selección de opciones
- Negociación y habilitación
- Implantación
- Mejora incremental
- Rediseño y actualización

Paquetes tecnológicos

- Diseño de los productos
- Especificaciones de los materiales
- Diseño de las instalaciones productivas
- Especificaciones de métodos y procesos
- Información de aplicación
- Administración de la producción
- Métodos de administración

Transacciones tecnológicas

- Acceso a información técnica actualizada
- Licencia de explotación de patentes
- Asistencia técnica especializada
- Diseño de instalaciones, maquinaria y equipo
- Servicios técnicos de apoyo
- Capacitación y desarrollo de personal

Valor de la tecnología

- Naturaleza y valor de las ventajas que proporciona
- Costo de la mejor alternativa disponible
- Valor y disponibilidad de otras opciones
- Probabilidad de ser superada
- Capacidad de mantener la exclusividad

Costo de la tecnología

- Pago inicial y regalías
- Costo de aprendizaje y asimilación
- Costo de adaptación para su uso
- Diferencias en costos de insumos
- Diferencias en eficiencia y aprovechamiento de la inversión
- Costo de fallas, deficiencias y reparaciones

Tecnología y estrategia

- La tecnología es un activo de la empresa
- Debe buscarse el máximo rendimiento sobre la inversión
- Su valor puede aumentar con el tiempo
- Es un resultado más de la actividad productiva
- Cada opción tecnológica tiene efectos diferentes

Desarrollo de tecnología

- Aplicación de resultados de investigación
- Experiencia operativa
- Identificación de oportunidades
- Impacto económico
- Capacidad productiva
- Desarrollo de aplicaciones
- Difusión

Evaluación de tecnologías

- Impactos sobre el valor y sobre el costo
- Aumento en consumo de energía
- Impactos sobre el medio ambiente
- Necesidades de recalificación
- Uso de insumos difíciles de obtener
- Nuevas inversiones
- Impacto sobre la competitividad

Indicadores significativos

- Factibilidad técnica
- Interés comercial
- Rentabilidad del negocio
- Costos e inversiones requeridas
- Impactos sobre el medio ambiente y la sociedad

Términos de comparación

- Contenido y actualización
- Costos de aplicación
- Impactos sobre el medio ambiente y la sociedad
- Impactos y necesidades de organización
- Capacidad de incidir sobre los parámetros del negocio

Introducción de innovaciones

- Mejoras a procesos y productos
- Nuevos materiales
- Nuevos procesos
- Nuevas aplicaciones
- Nuevas empresas
- Nuevas formas de organización interempresarial

Fuentes de tecnología

- Capacidad existente
- Experiencia operativa
- Copia o imitación
- Transferencia desde otra organización
- Asistencia técnica asimilada
- Invención / innovación
- Investigación y desarrollo

Parámetros de las opciones

				Moderado
				Moderado

Por qué conviene investigar

- No todos los problemas son iguales
- Pueden variar los costos relativos de los insumos
- Pueden variar las condiciones de aplicación
- Puede haber oportunidades no identificadas en otras empresas u otros países
- Puede haber “preguntas” diferentes

Ciclo de los proyectos

- Definición del proyecto
- Selección de opción
- Ingeniería básica
- Ingeniería de detalle
- Construcción
- Solución de problemas
- Operación
- Aprendizaje tecnológico

Libertad de decisión

- Tipo de proyecto
- Tamaño
- Selección de sitio
- Proyecto básico
- Especificación de equipos
- Identificación de accesorios
- Selección de proveedor

Cascada tecnológica

Campos de decisión

- Tecnologías de aplicación
- Diseño y desarrollo
- Tecnologías de producción
- Equipamiento e instalaciones

Ejemplos de tecnologías asociadas al diseño

- Estudios de suelos
- Métodos de cálculo de estructuras
- Diseño estructural
- Diseño arquitectónico
- Diseño de instalaciones

Ejemplos de tecnologías asociadas a la aplicación

- Inmuebles especializados
- Confiabilidad / seguridad
- Comportamiento en situaciones extremas
- Instalaciones auxiliares
- Conservación y mantenimiento
- Organización y comunicaciones

Ejemplos de tecnologías asociadas a la producción

- Materiales
- Procesos productivos
- Trayectorias físicas y movimientos
- Formas de organización productiva
- Administración de la producción

Ejemplos de tecnologías asociadas al equipamiento

- Selección
- Actualización
- Utilización
- Mantenimiento

Algunas decisiones implícitas

- Qué aprovechar / qué desperdiciar
- Qué insumos importar
- Qué costos aceptar
- Qué inversiones hacer en infraestructura
- Qué efectos producir en el entorno natural
- Dónde dar empleo
- A quién desarrollar

Posibles opciones de política

- Registrar y explotar la propia experiencia
- Mejorar el acceso a tecnologías disponibles
- Asegurar la asimilación de las tecnologías adquiridas de fuentes externas
- Hacer investigación y desarrollo
- Patrocinar investigación en instituciones adecuadas
- Apoyar la creación y consolidación de capacidad

Impacto de las opciones

- Costo
- Vida útil
- Funcionalidad
- Tiempo de realización
- Confiabilidad
- Seguridad
- Consumo de energía
- Impacto ambiental
- Calidad
- Aprovechamiento de insumos
- Organización productiva

Capacidad tecnológica

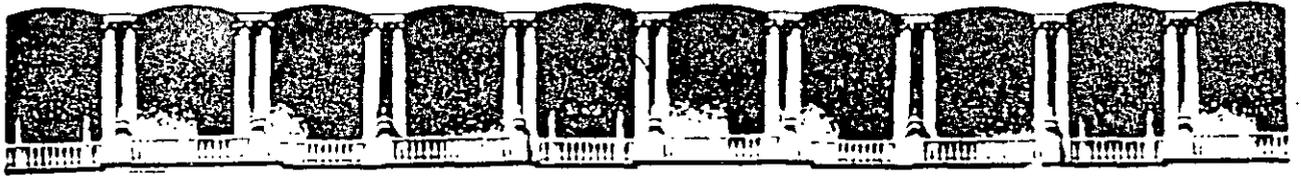
- Experiencia operativa interpretada
- Conocimientos especializados y actualizados
- Organización efectiva
- Personal capacitado
- Instancias de solución de problemas
- Actitudes y valores

Niveles de decisión

- Elegir una solución independientemente de las tecnologías que implique
- Elegir deliberadamente una opción tecnológica que resuelva el problema
- Elegir una opción tecnológica entre varias tomando en cuenta sus posibles efectos

Dominio de la tecnología

- Capacidad de seleccionar la mejores combinaciones
- Capacidad de establecer relaciones tecnológicas
- Capacidad de incorporar la propia experiencia
- Capacidad de decidir



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

"DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS"

GRUPO I C A

DEL 23 AL 25 DE ABRIL.

"ANALISIS DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERIA"

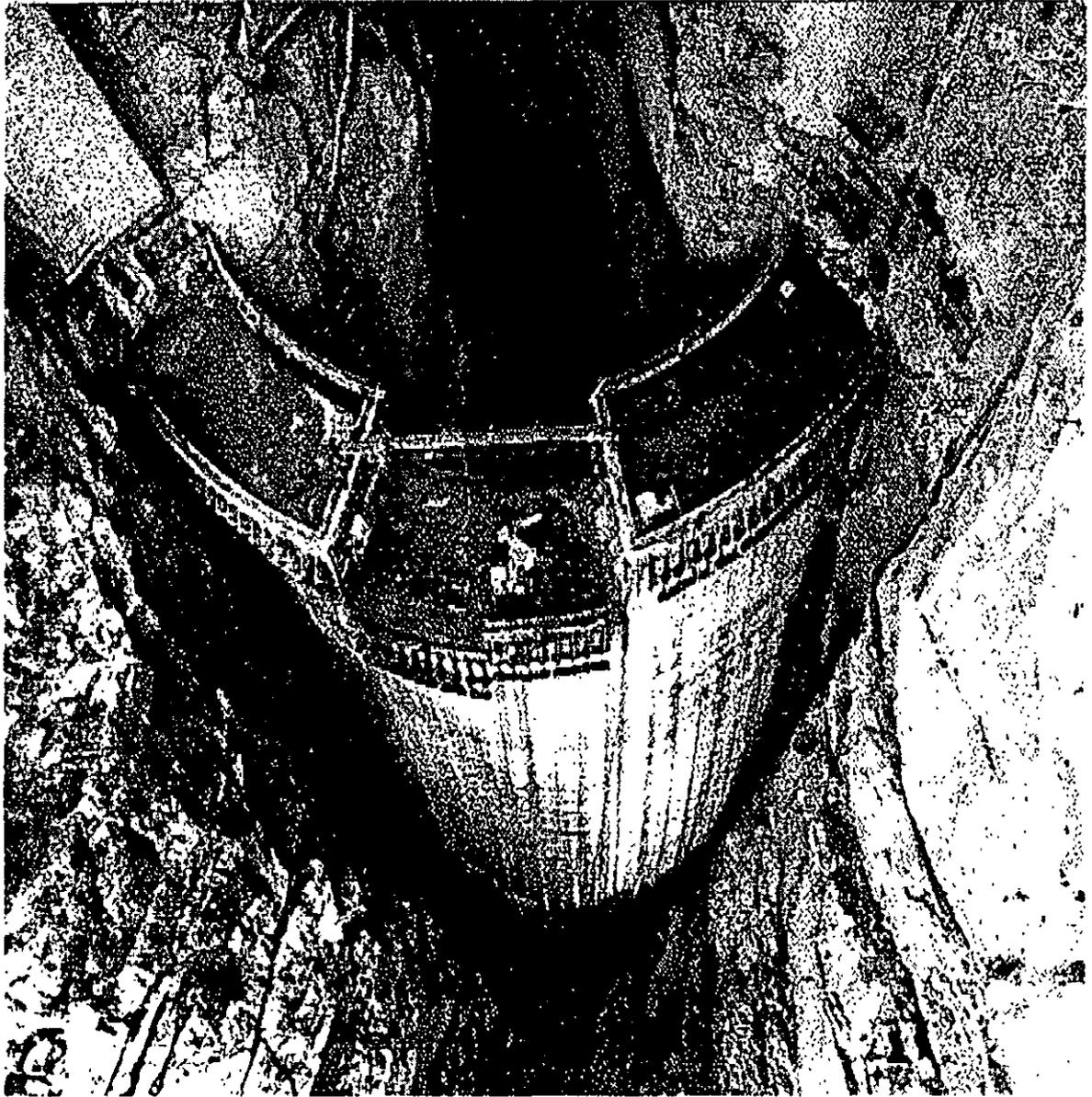
Coordinador: Ing. Rafael Aburto Valdes

Expositor: Humberto Marengo Mogollon

PALACIO DE MINERIA

1 9 9 8

ANÁLISIS DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS

ANÁLISIS DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA.

1. Introducción	2
2. Planteamiento matemático del riesgo de falla	3
2.1. Margen de seguridad	7
2.2. Factor de seguridad	7
3. Metodologías para estimar el riesgo de falla en presas	8
3.1. Método del período de retorno	8
3.2. Método de integración directa	10
3.3. Método de simulación de MonteCarlo	10
3.4. Método del primer orden del segundo momento estadístico	12
3.4.1. Introducción	12
3.4.2. Bases de la formulación matemática	13
4. Comparación de los métodos para el cálculo del riesgo	16

ANÁLISIS DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA.

1. Introducción.

Tradicionalmente, en las obras de ingeniería, la seguridad o confiabilidad se ha proporcionado mediante factores de seguridad que ante las 'peores' condiciones de carga o demanda máxima; cumplen en cierto margen los requisitos mínimos de resistencia o suministro. Lo que constituye la condición de carga máxima (o mínimo suministro) es un tanto subjetiva y de la misma manera, la adecuación o no adecuación de los márgenes de seguridad pueden ser evaluados sólo en términos de experiencias pasadas en sistemas similares.

La tendencia general en el diseño de nuevas presas se encamina a construir estructuras más seguras, que permitan tomar en cuenta las incertidumbres generadas al presentarse fenómenos naturales con magnitudes superiores a las consideradas a la fecha; dicha seguridad se refleja en un costo que de ninguna manera debe ser excesivo, ya que al construirse cualquier tipo de estructura, se aceptan ciertos riesgos.

Retomando los aspectos antes mencionados, el nivel de confiabilidad o seguridad no puede darse cuantitativamente con los factores de seguridad.

Cabe mencionar que en sistemas en los que intervienen variables aleatorias en cuanto a demandas o suministro, la calibración se dificulta seriamente.

En rigor, el riesgo en un sistema de ingeniería puede definirse esencialmente como el comportamiento del mismo ante las condiciones de carga (demanda) y resistencia (suministro) que se presentarán a lo largo de la vida útil de la obra. Dicho de otro modo, los problemas de confiabilidad pueden formularse como la 'capacidad' que tiene el sistema para que, ante ciertas condiciones de demanda, se cumplan con los requerimientos de suministro que se tienen.

En la práctica real, la determinación del suministro disponible, así como la demanda máxima no son problemas simples de resolver. Las estimaciones y predicciones de las mismas son numerosas, pero debido a que la información con que se cuenta para hacer un proyecto siempre es incompleta, el suministro disponible y la demanda actual pueden cambiar en el futuro. Para tomar en cuenta estas posibles variaciones, es preferible hoy en día expresar ambos parámetros como variables aleatorias.

Tomando en cuenta lo anterior, en este capítulo se presentan los siguientes aspectos en relación con la estimación del riesgo de falla: la formulación matemática del mismo, las metodologías que permiten su valoración y la comparación de los métodos de cálculo de éste.

2. Planteamiento matemático del riesgo de falla.

Recientemente el interés en la evaluación de la seguridad de las estructuras hidráulicas se ha incrementado significativamente, debido en parte a la presentación de fallas importantes en algunos proyectos de ingeniería, y por otra, frente al incremento marginal en la seguridad que se ha empezado a notar, en relación con el diseño y la operación donde se empiezan a considerar restricciones en cuanto a seguridad se refiere. Asimismo, el desarrollo y avance en técnicas analíticas son tales que permiten hacer la evaluación de riesgo reduciendo la incertidumbre en la seguridad notablemente.

En la práctica, como ya se mencionó, la determinación del suministro disponible así como la demanda máxima, no son problemas simples de resolver puesto que la información para la toma de decisiones en la ingeniería siempre es incompleta, además de que el suministro disponible y la demanda actual pueden cambiar drásticamente en el futuro. Para tomar en cuenta estas posibles alteraciones, es preferible determinar tanto la demanda, el suministro y las variables aleatorias capaces de poder tomar en cuenta en un cierto rango las cuestiones antes mencionadas.

Bajo este punto de vista, la confiabilidad de los sistemas puede ser medida en forma más confiable en términos de probabilidad, si se definen las siguientes variables:

X = capacidad para proporcionar el suministro.

Y = demanda requerida.

El objetivo de hacer un análisis de confiabilidad es asegurar que X sea mayor que Y ($X > Y$) a lo largo de la vida útil del sistema analizado. Este objetivo puede calcularse sólo en términos de la probabilidad $P(X > Y)$. La misma representa una medida realista de la confiabilidad del sistema.

Suponiendo que las distribuciones y densidades de probabilidad de X y Y se conocen, entonces las probabilidades requeridas pueden formularse en función de $F_x(X)$ o $f_x(X)$ y $F_y(Y)$ o $f_y(Y)$ como:

$$P_F = P(X < Y) = \sum_{\text{toda } y} P(X < Y | Y = y) P(Y = y) \quad (1)$$

Si el suministro y la demanda, X y Y son estadísticamente independientes, se tiene:

$$P(X < Y | Y = y) = P(X < Y)$$

Y

$$P_F = \sum_{\text{toda } y} P(X < Y) P(Y = y) \quad (2)$$

La ecuación (2) para variables continuas X y Y se expresa como:

$$P_F = \int_0^{\infty} F_x(Y) f_y(y) dy \quad (3)$$

La ecuación (3) es la convolución con respecto a Y y puede explicarse con respecto a la figura (1) como sigue: si $Y > y$, la probabilidad condicional de falla sería $F_y(y)$, pero debido a que $Y = y$ (o más precisamente en $y < Y < y + dy$) está asociada con la probabilidad $f_y(y)dy$, la Integración de todos los valores de y lleva a la ecuación (3).

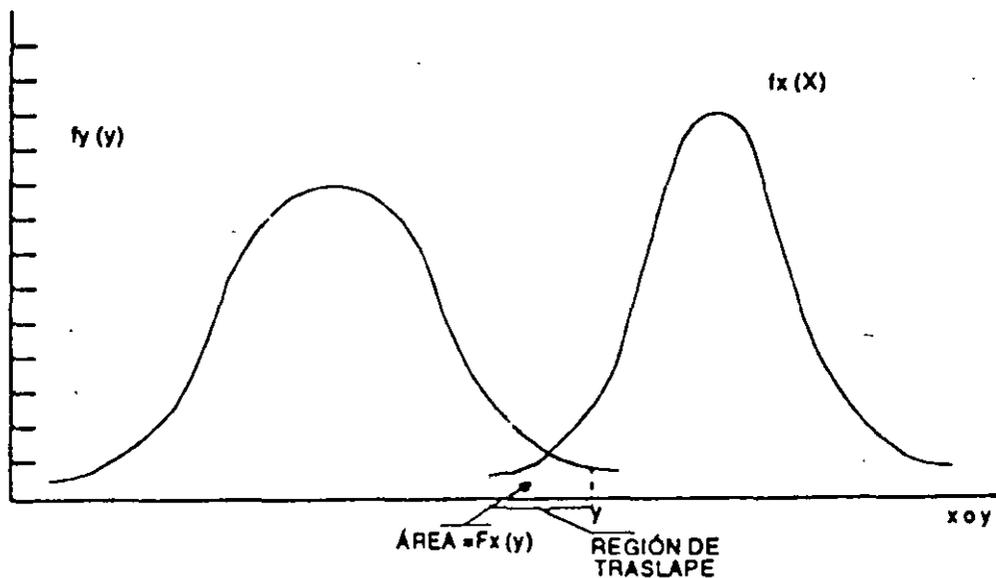


FIGURA 1. Funciones de probabilidad de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$.

Alternativamente, la confiabilidad puede formularse por medio de la convolución con respecto a X:

$$P_F = \int_0^{\infty} [1 - F_y(x)] f_x(x) dx \quad (3a)$$

La correspondiente probabilidad de que no se presente la falla es por definición, la confiabilidad:

$$P_s = 1 - P_f \quad (4)$$

Como se muestra gráficamente en la figura (2), la intersección de las curvas $f_x(X)$ y $f_y(Y)$ representa una medida cualitativa de la probabilidad de falla, en este sentido:

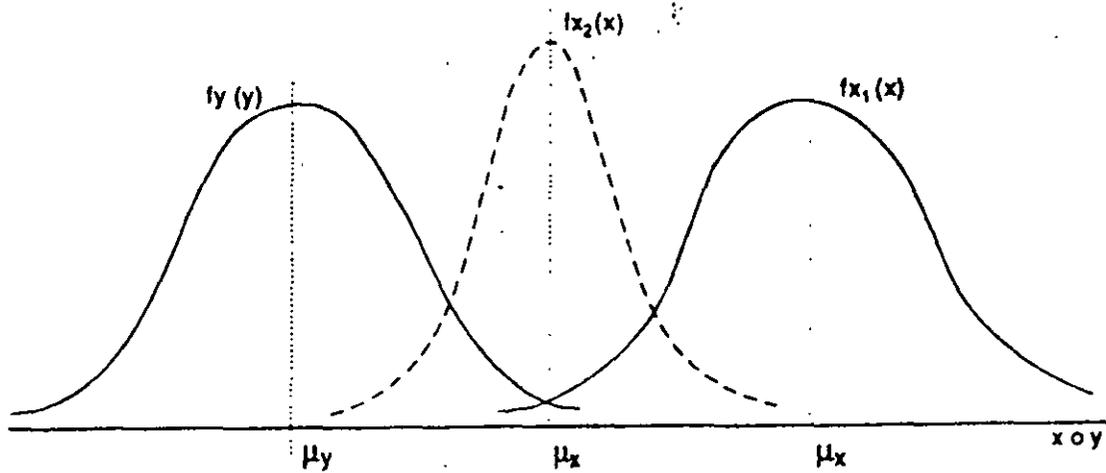


FIGURA 2. Efecto de la posición relativa de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$

La región de traslape depende de la posición relativa de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$, como se observa en la figura (2); si las curvas se apartan P_f decrece y viceversa. La posición relativa de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$ puede medirse en función de la relación μ_x/μ_y , que se definirá como el factor de seguridad central o la diferencia entre $(\mu_x - \mu_y)$, que se explica como el margen de seguridad.

La región de traslape también está sujeta al grado de dispersión de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$, como se muestra en la figura (3), donde el área bajo las curvas punteadas tienen un área mayor en la zona de intersección. Esta dispersión puede expresarse en términos de las covariancias de δ_x y δ_y .

$$P_f \sim g(\mu_x/\mu_y; \delta_x, \delta_y)$$

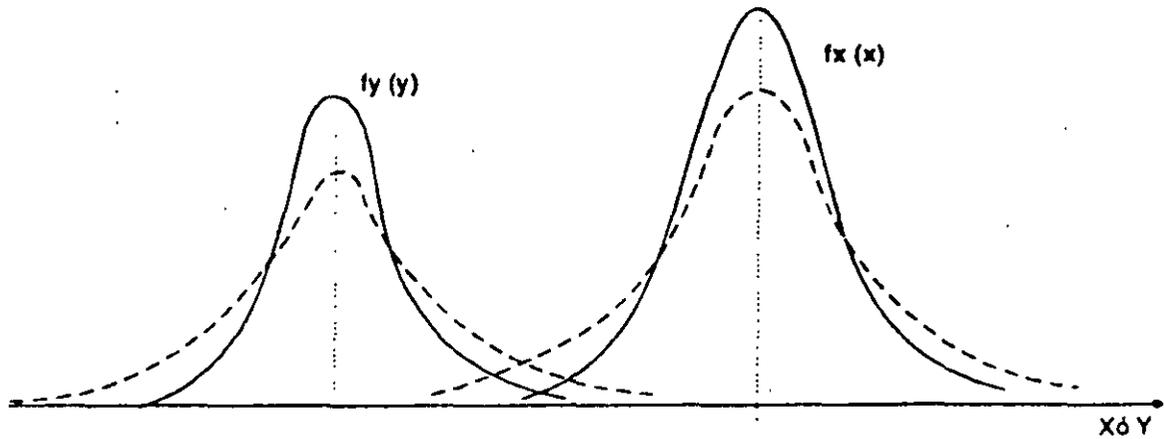


FIGURA 3. Efecto de la dispersión en $f_x(X)$ y $f_y(Y)$ en la probabilidad de falla.

Se puede concluir, entonces, que la medida de la seguridad o confiabilidad es propiamente una función de las posiciones relativas $f_x(X)$ y $f_y(Y)$, así como del grado de dispersión de cada una de ellas.

Teóricamente hablando, la probabilidad de falla P_f también está vinculada con la forma de $f_x(X)$ y $f_y(Y)$. En la práctica, sin embargo, la información es limitada y es posible estimar las principales características estadísticas de cada una de ellas (el primer y segundo momentos) de X y Y , entonces con base en la muestra analizada se puede valorar la media μ_x y μ_y y las correspondientes desviaciones estándar σ_x , σ_y o las covariancias δ_x y δ_y . En las ecuaciones (3) y (4) se supone que X y Y tienen variables aleatorias estadísticamente independientes; en ciertos casos las mismas pueden estar correlacionadas, en cuyo caso:

$$P(Y < X | X = x) \neq P(Y < x)$$

y

$$P(X < Y | Y = y) \neq P(X < y)$$

De esta manera, la probabilidad de falla puede expresarse en términos de la unión de las funciones de densidad de probabilidad como:

$$P_f = \int_0^{\infty} \left[\int_0^y f_{x,y}(x,y) dx \right] dy \quad (5)$$

y la confiabilidad correspondiente:

$$P_S = \int_0^{\infty} \left[\int_0^x f_{x,y}(x,y) dy \right] dx \quad (6)$$

2.1. Margen de seguridad.

El problema de suministro - demanda antes mencionado, requiere plantearse en términos del margen de seguridad $M = X - Y$. Como X y Y son variables aleatorias, M también lo es, con su correspondiente función de densidad de probabilidad $f_M(m)$. En este caso, la falla sucede al cumplirse que $M < 0$ y la probabilidad de falla es:

$$P_F = \int_{-\infty}^0 f_M(m) dm = F_M(0) \quad (7)$$

Gráficamente se representa como el área bajo la curva de $f_M(m)$ antes de 0, como se muestra en la figura (4).

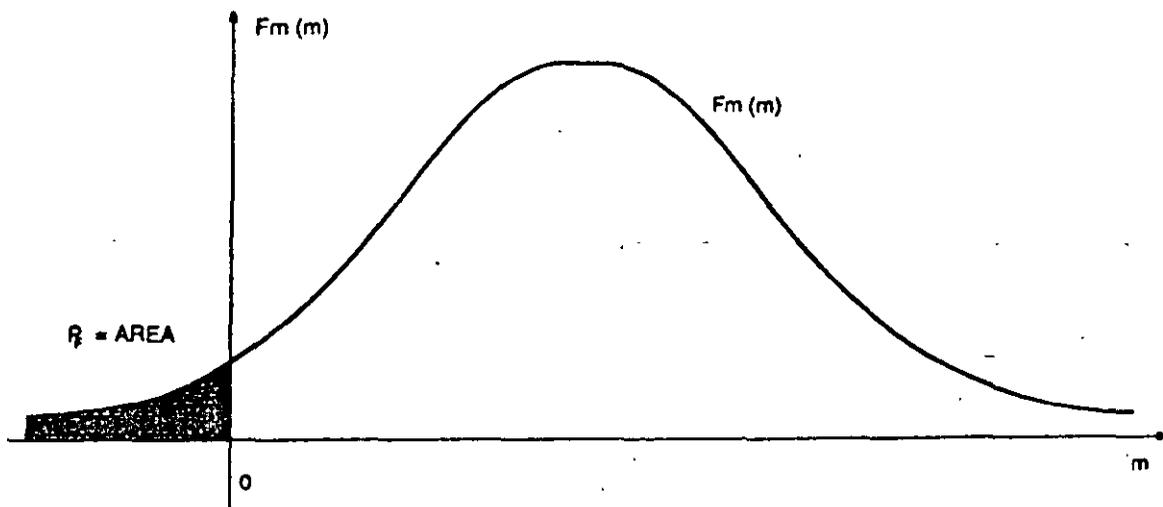


FIGURA 4. Función de distribución para el margen de seguridad M .

2.2. Factor de seguridad.

Es un término familiar en la ingeniería que puede expresarse como:

$$FS = \frac{X}{Y} \quad (8.a)$$

Como en el caso anterior, si la demanda Y y el suministro X son variables aleatorias, también lo es el factor de seguridad. En este caso, la falla sucede si $FS < 1$ y la correspondiente probabilidad de falla es:

$$P_F = \int_0^1 f_{\theta}(\theta) d\theta = F_{\theta}(1.0) \quad (8.b)$$

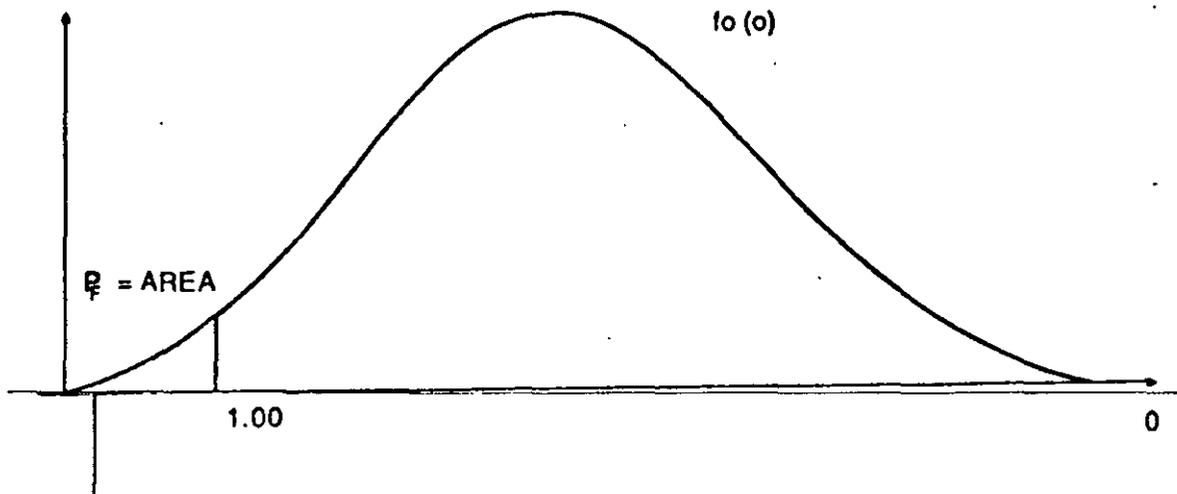


FIGURA 5. Función de distribución para el factor de seguridad F.S.

3. Metodologías para estimar el riesgo de falla en presas.

Las metodologías utilizadas a la fecha para calcular el riesgo de falla en presas y que se han propuesto por diversos investigadores se describen brevemente a continuación:

3.1. Método del período de retorno.

Es un procedimiento tradicionalmente empleado en sistemas de ingeniería asociados a eventos como los hidrológicos y sismológicos, donde los fenómenos que producen las cargas o demandas son variables aleatorias producidas por fenómenos naturales. De esta manera, se fija un período de retorno de diseño relacionado con eventos tales como avenidas, lluvias o sismos que afectan las siguientes estructuras: presas, vertedores, puentes, alcantarillas, etcétera, obteniéndose entonces un gasto de diseño o un sismo (aceleración del terreno) de diseño.

Estos períodos de retorno son fijados y especificados por guías y recomendaciones; de esta manera es usual que para vertedores, el período de retorno de la avenida se fije en 10,000 años, para puentes en 200 ó 250 años, las obras de desvío de presas de tierra y enrocamiento en 50 a 100 años y las de cortinas de concreto (arco y gravedad) en 10 ó 20 años; las de los sismos para presas en el orden de los 100 años.

El período de retorno se define como el tiempo promedio en que una magnitud de la resistencia Y será igualada o excedida (Chow, 1953, 1964; Ang y Tang, 1984). Por lo anterior, si T se expresa en años (para $T_m > 1$), la probabilidad de que un evento Z iguale o exceda a Y en cada año está dado por:

$$P(Z \geq Y) = \frac{1}{T_m(y)} \quad (8)$$

En fenómenos naturales, Z se supone como una variable continua, y si el riesgo de falla se define como la probabilidad de ocurrencia de que Z sea mayor que Y en cada año, entonces la probabilidad de que un sistema no falle es:

$$P(Z \leq Y) = 1 - \frac{1}{T_m(y)} \quad (9)$$

La probabilidad de que no se presente una falla en alguno de los n años de la vida útil del proyecto será:

$$P(Z \leq Y) = \left(1 - \frac{1}{T_m(y)}\right)^n \quad (9.a)$$

Cabe mencionar que al desarrollar las ecuaciones (8), (9) y (9.a) se han hecho dos suposiciones:

1. La ocurrencia de los fenómenos de la variable aleatoria Z es independiente en la vida útil de n años.
2. El sistema natural es invariante en el tiempo.

Sin embargo, cuando un sistema como son las presas, queda expuesto a variaciones temporales, entonces la probabilidad asociada con el período de retorno como se expresó en las ecuaciones anteriores, tampoco puede usarse como una medida del riesgo de estructuras sujetas a este tipo de acciones (Borgman; 1963, Young, et al; 1970, ASCE Task comitee. 1973. James and Lee, 1971).

Aun cuando el riesgo evaluado con la ecuación (9. a) considera una buena parte de los riesgos por eventos naturales, existen incertidumbres asociadas a las variables que integran las expresiones de carga y resistencia de los sistemas que no son tomadas en cuenta con este método, por lo que el riesgo total de un sistema complejo en el que intervienen fenómenos naturales no debe evaluarse con el mismo.

3.2. Método de integración directa.

El riesgo se evalúa en este caso por conducto de una integración directa, analítica o numérica de las funciones de densidad de la carga y resistencia, expresadas en las ecuaciones (5) y (6). En este caso, las funciones de distribución mencionadas deben estar definidas y si dichas situaciones describen correctamente las variables que representan, el método entonces es exacto.

En 1980, Tang presentó un procedimiento que permite incorporar las incertidumbres al modelo de probabilidad en la evaluación del riesgo de falla en presas, para el mismo utilizó una integración directa para la valoración del riesgo hidrológico. En 1977 Wood calculó la sobreelevación y el riesgo estructural en forma analítica, con funciones de densidad de probabilidad supuestas para las avenidas y para los modos de falla, donde no se consideraron las incertidumbres hidrológicas, hidráulicas y de modelación paramétrica. Tung y Mays en 1980 definieron los riesgos para alcantarillas y bordos al estimar primero los parámetros estadísticos de carga y resistencia, a partir de las incertidumbres de los parámetros con fórmulas de aproximación de primer orden y asignando entonces funciones de distribución a la carga y resistencia.

El riesgo evaluado con la ecuación (6) es sumamente sensible a la función de distribución asignada, por lo que una suposición impropia o una aproximación mal hecha de dichas acciones pueden demeritar la exactitud ganada al hacer la integración directa.

Duckstein y Bogardi, en 1981, también estudiaron el problema de bordos asociados a varios tipos de falla, como, sobreelevación, tubificación, deslizamiento de taludes y erosión por viento. El riesgo se estimó con la integración directa de la unión de las funciones de densidad de las variables de carga y resistencia; sin embargo, la selección de la resistencia fue un tanto ambigua y las incertidumbres no son representadas claramente.

La mayor desventaja del método de integración directa es la gran dificultad que se tiene para derivar correctamente las funciones de distribución de probabilidad de las variables de suministro y demanda, especialmente en sistemas complejos, como lo son las presas de tierra y enrocamiento. Asimismo, una vez que las funciones de densidad se establecen, existe una gran dificultad para integrarlas aun con la ayuda de computadoras. De esta manera, el método de integración directa es bueno solamente para sistemas simples, o cuando se requiere gran exactitud en la evaluación del riesgo y se conocen perfectamente las funciones de densidad de probabilidad de las variables que intervienen en el problema.

3.3. Método de simulación de MonteCarlo.

Es un proceso que utiliza en cada simulación un conjunto particular de valores de variables aleatorias, generadas artificialmente de acuerdo con la distribución de probabilidad que se está analizando. Es usual que la simulación se efectúe con una

computadora y el valor del riesgo esperado puede estimarse al examinarse un gran número de simulaciones repetitivas.

Por ejemplo, se genera un conjunto de valores de la muestra x , de acuerdo con la función de distribución o propiedad estadística de la variable analizada, por medio de la generación sintética de variables aleatorias; a continuación se puede estimar un valor de la función del margen de seguridad M con la ecuación (7).

Con cálculos relativamente sencillos pero repetitivos, se puede encontrar un conjunto de valores de $F_M(0)$. Finalmente, el riesgo de falla se evalúa por la relación entre el número de valores negativos de $F_M(0)$ con respecto al total de elementos generados.

En las mediciones de seguridad estructural, Warner y Kabaila en 1968, usaron este método para conocer las distribuciones de probabilidad de las variables de carga y resistencia en distintos elementos.

Para el diseño y operación de presas en cascada, Askew en 1971 usó la técnica de MonteCarlo para optimizar los niveles del sistema sujetos a las condiciones máximas permisibles en cuanto a riesgos que señalaron las firmas propietarias.

En 1978 Bohun y Vischer aplicaron la simulación de MonteCarlo al análisis de riesgo y sensibilidad con diferentes funciones de distribución como datos de entrada en presas. En 1981 Duckstein, estimó la probabilidad de falla en presas de jales (minas). En 1972 Haan con éste método evaluó las probabilidades de error en problemas hidrológicos, en función del número de observaciones usadas para la determinación de parámetros de los modelos estocásticos.

En 1975 Later, y en 1975 Matalas y Wallis aplicaron el método para estimar los parámetros estadísticos de media, desviación estándar y coeficientes de asimetría a varias distribuciones de secuencias de flujo.

Chow en 1978, utilizó el método para generar secuencias de datos para el estudio del comportamiento de sistemas hidrológicos. En 1977 Wen usó los resultados obtenidos con la simulación de MonteCarlo para verificar la derivación de la estadística de combinaciones de cargas extremas.

Recientemente, Ang (1991) manejó el método de simulación de MonteCarlo con el llamado (muestreo de importancia) en casos multidimensionales. Leira lo aplicó con distribuciones normales multivariadas e Ibrahim para revisar la confiabilidad de sistemas dinámicos con incertidumbre.

Según Hoshiya (1991), dicho muestreo de importancia parte de considerar que la estimación de la probabilidad de falla de diversos sistemas estructurales se hace en un rango tan pequeño (10^{-5} ó 10^{-6}), que la función de densidad de probabilidad es postulada

como una función desconocida del tipo exponencial $F(Z, a_1, a_2, \dots)$ en la vecindad de $Z=0$, donde a_1, a_2, \dots son valores constantes a identificarse.

En la medida que el muestreo de Z , se inicia, se obtiene inmediatamente un grupo de datos experimentales para la función de distribución de Z usando Z , y se hace un ajuste de los datos con los que se consigue $F(Z, a_1, a_2, \dots)$. Aunque este ajuste es inestable en un principio, en la medida que se procede en el muestreo, el proceso es esencialmente secuencial y se puede llevar a cabo por medio del proceso de filtrado de Kalman, el cual se describe claramente en la referencia de Hoshiya.

Cuando a , converge a valores en los que el coeficiente de autocorrelación es cercano a uno, la probabilidad de falla del sistema se estima como:

$$P_f = P(Z \leq 0) = F(0, a_1, a_2, \dots)$$

Cabe subrayar que con este método es posible obtener una convergencia eficiente de P_f debido a que el procedimiento es una "aproximación lineal" de P_f , en lugar de una estimación puntual como tradicionalmente se hace.

De hecho, puede decirse que la técnica de MonteCarlo es tal vez la única solución técnica a problemas que no pueden resolverse analíticamente debido al comportamiento no lineal o complejo de las relaciones que intervienen en los sistemas analizados. Sin embargo, este método tiene las siguientes desventajas:

1. El riesgo estimado al usar la técnica no es único, depende del tamaño de la muestra y del número de simulaciones. Los momentos estadísticos reales de la unión de funciones de distribuciones de probabilidad no son del todo ciertas.
2. El costo y tiempo de computación que se consume con esta técnica se incrementó sustancialmente en la medida que el nivel de precisión y el número de variables se incrementan. Hiller y Lieberman en 1974 recomendaron que, en general, si se puede aplicar un modelo analítico, éste debe preferirse a la simulación de MonteCarlo.

3.4 Método del primer orden del segundo momento estadístico.

3.4.1. Introducción.

La formulación matemática del método del primer orden del segundo momento estadístico se muestra con detalle en el libro de Tang (1984); sin embargo, a continuación se presentan las bases de la formulación matemática y un resumen de su aplicación.

Dentro de la información con la que cuenta un proyectista - como ya se mencionó - es posible en muchas ocasiones evaluar los primeros dos momentos estadísticos (media y desviación estándar). Las medidas prácticas de seguridad o confiabilidad pueden, por tanto, limitarse a estos dos primeros momentos, aunque en algunos casos se utilizan los cuatro primeros de ellos, como en el caso de las distribuciones acotadas que se presentan más adelante.

Bajo esta consideración, los conceptos relativos a confiabilidad pueden limitarse a una formulación basada en el primero y segundo momentos estadísticos de las variables aleatorias que intervienen en el problema de la formulación del segundo de ellos (Cornell, 1969; Ang y Cornell, 1974).

Con el enfoque del segundo momento, la confiabilidad puede medirse completamente en función del primer y segundo momento de las variables de diseño.

3.4.2. Bases de la formulación matemática.

Tomando en cuenta la definición de margen de seguridad $M = X - Y$, el "estado de seguridad" se define para $M > 0$ y el "estado de falla" para $M < 0$. La frontera que separa los estados de falla y seguridad queda establecida para $M = 0$. Si se consideran las variables reducidas:

$$X' = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x} \qquad Y' = \frac{Y - \mu_y}{\sigma_y}$$

El espacio de estas variables reducidas se muestra en la figura (6). También en términos de las variables reducidas, la ecuación límite $M = 0$, viene a ser:

$$\sigma_x X' - \sigma_y Y' + \mu_x - \mu_y = 0$$

que es la línea recta mostrada en dicha figura (4). La distancia desde la línea de falla al origen 0 está dada por:

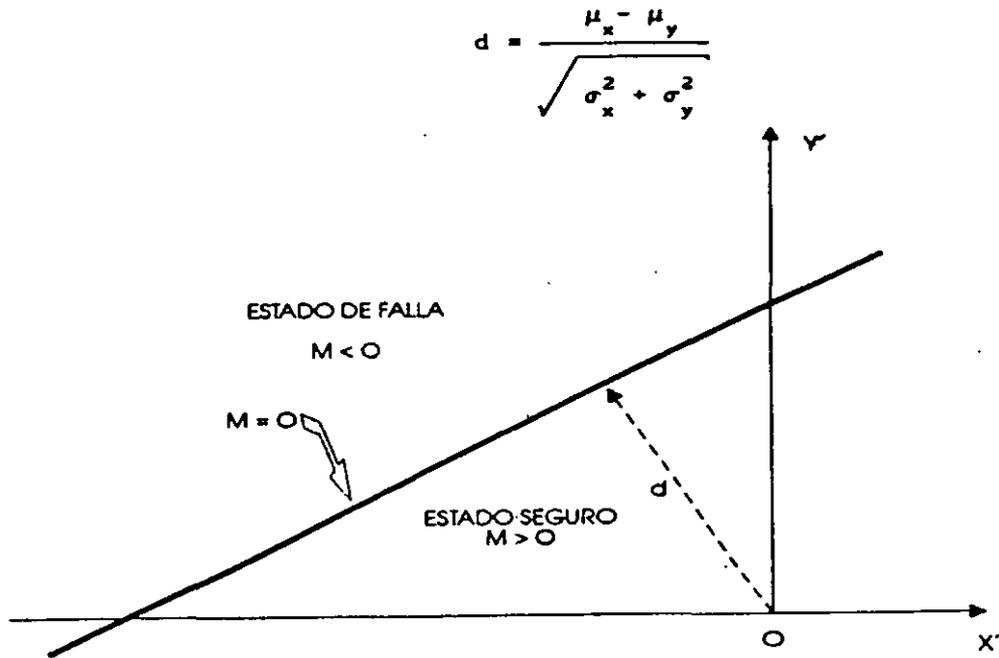


FIGURA 6. Espacio de las variables reducidas X' y Y' .

Esta expresión se cumple solamente si las funciones de distribución de probabilidad de las variables analizadas son normales y no están correlacionadas entre sí.

Lo anterior sucede porque sólo con la distribución normal, en el caso de variables no correlacionadas, se cumple que la media de la suma de las variables que intervienen en el problema es la suma de las medidas de la función de comportamiento; lo mismo se aplica al hecho que en este caso la variancia de la función de comportamiento es la suma de las variancias de las variables estudiadas.

Debido a lo anterior, en el caso de que se tengan variables con distribuciones de probabilidad diferentes a la normal, se debe evaluar la probabilidad correspondiente, con base en la distribución normal equivalente, cuya aplicación se muestra en el apéndice C.

Ya que la distancia mínima puede interpretarse como una medida de la confiabilidad del sistema, entonces la evaluación de la ecuación (7) en el origen de las variables reducidas ($M=0$) al tratarse con distribuciones normales puede hacerse de la siguiente manera, si:

$$M = X - Y$$

$$\Rightarrow \mu_M = \mu_X - \mu_Y$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2$$

$$M' = (M - \mu_M) / \sigma_M$$

En el origen de M' ($M' = 0$), la ecuación (7) para $M = 0$ (distancia entre el origen y el estado de falla según la figura 6) conduce a que:

$$P_F = F_H(M') = F_H(0) = F_H(-\mu_H / \sigma_M) = \Phi(-\mu_H / \sigma_M) = 1 - \Phi(\mu_H / \sigma_M)$$

El índice de confiabilidad β es ésta distancia mínima al origen (μ_M / σ_M), o sea que:

$$\beta = \mu_H / \sigma_M$$

$$P_S = 1 - P_F = 1 - 1 + \Phi(\beta) = \Phi(\beta)$$

Esta demostración hecha para dos variables (X y Y) en el plano puede generalizarse a tres dimensiones o al espacio de n variables no lineales al encontrarse un plano tangente a la superficie de falla y la distancia de éste al origen, como se muestra más adelante.

Los resultados relevantes de la formulación del método avanzado de primer orden de los segundos momentos pueden resumirse como sigue:

- El punto más probable de falla se puede calcular con la ecuación:

$$x_i^* = -\alpha_i^* \beta$$

en la cual α_i , son las direcciones de los cosenos directores:

$$\alpha_i^* = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial x_i^*} \right)}{\sqrt{\sum_1 \left(\frac{\partial g}{\partial x_i^*} \right)^2}}$$

donde las derivadas son evaluadas en $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, con:

$$x_i^* = \sigma_{x_i} x_i^* + \mu_{x_i} = \mu_{x_i} - \alpha_i^* \sigma_{x_i} \beta$$

- La solución de la ecuación límite de estado permite obtener β .

Los resultados resumidos anteriormente permiten plantear el siguiente algoritmo para aplicar el método avanzado de primer orden de los segundos momentos estadísticos, y que es el empleado en el cuerpo del trabajo:

1. Definir una función de comportamiento "g" con las variables estadísticas que se consideren adecuadas y significativas en el problema analizado.
2. Suponer un punto inicial de falla x_i^0 ; $i = 1, 2, \dots, n$ y obtener:

$$x_i^0 = \frac{x_{i1}^0 - \mu_{x1}}{\sigma_{x1}}$$

3. Estimar $(\partial g / \partial x_i^*)$ y α_i^0 en los puntos x_i^0 .

4. Calcular x_i^0 con: $x_i^0 = \mu_{x1} - \alpha_i^0 \sigma_{x1} \beta$

5. Sustituir los valores estimados de x_i^0 en la función de comportamiento y encontrar β

6. Con el valor de β obtenido reevaluar $x_i^0 = -\alpha_i^0 \beta$

7. Repetir los pasos 3 a 6 hasta que se obtenga la convergencia deseada que sucede cuando $\beta_1 \cong \beta_{1+1}$.

4. Comparación de los métodos para el cálculo del riesgo.

Con objeto de definir una comparación entre los diferentes métodos para estimar el riesgo de falla en presas, Chang en 1982 estableció una comparación de los métodos de cálculo de riesgo para una función de comportamiento en la que la carga y resistencia, respectivamente, son:

$$X = x_1 + x_2 \quad (10)$$

$$y = x_3 \cdot x_4 \quad (11)$$

Donde x_1 y x_2 son variables no - correlacionadas del suministro X y x_3 y x_4 son variables no - correlacionadas de la demanda Y con las características estadísticas mostradas en la tabla (1).

variable	media	covariancia	f. distribución
x_1	0.5	0.2	normal
x_2	1.5	0.4	normal
x_3	1.0	0.005	lognormal
x_4	1.5	0.1	lognormal

TABLA 1. Características estadísticas de las variables x_1 , x_2 , x_3 y x_4 de la comparación de métodos para cálculo de riesgo.

La comparación se hizo bajo las siguientes consideraciones:

- a) El valor del riesgo calculado con el método de integración directa se considera exacto, ya que la función matemática no es complicada y es susceptible de integrarse; se tomó este valor de referencia para la comparación con otros métodos.
- b) No se consideró el método del período de retorno por la incapacidad de manejar las incertidumbres asociadas a cada variable.
- c) La comparación se hizo bajo cuatro aspectos:
 - La consistencia de los valores del riesgo evaluado con respecto a las diferentes formas de la función de comportamiento para un evento de falla.
 - La precisión de los métodos.
 - La sensibilidad del valor del riesgo estimado con las distribuciones de probabilidad propuestas para las variables de suministro y demanda.
 - El tiempo requerido de computación de cada uno de los métodos.

Con estas consideraciones y suponiendo que X es una variable con distribución normal y Y otra con distribución log-normal, las funciones de densidad de probabilidad quedan:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad -\infty < x < \infty \quad (12)$$

$$f_y(y) = \frac{1}{\xi_y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln Y-\lambda_y}{\xi_y}\right)^2\right] \quad 0 \leq y \leq \infty \quad (13)$$

en la cual:

$$\mu_x = \mu_1 + \mu_2 \quad (14)$$

$$\sigma_x^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (15)$$

$$\lambda_y = \lambda_3 + \lambda_4 \quad (16)$$

$$\xi_x^2 = \xi_3^2 + \xi_4^2 \quad (17)$$

Donde μ_1 y σ_1 son la media y desviación estándar de X_1 y λ_1 y ξ_1 son la media y la desviación estándar de los valores del logaritmo natural de X_1 .

Con los parámetros estadísticos de X y Y dados en las ecuaciones (14) a (17), el riesgo puede evaluarse con la ayuda de la ecuación (3), asociada con las ecuaciones (12) y (13). Los valores del riesgo para distintos valores de la media de x_4 y la relación μ_x/μ_y y se enlistan en la tabla (2).

\bar{x}_4	\bar{X}/\bar{Y}				Valor medio de primer orden			Método Avanzado de 2° momento
		Integración directa	MonteCarlo		P[(x-y)<0]	P[Ln(x/y)<0]	P[x/y-1<0]	Iteraciones
1.500	0.750	0.786	0.788 (0.3)**	0.786 (0.0)	0.813 (3.4)	0.848 (7.9)	0.790 (0.5)	
1.875	0.938	0.578	0.579 (0.2)	0.577 (-0.2)	0.579 (0.2)	0.582 (0.7)	0.584 (1.0)	
2.250	1.125	0.353	0.353 (0.0)	0.352 (-0.3)	0.358 (1.4)	0.366 (3.7)	0.360 (2.0)	
2.265	1.313	0.177	0.178 (0.6)	0.177 (0.0)	0.201 (13.6)	0.231 (30.5)	0.182 (2.8)	
3.000	1.500	0.740x10 ⁻¹	0.746x10 ⁻¹ (0.8)	0.750x10 ⁻¹ (1.4)	0.105 (41.9)	0.152 (105.5)	0.768x10 ⁻¹ (3.8)	
3.375	1.688	0.260x10 ⁻¹	0.253x10 ⁻¹ (-2.7)	0.274x10 ⁻¹ (5.4)	0.352x10 ⁻¹ (35.4)	0.104 (300.0)	0.273x10 ⁻¹ (5.0)	
3.750	1.875	0.790x10 ⁻²	0.799x10 ⁻² (1.1)	0.892x10 ⁻² (12.9)	0.262x10 ⁻¹ (231.6)	0.749x10 ⁻¹ (-5.2)	0.830x10 ⁻² (5.1)	
125	2.063	0.211x10 ⁻²	0.220x10 ⁻² (3)	0.269x10 ⁻² (27.5)	0.559x10 ⁻¹ (501.9)	0.225x10 ⁻¹ (2,549.3)	0.225x10 ⁻² (6.6)	
500	2.250	0.506x10 ⁻³	0.5390x10 ⁻³ (-22.9)	0.770x10 ⁻³ (52.2)	0.617x10 ⁻² (1,119.4)	0.432x10 ⁻¹ (8,437.5)	0.544x10 ⁻³ (7.5)	
750	2.375	0.226x10 ⁻⁴	-----	0.216x10 ⁻³ (855.8)	0.298x10 ⁻² (13,085.8)	0.344x10 ⁻¹ (152,112.4)	0.203x10 ⁻³ (798.2)	

*Valor de riesgo estimado del promedio de las dos muestras generadas de 32,000 valores.

**Los números entre paréntesis representan el porcentaje de error = $\frac{\text{Riesgo} - \text{Riesgo.i.d.}}{\text{Riesgo.i.d.}} \times 100$

TABLA 2. Valores de riesgo con diferentes métodos de cálculo con distribuciones normales de X_1 y X_2

Con objeto de investigar la sensibilidad de los métodos de cálculo del riesgo para las diferentes funciones, se supuso además para las variables x_1 y x_2 una distribución uniforme con la siguiente función de distribución de probabilidad:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b_1 - a_1}, & a_1 \leq x_1 \leq b_1, \quad i = 1, 2 \\ 0 & \end{cases} \quad (18)$$

En el cual a_i y b_i son los límites inferior y superior de x_i y se cumple que $a_1 < a_2 < b_1 < b_2$.

Por medio de la transformación de Laplace, la función de densidad para la carga queda:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1 - a_2}{(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)}, & a_1 + a_2 \leq x \leq b_1 + a_2 \\ \frac{1}{b_2 - a_2}, & b_1 + a_2 \leq x \leq a_1 + b_2 \\ \frac{b_1 + b_2 - x}{(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)}, & a_1 + b_2 \leq x \leq b_1 + b_2 \end{cases} \quad (19)$$

En forma similar, el riesgo se evaluó numéricamente con la ecuación (3), asociando las ecuaciones (13) y (19). Los resultados se muestran en la tabla (3).

\bar{x}	\bar{X}/\bar{Y}	Integración directa	MonteCarlo	Valor medio de primer orden			Método Avanzado de 2º momento
				P[(x-y)<0]	P[Ln(x/y)<0]	P[x/y-1<0]	Iteraciones
1.500	0.750	0.7416	0.742 (0.1)	0.786 (6.1)	0.813 (9.7)	0.848 (14)	0.735 (-0.8)
1.875	0.938	0.5608	0.562 (0.4)	0.577 (3.0)	0.579 (3.4)	0.582 (3.9)	0.563 (0.5)
2.250	1.125	0.380	0.379 (-0.3)	0.352 (-7.4)	0.358 (-5.8)	0.366 (-3.7)	0.393 (3.4)
2.265	1.313	0.207	0.206 (-0.5)	0.177 (-15)	0.201 (-2.9)	0.231 (11.6)	0.233 (3.4)
3.000	1.500	0.770x10 ⁻¹	0.760x10 ⁻¹ (-1.3)	0.750x10 ⁻¹ (-2.6)	0.105 (36.4)	0.152 (97.4)	0.102 (32.5)
3.375	1.688	0.179x10 ⁻¹	0.183x10 ⁻¹ (2.2)	0.274x10 ⁻¹ (53.1)	0.352x10 ⁻¹ (197.2)	0.104 (481.0)	0.288x10 ⁻¹ (60.9)
3.750	1.875	0.263x10 ⁻²	0.262x10 ⁻² (-0.4)	0.892x10 ⁻² (239.2)	0.262x10 ⁻¹ (896.2)	0.749x10 ⁻¹ (2,749.9)	0.500x10 ⁻² (90.1)
125	2.063	0.261x10 ⁻³	0.297x10 ⁻³ (13.8)	0.269x10 ⁻² (3.1)	0.127x10 ⁻¹ (4,765.9)	0.559x10 ⁻¹ (21,397.6)	
500	2.250	0.187x10 ⁻⁴	---	0.770x10 ⁻³ (4,417.6)	0.17x10 ⁻² (32,897)	0.432x10 ⁻¹ (23,001.6)	0.463x10 ⁻⁴ (147.6)

* Valor de riesgo estimado del promedio de las dos muestras generadas de 32,000 valores

** Los números entre paréntesis representan el porcentaje de error = $\frac{Riesgo - Riesgo.i.d.}{Riesgo.i.d.} \times 100\%$

TABLA 3. Valores de riesgo con diferentes métodos de cálculo considerando distribuciones uniformes.

En las tablas (2) y (3) se ejemplifican también los cálculos de riesgo hechos con los métodos de MonteCarlo, valor medio de primer orden del primer momento y el método avanzado de los segundos momentos.

Los resultados obtenidos con los procedimientos antes descritos permiten obtener las probabilidades de falla para tres casos: P[(X-Y)<0], P[(ln X/Y)<0] y P[(X/Y-1)<0].

Los valores de riesgo dados en las tablas (1) y (2) obtenidos con el método de MonteCarlo son el promedio de dos simulaciones con una muestra de 32,000 valores generados para cada una. Basados en los valores de riesgo dados en las tablas de referencia, se graficaron los valores de probabilidad de falla P_f contra la relación μ_x/μ_y .

para los diferentes métodos, lo cual se muestra en la figura (7). Los riesgos estimados con integración directa también se grafican y sirven como comparación y referencia.

Las conclusiones más importantes que se pueden obtener en cuanto al método del Valor medio de Primer Orden de esta comparación son las siguientes:

- La inconsistencia del método del VMPO para las diferentes representaciones de la variable de comportamiento Z es mostrada claramente.
- Los valores de riesgo calculados para las tres formas de la variable de comportamiento Z ($X-Y$, $\ln(X/Y)$, $X/Y - 1$), son diferentes, y esto se vuelve más significativo en la medida en que P_F se vuelve más pequeño.
- El valor del riesgo calculado con el método del valor medio del primer orden no varía con las distribuciones de las variables al permanecer los dos primeros momentos invariables. Como puede observarse en las tablas (2) y (3), dicho valor permanece constante sin importar cual función de distribución es asignada a las variables.
- Este método da una aproximación muy razonable cuando el riesgo es alto ($P_F > 0.1$); sin embargo, si P_F es pequeño, los resultados calculados pueden variar significativamente de los obtenidos en forma exacta por el método de Integración directa.
- Aunque los valores de riesgo evaluados con la representación $X-Y$ no difieren mucho de los reales si x_1 y x_2 están normalmente distribuidos, esto no garantiza que esta representación sea la que mejores resultados ofrece.
- Debido a la inconsistencia y poca sensibilidad ante valores de riesgo bajos, como es el caso del análisis de seguridad en presas, el método del valor medio del primer momento estadístico no se recomienda utilizarlo.

Respecto al método avanzado de los segundos momentos, se puede concluir que:

- El valor del riesgo calculado es invariante con respecto a las distintas representaciones de Z y responde en forma similar a diferentes distribuciones asignadas a las mismas variables. Los resultados muestran que se tiene muy buena aproximación a los valores reales de riesgo cuando las variables x_1 y x_2 están normalmente distribuidas.

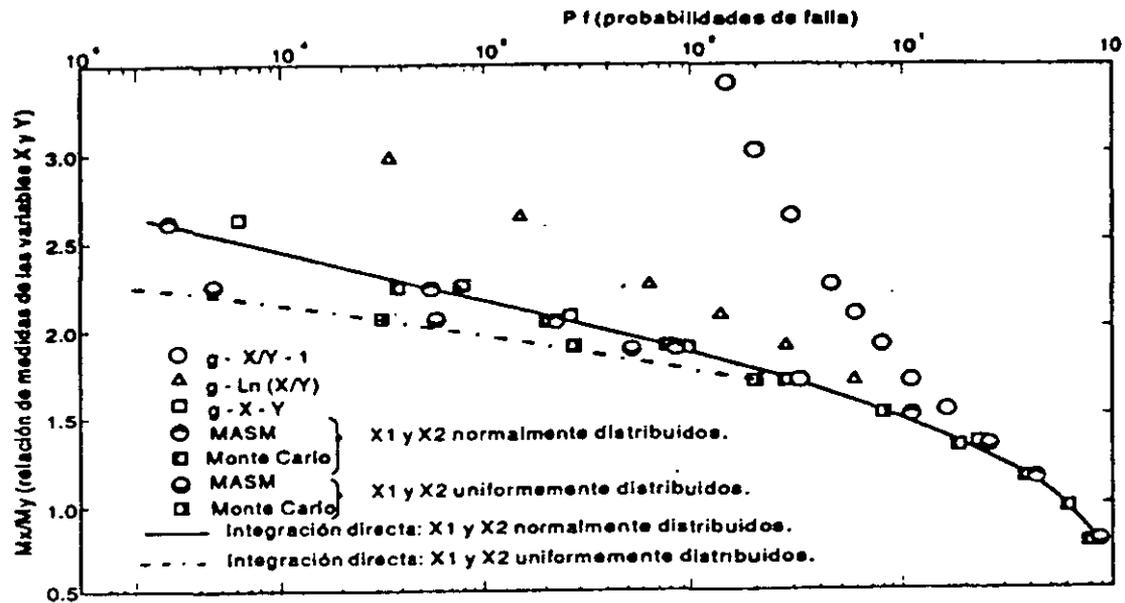


FIGURA 7. Comparación de valores de riesgo calculados con diferentes métodos.

En cuanto al método de MonteCarlo, se puede comentar que:

- Los resultados obtenidos con muestras aleatorias lo suficientemente grandes, se aproximan al valor real del riesgo.
- Al considerar factores tales como aproximación, invariancia y sensibilidad, este método es superior al del primer y segundo momento estadístico; sin embargo, la precisión - como se mencionó - depende en mucho del tamaño de la muestra empleada; para encontrar valores pequeños de la P_f , se requiere de un gran número de muestras y, por tanto, de tiempo de computación.
- Una de las principales desventajas que se tiene al aplicar este método es que el tamaño adecuado de la muestra se desconoce a priori.
- La tabla (3) muestra la precisión del valor del riesgo con respecto al tamaño de la muestra cuando x_1 y x_2 están uniformemente distribuidas.

Como conclusión general, se puede puntualizar lo siguiente:

El promedio estadístico de falla en presas indica que el nivel es aproximadamente 10^{-4} a 10^{-5} , por lo que el método del Valor Medio de Primer Orden no se considera práctico para la evaluación de falla en este tipo de estructuras. Tomando el ejemplo anterior como muestra, el método de MonteCarlo es el que arroja mejores resultados, pero esto depende del tamaño de la muestra y el alto costo computacional limita su uso práctico, ya que el número de variables aleatorias que intervienen en el problema es grande y por

otra parte, tienen distribuciones de probabilidad no necesariamente uniformes, lo cual puede aumentar sensiblemente el costo por computación al aplicar este método, como se muestra en la tabla 4.

Tomando en cuenta la precisión, consistencia y el tiempo computacional, el Método Avanzado de los Segundos Momentos empleando iteraciones, es el que se recomienda para evaluar el riesgo de falla en presas. Se sugiere emplear el método de MonteCarlo para verificación en los casos necesarios.

M_x/M_y	Tamaño de la muestra							
	100		1,000		8,000		32,000	
1.500	0.77	0.69	0.742	0.744	0.748	0.737	0.742	0.742
1.875	*0.65	*0.47	0.559	0.570	0.563	0.550	0.562	0.560
2.250	*0.45	*0.27	0.389	0.378	0.383	0.380	0.378	0.381
2.625	*0.20	*0.13	0.223	0.210	0.205	0.203	0.205	0.207
3.000	*0.06	*0.08	*0.920x10 ⁻¹	*0.770x10 ⁻¹	0.769x10 ⁻¹	0.724x10 ⁻¹	0.763x10 ⁻¹	0.757x10 ⁻¹
3.375	*---	*0.01	*0.203x10 ⁻¹	*0.220x10 ⁻¹	0.181x10 ⁻¹	0.149x10 ⁻¹	0.181x10 ⁻¹	0.186x10 ⁻¹
3.750	---	---	*0.500x10 ⁻¹	*0.600x10 ⁻²	*0.263x10 ⁻²	*0.363x10 ⁻²	0.241x10 ⁻²	0.284x10 ⁻²
125	---	---	---	---	*---	*0.500x10 ⁻³	*0.219x10 ⁻³	*0.375x10 ⁻³
500	---	---	---	---	---	*0.125x10 ⁻³	*---	*0.100x10 ⁻³
Tiempo de cómputo (seg)	0.034	0.036	0.157	0.156	1.098	1.109	327	320

* Tamaño de muestra inadecuada para estos valores de riesgo.

TABLA 4. Valores de riesgo estimados con el método de simulación de MonteCarlo con diferentes tamaños de la muestra.

-BIBLIOGRAFIA

-American Society -of Civil -Engineers, -REEVALUATING -SPILLWAY -ADEQUACY -OF -EXISTING -DAMS, -Comitee -on -Hydro -meteorology -of -the -Hidraulics -Division, -EUA 1973.

-Ang A., -Ang -G.L., -Tang -W.H., -MULTIDIMENSIONAL KERNEL METHOD IN IMPORTANCE -SAMPLING, -ICASP -no.6 México D.F., 1991.

-Ang A., -Cornell C.A., -RELIABILITY OF STRUCTURE SAFETY AND DESIGN, -Journal -of -the -Structure Divis-ion, -ASCE Vol. 100 Sep. 1974.

-Tang -W., -PROBABILITY -CONCEPTS IN ENGINEERING PLANNING AND DESIGN. Vol -I, -Basic -Principles. Vol 11, -Decision, -Risk, -and -Reliability. -Wiley -and -Sons -New -York, -EUA 1984.

-Arroyo-Contreras M., -APPROCHE PROBABILISTE OU COMPONENT ELASTO-PLASTIQUE DE -STRUCTURES MARINES, SOUS SOLICITATIONS ALEATORIES DE HOULE, Tesis Doctoral, -Ecole -Nationale des -Ponts -et Chauss-és, -Paris Francia, 1989.

-Austin T., -DECADE FOR NATURAL DISASTER REDUCTION, Civil -Engineering, pp 64-65, -EUA, -December 1989.

-Auvinet. G., -Fry -J.J., -Rossa O., RELIABILITY OF HOMOGENEOUS EARTH FILLS, 1989.

-Back P.A., -DESIGNING SAFETY INTO DAMS, Water -Power -and -Dam -Construction, -G.B. - Feb. 1990.

-Baecker -G., M. -Pate, -and R. de -Neufville -DAM FAILURE IN BENEFIT COST ANALYSIS -Journal -of -the -Geotechnical -Engineering -Division -ASCE,

Vol. 106, 1980.

-Benjamin J. R., -Cornell C.A. -Trd. -Ed. Inglés -A.Prieto, PROBABILIDAD Y ESTADISTICA EN -INGENIERIA CIVIL, -Ed. -Mc. -Graww -Hill Latinoamericana S.A., Col 1981.

-Brass -R.L., -Rodríguez-Iturbe I., -RANDOM FUNCTIONS AND HYDROLOGY, -Addison-Wesley -Publishing -Company, -EUA 1985.

-Chang S. T., -OVERTOPPING RISK EVALUATION FOR AN EXISTING DAM, -Ph. D. -University -of -Illinois at -Urbana-Champaign, -EUA, 1982.

-Chow V.T. -FREQUENCY -ANALYSIS OF HYDROLOGIC DATA WITH SPECIAL APPLICATION TO RAINFALL INTENSITIES, -University -of -Illinois -Engineering Experimental -Station, 1953.

-Coelho H. -W. -SEEPAGE RELATED RELIABILITY OF EMBANKMENT DAMS, -Ph. D. -Massachusetts Institute of Technology, 1981.

-Committee on Safety Criteria for Dams, -SAFETY OF DAMS, FLOOD AND EARTHQUAKE -CRITERIA, -National -Academy -Press, -EUA 1985.

-Cornell C.A., -STRUCTURAL -SAFETY -SPECIFICATIONS BASED ON SECOND MOMENT -ANALYSIS, Final -Report -of -the -IABSE, -Symposium on Concepts of Safety Structures and -Methods -of -Design, -London 1969.

-Cummings -G. E., -APPLICATION OF THE FAULT TREE TECHNIQUE TO A NUCLEAR REACTOR -CONTINMENT SYSTEM, -Reliability -and -Fault -tree -analysis, -SIAM, 1975.

-Dawdy -D.R., Lettenmaier -D.P., -INITIATIVE FOR RISK BASED FLOOD DESIGN, -Journal -of -Hydraulic -Engineering, Vol. 113, -August 1987.

-Domínguez M. R. -METODOLOGIA DE SELECCION DE UNA POLITICA DE OPERACION CONJUNTA DE UNA PRESA Y SU VERTEDOR, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, México D.F. -UNAM, 1989.

-Duckstein L., I. -Bogardi, -Szidarovsky RE-LIABILITY OF UNDERGROUND FLOOD CONTROL -SYSTEM -Journal of-the -Hydraulics -Division, -ASCE, Vol. 107, -July 1981.

-Echávez -G. A. -EROSION DE CONCRETO CAUSADA POR FLUJO DE ALTA VELOCIDAD, Instituto de Ingeniería de la -UNAM; -no.226, -1969.

-Favre J. L., -Bekkouche A. -ANALYSE DE LA FIABILITE DES BARRAGES EN TERE, no: 53 -Revue -Franciase de G-éotechnique 1981.

-Favre J. L., -Bekkouche A. -UNCERTAINTY ANALYSIS IN EARTH DAMS EROSION PROBLEMS, 1990.

-Haan C. T. -ADEQUACY -OF -HYDROLOGIC RECORDS FOR PARAMETER ESTIMATION, -Journal -of -the -Hydraulics -Division, -ASCE -August, 1972.

-Hoshiya M., -Kutsana Y., -Fujita M., -ADAPTIVE ESTIMATION OF STRUCTURAL RELIABILITY BY -IMPORTANCE SAMPLING, -ICASP no. 6, México D.F., 1991.

-Ibrahim Y. -Rahman S. -RELIABILITY ANALYSIS OF UNCERTAIN USING SYSTEMS USING -IMPORTANCE SAMPLING, -ICASP no. 6, México D.F., 1991.

-Inter-Agency -ad -hoc -Comitee on-federal -Dam -Safety, -IMPROVING FEDERAL DAM SAFETY, -Report Federal -Coordinating -Council -f -or -Science, -Engineering -and -Technology, Nov. 1977.

-International -Commission -on -Large -Dams, -EARTHQUAKE ANALYSIS PROCEDURES OF -DAMS, -Bulletin no. 52, 1986.

-International Commission on Large Dams, Comittee on Seismic Aspects of Dam Design, -GUIDELINES FOR SELECTING SEISMIC PARAMETERS FOR LARGE DAMS, -EUA 1988.

-Laginha S. J., -MALPASSET DAM DISCUSSION REMEMBRANCES OF FAILURES OF -DAMS, -Engineering -Geology, -Elsevier -Science -Publishers, Vol. 24, pp 355--366, -EUA, 1987

-Laginha -S.J., -Coutinho -R.J.M., -STATISTICS OF DAM FAILURES: A PRELIMINARY -REPORT, Water -Power -and -Dam -Construction, -G.B. 1989

-Laginha -S.J., -SAFETY OF DAMS, Proceedings of the International Conference of Safety of -Dams, -Ed. A.A. -Blakema, Portugal, 1984-.

-Laginha -S.J., -DAM SAFETY, -OBSERVATIONS AND DESIGN CRITERIA, Water Power and Dam -Construction, -April 1984.

-Lebreton A. LES -RUPTURES ET ACCIDENTES GRAVES DE BARRAGES DE 1964 A 1983, La Hou-ille -Blanche/No 6/7-1985.

-Leira -J.B., -IMPORTANCE SAMPLING DISTRIBUTIONS FOR GAUSSIAN VECTOR PROCESS, -ICASP, México D.F., 1991.

-Leyland B., -LARGE DAMS: -IMPLICATIONS OF INMORTALITY, Water Power and Dam -Construction, -G.B, -Feb. 1990.

-Lombardi -G., -ANALYSE FREQUENTILLE DES CRUES DISTRIBUTIONS BORNEES, -Commission -Internationale Des Grandes Barrages, Seizieme Congres des Grands Barrages San Francisco, -EUA 1988.

-Lombardi -G., -DISTRIBUTION A DOUBLE BORNE LOGARITHMIQUE, -Commission Internationale Des Grandes Barrages, Seizieme Congres des Grands Barrages San Francisco, -EUA 1988.

-Lombardi -G., -DISTRIBUTION A DOUBLE LOGARITHMIQUE, -Complements Tableaux et Graphiques, Suiza 1987.

- Londé P. -SAFETY EVALUATION USING RELIABILITY ANALYSIS, -International Workshop on Dam Safety -Evaluation; Vol. 4, 1993.
- Marengo-M., H., ANALISIS DE RIESGO DE FALLA EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO ANTE AVENIDAS, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D.F. Enero, 1994.
- Martin J., A CONSULTING ENGINEERING VIEW ON DAM SAFETY, Water Power and Dam Construction, pp 17--22, -G.B.Nov.1985.
- Makedisi, F. I. -Seed, H. B., -SIMPLIFIED PROCEDURE FOR ESTIMATING DAM AND EMBANKMENT EARTHQUAKE INDUCED DEFORMATIONS, -Journal -of -Geotechnical -Engineering, -ASCE, Vol. 104, 1978.
- Matalas -N.C., -Slack J.C., and Wallis R., REGIONAL SKEW IN SEARCH OF A PARENT Water -Resources Research, -Vol.II, no. 6, 1975
- Newmark, N. M. -PROBLEMS IN WAVE PROPAGATION IN SOIL AND ROCK, - International -Symposium on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth - Materials, U, -of -New -México, 1968.
- Palohemino, E. -and M. -Hannus, STRUCTURAL DESIGN BASED ON WEIGHTED FRACTILES, -Journal of Structural Division -ASCE, Vol. 100, no. ST 7, 1974.
- Pegram -G.G.S., -Deacon M.P. EXTREME FLOOD HYDROGRAPHS OF CHOSEN PROBABILITY, -Departmente of Civil Engineering, University of Natal King -George V Avnue, -Durban -South -Africa, 1992.
- Penman A. -LONG TERM WHO IS RESPONSABLE? , Water Power and Dam Construction, -G.B., -Feb 1985.
- Powers G. J., Tompkins F. C., and Lapp S. A. A -SAFETY SIMULATION LANGUAGE FOR CHEMICAL PROCESS: A PROCEDURE FOR FAULT TREE SYNTHESIS -Aspects of System -Reliability and Safety Assessment, -SIAM,-Philadelphia, 1975.
- Rackwitz R. and Fiessler B., NON-NORMAL DISTRIBUTIONS IN -STRUCTURAL RELIABILITY, -Report 29, 1977.
- Raudkivi A. -HYDROLOGY, -Pergamon Press, -G.B. 1979.
- Rosenblatt M. -REMARKS ON A MULTIVARIATE TRANSFORMATION, -Annals of Mathematics and -Statistics, Vol. 23, 1952.
- Romo O. P. M., Villarraga H. M., MODELO ANALITICO PARA EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE LA PRESA EL INFIERNILLO, Instituto de Ingeniería, -UNAM, México D.F. Octubre 1989

- Rosenblueth E., -DESIGN OF EARTHQUAKE STRUCTURES, Pentech Press, G.-B. 1980.
- Sánchez -Bribiesca J.L., -Carmona Paredes R., -Dominguez Mora R., Fuentes -Mariles O., APLICACIONES DE ANALISIS ESTOCASTICOS A PROBLEMAS HIDRAULICOS, Instituto de Ingeniería, -UNAM, México D.F. octubre 1989-.
- Sherard J.L., -EARTH ROCK DAMS, -John Wiley and Sons., -Inc. 1963.
- Sherard J.L., -Dunnigan -L.P., -CRITICAL FILTERS FOR IMPERVIOUS SOILS, -Journal of Geotechnical Engineering, -ASCE, Vol. 115, 1989.
- Shinozuka M. -BASIC ANALYSIS OF STRUCTURAL SAFETY -Journal of Structural Division, -ASCE, Vol. 106, 1980.
- Silveira A., -SOME CONSIDERATIONS ON THE DURABILITY OF DAMS, Water Power and Dam -Construction, pp 19--28, Feb 1990.
- Tang -W.H. -BAYESIAN FREQUENCY ANALYSIS -Journal of the Hydraulics Division, -ASCE Vol. 106 -July, 1980.
- Telford T., -DAMS AND EARTHQUAKE, -Proceedings of a conference held at the Institution of Civil Engineers, -London -G.B. 1980
- Tung Y.K., and May L. W., -AN ANALYSIS OF FLOOD LEVEE RELIABILITY Water Resources -Research, Vol. 13, 1977.
- U.S. Bureau of Reclamation, -SAFETY EVALUATION OF EXISTING DAMS, Water -Resources -Technical Publication, -EUA 1983-.
- U. S. Army Corps of Engineering, -RECOMENDED GUIDELINES FOR SAFETY INSPECTION OF -DAMS, Vol. 1, -Appendix D, National Program Inspection of Dams, -EUA 1976.
- Vanmarcke E. H., -PROBABILISTIC STABILITY OF EARTH SLOPES -Engineering Geology, -Elsevier Scientific Publishing, 1980.
- Vanmarcke E. H., Bohenbust H. -RISK DECISION ANALYSIS IN DAM SAFETY, -Report no. -R -82- 11, -Massachusetts -Institue -of -Technology, 1982.
- Vega O. Arreguín F., PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVACION , 6a. reimpresión, División de Estudios de -Posgrado, UNAM, México -D.F., 1992.
- Wen Y.K. -STATISTICAL COMBINATION OF EXTREME LOADS -Journal of the Structural Division ASCE, Vol. 103, 1977

-Wood -E.F., -AN ANALYSIS OF FLOOD LEVEE RELIABILITY -Water Resources Research, Vol. 13 1977.

-Yen C. B., and Ang H.S. -RISK ANALYSIS IN DESIGN HYDRAULIC -PROJECTS Proceedings, First -International Symposium Stochastic Hydraulics, -Pittsburgh - Pennsylvania, 1971

-Yen -Chie B., -PROBABILITY BASED DECISION MAKING IN HYDROPOWER OPERATION, -ASCE Water Resources Planning and Management Division, 1977.

-Yen Ch-ie B., -STOCHASTICS AND RISK ANALYSIS IN HYDRAULIC ENGINEERING, - Library of -Congress, -EUA 1986.

-Yen B. C. -and -W. H. -Tang HYDRAULIC AND HYDROLOGY ASPECTS OF DAM SAFETY; -Proceedings, -Third ASCE Engineering Mechanics Division Speciality Conference, September 1979.



DIPLOMADO SOBRE GERENCIA DE PROYECTOS ICA - DECFI, UNAM

Módulo II "Ingeniería Básica y de Detalle"
Del 23 al 25 de abril.

Selección de la Tecnología Plantas Industriales (Complemento)

Ing. Alejandro Anaya Durand
Palacio de Minería
1998.

MÓDULO : INGENIERÍA BÁSICA DE PLANTAS INDUSTRIALES

DIPLOMADO EN GERENCIA DE PROYECTOS

Como parte del material didáctico de este módulo, anexo encontrará un Cuestionario de Bases de Diseño, que reafirmara lo aprendido en clase, para lo cual se incluye el siguiente instructivo :

INSTRUCTIVO DE USO DEL CUESTIONARIO ANEXO

OBJETIVO. El cuestionario anexo tiene como finalidad realizar un ejercicio de aplicación de los aspectos relevantes que intervienen en el inicio de una Ingeniería Básica para la instalación de una Planta Industrial.

INSTRUCCIONES. En base al objetivo señalado, siga cuidadosamente los siguientes pasos para resolver el cuestionario:

1. Lea cuidadosamente cada uno de las preguntas del cuestionario.
2. Seleccione un proceso industrial con el cual esté usted familiarizado en su ámbito de trabajo, o establezca usted un ejemplo del cual pueda usted tener facilidades para conseguir información.
3. Considere que el cuestionario propuesto intenta cubrir globalmente los aspectos a considerar durante la elaboración de unas bases de diseño y que algunos de ellos no aplicarán para su caso de estudio, sin embargo la recomendación es agotar todas las posibilidades de conseguir la información antes de dejar alguna pregunta sin respuesta.
4. Tome como referencia el ejemplo de Bases de Diseño que forma parte del material didáctico de este módulo.

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

2.4 FLEXIBILIDAD DE OPERACIÓN BAJO CONDICIONES ANORMALES.

LA PLANTA DEBERÁ SEGUIR OPERANDO BAJO LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

a. FALLA DE ELECTRICIDAD SI _____ NO _____

OBSERVACIONES: _____

b. FALLA DE VAPOR SI _____ NO _____
OBSERVACIONES: _____

c. FALLA DE AIRE SI _____ NO _____
OBSERVACIONES: _____

d. FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO SI _____ NO _____

e. OTROS _____

2.5 FLEXIBILIDAD EN CUANTO A OPERACIÓN CON DIFERENTES CARGAS Y O MODALIDADES

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

4. ALIMENTACIÓN A LA PLANTA.

4.1 CONDICIONES EN LÍMITES DE BATERIA:

ALIMENTACIÓN					
TEMPERATURA	MAXIMA				
C (F)	NORMAL				
	MÍNIMA				
ESTADO FISCAL					
FORMA DE RECIBO (*)					
PROCEDENCIA (**)					
FLUJO	<u>UNIDADES</u>				

(*) TUBERÍA, CILINDROS, CARROS TANQUE, SACOS, TRANSPORTADOR DE BANDA, ETC.

(**) SI EXISTE MAS DE UNA PROCEDENCIA DE ALGUNA ALIMENTACIÓN INDICAR SUS
CONDICIONES EN LÍMITES DE BATERIA.

PLANTA ·
LOCALIZACIÓN :

6. CONDICIONES DE LOS PRODUCTOS EN LÍMITES DE BATERÍA.				
PRODUCTO				
TEMPERATURA °C (°F)	MÁXIMA			
	NORMAL			
	MÍNIMA			
PRESIÓN (man) kg/cm ² (PSIG)	MÁXIMA			
	NORMAL			
	MÍNIMA			
ESTADO FÍSICO				
FORMA DE ENVIO (*)				
DESTINO (**)				
FLUJO (UNIDADES:)				
* TUBERÍA, CILINDROS, CARROSTANQUE, SACOS, TRANSPORTADORES DE BANDA, ETC.				
(**) SI EXISTEN PRODUCTOS CON DIFERENTES DESTINOS, INDICAR SUS CONDICIONES EN LÍMITE DE BATERÍA				

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

7. AGENTES QUÍMICOS (INDIQUE LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE AQUELLOS AGENTES QUÍMICOS QUE SEAN IMPORTANTES EN EL PROCESO, TALES COMO SOLVENTES PARA EXTRACCIÓN, AGENTES PARA ABSORCIÓN, ACEITES DE CALENTAMIENTO, ANTICORROSIVOS, ANTIESPUMANTES, ETC.)			
AGENTES QUÍMICOS			
PUREZA, CONCENTRACIÓN O COMPOSICIÓN			
ESTADO FÍSICO			
FORMA DE RECIBO			
PROCEDENCIA			
ALMACENAMIENTO UNIDADES CAPACIDAD DISPONIBLE REQUERIDO			
OTRAS ESPECIFICACIONES			
COSTO			

PLANTA :
LOCALIZACIÓN ·

8. EFLUENTES						
8.1 MANEJO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DENTRO DE L.B.						
EFLUENTE	SE ENVIA A	FRECUENCIA DE EMISIÓN	SE INCLUIRA EL TRATAMIENTO	CORRIENTES FLUJO (LPM)	EXTERNAS PRESIÓN kg/cm ²	ADICIONALES (*) TEMP. (°C)
AGUA DE PROCESO						
AGUA ACEITOSA						
AGUA DE LLUVIA						
AGUAS NEGRAS						
PURGA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO						
PURGA DE CALDERAS						
EFLUENTE DE PTA. DE TRAT. DE AGUA						
AGUA DE LAVADO DE PLANTA						
ACIDOS GASTADOS						
CÁUSTICOS GASTADOS						
SOLVENTES GASTADOS						
(*) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO ASI COMO EL ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES.						

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

8.2 EMISIONES AL AIRE					
EFLUENTE	SE ENVÍA A	SE INCLUIRÁ EL TRATAMIENTO?	CORRIENTES	EXTERNAS	ADICIONALES (*)
			FLUJO (LPM)	PRESIÓN kg/cm ²	TEMP. (°C)
GASES DE CALDERAS					
GASES DE CALENTADORES					
GASES Y VAPORES A QUEM DE CAMPO					
HUMOS Y POLVOS					
(*) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO					
8.3 MANEJO DE EFLUENTES SÓLIDOS					
EFLUENTE	SE ENVIA A	SE INCLUIRA EL TRATAMIENTO?	CORRIENTES	EXTERNAS	ADICIONALES (*)
			FLUJO (LPM)	PRESIÓN kg/cm ²	TEMP (°C)
CARBÓN					
LODOS ÁCIDOS					
ARCILLA					
MATERIALES GASTADOS					
LODOS DE PROCESO					

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

(*) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO ASÍ COMO EL ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

6. CONDICIONES DE LOS PRODUCTOS EN LÍMITES DE BATERÍA				
PRODUCTO				
TEMPERATURA (F)	MÁXIMA			
	NORMAL			
	MÍNIMA			
PRESIÓN (man) kg/cm2 (PSIG)	MÁXIMA			---
	NORMAL			
	MÍNIMA			..
ESTADO FÍSICO				
FORMA DE ENVÍO (*)				
DESTINO (**)				
FLUJO (UNIDADES)				

* TUBERÍA, CILINDROS, CARROSTANQUE, SACOS, TRANSPORTADORES DE BANDA, ETC.				
(***) SI EXISTEN PRODUCTOS CON DIFERENTES DESTINOS, INDICAR SUS CONDICIONES EN LÍMITE DE BATERÍA				
7. AGENTES QUÍMICOS (INDIQUE LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE AQUELLOS AGENTES QUÍMICOS QUE SEAN IMPORTANTES EN EL PROCESO, TALES COMO SOLVENTES PARA EXTRACCIÓN, AGENTES PARA ABSORCIÓN, ACEITES DE CALENTAMIENTO, ANTICORROSIVOS, ANTIESPUMANTES, ETC)				

PLANTA .
LOCALIZACIÓN .

8. EFLUENTES

8.1 MANEJO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DENTRO DE L.B.

EFLUENTE	SE ENVIA A	FRECUENCIA DE EMISIÓN	SE INCLUIRÁ EL TRATAMIENTO	CORRIENTES FLUJO (LPM)	EXTERNAS PRESION kg/cm2	ADICIONALES (OO) TEMP (OC)
AGUA DE PROCESO						
AGUA ACEITOSA						
AGUA DE LLUVIA						
AGUAS NEGRAS						
PURGA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO						
PURGA DE CALDERAS						
EFLUENTE DE PTA DE TRAT. DE AGUA						
AGUA DE LAVADO DE PLANTA						
ÁCIDOS GASTADOS						
CÁUSTICOS GASTADOS						
SOLVENTES GASTADOS						

(*) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO ASÍ COMO EL ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES.

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

8.2 EMISIONES AL AIRE

EFLUENTE	SE ENVÍA A	SE INCLUIRA EL TRATAMIENTO?	CORRIENTES	EXERNAS	ADICIONALES
			FLUJO (LPM)	PRESIÓN KG/CM2	(*)
GASES DE CALDERAS					
GASES DE CALENTADORES					
GASES Y VAPORES A QUEM. DE CAMPO					
HUMOS Y POLVOS					

(*) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO

8.3 MANEJO DE EFLUENTES SÓLIDOS

EFLUENTE	SE ENVIA	SE INCLUIRA EL TRATAMIENTO?	CORRIENTES	EXTERNAS	ADICIONALES
			FLUJO (LPM)	PRESIÓN kg/cm2	TEMP (C)
CARBÓN					
LODOS ÁCIDOS					
ARCILLA					
MATERIALES GASTADOS					
LODOS DE PROCESO					

PLANTA .
LOCALIZACIÓN .

***) PROPORCIONAR INFORMACIÓN SI SE INCLUIRÁN FACILIDADES DE TRATAMIENTO ASÍ COMO EL ANÁLISIS DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES.**

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

8.4 NORMAS O CODIGOS

INDICAR LAS NORMAS O CODIGOS QUE DEBERÁN CUMPLIRSE EN LA EMISIÓN O DISPOSICIÓN DE EFLUENTES, O BIEN, LLENAR EL PUNTO 8.5.

8.4.1 EFLUENTES LÍQUIDOS

8.4.2 EFLUENTES GASEOSOS

8.4.3 OTROS

8.5 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE EFLUENTES

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

8.5.1 EFLUENTE LÍQUIDO.

DBO5 (DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO)

DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO)

FENOLES

ACEITE Y GRASA

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

pH _____

TEMPERATURA _____

TOXICIDAD _____

**OTROS
(ESPECIFIQUE)** _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

8.5.2 EFUENTES GASOSOS

SO_x (OXIDOS DE AZUFRE)

NO_x (OXIDOS DE NITRÓGENO)

PARTICULAR

OTROS (ESPECIFIQUE)

kg/DÍA	CONCENTRACIÓN PERMISIBLE A NIVEL DE PISO ppm	DISTANCIA DE LA FUENTE m

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

9. INSTALACIONES REQUERIDAS DE ALMACENAMIENTO

9.1 ALIMENTACIONES			
ALIMENTACIÓN	NO. DE TANQUES	CAPACIDAD	UNIDADES

9.2 PRODUCTOS			
PRODUCTOS	NO. DE TANQUES	CAPACIDAD	UNIDADES

PLANTA :
LOCALIZACIÓN .

10. SERVICIOS AUXILIARES

10.1 VAPOR

EXISTE VAPOR DISPONIBLE EN L.B.?

SI _____ NO _____

EN CASO AFIRMATIVO, LLENAR LOS PUNTOS 10.1.1, 10.1.2 Y 10.1.3

EN CASO NEGATIVO, LLENAR EL PUNTO 10,1.4.

10.1.1 VAPOR DE ALTA PRESIÓN EN L.B.

CONDICIÓN	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA
PROPIEDAD			
PRESIÓN			
TEMPERATURA			
CALIDAD			
DISPONIBILIDAD			
COSTO			

CONDICIÓN	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA
PROPIEDAD			

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

PRESIÓN			
TEMPERATURA			
CALIDAD			
DISPONIBILIDAD			
COSTO			

INDICAR CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES O DE
TURBINAS:

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.1.3 VAPOR DE BAJA PRESIÓN EN L.B.

CONDICIÓN	MÍNIMA	NORMAL	MÁXIMA
PROPIEDAD			
PRESIÓN			
TEMPERATURA			
CALIDAD			
DISPONIBILIDAD			
COSTO			

10.1.4 DE REQUERIRSE GENERACIÓN ADICIONAL PARA EXPORTACIÓN, INDICAR CANTIDAD
Y PARA QUE NIVELES

NIVEL DE PRESIÓN	BAJA	MEDIA	ALTÁ
PROPIEDAD			
PRESIÓN			
TEMPERATURA			
CALIDAD			
CANTIDAD			

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.2 RETORNO DE CONDENSADO

10.2.1 CONDICIONES DE RETORNO DE CONDENSADO EN L.B.

NIVEL DE PRESIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA
CONDICIONES DEL			
PRESIÓN MÍNIMA			
TEMPERATURA MÁXIMA			
TEMPERATURA MÁXIMA			

10.2.2 EXTENSIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.3 AGUA DE ENFRIAMIENTO

FUENTE DE SUMINISTRO _____

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO _____

PRESIÓN DE SUMINISTRO EN L.B. _____

TEMPERATURA DE SUMINISTRO EN L.B. _____

DISPONIBILIDAD _____

PRESIÓN DE RETORNO EN L.B. (MIN.) _____

TEMPERATURA DE RETORNO EN L.B. (MAX.) _____

FACTOR DE INCRUSTACIÓN PARA CAMBIADORES DE CALOR

ANÁLISIS: VER PUNTO 10.9 _____

COSTO _____

INFORMACIÓN ADICIONAL _____

PLANTA
LOCALIZACIÓN :

10.4 AGUA PARA SERVICIOS Y USOS SANITARIOS

FUENTE DE SUMINISTRO _____

PRESIÓN EN L.B. _____

TEMPERATURA EN L.B. _____

DISPONIBILIDAD _____

COSTO _____

10.5 AGUA POTABLE

ANÁLISIS QUÍMICO VER PUNTO 10.9 _____

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO _____

FUENTE DE SUMINISTRO _____

PRESIÓN EN L.B. _____

TEMPERATURA EN L.B. _____

DISPONIBILIDAD _____

PLANTA
LOCALIZACIÓN :

10.6 AGUA CONTRA INCENDIO
PRESIÓN EN L.B. _____
DISPONIBILIDAD _____

10.7 AGUA PARA CALDERA
ANÁLISIS VER PUNTO 10. _____
PRESIÓN EN L.B. _____
TEMPERATURA EN L.B. _____
DISPONIBILIDAD : _____ COSTO : _____

10.9 AGUA DE PROCESO					
	ppm como				
CALCIO Ca ⁺⁺	CaCO ₃				
MAGNESIO Mg ⁺⁺	CaCO ₃				
SODIO Na ⁺	CaCO ₃				
POTASIO k ⁺	CaCO ₃				
HIDRÓGENO H ⁺	CaCO ₃				
TOTAL CATIONES					
BICARBONATOS HCO ₃ ⁻	CaCO ₃				

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

CARBONATOS CO ₃ =	CaCO ₃				
HIDRÓXIDOS OH-	CaCO ₃				
SULFATOS SO ₄ =	CaCO ₃				
CLORUROS C1-	CaCO ₃				
NITRATOS NO ₃ -	CaCO ₃				
NITRATOS NO ₃ -	CaCO ₃				
TOTAL ANIONES					
DUREZA TOTAL	CaCO ₃				
ALCALINIDAD NARANJA DE METILO	CaCO ₃				
ALCALINIDAD DENOLFTALEINA	CaCO ₃				
FIERRO TOTAL	Fe				
SILICE	SiO ₂				
MATERIA ORGÁNICA KMnO ₄ CONSUMIDO	O ₂				
OXIGENO LIBRE	O ₂				
DIOXIDO DE CARBONO LIBRE	CO ₂				
TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS	CaCO ₃				
pH A 77 °F (25 °C)					
COLOR					
TURBIDEZ					
CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA A 77 °F					
DUREZA NO CARBONATADA	CaCO ₃				

PLANTA :
LOCALIZACIÓN

10.11.2 COMBUSTIBLE LÍQUIDO

FUENTE DE SUMINISTRO

NATURALEZA

ANÁLISIS QUÍMICO

AZUFRE

CARBÓN

METALES

PESO ESPÉCIFICICO

VISCOSIDAD

PODER CALORÍFICO BAJO (LHV)

PRESIÓN EN L.B.

TEMPERATURA EN L.B.

DISPONIBILIDAD

COSTO

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.11.3 COMBUSTIBLE SÓLIDO

FUENTE DE SUMINISTRO _____

NATURALEZA _____

COMPOSICIÓN BASE HUMEDA _____

DENSIDAD REAL _____

DENSIDAD APARENTE _____

TAMAÑO DE PARTÍCULA _____

PODER CALORÍFICO BAJO (LHV) _____

FORMA DE ENTREGA _____

DISPONIBILIDAD _____

COSTO _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.12 REFRIGERACIÓN
NATURALEZA DEL REFRIGERANTE _____
COMPOSICIÓN _____
FORMA DE ENTREGA EN L.B. _____
TEMPERATURA EN L.B. _____
DISPONIBILIDAD _____

10.13 INERTES
NATURALEZA _____
COMPOSICIÓN _____
FORMA DE ENTREGA EN L.B. _____
PRESIÓN EN L.B. _____
TEMPERATURA EN L.B. _____
DISPONIBILIDAD _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN

10.14 ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
FUENTE (S) DE SUMINISTRO _____
INTERRUPCIONES: FRECUENCIA _____ VECES/AÑO
DURACIÓN MÁXIMA _____ PROMEDIO _____
CAUSAS _____
TENSIÓN _____
NÚMERO DE FASES _____
FRECUENCIA _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORTO CIRCUITO _____
FACTOR DE POTENCIA, MIN. _____
NÚMERO DE CONDUCTORES _____
MATERIAL DEL CONDUCTOR _____
DIÁMETRO DEL DUCTO _____
 AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR _____
MATERIAL DEL DUCTO _____
ACOMETIDA (SUBTERRÁNEA O ÁREA) _____
NIVEL Y COORDENADAS DE LA ACOMETIDA _____
COSTO _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.15 ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA

FUENTE DE SUMINISTRO _____

TENSIÓN _____

NÚMERO DE FASES _____

FRECUENCIA _____

CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORTO CIRCUITO _____

NÚMERO DE CONDUCTORES _____

SECCIÓN DE CONDUCTORES _____

MATERIAL DE CONDUCTOR _____

AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR _____

ACOMETIDA (SUBTERRANEA O ÁREA) _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN

10.16 TELÉFONOS
CRITERIOS DE COMUNICACIONES EXTERNA E INTERNA _____

NÚMERO DE HILOS _____
SECCIÓN DE HILOS _____
CAPACIDAD DISPONIBLE DEL CONMUTADOR (SI EXISTE) _____

ACOMETIDA (SUBTERRANEA O ÁREA) _____

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

10.17 DESFOGUE

RESPONSABILIDAD DE DISEÑO DEL IMP.

HASTA L.B. SI _____ NO

HASTA QUEMADOR SI _____ NO

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABEZALES DISPONIBLES FUERA DE L.B.

NÚMERO _____

DIÁMETRO _____

ESPECIFICACIÓN _____

FLUJO MÁXIMO ACTUAL _____

MÁXIMO POSIBLE _____

TEMPERATURAS _____

CAUSAS DE DESFOGUE _____

CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADOR _____

CONTRAPRESION EN L.B. _____

PLANTA :
LOCALIZACION

11 SISTEMA DE SEGURIDAD
11.1 SISTEMA CONTRAINCENDIO
NORMAL O CRITERIOS DE DISEÑO PARA:
RED CONTRAINCENDIO _____

EQUIPO MOVIL Y PORTATIL _____

ROCIADORES _____

CÁMARAS DE ESPUMA _____

11.2 PROTECCION PERSONAL
DUCHAS. SI _____ NO _____
TOMAS DE AIRE SI _____ NO _____
OTROS _____

PLANTA :

LOCALIZACIÓN

12.5 HÚMEDAD		
MÁXIMA	_____ A _____	C
MÍNIMA	_____ A _____	C

12.6 ATMÓSFERA		
PRESIÓN ATMOSFERICA _____		
ATMÓSFERA CORROSIVA	SI _____	NO _____
CONTAMINANTES _____		

PLANTA :
LOCALIZACIÓN:

13. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

ADJUNTAR PLANO DE LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.

COORDENADAS DE LÍMITES DE BATERIA

ELEVACIÓN DE LA PLANTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

**PREVISIONES PARA FUTURAS
AMPLIACIONES**

PLANTA :
LOCALIZACIÓN

14. BASES DE DISEÑO ELÉCTRICO

14.1

14.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL TERRENO

PROMEDIO _____ MÁXIMA _____ MÍNIMA _____

14.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN A MOTORES

12.6 ATMÓSFERA

12.6 ATMÓSFERA

PLANTA :
LOCALIZACIÓN :

18. BASES PARA DISEÑO DE EQUIPO

18.1 COMPRESORES	
TIPO PREFERIDO DE COMPRESORAS	
TIPO PREFERIDO DE ACCIONADORES	
SOBREDISEÑO DESEADO	

18.2 BOMBAS	
TIPO DE ACCIONADORES	
SOBREDISEÑO DESEADO	

PLANTA :
LOCALIZACIÓN:

18.3 CAMBIADORES DE CALOR

INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE FACTORES DE INCRUSTACIÓN DETERMINADOS EN
OPERACIÓN

SERVICIO

Rd (FACTORES DE INCRUSTACIÓN)