



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

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as 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.

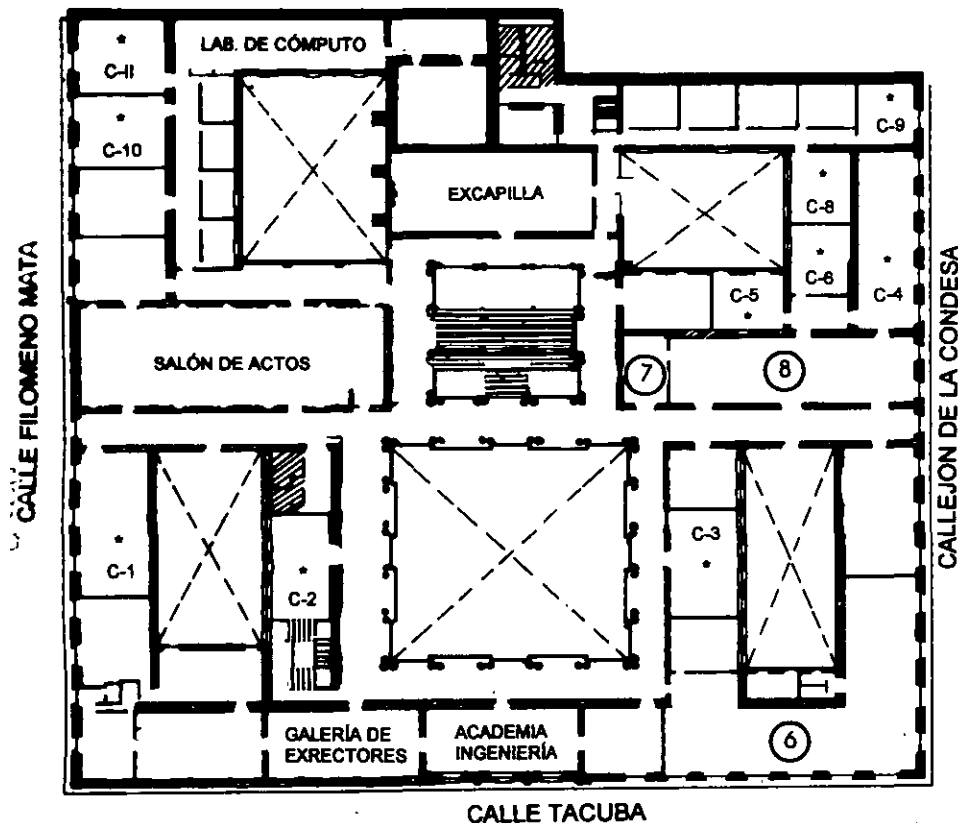
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

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 MINERÍA



## 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

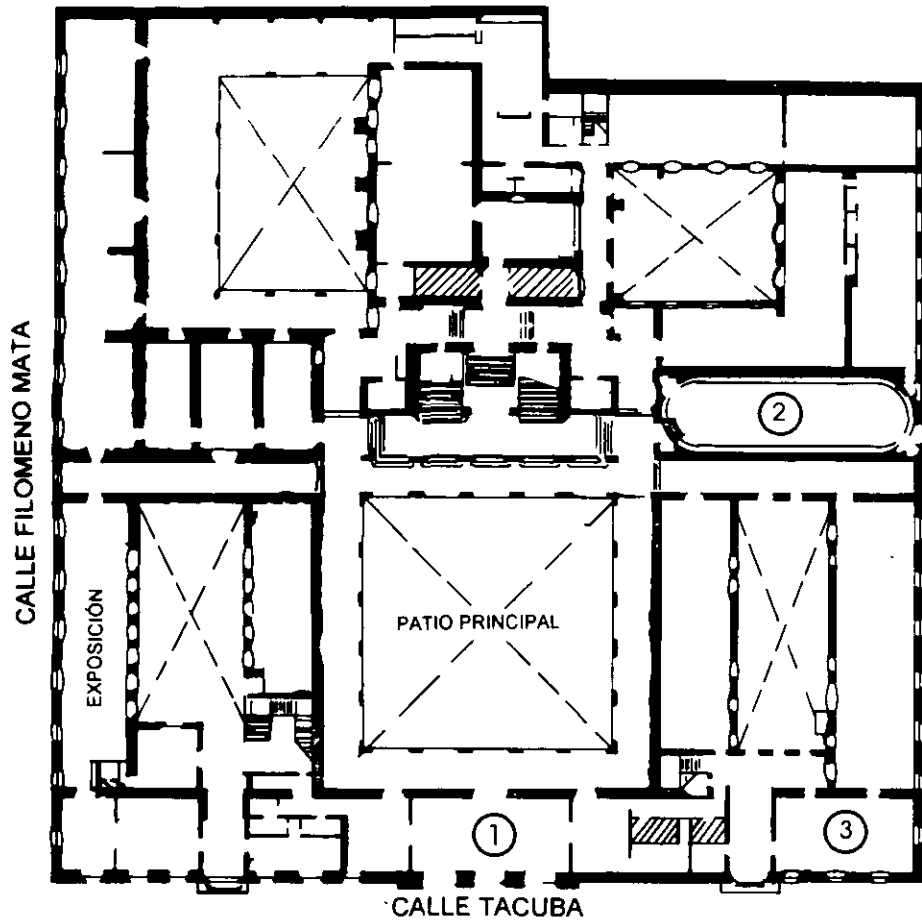


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS

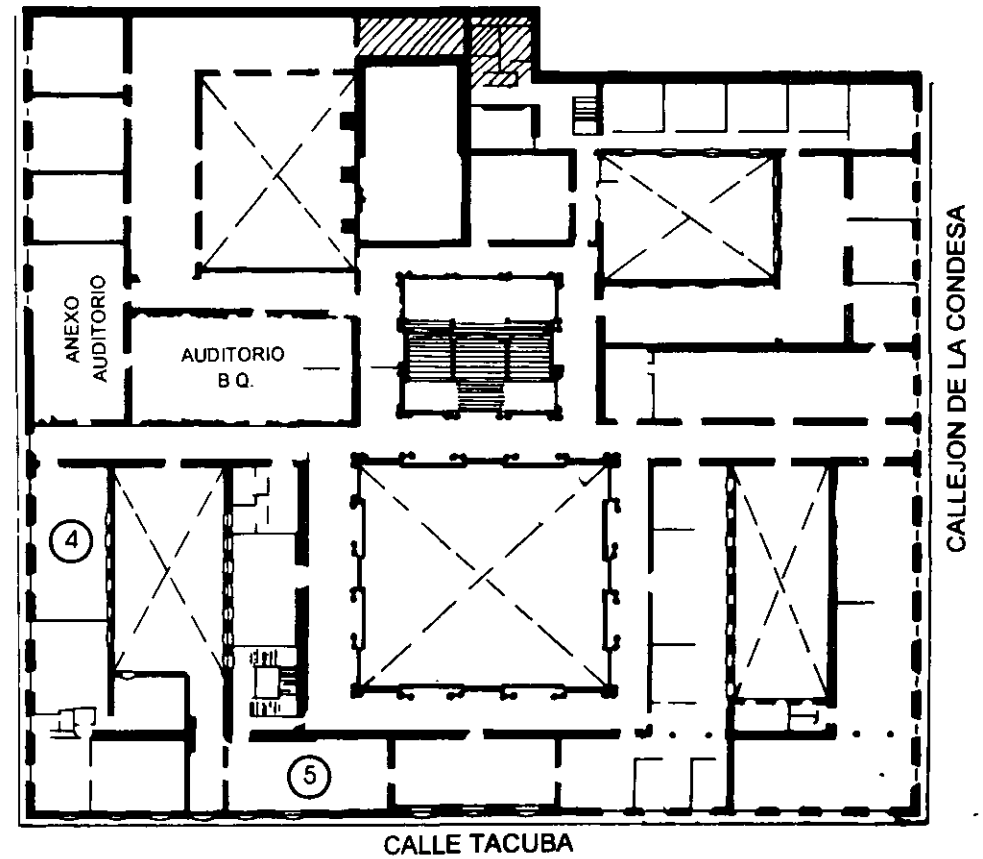
DIVISIÓN DE EDUCACION CONTINUA



# PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



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

**DIPLOMADO EN "GERENCIA DE PROYECTOS"  
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo IV "Construcción"  
Del 22 al 24 de Julio

**PROYECTO DE PUENTES**

Ing. Ignacio Hernández Quinto  
Palacio de Minería, México  
1999



## **PROYECTO DEL PUENTE**

El proyecto de un puente es un proceso que puede resumirse en los siguientes pasos:

### **1. Planteo del problema (Planeación General).**

Un proyecto de ingeniería comienza cuando se identifican las necesidades y se determinan los objetos del diseño. El puente surge de la necesidad de salvar un río, una depresión, etc.; para poder plantear el problema estructural es necesario contar con información adecuada respecto a las características físicas del lugar en el que se requiere el puente, y a las necesidades de tránsito que deben satisfacerse. Esta información se obtiene a través de Los estudios preliminares (que incluyen estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, etc.).

### **2. Retroalimentación.**

Es conveniente reunir toda la información referente a problemas similares que se han presentado con anterioridad, con el objeto de poder simplificar y acelerar el proyecto del puente en cuestión, así como evitar trabajo innecesario.

### **3. Selección de diferentes alternativas. Análisis preliminares.**

Basado en la información anterior, el ingeniero proyectista está en condiciones de plantear sistemas estructurales alternativos, definiendo en cada uno de ellos el tipo de puente y los posibles procedimientos de construcción, para asegurarse de que las alternativas propuestas puedan realizarse satisfactoriamente y a un costo previsible. En esta etapa se hace un análisis preliminar de las alternativas, para obtener valores aproximados de los parámetros de diseño de cada una.

Esta parte del diseño es muy importante, ya que el éxito del sistema estructural definitivo depende directamente de las actividades realizadas en esta etapa.

### **4. Evaluación de las alternativas.**

La evaluación de las alternativas propuestas como soluciones se va efectuando al mismo tiempo que el análisis preliminar algunas alternativas se desechan simplemente porque parecen muy desfavorables en comparación con otras mejores. Sin embargo, en muchos casos, se encuentran una serie de alternativas con cualidades muy semejantes; entonces se hace necesario determinar las ventajas de cada una de ellas con relación a otras cualidades que debe tener el proyecto, comparar los problemas de construcción, examinar en forma crítica su eficiencia estructural general y considerar los aspectos económicos y estéticos de cada alternativa.

**5. Elección del sistema estructural definitivo**

Después de haber analizado cuidadosamente las características de cada una de las alternativas, se escoge la que a juicio del ingeniero reúna las mayores ventajas.

**6. Análisis estructural del sistema elegido.**

Se lleva a cabo el análisis estructural de la alternativa elegida tomando en cuenta todas las acciones actuantes sobre el puente. Las dimensiones de los miembros obtenidas del análisis preliminar pueden ser adecuadas como dimensiones definitivas, si no lo son, se utilizan como punto de partida para el análisis final.

**7. Diseño del sistema estructural elegido.**

Se definen las dimensiones definitivas y los detalles de todos los elementos que integran la alternativa elegida, revisando cada uno de ellos ante las solicitaciones de los elementos mecánicos actuantes, y se verifica si el comportamiento de los elementos cumple con las recomendaciones establecidas en las normas vigentes, como es el caso de flechas máximas, agrietamiento, etc..

**8. Planos estructurales y especificaciones de construcción.**

La elaboración de los planos estructurales del puente y la emisión de especificaciones de construcción permitirán la construcción del puente, bajo las consideraciones tomadas en cuenta en el diseño. Ya que estos planos y especificaciones son el medio de comunicación entre el ingeniero proyectista y el ingeniero constructor, es conveniente que en ellos se incluya toda la información necesaria para llevar a cabo la construcción. Esta información debe estar expresada en forma clara y sencilla, con el objeto de evitar errores y confusiones durante la ejecución de la obra. Se deben incluir el proceso constructivo, el tipo de cimbra, sistemas de piso, dispositivos de apoyo, juntas de dilatación, dispositivos de drenaje, etc..

**9. Evaluación.**

Se evaluará la inversión inicial a partir de la cuantificación de todos los conceptos que integran el puente, aplicando los precios unitarios vigentes.

**10. Ejecución de la obra.**

Se lleva a cabo la ejecución del puente siguiendo las indicaciones establecidas tanto en los planos y especificaciones realizadas por los diseñadores, como en las normas vigentes en el país.

**11. Revisión del comportamiento del puente.**

Es aconsejable que tanto el proyectista, como el supervisor y el constructor de la obra revisen el comportamiento del puente cuando se encuentre en servicio, para ver si éste es el previsto en el proyecto, o bien si ha sufrido cambios que puedan requerir de modificaciones posteriores.

**12. Mantenimiento y conservación del puente.**

Los puentes, como cualquier otro tipo de estructura, requieren que se establezca un programa de mantenimiento y conservación que asegure, en su vida útil, un comportamiento seguro y adecuado.

En lo que sigue se desarrollarán algunos aspectos correspondientes al proyecto estructural de un puente.

## ASPECTOS GENERALES DE PLANEACION

En todo proyecto de Ingeniería es necesario realizar estudios de planeación que permitan prever la situación económica y social que se derivará de él, con el fin de establecer si su realización será justificable, no sólo por si mismo, sino al compararlo con otras alternativas en proyectos a nivel regional y nacional.

Los estudios de planeación permitirán establecer metas concretas a un plazo determinado y la asignación adecuada de los medios para lograr los objetivos deseados, así como los programas para el desarrollo de las acciones planeadas.

La conveniencia de proyectar y construir un puente no puede analizarse separadamente del tramo carretero en el que se ubica, ya que por si solo sería inoperante; es por esta razón que Los estudios de planeación se refieren al tramo carretero, en toda su longitud.

Una vez determinada la conveniencia del tramo carretero se justifica automáticamente el proyecto y construcción del puente o de los puentes que sean necesarios.

### *TIPOS DE CARRETERAS. CRITERIOS DE EVALUACION*

Los criterios para valuar la conveniencia de la realización de un tramo carretero dependen del medio económico al que sirve, ya que las consecuencias de invertir en una carretera son muy distintas si la inversión se realiza en una zona con cierto grado de desarrollo, o en otra en la que apenas se inicie un proceso de incorporación a la economía de mercado; ello determina que la naturaleza dominante de las consecuencias de invertir en carreteras, dé Lugar al establecimiento de los siguientes tipos de carreteras.

- a) Carreteras de función social.
  - b) Carreteras de penetración económica.
  - c) Carreteras para zonas en pleno desarrollo.
- a) Las carreteras de función social son las obras en las que las consecuencias de invertir se manifiestan principalmente en el campo social, porque la zona de influencia es de escasa potencialidad económica pero con fuerte concentración de población. Allí, la comunicación permanente entrañará un cambio decisivo en el modo de vida. Es pues natural, que en estos casos el criterio de evaluación se base en la relación entre el monto de la inversión y el número de habitantes por servir.
  - b) Las carreteras de penetración económica son las obras en las que el impacto principal es la incorporación al proceso de desarrollo general de zonas potencialmente productivas. Son obras que propician la realización de inversiones en otros sectores y el rápido incremento de las actividades económicas y, por lo tanto, La principal consecuencia será el aumento de la producción, primero en las actividades primarias y después en las de transformación y servicios. El criterio de evaluación en este caso, se basa en la productividad de la inversión que se calcula a partir de la producción que sería agregada a la economía nacional, mediante la construcción de la obra vial considerada. Entonces el valor de esa producción, en cierto

año, se relaciona con el costo de la obra y se obtiene así un índice llamado de productividad que, aún cuando no expresa un valor absoluto de las ventajas de la inversión, permite comparar distintas inversiones dentro de esta categoría.

En el cálculo del valor de la producción, se tienen en cuenta las actividades primarias y se estima de acuerdo con las técnicas y rendimientos tradicionales de la región, sin considerar la evolución de esa producción a través del tiempo, a fin de mantener una posición conservadora en cuanto al indicador del beneficio de la inversión. El cálculo del costo se limita a la consideración de la cantidad necesaria para la construcción de la obra vial idónea. Como la relación que proporciona el índice de productividad se establece al margen del factor tiempo, no se consideran los costos de conservación, ni las inversiones necesarias para mejorar las condiciones de la obra, de acuerdo con su evolución. La omisión de estos costos se encuentra ampliamente compensada con los beneficios de carácter social, no mensurables, que la obra supone.

La expresión que establece el índice de productividad puede escribirse como sigue:

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^a P_i}{C}$$

en la que:

IP = Índice de productividad.

$x_i^a$  = Volumen de la producción del bien 'i', en el año 'a', en la zona de influencia de la carretera.

$P_i$  = Precio de bien 'i'.

C = Costo de construcción de la carretera.

Normalmente, como quedó expuesto antes, sólo se consideran los productos derivados de actividades primarias, principalmente agrícolas, entre los que destacan: maíz, trigo, arroz, caña de azúcar, café y frutales.

- c) Las carreteras para zonas en pleno desarrollo son aquellas ubicadas en una zona en la que ya existen las vías necesarias para presentar el servicio de transporte y las cuales se desea mejorar o substituir. Los beneficios directos cuantificables que aportan estas obras a la colectividad son los ahorros en costos de tracción y en tiempos de recorrido y la supresión de pérdidas motivadas por los posibles congestionamientos, que se presentarán al rebasarse la capacidad del camino. La posibilidad de cuantificar estos ahorros con cierta precisión, con base en observaciones directas y en la proyección al futuro, permite compararlo con los gastos que habrá necesidad de efectuar a lo largo del plazo de previsión y establecer un índice de rentabilidad de la inversión propuesta.

El cálculo de cada uno de los ahorros se realiza mediante la comparación entre los costos para la situación actual y los que prevalecerán una vez construida la obra propuesta. Esta comparación se hace para toda la vida útil de la nueva obra y se calculan los ahorros totales, o sea el beneficio que ésta proporcionará, en cada uno de los años en que estará en servicio. La estimación de costos se realiza, también, a lo largo de la vida útil de las obras, tomando en

cuenta tanto la inversión inicial, como los costos de conservación y de posibles reconstrucciones que hubieran de realizarse. Una vez obtenidos los beneficios y costos que se presentarán durante la vida útil de las obras, se procede a determinar lo que puede estimarse como su valor actual.

Para estimar el valor actual de un peso ganado o gastado en cada uno de los años futuros, se aplica una tasa de actualización del 12% (desde el punto de vista financiero, la tasa de actualización incluye el "costo" del capital usado en la inversión y la disminución en el tiempo del poder adquisitivo de la moneda).

La aplicación de las consideraciones anteriores se resume en una comparación para cada alternativa, cuyos elementos son los beneficios y costos por año, y sus respectivos valores actualizados. La suma de los beneficios actualizados representa el valor que podemos asignar hoy a los beneficios que la inversión producirá en el periodo considerado; asimismo, la suma de los costos actualizados representa el valor actual que la inversión implica durante el mismo periodo.

El cociente que resulta de dividir los beneficios actualizados entre los costos actualizados es un índice de rentabilidad que expresa la calidad de la inversión, el cual permite rechazar las inversiones no rentables y, por comparación, establecer la prelación de las rentables.

El índice de rentabilidad se expresa:

$$IR = \frac{Bo + B_1 \frac{1}{1+a} + B_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + B_n \frac{1}{(1+a)^n}}{Co + C_1 \frac{1}{1+a} + C_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + C_n \frac{1}{(1+a)^n}} \quad EC.1.2$$

en donde:

IR = Índice de Rentabilidad.

Bi = Beneficio total en el año "i".

Ci = Costo causado por la obra en el año "i".

A = Tasa de actualización, considerada constante en el periodo estudiado.

En virtud de la distinta naturaleza de las consecuencias que se presentarán para cada tipo de carretera, es necesario aclarar que los criterios de evaluación descritos sólo permiten el establecimiento de relaciones en cada categoría, ya que no es posible comparalas entre sí.

\* La tasa de actualización del 12% varía dependiendo de estudios económicos.

## ELECCION DEL CRUCE

Una vía de comunicación no sólo exige una adecuada planeación económica y la selección de la ruta y materiales de construcción más convenientes, sino también requiere de un diseño racional de sus obras de drenaje que permitan desalojar en cualquier momento y en forma eficiente los volúmenes de escurrimiento aportados por las lluvias en cualquier tramo de la carretera, así como permitir el paso de los cauces de drenaje natural sin obstruir considerablemente el escurrimiento.

El agua de lluvia que se precipita sobre la carretera y las laderas adyacentes debe recogerse y eliminarse sin provocar inundaciones o destrucciones a las mismas. Esto se evita en la carretera construyéndola con una pendiente transversal que permita el drenaje a los lados del pavimento; el agua colectada debe eliminarse sobre los taludes si no se ocasionan problemas de erosión y en caso contrario deberá conducirse en la dirección del camino dentro de cunetas o mediante bordillos para posteriormente eliminarse. Cuando la carretera tiene cortes permeables la eliminación de los escurrimientos puede exigir el empleo de drenes de zanja, de tubo ranurado, que permitan desaguar las infiltraciones producidas desde los taludes.

La sección transversal de una carretera en corte cuenta normalmente con contracunetas y zanjas de intercepción que capturan el agua de escurrimiento proveniente de los taludes para evitar erosiones y exceso de agua en las cunetas. En algunas ocasiones una contracuneta mal proyectada o sin conservación (impermeabilización) puede ser el punto de partida de una superficie de falla por lo que, si no son muy necesarias, es mejor evitarlas.

Generalmente las carreteras cruzan cauces de drenaje natural a los cuales se les debe permitir el paso sin causar daños a la propiedad aguas arriba y aguas abajo. El paso se efectúa por medio de alcantarillas, vados, puentes vado o puentes.

Los vados son estructuras que se construyen para permitir el paso de los cauces de drenaje natural a través del camino, sin modificar prácticamente la forma de su escurrimiento, efectuándose éste sobre la superficie de rodamiento. Este tipo de estructuras es de construcción recomendable en caminos de baja inversión o cuando se tiene un bajo volumen de tránsito, cauces no definidos, frecuencia baja de escurrimientos o corta duración de éstos.

Un puente vado es una estructura semejante a la de un puente, pero proyectada para permitir el paso de las avenidas máximas por encima de ella, por tanto, su área hidráulica debe considerar únicamente el paso del gasto correspondiente a las avenidas ordinarias. Generalmente se usan cuando el río tiene un caudal permanente, debiéndose además cumplir las mismas condiciones anotadas para los vados.

En el caso de los puentes cuando la corriente que se cruza es importante, es probable que el costo de la estructura sea elevado en comparación con el costo de los accesos, lo cual obliga a buscar el sitio de la corriente en donde el costo del conjunto carretera-puente sea el mínimo.

## ELECCION DEL CRUCE

La determinación del lugar en que la carretera cruzará el río es una parte muy importante de un proyecto carretero, ya que de su adecuada elección dependerá el buen funcionamiento del conjunto carretera-puente, tanto en lo relativo al servicio que presta, como al aspecto ingeniería (técnico) del mismo. Para lograr esto se deberá tomar en cuenta la economía general del camino y un balance adecuado de los problemas de alineamiento, movimiento de tierras, operación de la ruta, funcionamiento hidráulico y geología de la zona.

La ubicación del cruce depende principalmente de los siguientes factores:

- a) Alineamiento general del camino.
- b) Aspecto hidráulico.
- c) Aspecto topográfico.
- d) Aspecto geológico.

a) *Alineamiento general del camino.* El lugar del cruce está determinado fundamentalmente por el alineamiento general del camino ya que el alejarnos de éste ocasionará mayores gastos de construcción y mayores tiempos de recorrido. Así pues, se seleccionará entre aquellas secciones que sean adecuadas para el cruce desde los puntos de vista hidráulico, topográfico, geológico, etc., que se ajusten lo más posible al alineamiento general del camino. El rango de ajuste al alineamiento no es un dato determinado sino que está en función del balance entre el costo del puente y de los tramos de acceso necesarios. Debe considerarse también el tipo de camino, ya que de su importancia depende que pueda o no alejarse del alineamiento general, puesto que para volúmenes bajos de tránsito como los que se presentan en caminos de tipo social o de penetración económica, tal vez no sea muy importante el aumento en el tiempo de recorrido como en el caso de un camino con altos volúmenes de tránsito.

b) *Aspecto hidráulico.* El puente como obra de drenaje deberá permitir salvar el río en todo tiempo sin ocasionar problemas en el funcionamiento hidráulico del mismo, por lo que es recomendable elegir para el cruce un tramo del río que nos proporcione cierta certeza de que no se afectará notablemente dicho funcionamiento.

Para esto es necesario tomar en cuenta los siguientes factores al elegir el cruce:

- b.1) Tramo del río con cauce recto en las inmediaciones del cruce, ubicado éste lo más alejado posible de curvas aguas arriba o abajo, pero principalmente de las aguas arriba. Esto es con el fin de que la estructura no quede en zonas que puedan ser erosionadas por el cambio de dirección del agua. (Fig. 1).

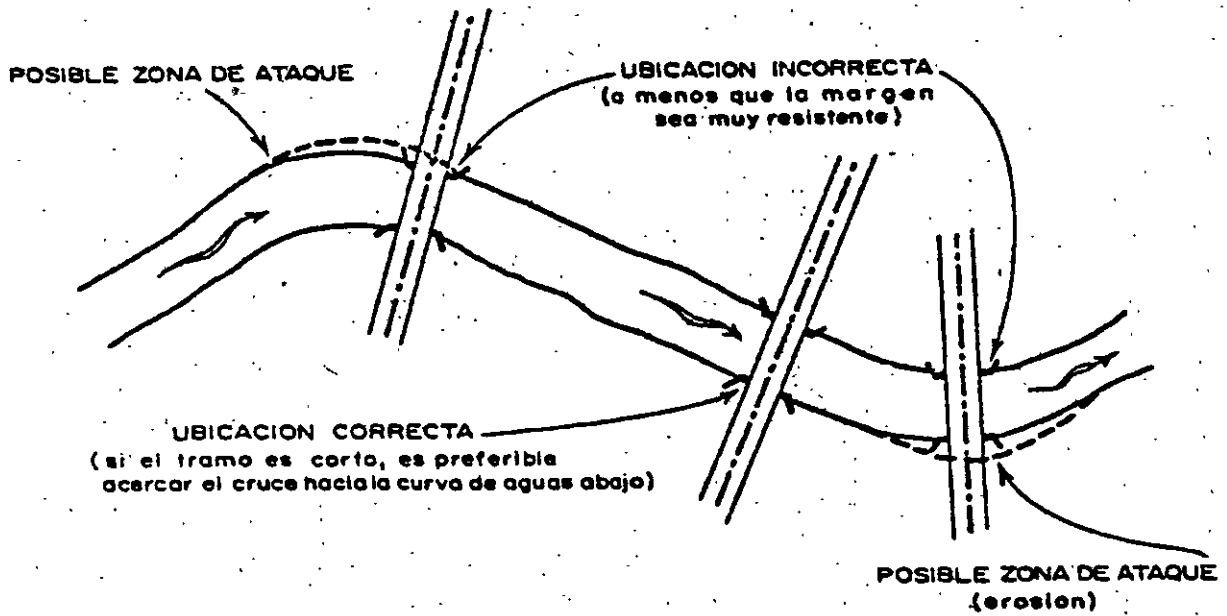


Figura 1

b2) Sección de cruce estable, es decir que no sea propensa a sufrir erosiones laterales que hagan que el cauce cambie de ubicación. (Fig. 2).

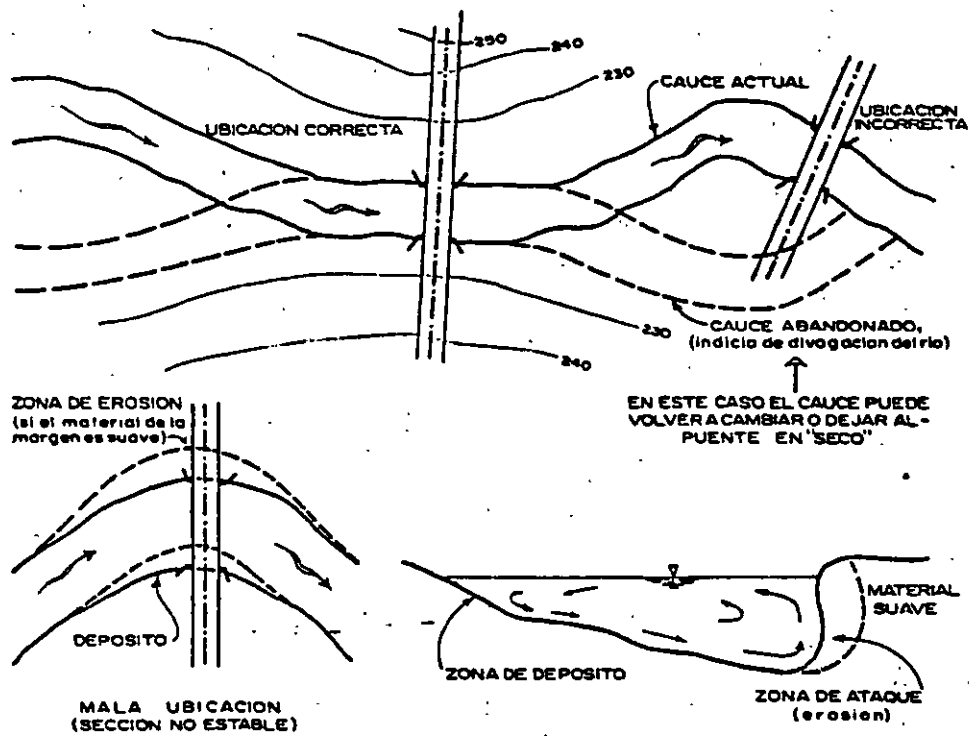


FIGURA 2



b.3) Tramo del río que no tenga desbordamiento o llanuras de inundación. (Fig. 3).

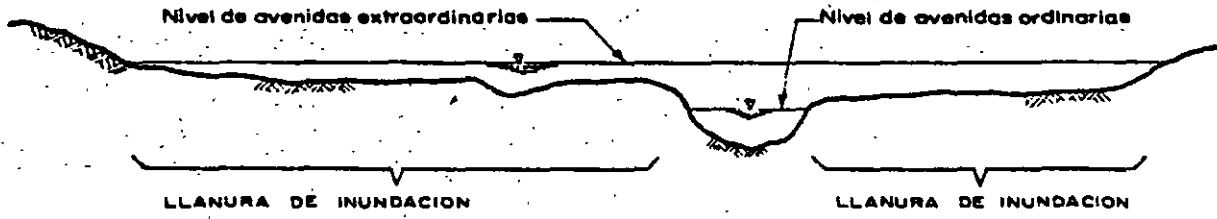


FIGURA 3

b.4) Tramo con pendiente longitudinal uniforme, es decir, sin rápida ni remanso para que no se presenten erosiones o depósitos bajo de la estructura. (Fig. 4).

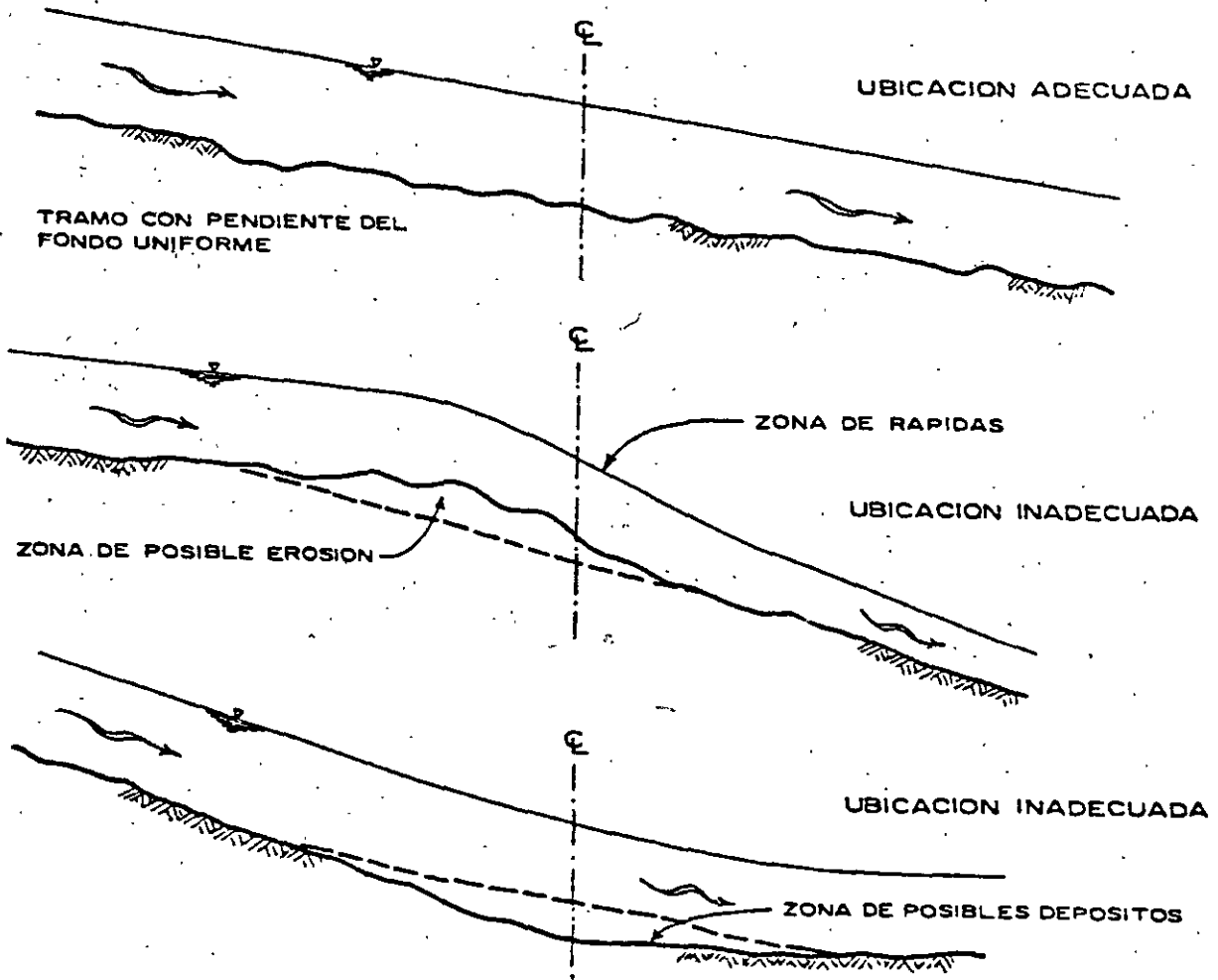


FIGURA 4

En la medida en que estas condiciones no se cumplan los problemas del cruce aumentarán y podrá requerir de obras complementarias (de defensa o encauzamiento) que harán que los costos de la estructura aumenten.

c) *Aspecto topográfico.* Con relación al aspecto topográfico, la ubicación del puente debe ser tal que el volumen de cortes y terraplenes sea el mínimo posible, con lo cual se busca lograr un menor costo de construcción y conservación; así mismo convendrá observar que las características geométricas sean las adecuadas para asegurar el buen funcionamiento de la carretera.

Cuando se cruza una corriente pequeña será necesaria una obra menor y el cruce comúnmente estará definido por el trazo general del camino requiriéndose a veces sólo pequeñas modificaciones locales para mejorar algunos cruces en particular. Esto es diferente cuando se trata de cruzar una corriente importante ya que el costo de la estructura probablemente será elevado en comparación con el costo del camino por lo que se deberá buscar el sitio de la corriente en donde la obra resulte más económica haciendo necesario, para lograr esto, un análisis de costos de construcción y conservación entre las alternativas que puedan plantearse para el cruce.

Los factores a tomar en cuenta son los siguientes:

c.1) El cruce no debe obligar a que el camino se proyecte con curvas horizontales de entrada y salida que sean muy forzadas (Fig. 5).

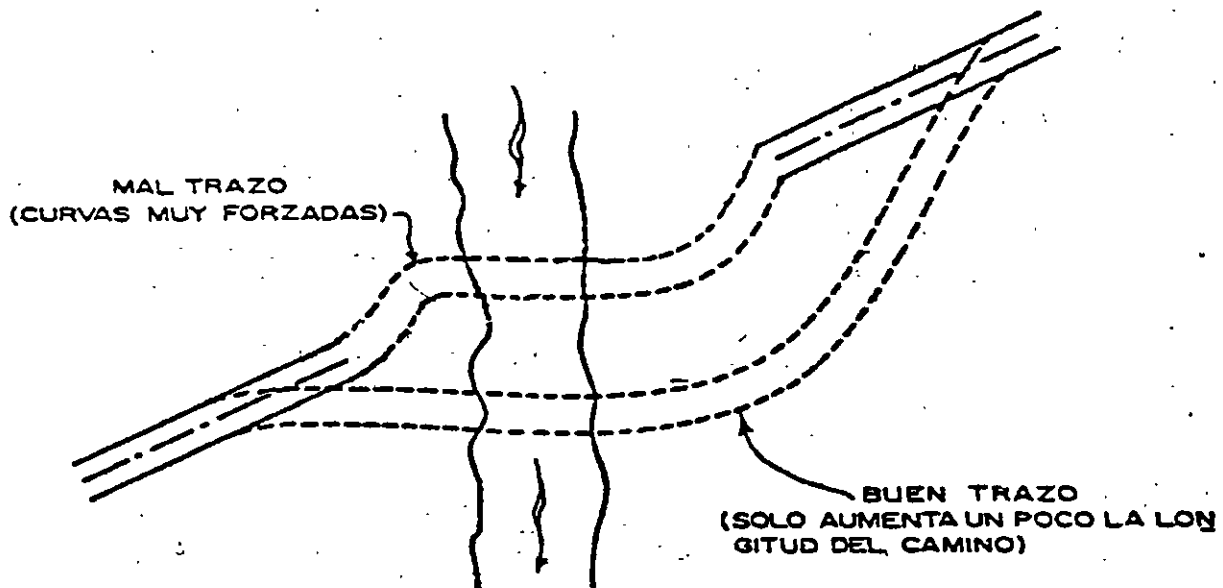


FIGURA 5

El mejorar el alineamiento puede requerir mayores longitudes de camino y por tanto mayores costos. Sin embargo, si estos costos no son excesivamente mayores que los del trazo original deberá preferirse el que mejora el alineamiento.

Es recomendable que la carretera cruce en forma perpendicular al río ya que esto reduce la longitud del puente cuyo costo es más elevado, sin embargo no se debe descartar el análisis de obras esviajadas con las que se puede lograr mejores trazos y menores longitudes de camino (FIG. 6)

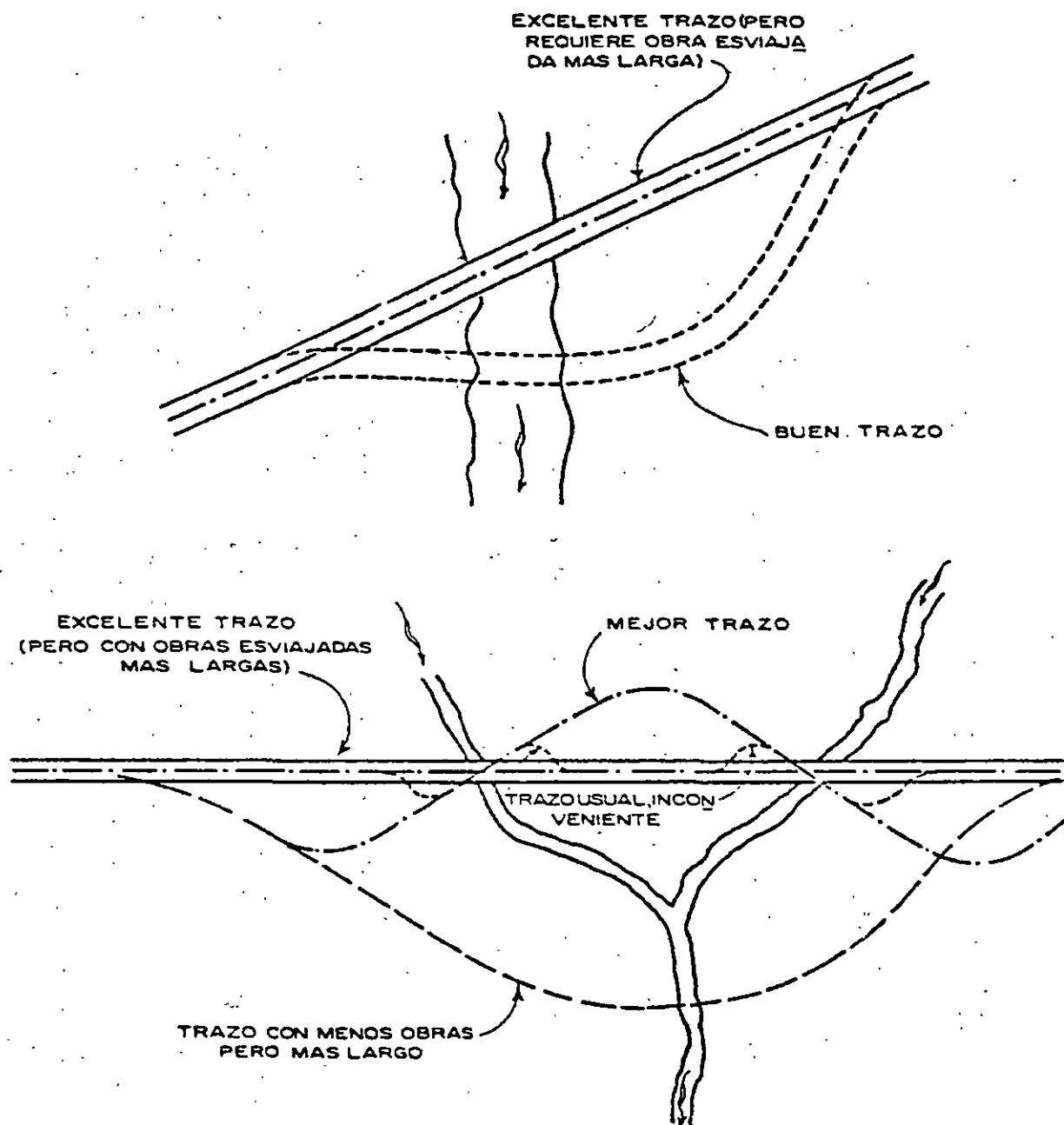
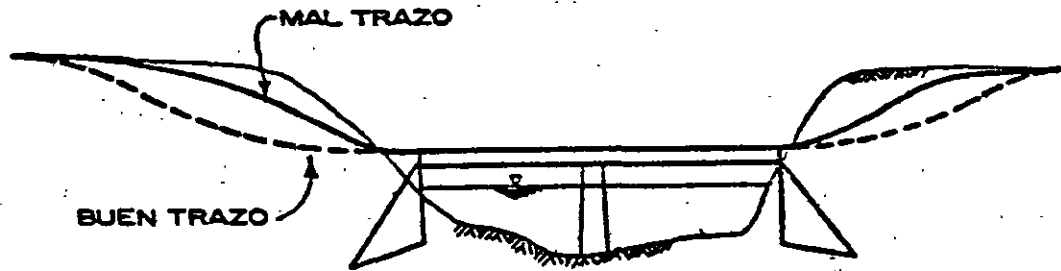
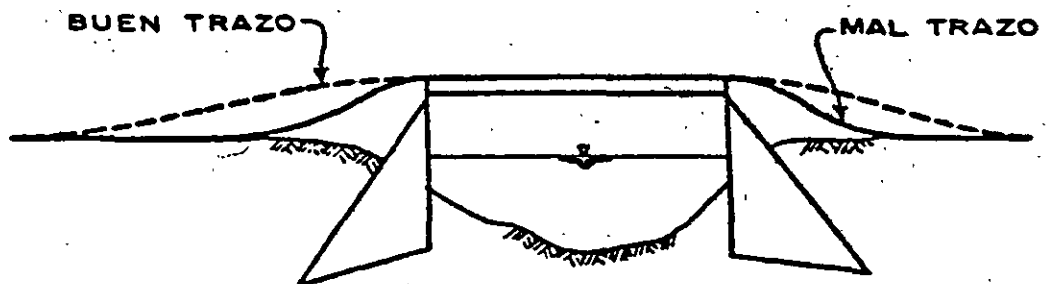


FIGURA 6

- c.2) El cruce no debe obligar a que el camino se proyecte con curvas verticales de entrada y salida que sea muy forzadas (Fig. 7).



#### ALINEAMIENTO VERTICAL



ESTRUCTURA ALTA PARA PERMITIR  
EL PASO DE CUERPOS FLOTANTES.

FIGURA 7

- c.3) El cruce debe ubicarse en forma tal que permita al camino conservar en lo posible el alineamiento tanto horizontal como vertical que predomine en los tramos de acceso a la obra.
- c.4) Sección transversal del río angosta, tratando de que la longitud de la obra sea la menor posible (Fig. 8 ).

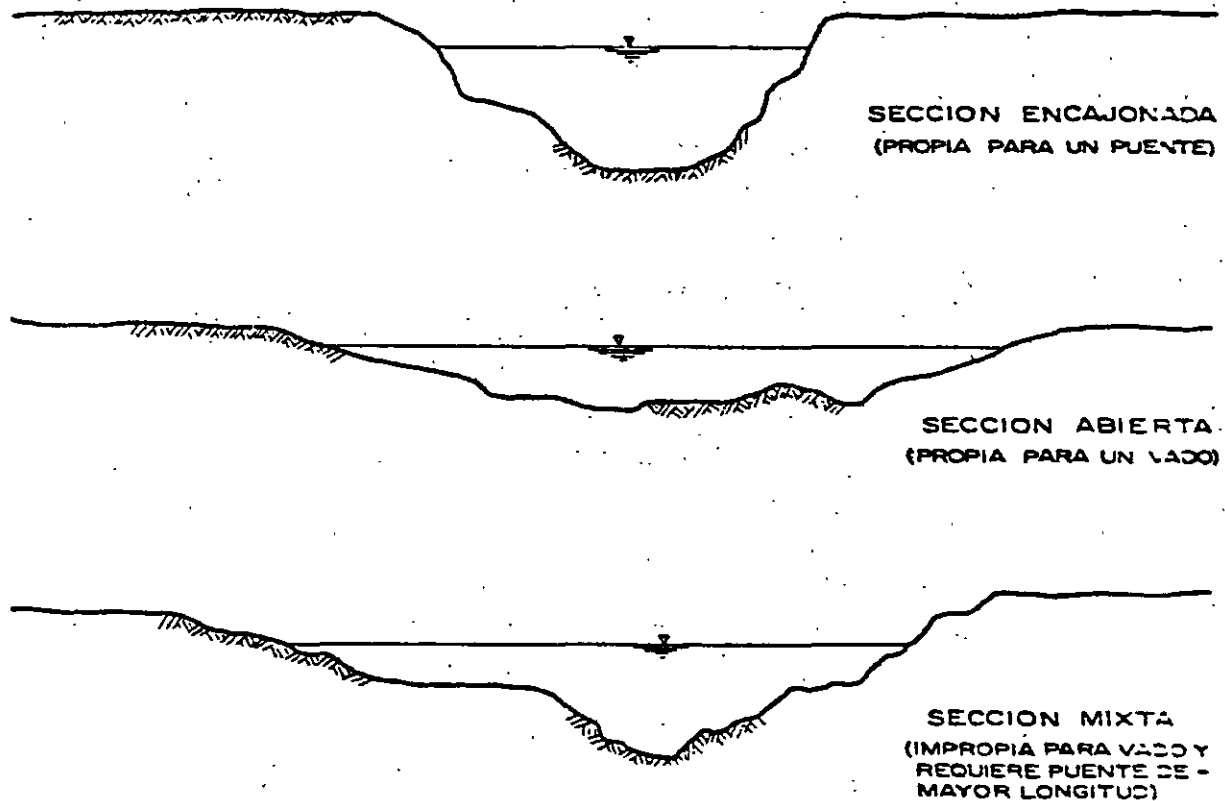


FIGURA 8

- c.5) Sección transversal tal que la obra no sea demasiado alta, para así disminuir el costo de los apoyos.
- c.6) Ubicación tal que no requiera de terraplenes o cortes excesivamente grandes en los accesos a la obra.
- d) *Aspecto geológico.* El conocimiento de la geología de la zona del cruce es muy importante, ya que nos proporciona algunas características fundamentales a considerar en el proyecto de un puente como son: el nivel de socavación probable en el río, la erosión en las márgenes, la capacidad de carga del suelo, la estabilidad de las márgenes del río, la deformabilidad del suelo, etc. mediante los estudios de Mecánica de Suelos correspondientes.

Estas características determinarán algunos aspectos del puente tales como:

1. El sistema de cimentación: superficial, pilotes, cilindros, etc..
2. La longitud de los claros parciales del puente: a medida de que las pilas son más costosas por su cimentación, conviene emplear claros más grandes.
3. El tipo de superestructura, puesto que para diferentes claros conviene, en general, emplear diferentes superestructuras: traveses de concreto armado, de concreto preesforzado, de acero, armaduras metálicas, arcos de concreto, etc..

Por otra parte, las condiciones de cimentación pueden prestarse para usar superestructuras continuas o hacer recomendable el empleo de traveses o arcos isostáticos.

La principal causa de fracaso de un puente es la socavación. En un puente, si el desplante de la subestructura (pilas, estribos, caballetes) no queda a salvo de la socavación, se producirá la falla de la estructura por esto mismo, y la pérdida total o parcial de la inversión. Si por desconocer la profundidad de la socavación, y temiendo sus efectos se profundiza exageradamente la cimentación, se hace una inversión innecesariamente grande.

Los aspectos geológicos que deben tomarse en consideración para la elección del cruce son:

- d.1) Sección no socavable o que presente un mínimo de problemas de este tipo. Como guía tenemos:

MATERIAL DEL FONDO	MATERIAL DEL FONDO
Arena	Muy socavable
Arcilla	Socavable
Roca	No socavable

- d.2) Sección no erosionable lateralmente.
- d.3) Sección formada en materiales con capacidad de carga relativamente alta, para tratar de que la cimentación del puente sea superficial.
- d.4) Sección con afloramientos rocosos que permitan desplantar en ellos los apoyos. En el caso de presentarse afloramientos rocosos en los cuales no puedan desplantarse todos los apoyos, es conveniente no hacer cimentaciones mixtas para evitar asentamientos diferenciales considerables (Fig. 8).

Cabe mencionar que el objeto de la presentación de estos factores es dar al ingeniero localizador un esquema general de los elementos a considerar para llegar a elegir el cruce que mejor equilibre estos factores.

## **ESTUDIOS PREVIOS**

Todo proyecto de Ingeniería requiere de la realización de ciertos estudios que darán los elementos necesarios para obtener un diseño racional del mismo. Para un proyecto dado no existirán soluciones únicas, sino razonables, que cumplan con los diferentes parámetros. Por satisfacer, pensando siempre en permanecer dentro de los límites de economía y seguridad que el proyecto requiera; estas soluciones se desprenden de los resultados de dichos estudios.

Para contar con resultados reales debemos considerar en forma correcta los estudios y datos necesarios para aplicar posteriormente los criterios que nos llevarán a la obtención de un proyecto razonable.

Para el proyecto de un puente se deben realizar LOS siguientes estudios:

- a) Estudios topográficos.
- b) Estudios hidrológicos.
- c) Estudios hidráulicos.
- d) Estudios de mecánica de suelos.
- e) Estudios de ingeniería de tránsito

Estos estudios nos permitirán conocer los factores topográficos, hidráulicos y geológicos de la zona del cruce para poder decidir respecto a los tipos más convenientes de subestructuras y superestructuras a utilizar en nuestro proyecto.

## **ESTUDIOS TOPOGRAFICOS**

Los estudios topográficos son una serie de trabajos que podemos dividir en trabajos de campo y trabajos de gabinete. Se realizan con el objeto de conocer la sección transversal, longitudinal y la planta general de la zona del cruce, elementos que nos serán útiles principalmente para el estudio del funcionamiento hidráulico del río y para el proyecto del puente. Paralelamente a los estudios topográficos se realizan algunas observaciones de tipo general que servirán para el mismo proyecto y que se incluirán en los informes complementarios.

### *TRABAJOS DE CAMPO*

- a) *Retraso o trazo del eje de camino.*

Consiste en identificar o localizar las referencias del trazo original del camino y establecer unas señales que permitan localizar el eje del camino en la zona del cruce sin ninguna dificultad.

#### *b) Nivelación.*

Una vez localizado el trazo del camino se procede a la nivelación de este en la zona del cruce, lo que nos permitirá conocer el perfil de construcción. La distancia por nivelar hacia adelante y hacia atrás del centro del cruce sobre el eje del camino, dependerá de la magnitud del puente y de las características topográficas a ambos lados del mismo, la nivelación se hace a partir de algún banco de nivel que fue establecido anteriormente por la brigada de localización, también se establecen en la zona del cruce los bancos de nivel que sean necesarios para los trabajos topográficos siguientes.

#### *c) Poligonal de apoyo, trazo y nivelación.*

Para obtener la configuración topográfica en la zona del cruce se requiere de una poligonal de apoyo, que generalmente es abierta y se ubica de preferencia normal al cruce. Sobre la poligonal de apoyo se trazan líneas auxiliares que abarquen toda la zona requerida y se nivelan.

Cuando se requiere de más detalle por causas especiales se utiliza una poligonal cerrada, con lo que se realiza un levantamiento más confiable y con posibilidad de detectar errores

#### *d) Trazo y nivelación de la pendiente del fondo.*

El conocimiento de la forma y pendiente del fondo del cauce en la zona del cruce tiene aplicación en los estudios hidráulicos correspondientes. Cuando se tienen ríos o arroyos muy caudalosos no es posible levantar la pendiente geométrica directamente en el cauce, por lo que se procede a levantar la en las márgenes del río o del arroyo. Junto con el levantamiento de la pendiente geométrica se recopila información que nos pueda conducir a determinar la pendiente hidráulica tal como huellas de arrastre, información oral respecto a niveles, perfil del agua en avenidas, etc..

#### *e) Obtención de secciones hidráulicas auxiliares.*

Con el objeto de conocer de la forma más real posible el funcionamiento hidráulico del río o arroyo en estudio, se procede a localizar además de la sección hidráulica en el cruce, las secciones hidráulicas auxiliares. Dichas secciones se ubican aguas arriba y abajo de la zona del cruce, donde se considere necesario; generalmente conviene tomarlas en tramos del río que tengan alineamiento sensiblemente recto, sección constante, y que el fondo no tenga rápidos o resaltos en dicho tramo.



## TRABAJOS DE GABINETE

### *a) Cálculo en las libretas.*

Consiste en calcular a partir de los datos anotados en campo, las cotas del perfil del eje del camino, del eje de la poligonal de apoyo, de la pendiente del cauce, de las secciones hidráulicas y de los monumentos de concreto, refiriendo éstos al banco de arranque.

### *b) Dibujo de la sección transversal en el eje del camino.*

Es la representación del terreno sobre el trazo del eje del camino. En este dibujo se indican datos de curvas horizontales y verticales, puntos claves del trazo, rumbo astronómico calculado, longitud de tangentes, bancos auxiliares, monumentos de concreto, datos de estaciones cerradas, así como también la elevación de los niveles del agua en el cauce (nivel de agua mínimo, nivel de aguas ordinario y nivel máximo extraordinario asociado a un período de retorno).

Con el objeto de conocer con mayor exactitud la sección del cruce, se realiza un perfil detallado que se construye, a diferencia del anterior, a una escala mayor y sin deformar, es decir, con la misma escala horizontal y vertical. En este plano se ubica la localización de los sondeos y sirve de base para el proyecto del puente.

### *c) Dibujo de la planta general y detallada.*

Planta General. Es el resultado del levantamiento elaborado en el campo con ayuda de la poligonal de apoyo. En la planta general se dibujan las curvas de nivel a cada metro identificando claramente el trazo con cadena mienta a cada 20 m y con los puntos principales de éste; también se anotan las referencias necesarias como son los monumentos de concreto, etc. así, mismo se indica el rumbo astronómico y su relación con el rumbo magnético (ángulo que forman), la dirección del flujo y destinos del camino en estudio.

En el caso de que el puente quede en curva se anotan todos los datos necesarios para el proyecto referentes a ésta. Cuando el puente queda esviado se incluye el ángulo y las condiciones correspondientes.

Generalmente la escala que se utiliza en esta planta es de 1:500.

Planta Detallada. Se realiza con el objeto de conocer con mayor exactitud la zona del cruce. las curvas de nivel se localizan a cada medio metro utilizando generalmente una escala de 1:200 con lo que se aprecia con mayor detalle la zona del cruce y el trazo en dicho lugar; al igual que en la planta general se incluyen datos de curvas y tangentes, así como bancos de nivel.

Estos planos tienen por objeto, entre otras cosas, juzgar ciertos aspectos del funcionamiento hidráulico del río en avenidas como son: parte más efectiva del cauce, dirección general de la corriente, zonas de simple inundación (por las que escurre sólo una parte mínima del gasto); si alguna margen está expuesta más o menos a ser erosionada, etc.

*d) Dibujo de pendientes y secciones hidráulicas:*

Se dibuja un perfil del fondo del arroyo en el cual aparecen cadenamientos a partir del cruce (estación 0+000) hacia aguas arriba y aguas abajo; indicándose con ejes las secciones auxiliares.

En el mismo dibujo del perfil se incluye el perfil medio de la superficie del agua en crecientes máximas extraordinarias (pendiente hidráulica) asociada a un cierto período de retorno, así como el perfil medio del fondo del río (pendiente geométrica).

Con los datos obtenidos del campo se dibujan secciones hidráulicas divididas en tramos (generalmente separados en cauce principal y tramos de diferente rugosidad) y se incluye también el NAME asociado a un cierto período de retorno para cada sección.

*e) Realización de informes complementarios.*

Los informes complementarios son aquellos que servirán de ayuda para elaborar el anteproyecto del puente. Estos informes son:

- e.1) Informe General.
- e.2) Informe para Proyecto de Puentes.
- e.3) Informe Fotográfico.

*e.1) Informe General.*

En el informe general se hace una descripción del río o arroyo en estudio, indicando el recorrido del mismo a partir de donde nace, cuales arroyos se le unen, si son de importancia, etc. Se mencionan también en este informe la existencia de obras hidráulicas que puedan regular la corriente, algunos datos de escurrimiento y precipitación, períodos ciclónicos, duración y temporadas de estiaje y una descripción del cauce.

*e.2) Informe para Proyecto del Puente.*

Este informe está formado por los siguientes datos:

- De localización.
- Hidráulicos.
- Hidrológicos.
- De cimentación.
- De construcción.
- De tránsito.

*Datos de localización.* Se incluyen tramo, camino, kilometraje, origen, esviajamiento, descripción y elevación del banco de nivel y observaciones del que realiza el informe.

*Datos hidráulicos.* Se mencionan las elevaciones de los niveles de agua máximos, ordinarios y mínimos, así como las pendientes medias del fondo y de la superficie del agua, velocidad del agua, materiales de arrastre, frecuencia y duración de crecientes, cauce estable o divagante,

existencia de socavación o depósito, posibles canalizaciones y posible afectación de propiedades vecinas; también se incluye la longitud del claro y espacio vertical libre necesario para permitir el paso de cuerpos flotantes, y si existen puentes cercanos, su funcionamiento general y fecha de construcción.

*Datos hidrológicos.* Se dan características de la cuenca tales como área, pendiente, geología, permeabilidad media, etc. Se incluye también información respecto a la pendiente media del cauce, distribución de la vegetación, región hidrológica a la que pertenece la cuenca e información respecto a la existencia de estaciones hidrométricas cercanas.

*Datos de cimentación.* Se mencionan las características generales de los materiales que forman el fondo y las márgenes del cauce, así como la cantidad de agua en excavaciones y métodos empleados en sondeos.

*Datos de construcción.* Estos datos nos dan a conocer el precio, calidad, lugar de abastecimiento, distancia y condiciones de acarreo de los materiales de construcción.

*Datos de tránsito.* Se menciona el ancho de la corona a la entrada y salida del puente, ancho de carpeta asfáltica, ancho propuesto para la calzada del puente, tipos de vehículos y si se requieren banquetas para peatones.

### *e.3) Informe Fotográfico.*

El informe fotográfico es una serie de fotografías de la zona del cruce y de las secciones hidráulicas auxiliares que pueden servir de orientación al ingeniero proyectista al elegir los coeficientes de rugosidad para el cálculo de la velocidad del agua en las crecientes. Está formado por fotografías del cruce visto desde la margen izquierda, desde la margen derecha, de panorámicas del cruce visto desde la margen izquierda, desde la margen derecha, de panorámicas del cruce visto de aguas arriba y aguas abajo y de panorámicas de las secciones hidráulicas auxiliares.

## **ESTUDIOS HIDROLOGICOS**

El estudio hidrológico para un puente tiene como finalidad el conocimiento de los probables gastos que tendrán lugar en el cruce, su frecuencia, y más específicamente la determinación del gasto de diseño, es decir, aquel gasto para el cual deberá garantizarse la ausencia de daños en el cruce y las zonas de influencia aguas abajo y arriba. El determinar el gasto de diseño tiene efecto directo en el costo del puente y de sus obras de protección, ya que para cada gasto se requerirá de una estructura que proporcione características de elevación, longitud y resistencias adecuadas a éste gasto, así como obras de protección a la socavación, etc., acordes a los efectos que produzca el paso del mismo. Así pues, un gasto de diseño muy grande traerá consigo mayores costos, pero también una mayor certidumbre de que nuestra obra correrá menos riesgos de fallar; un gasto bajo implicará menores costos iniciales, pero un riesgo mayor a ser afectado por gastos más grandes, ocasionando costos de reparación y los derivados de la suspensión de la vialidad y hasta quizás, su reconstrucción. La alternativa de diseñar contra el peor evento posible que pueda ocurrir, es generalmente tan costosa que se puede justificar solamente cuando las consecuencias de una falta son especialmente graves.

Dado que la planeación y el diseño se refieren a eventos del futuro cuyo tiempo de recurrencia o magnitud no pueden predecirse, debemos recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia con la cual un determinado caudal o volumen de flujo puede ser igualado o excedido.

De acuerdo a lo anterior, el ingeniero proyectista deberá determinar el riesgo que está dispuesto a correr de que el gasto que elija como el de diseño sea excedido durante el lapso de tiempo en que el puente estará en funcionamiento, buscando la relación entre riesgo y costo más conveniente a las características del caso particular que se maneje.

### **III.4 ESTUDIOS HIDRAULICOS**

Los estudios hidráulicos del río en la zona del cruce son muy importantes porque nos darán los factores que influyen en las características del puente por proyectar, ya que en general la altura y la longitud de un puente dependen del área hidráulica, tirante, etc. que deba tenerse para permitir el paso de una cierta avenida en el río. Así, de estos estudios se realiza el diseño hidráulico que permite determinar las dimensiones necesarias del puente de tal manera que permita el paso de los volúmenes de agua aportados por las lluvias o como producto de la infiltración en el subsuelo, atendiendo a la eficiencia que se requiera en la eliminación de las aguas.

## **ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS**

Los estudios de Mecánica de Suelos tienen como finalidad proporcionar al ingeniero proyectista el conocimiento de las características y posible comportamiento del suelo ante las sollicitaciones a que estará sujeto durante la construcción y funcionamiento de una obra.

En el caso de puentes se requiere responder a varias interrogantes como son, por una parte, la capacidad de carga y magnitud de los asentamientos correspondientes a cada uno de los tipos de cimentación que se proponga y, por otra parte, la socavación que ocasionará el flujo del agua de la avenida de diseño, lo que es necesario para determinar el nivel de desplante de los apoyos.

Para dilucidar las cuestiones planteadas necesitamos, como primer paso, conocer las propiedades significativas del suelo, por lo que se hace necesaria la realización de una serie de exploraciones, muestreos y pruebas de laboratorio que las pongan de manifiesto. Posteriormente se requiere contar con el auxilio de las teorías desarrolladas para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y socavación con el fin de estimar éstos en el suelo en estudio. Cabe mencionar que estas teorías consideran suelos ideales y que como excepción y no como regla se presentan casos en que el suelo se aproxima a la idealización, dando posibilidad a realizar cálculos bajo bases matemáticas. En todas las otras instancias, la investigación del suelo sólo informa al ingeniero proyectista respecto de las características generales de los materiales subyacentes y de la posición dentro de ellos de fuentes potenciales de peligro, por lo que la experiencia, criterio y capacidad del ingeniero para detectar y estimar los efectos de dichas fuentes de peligro, serán la base de un diseño racional y satisfactorio de la cimentación de la obra.

## ELECCION DE CIMENTACION, SUBESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA.

Un puente es un sistema integrado por los siguientes elementos.

1. Infraestructura o cimentación.
2. Subestructura.
3. Superestructura.

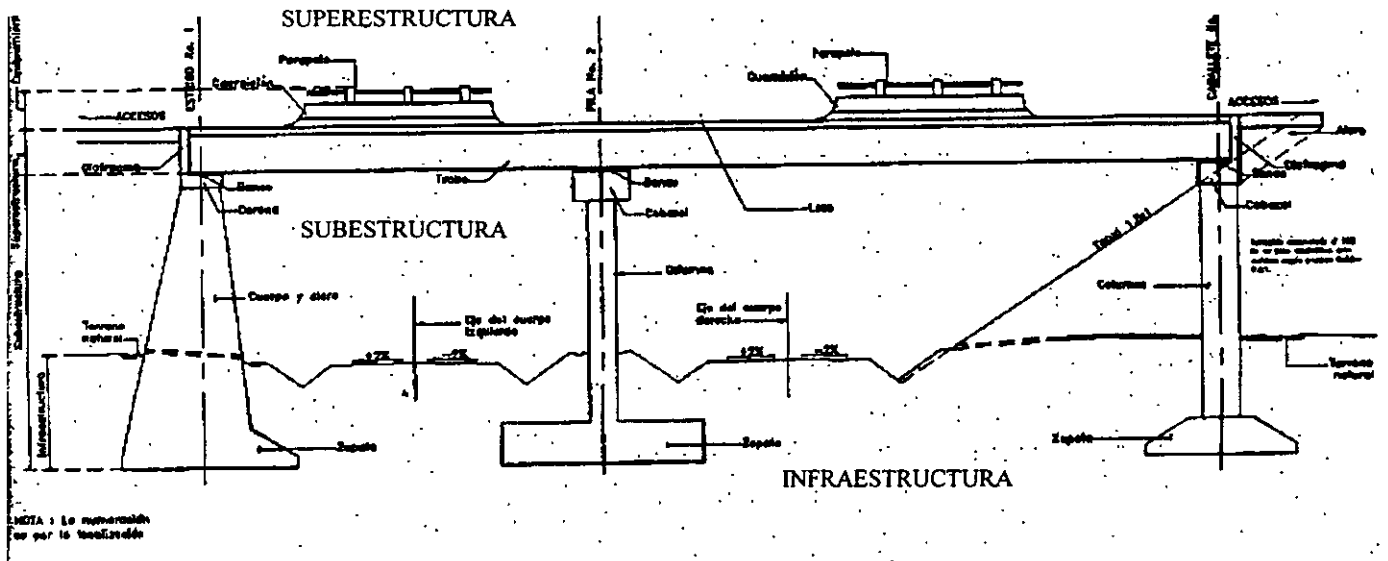


FIGURA 9 Elementos que constituyen un puente.

La infraestructura es la parte del puente que queda en contacto con el terreno, sirviendo de apoyo al puente; en una concepción más amplia se incluye también al suelo y/o roca que sirven de sustento. La cimentación puede ser superficial o profunda.

La subestructura es la parte del puente que transmite las acciones de la superestructura a la cimentación, y está formada por estribos y/o caballetes y pilas.

La superestructura es la parte del puente que soporta la calzada y transmite las acciones de las distintas cargas y su peso propio a los apoyos. Generalmente consta de traveses longitudinales ligadas por diafragmas transversales y la losa de piso.

Para el proyecto de un puente es necesaria la elección de cada uno de los elementos anteriores, entre los distintos tipos de que se disponga. Este proceso de elección no es sencillo, ya que el puente como sistema estructural requiere la definición conjunta de sus elementos constitutivos, tomando en cuenta una serie de factores como son:

- Las características y requerimientos propios del puente, como son su geometría, cargas a soportar, etc.
- Las características propias del cauce o depresión que se salva, como son claros mínimos, altura de las pilas, resistencia del suelo, etc.
- El tipo de estructuras utilizadas en el camino, con el fin de utilizar el mismo equipo de construcción.
- Los materiales y mano de obra disponibles en la región.
- La armonía arquitectónica de la estructura del puente con las usadas en la región.

Debiendo considerarse todo esto, por supuesto, sin perder de vista el aspecto económico.

Así, caemos en un proceso cíclico de aproximaciones a la estructura óptima, en el que estudian las ventajas y desventajas de ciertos tipos de cimentación con algunos tipos de subestructuras y superestructuras, distintos claros, distintas condiciones de apoyo, materiales existentes, accesibilidad a la zona del cruce, etc.

En los que sigue se presentan en forma más amplia, para cada uno de los elementos de un puente, los principales factores a considerar en su elección, su influencia sobre los otros elementos del puente, y los tipos usuales y sus características.

## **INFRAESTRUCTURA O CIMENTACION.**

Entre los factores a considerar en la elección del tipo de cimentación están:

- Las descargas de la subestructura.
- La resistencia y deformabilidad del suelo.
- La profundidad de socavación.
- El costo y tiempo de construcción.

Conocidas las descargas sobre la cimentación y la resistencia del suelo, se podrá determinar el área de contacto requerida para una zapata. En la medida que la zapata aumenta, la reacción del suelo sobre ella ocasiona mayores momentos y esto eleva su costo. Por otro lado la cimentación debe tener la capacidad suficiente para evitar el volteo de la estructura por la acción de las fuerzas horizontales que obran sobre ella, como son la debida al viento, la presión de la corriente, las fuerzas sísmicas, etc., y su comportamiento deberá ser tal que sus asentamientos no ocasionen problemas a la superestructura.

Al considerar estos aspectos quizá sea más conveniente pensar en una cimentación parcialmente compensada o compensada para reducir las cargas netas actuantes sobre el suelo y con ello las deformaciones, o quizá se determine necesario recurrir a una cimentación profunda que permita el apoyo en estratos más resistentes, menos comprensibles y que garantice la estabilidad.

La profundidad de socavación es un factor determinante en la elección del tipo de cimentación, pues aunque se cuente en un nivel relativamente superficial con suelos resistentes, si la socavación es grande se tendrá que usar una cimentación profunda.

Por otro lado, al elegir el tipo de cimentación se debe tomar en cuenta que la resistencia, en suelos arenosos, depende de la compacidad, por lo que si el suelo es muy resistente, es probable que no haya sido socavado anteriormente.

Respecto al tiempo y costo de construcción, existen algunos criterios para definir la cimentación. Así, por ejemplo, la elección de pilas y cilindros en lugar de pilotes es conveniente cuando en la estratigrafía del suelo aparecen fragmentos de roca de tamaños medianos a grandes (mayores de 25 cm de diámetro) y en porcentajes mayores de 10 o bien cuando se presentan estratos compactos de arenas que hay que atravesar; esto evita grandes retrasos en la construcción ya que la dificultad del hincado de los pilotes no se presenta en las pilas y cilindros, donde el gran peso de los elementos y el método constructivo permite desplazar o retirar las piedras que obstaculicen el hincado. Claro está, que a medida que el tamaño de los fragmentos de roca se incrementa, la dificultad de hincado aún de las pilas y los cilindros también lo hace.

El tipo de cimentación que se elija y su comportamiento influyen en la elección de los otros elementos del puente. Si el suelo de cimentación es poco resistente tendrá que decidirse entre: un mayor número de apoyos para reducir las cargas, lo cual incrementa la cantidad de elementos de subestructura y reduce los claros de la superestructura; el uso de cimentaciones profundas más caras pero que hacen factible la elección de claros de superestructura más adecuados y un menor número de apoyos; y entre cimentar sobre núcleos resistentes como pueden ser afloramientos de roca en las orillas, pero que implican la utilización de claros tal vez no convenientes económicamente.

Así, al hacer el análisis de una cimentación se estudian varias alternativas, eligiendo aquellas que, además de proporcionar seguridad y estabilidad a la estructura, sea de fácil ejecución y de costo razonable.

## **SUBESTRUCTURA**

La subestructura de un puente está formada por estribos y pilas. La función de los estribos es soportar los extremos del puente y, generalmente, servir de muro de retención. Las pilas son los apoyos intermedios del puente.

Conviene indicar, para evitar confusiones, que el término pila tiene dos significados diferentes de acuerdo con su uso. Por una parte una pila es un miembro estructural subterráneo que transmite la carga a estratos capaces de soportarla y, por otra parte, una pila es el apoyo para la superestructura de un puente, significado, este último, que deberá dársele en este inciso.

Entre los factores a considerar en la elección de la subestructura están:

- Las fuerzas horizontales y verticales transmitidas por la superestructura, las actuantes directamente sobre la subestructura y las debidas al empuje de tierras en el caso de estribos.
- La altura de las pilas.
- El material de construcción existente en la región.
- El costo de las pilas y estribos.



- El aspecto estético de las pilas.

Las pilas y estribos deben resistir la acción de diferentes combinaciones de carga debidas a la acción del tráfico, el viento, la presión de la corriente, sismo, etc.

En algunas partes de los estribos los esfuerzos máximos pueden ser causados por acciones diferentes a las que producen los máximos esfuerzos en otras zonas, como por ejemplo en el caso del cabezal, donde los mayores esfuerzos provienen de las cargas transmitidas por la superestructura, y la base del muro del estribo, cuyos momentos máximos pueden resultar del empuje de tierras. Asimismo, en las pilas, algunas condiciones de carga serán más desfavorables para los esfuerzos y otras para la estabilidad de la estructura. La estabilidad de las pilas se debe revisar suponiendo que no exista la superestructura cuando se consideren las cargas horizontales de viento, sismo, etc., ya que esta condición es crítica.

Cuando las pilas están sujetas a la acción de la corriente del agua, conviene hacer los bordes de la pila redondeados o con forma hidrodinámica para reducir la presión de la corriente.

La altura de las pilas interviene desde el punto de vista de su costo y de que al aumentar su tamaño verticalmente, aumentan fuertemente los elementos mecánicos de diseño, y aumenta la posibilidad de falla por esbeltez.

Generalmente los materiales que forman la subestructura son el concreto, el acero, y la mampostería. La elección de estos materiales es importante e implica el conocimiento de algunos parámetros tales como la posibilidad de fabricar o acarrear concreto a la obra, o de la existencia de piedra en la zona, lo cual nos puede llevar a elegir elementos de mampostería siempre y cuando se tenga una altura razonable en dichos elementos. Las pilas de mampostería son económicas hasta alturas de 14 a 16 metros. En tanto que los estribos lo son hasta alturas de unos 11 metros.

La piedra es algunas veces usada como revestimiento para incrementar la resistencia a la erosión, especialmente cerca de la superficie de la corriente si esta existe, o bien es utilizada para dar una mejor apariencia.

Cuando se utilizan elementos de acero como pilas, deben protegerse de la humedad mediante pintura o revestimientos que pueden ser de concreto, sobre todo cuando están sujetos a ciclos de mojado y secado.

Por mucho tiempo, las subestructuras fueron diseñadas sin considerar el aspecto estético, pero actualmente el ingeniero proyectista toma en cuenta el efecto estético que en el puente presenta el manejo de diferentes formas de las pilas y estribos. El concreto, por su facilidad de moldeado ofrece por sí mismo una ventaja para el desarrollo arquitectónico, sobre todo en las pilas donde existe más libertad para darles formas distintas. Sin embargo, el costo siempre debe considerarse al elegir la forma de la subestructura.

Si el puente tiene que pasar a gran altura sobre el terreno, o las condiciones de cimentación son deficientes, los costos por pila son altos, y la economía de la obra en su conjunto se logra aumentando las luces entre los apoyos, con el objeto de reducir el número de pilas. Una regla conocida en la ingeniería de puentes, establece que por lo que se refiere al costo, la mejor

economía se logra cuando el costo de la superestructura es igual al de la subestructura. Para que esta regla sea totalmente aplicable, la altura de las pilas, los materiales de cimentación y otras condiciones de construcción deben ser iguales para cada pila.

Los elementos de subestructura se pueden clasificar como se indica en el cuadro 1 continuación se dan las características de los diferentes tipos cuando son construidos de concreto.

**a) Estribos de gravedad.**

Estos estribos son de construcción simple y son usados en forma económica hasta alturas de 5 metros, pues para alturas mayores el volumen de concreto es muy grande. En las figuras 10 a y b se muestran las secciones típicas de estos estribos.

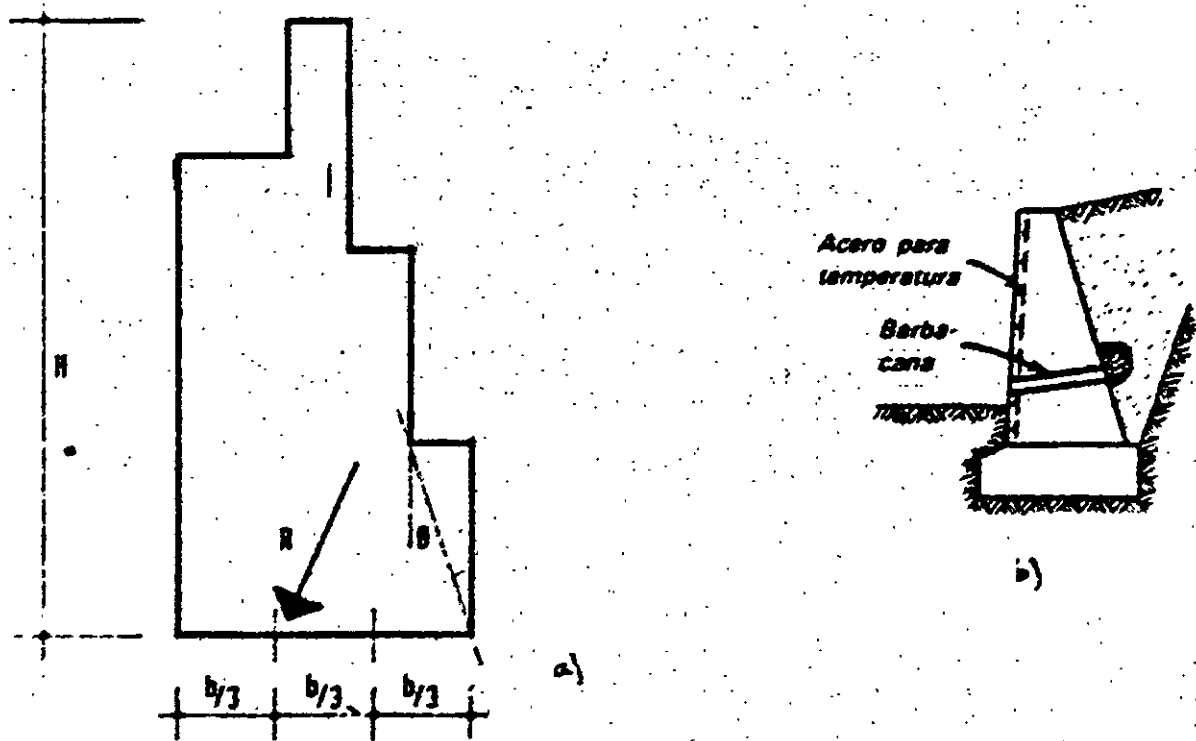


FIGURA 10 Estribos de gravedad

En la práctica se limita el ángulo  $\sigma$  a no más de  $30^\circ$ .

La estabilidad de estos estribos depende completamente del peso propio y del suelo que se apoye en ellos. Para que su comportamiento sea adecuado, la resultante de las fuerzas que actúan sobre él y las de su peso deben pasar por el tercio medio de la base, como se indica en las figuras, con lo cual se evitan las tensiones en dicha base.

Cuando se espere que ocurran desplazamientos diferenciales del suelo, no es recomendable el uso de estos estribos, ya que no tienen flexibilidad para adaptarse a los movimientos, a menos que se construya en secciones cortas e independientes.

Los estribos de gravedad de concreto sufren agrietamiento durante el proceso de fraguado, por lo que es conveniente utilizar cemento Portland de bajo calor en su construcción. es recomendable también colocar un pequeño armado en la cara expuesta a la intemperie para evitar el agrietamiento futuro por cambios de temperatura.

#### b) Estribos en cantiliver.

Este tipo de estribos puede dividirse en tres:

##### b.1) Estribos en cantiliver libre.

Este tipo de estribos resulta económico hasta 7 metros de altura. Para alturas mayores el refuerzo requerido por los momentos crece tanto que es preferible utilizar contrafuertes. En la figura 11, se presenta la sección de estos estribos.

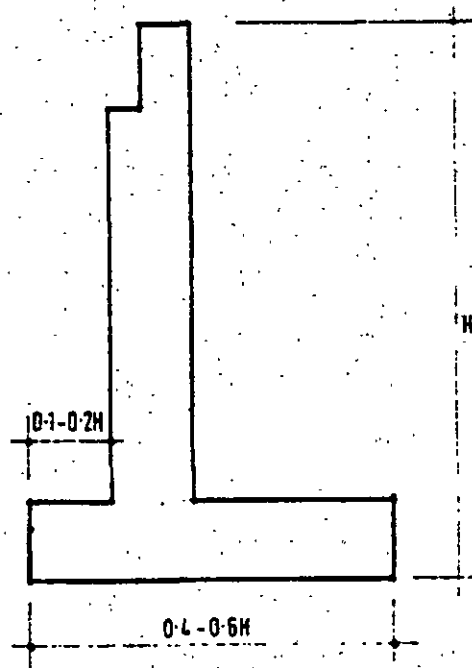


FIGURA 11. Estribos en cantiliver libre.

##### b.2) Estribos en cantiliver con contrafuertes.

Este tipo de estribos es utilizado en alturas superiores a los 7 metros.

El espaciamiento de los contrafuertes es del orden de  $1/3$  a  $1/2$  de la altura del estribo y las paredes de retención se diseñan como losas apoyadas en los contrafuertes.

En la figura 12 se indica la sección de estos elementos.

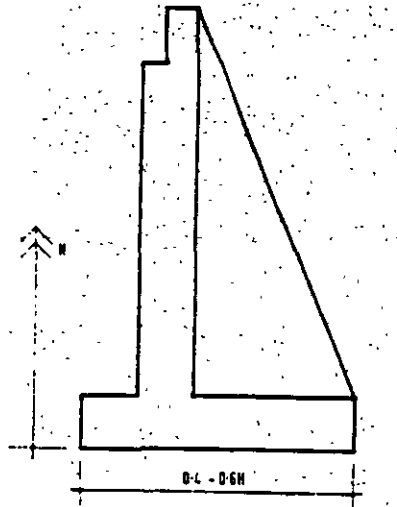


FIGURA 12. Estribos en cantiliver con contrafuertes.

*b.3) Estribos en cantiliver apuntalado.*

Cuando los claros del puente son menores de 10 metros, no es necesario dejar juntas de expansión para la losa, pudiéndose construir pegada al estribo. Esta condición permite calcular los estribos como vigas apoyadas en sus extremos para el empuje de tierras. Para esto, es necesario montar la losa del puente antes de colocar el relleno.

Este tipo se ilustra en la figura 13.

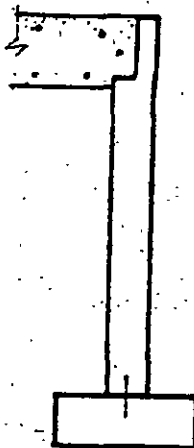


FIGURA 13. Estribos en cantiliver apuntalado.

### ***c) Estribos de semigravedad.***

Este tipo de estribo es algo más esbelto que el de gravedad y requiere de refuerzo consistente en varillas verticales colocadas a lo largo del parámetro interior y otras que se continúan dentro de las zapatas. Asimismo, al igual que en los muros de gravedad es conveniente colocar un armado por temperatura en la cara expuesta. ( Figura 14 ).

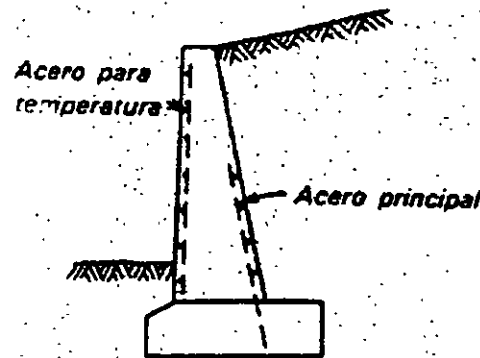


FIGURA 14 Estribos de semigravedad.

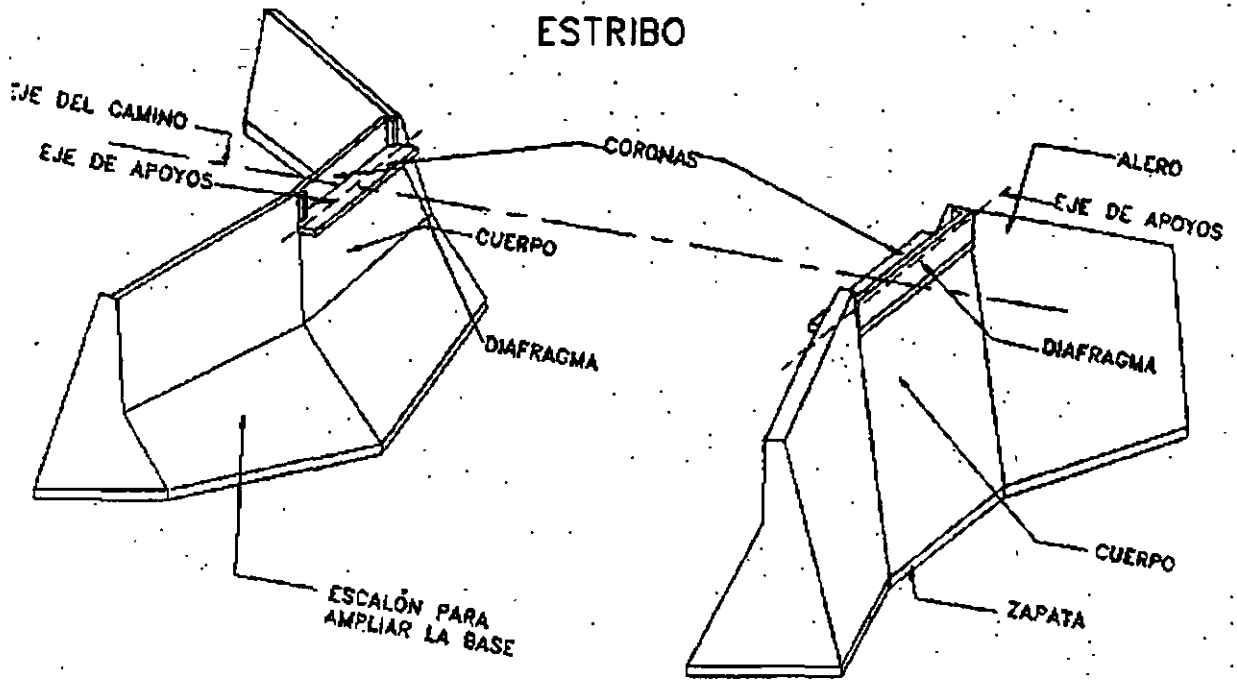
El uso de estos estribos es recomendable sobre los de catiliver cuando lo más importante sea su permanencia y los bajos costos de mantenimiento, pues su mayor espesor, aunque ocasiona un mayor costo inicial, los hace más resistentes a los agentes erosivos.

### ***d) Estribos con aleros.***

Para aumentar la estabilidad del muro de retención se utilizan aleros construidos monolíticamente con el muro que sirve de apoyo al puente (figs. 15 y 16). Estos aleros pueden ayudar a la retención del terraplén de acceso al puente, en cuyo caso es conveniente ligarlos entre sí.

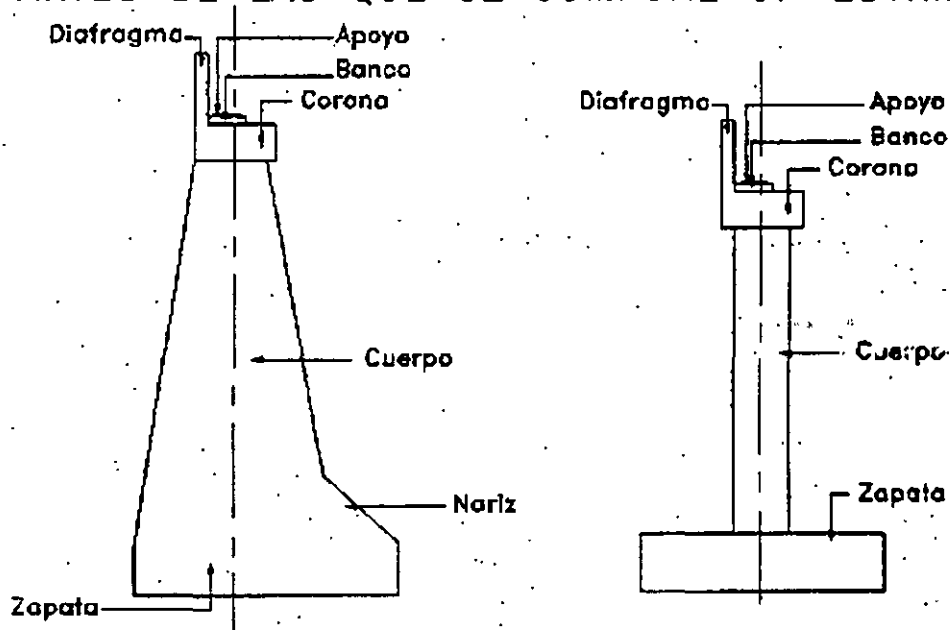
Cuando los aleros son paralelos al eje del camino los estribos reciben el nombre de estribos en U. El desarrollo posterior de los estribos en U dio lugar a los estribos en cajón. (Fig. 17).

PERSPECTIVA  
ESTRIBO



PLANO 4.2.3.1.

PARTES DE LAS QUE SE COMPONE UN ESTRIBO



MAMPOSTERIA, CONCRETO CICLÓPEO  
CONCRETO EN MASA O CONCRETO SIMPLE

CONCRETO REFORZADO

PLANO 4.2.3.1.A

FIGURA 15 Estribo con aleros no paralelos al eje del camino.

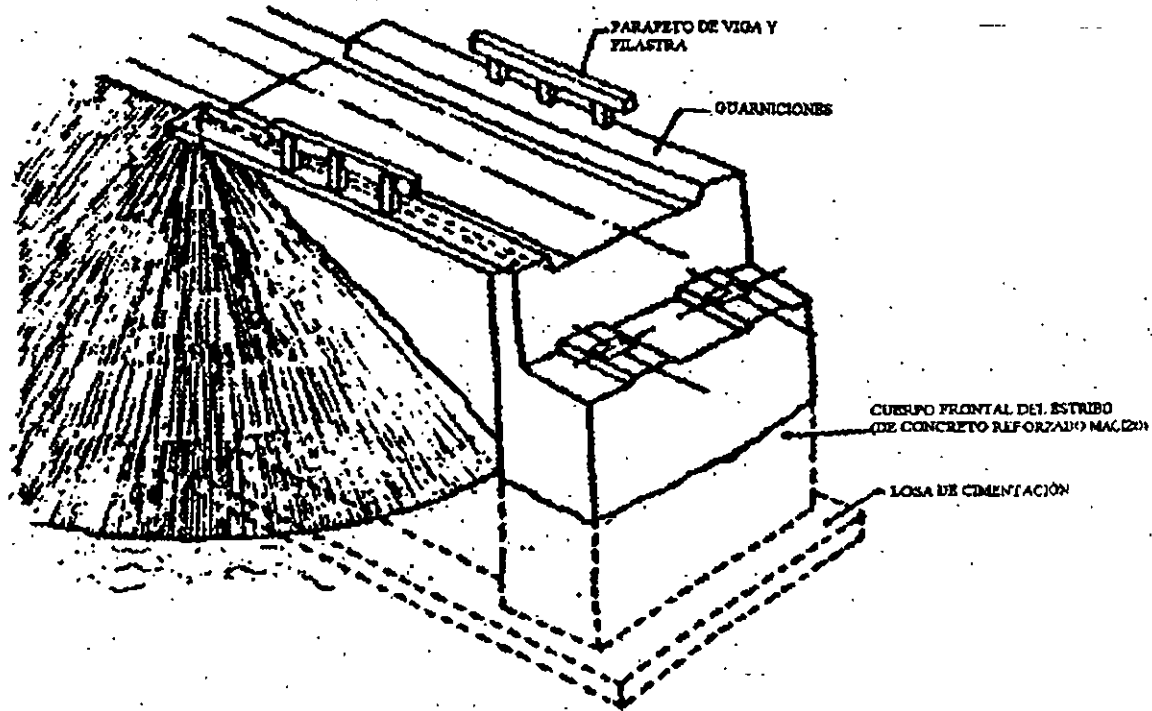


FIGURA 16 Estribo en U

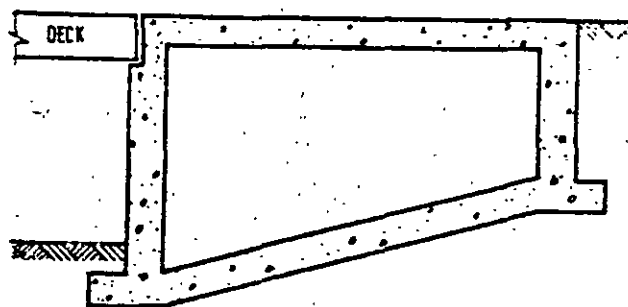


FIGURA 17 Estribos en cajón.

*e) Caballetes.*

El caballete puede considerarse como un tipo especial de estribo, en el que no existe el muro de retención y se permite el desarrollo del talud del terraplén a través de él. ( Fig. 18 ). Este tipo de apoyos requiere menos material que los estribos de retención, pero cuando el talud es muy tendido puede implicar claros mayores para el puente.

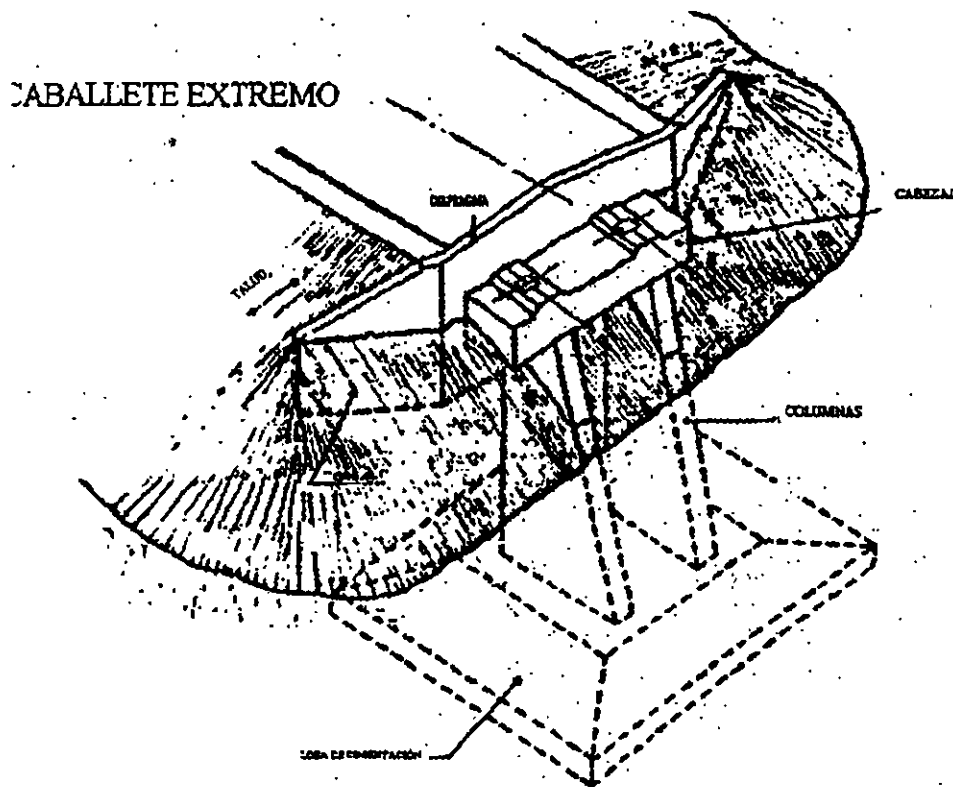


FIGURA 18 Caballetes.

*f) Pilas de gravedad.*

Este tipo de pilas es de diseño simple y el procedimiento constructivo es fácil, económico y relativamente rápido. Se utiliza cuando la altura del puente es baja, para alturas mayores se puede construir la parte inferior maciza y la superior hueca.

El refuerzo en este tipo de pilas es el necesario por contracción del concreto y los cambios de temperatura. Consiste en varillas verticales en la periferia y estribos horizontales.

Este tipo se indica en la figura 19



## PILA DE CONCRETO REFORZADO

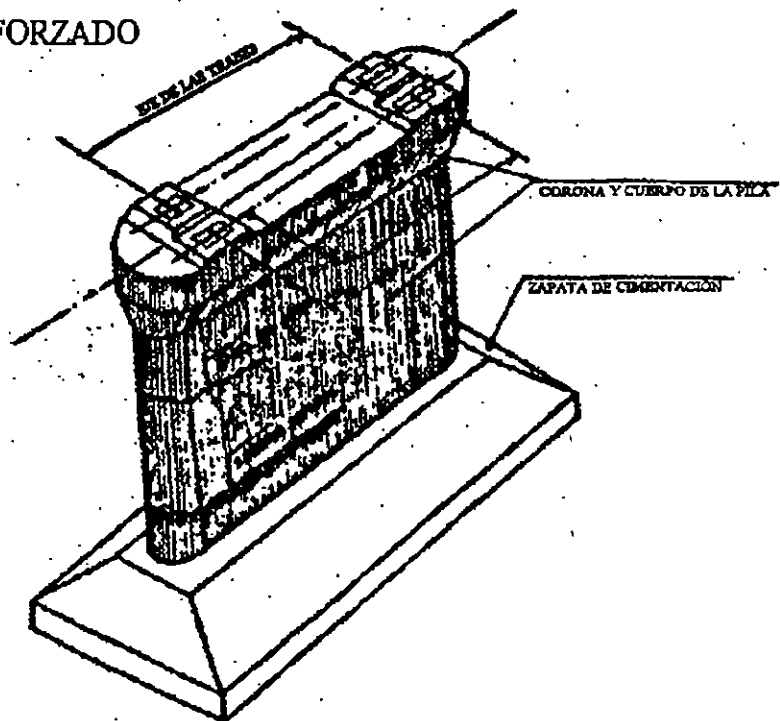


FIGURA 19 Pila de gravedad.

### *g) Pilas en forma de T.*

Este tipo de pilas es utilizado cuando la altura del puente es tal que la pila de gravedad deja de ser económica por los grandes volúmenes de concreto.

Estas pilas constan de un cuerpo vertical circular o rectangular, macizo o hueco, que en la parte superior se amplía a manera de T para dar apoyo a las traveses longitudinales de la superestructura (fig. 20). Este elemento horizontal de soporte se refuerza con varillas horizontales que resisten el momento de cantiliver, y con estribos que resisten el cortante.

El cuerpo vertical de la pila debe diseñarse para soportar los momentos que le transmita la ampliación superior y su área de acero está limitada a por lo menos el 1 % del área de concreto de la sección transversal, lo cual es suficiente para alturas moderadas.

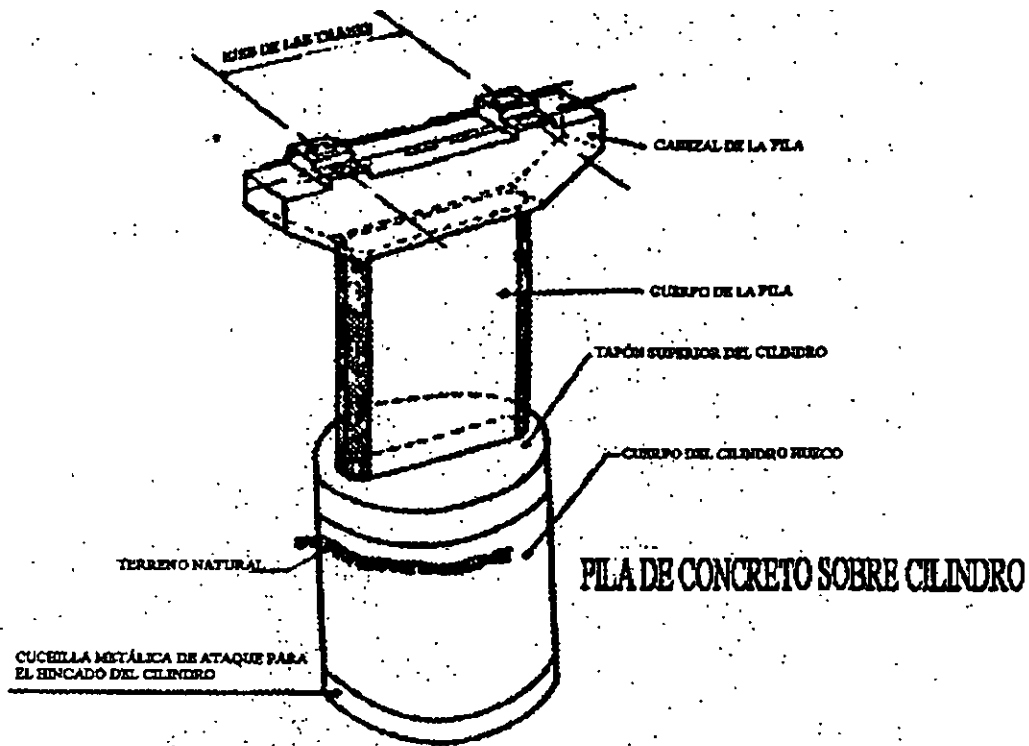


FIGURA 20 Pila en forma de T.

**h) Pilas en marco**

Este tipo de pilas se ilustra en la figura 21 se utiliza cuando la altura del puente y las fuerzas horizontales actuantes ocasionen fuertes momentos que en el caso de pilas en T requieren en grandes secciones y refuerzos

Las columnas pueden ser verticales o ligeramente inclinadas para aumentar la estabilidad, y su sección puede ser uniforme o aumentar de arriba hacia abajo. Para rigidizar la estructura y reducir los efectos de esbeltez de las columnas de las columnas se pueden usar traveses horizontales.

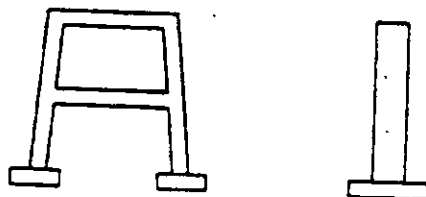


FIGURA 21 Pila en marco.

### *i) Pilas formadas por conjunto de pilotes*

Cuando la altura del puente es baja y para su cimentación se requiere de pilotes, éstos se pueden extender y ligar entre sí para dar apoyo a la superestructura. (Fig. 22)

Algunos de los pilotes se inclinan para dar mayor estabilidad a la estructura a la acción de fuerzas horizontales.

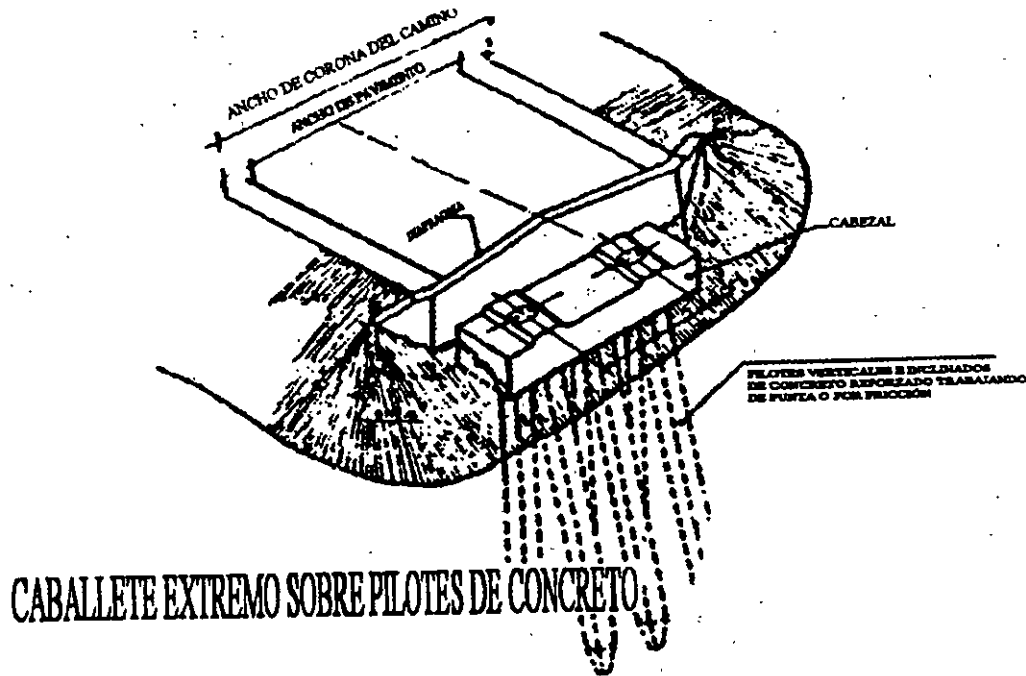


FIGURA 22

## **SUPERESTRUCTURA**

Para elegir el tipo de superestructura más conveniente para el proyecto de puentes, es necesario disponer de información detallada y completa de todos los factores que se requieren para la construcción y funcionamiento del puente.

Con una buena información podrá realizarse una elección adecuada de la cual depende ampliamente la economía de la obra; es por esta razón que puede decirse que la elección de tipo superestructura es el aspecto más importante y a la vez el más difícil en el proyecto de puentes, pues se logra una mayor economía con una buena elección que refinamientos de diseño.

Entre los factores a considerar para la elección del tipo de superestructura, tenemos los siguientes aspectos:

1. Aspectos topográficos. Ya que en función de la topografía de la zona del cruce se pueden sugerir algunos tipos de superestructuras (evidentemente asociadas a posibles tipos de subestructuras y cimentaciones).

2. Aspectos relacionados con el área bajo el puente. Ya anteriormente se habló de los requerimientos de área hidráulica bajo el puente para permitir el paso del gasto de diseño. Debiéndose ahora considerar los siguientes factores en relación al paso de cuerpos flotantes:
  1. Altura libre vertical: es la altura entre la superficie del agua para el gasto de diseño y la parte inferior de la superestructura; debe permitir el paso de cuerpos flotantes. Este factor puede restringir el peralte de la superestructura en el caso de estar ya fija la restante del camino.
  2. Claro mínimo: es el claro que debe haber entre los tramos del puente para permitir el paso de los cuerpos flotantes.
3. Aspectos de tránsito. Deben considerarse todos aquellos datos relacionados con las condiciones del tránsito local y de largo itinerario, ya que estos pueden hacer variar el ancho de calzada del puente y su capacidad de carga, y, a su vez, esto puede hacer variar el tipo de superestructura que se adopte.
4. Aspectos de construcción. Se tomarán todos aquellos datos de la zona del cruce inherentes a la construcción futura del puente, tales como materiales disponibles en calidad, cantidad y costo, accesibilidad a la obra, sueldos y jornales en la región, sistemas y equipos de montaje factibles, etc.

La mayor parte de la información requerida en los renglones superiores es proporcionada por los estudios previos ya realizados

Considerando la información anterior y los factores que intervienen para la elección de cimentación y subestructura, se puede determinar las características generales del puente; longitudes de tiramos, longitud total, altura mínima necesaria, tipos de cimentación y subestructuras factibles, ancho de calzada y ancho total, y tipo de carga móvil de diseño. Definido lo anterior, se puede decir que "se inicia la elección del tipo de superestructura, ya que habrá muchos tipos que cumplan por igual todas estas condiciones, pero habrá una que presente las mayores ventajas en su construcción y principalmente económicas. Es por esto que se deberán realizar varios anteproyectos, tomando en cuenta los tipos de materiales existentes en la zona, las condiciones de acceso al lugar de la obra y el procedimiento de construcción.

Obviamente, se elegirá aquel anteproyecto que resulte más económico, pero para estar seguros que así es, se requiere que la evaluación de los anteproyectos se haya efectuado correctamente, es decir que la determinación de los precios unitarios de cada uno de los conceptos que se tienen, estén bien analizados.

No es fácil establecer normas o reglas que puedan llevar al ingeniero a elegir el tipo óptimo de superestructura en el proyecto de puentes, pero puede normarse el criterio en base a la experiencia en el proyecto y construcción, y en el conocimiento del análisis de precios unitarios. En lo que resta de este subinciso se presentan algunas definiciones o clasificaciones de tipos de superestructuras, a manera de ayuda para la elección de estas.

*- Puentes determinados o indeterminados estáticamente (exteriormente).*

Cuando el claro por salvar en un puente es lo suficientemente grande para requerir de múltiples tramos, el ingeniero proyectista debe elegir entre una superestructura determinada o indeterminada o indeterminada estáticamente. En el primer caso se pueden utilizar una serie de tramos simplemente apoyados, o tramos en voladizo, y en el segundo caso, tramos continuos.

En la figura 23 se muestran las disposiciones interiores, para un puente de tres claros.

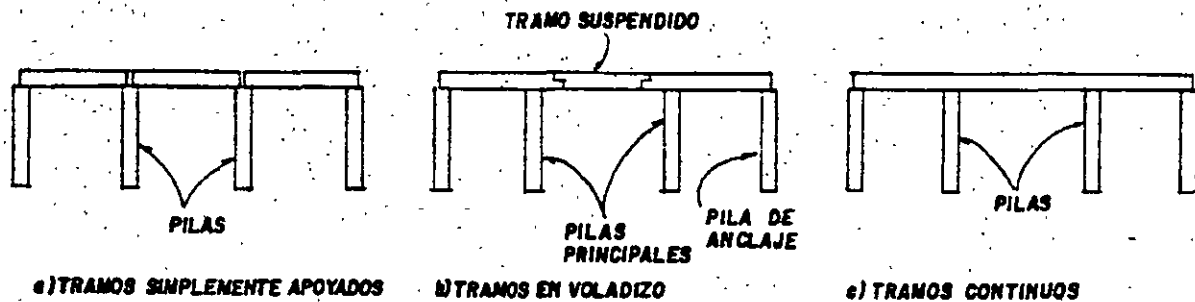


FIGURA 23 Disposición estructural de los miembros principales de carga de un puente.

Entre las ventajas de los tramos simplemente apoyados, contra los tramos continuos, tenemos:

1. La estructura es estáticamente determinada, lo que simplifica el análisis.
2. Pueden utilizarse donde las condiciones de cimentación son deficientes, ya que los asentamientos diferenciales de las pilas no incrementan los esfuerzos en las traveses longitudinales.
3. La erección es más sencilla y rápida.
4. Los tramos pueden ser prefabricados.

Y las ventajas de los tramos continuos, sobre los tramos simplemente apoyados:

1. Se puede tener un ahorro apreciable de materia en la superestructura
2. Se requiere de menor número de apoyos, ya que es posible realizar tramos más largos.
3. Se reducen las vibraciones y las deflexiones.
4. Las fuerzas longitudinales en la superestructura pueden ser transmitidas hasta los estribos, en vez de transportarlas parcialmente a las pilas.
5. Los tramos continuos resisten cargas de ruptura mayores.
6. Las estructuras continuas son ideales para el montaje tipo voladizo.
7. Se requieren menos dispositivos de expansión.
8. Se puede lograr una apariencia más agradable, debido a la posibilidad de variar la longitud del tramo y del peralte de las traveses.

Respecto a los tramos en voladizo, su construcción consiste esencialmente en dos tramos simplemente apoyados, cada uno con extremos sobresalientes o volados (como se muestra en la figura 23) y con otro simplemente apoyado entre los dos extremos en voladizo.

En los puentes en voladizo es posible aprovechar la simplicidad de análisis de una estructura isostática y las ventajas de un puente continuo. Esto se logra localizando articulaciones en los puntos de reflexión en el claro central de la estructura respecto a las cargas muertas, ya que dichos puntos se desplazan para la carga viva. Para tramos largos, con sus grandes cargas muertas, los puentes en voladizo se comparan muy favorablemente con la construcción continua, pero en tramos cortos, la construcción continua será más económica.

Los puentes en voladizo poseen también la ventaja del montaje en voladizo, además de las ventajas de los tramos simplemente apoyados. Entre las desventajas de los puentes en voladizo están, que son menos rígidos que los puentes de tramos continuos, requieren conexiones articuladas especiales, y puede haber levantamientos en las pilas de anclaje (estribos) y requerirse que existan reacciones muy grandes en las pilas principales (ver figura 23).

Al inicio del diseño del puente, el ingeniero proyectista debe hacer una selección en base a las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente para cada caso. Como cada sitio es diferente, el peso de las ventajas mencionadas no es el mismo para distintos puentes.

Si las condiciones de cimentación son buenas, y otras características del sitio indican tramos medios o largos, la estructura continua muestra el menor costo. Para tramos cortos, sólo hay una pequeña diferencia en el costo, y la velocidad y simpleza de la erección puede favorecer el uso de tramos simplemente apoyados. Cuando se utilizan elementos prefabricados, los tramos simplemente apoyados son los utilizados más frecuentemente. Las vigas de concreto colgadas "in situ" pueden ser fácilmente formadas como vigas continuas, y el ahorro en peso y una más agradable apariencia (con vigas de peralte variable) son ventajas definitivas.

Un puente continuo puede tener dos o más tramos, sin embargo, cinco tramos continuos son usualmente el máximo, ya que las expansiones y las fuerzas longitudinales en la subestructura se tornan en difíciles problemas para puentes largos. Las superestructuras continuas usuales en puentes constan de tres tramos, siendo el tramo central de  $1/5$  a  $1/3$  más largo que los tramos extremos. En cuanto a puentes de dos tramos, los tramos continuos resultan ser sólo un poco más económicos que los tramos simplemente apoyados. La realización de diseños alternativos, y la determinación de sus costos, complementarán la selección entre tramos continuos y simplemente apoyados.

*- Puentes de paso inferior, superior y a través.*

Otros aspectos importantes para la elección del tipo de superestructura, lo constituyen las necesidades de altura libre vertical bajo la misma y el nivel requerido de la rasante del camino. Esto da origen a los puentes de paso inferior, superior y a través.

En los puentes de paso inferior, el sistema de piso se conecta a la porción de los miembros principales de carga. Este tipo de puente es especialmente útil en el caso de que haya escasa altura libre vertical entre el nivel del agua de la avenida de diseño y la rasante del camino, de

modo que no se pueda alojar en este espacio el peralte y por razones de construcción del camino se prefiera no modificar el nivel de la rasante.

De igual forma que en el caso anterior, si se tienen restricciones por altura libre vertical y el nivel de la rasante, pero el sistema de piso se conecta en la porción media de los miembros principales de carga y no existe contraventeo encima del tránsito, se dice que el puente es de paso a través. Para reducir el efecto de confinamiento sobre los usuarios de los puentes, los puentes de paso inferior y a través se construyen con armaduras metálicas, de aquí que los puentes de paso a través se denominen puentes de ~~armaduras~~ enanas o "puentes pony". Este tipo de puente no es usado actualmente.

En los puentes de paso superior, el sistema de piso se coloca en la parte superior de los miembros principales de carga, de modo que no se requiere contraventeo alguno sobre su parte superior, por encima de los vehículos. Los puentes de paso superior tienen todas las ventajas sobre los de paso inferior, excepto la de la altura libre vertical abajo de él, a partir de la rasante. Hay espacio libre ilimitado en el sentido vertical y horizontal sobre el sistema de piso, de modo que la expansión futura es más factible. Otra ventaja muy importante es que las armaduras o traveses de apoyo pueden colocarse muy cerca unas de otras, reduciendo los momentos transversales en el sistema de piso, que resulta más simple que en los puentes de paso inferior y a través ya sin existir la restricción de altura libre vertical, el tipo de puente más usual es el de paso superior por las ventajas que posee sobre los otros tipos, además de tener una apariencia más agradable.

*- Puentes con grande y pequeña altura libre abajo ellos. Puentes móviles.*

Para la elección del tipo de superestructura para un puente que cruce una vía navegable, el ingeniero proyectista puede elegir un puente de gran altura libre, pero con un tramo móvil. La altura libre a que se hace referencia, corresponde a la distancia libre vertical entre la parte inferior del puente y la superficie del agua correspondiente al nivel de aguas máximo ordinario.

Los puentes de gran altura libre, permiten el paso del tránsito fluvial bajo la superestructura sin interrumpir el tránsito de vehículos sobre ellos.

Este tipo de puentes tienen costos iniciales, mucho más grandes que los puentes de pequeña altura libre, sus accesos requieren de grandes longitudes de desarrollo, tienen pendientes fuertes y pueden obstruir calles en áreas urbanas.

Los puentes de pequeña altura libre costos iniciales menores, requieren de longitudes de desarrollo más pequeñas para sus accesos, permiten el paso rápido de los vehículos (cuando no está pasando un barco) y los costos de operación de los vehículos que los cruzan son reducidos. Por otra parte, los puentes de pequeña altura libre, con secciones móviles, representan siempre una molestia para el tránsito de vehículos y barcos, siendo un riesgo real para el tránsito terrestre en caso de emergencia para el uso del equipo de bomberos, ambulancias, etc.. Requieren gastos adicionales para los operadores que abren y cierran el puente, así como el costo de la máquina y la energía para abrir y cerrar.

Los tres tipos usuales de puentes móviles son: el puente giratorio, el puente levadizo vertical y el puente basculante.

El puente giratorio está soportado por una pila central y gira horizontalmente. El puente gira sobre una mesa giratoria, como se muestra en la figura 24.

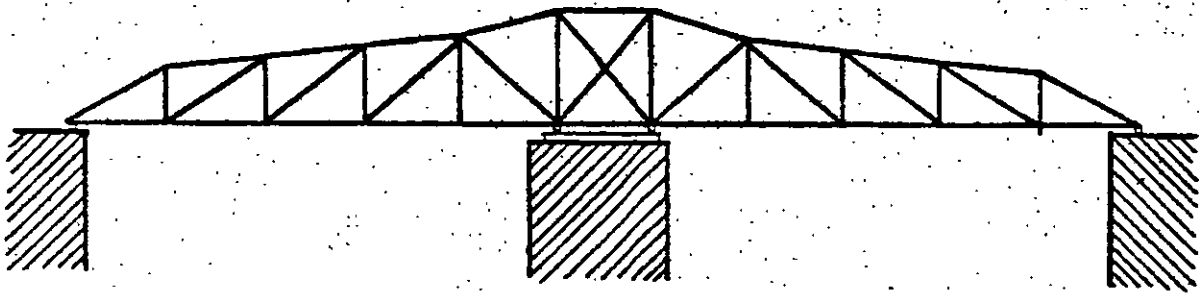


FIGURA 24 Puente giratorio

Con los puentes giratorios no hay problema con la altura libre vertical, pero la pila central representa un obstáculo para los barcos.

En el puente levadizo vertical, el tramo móvil es izado verticalmente sobre el área libre de navegación, como se muestra en la figura 23. Este tipo de puente es utilizado cuando el espacio libre horizontal requerido es mayor que la altura libre vertical necesaria.

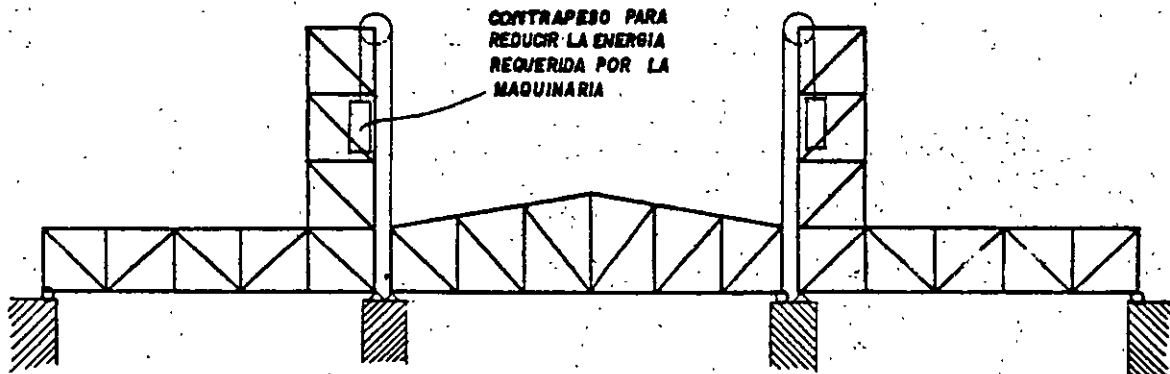


FIGURA 25 Puente levadizo vertical



Los puentes basculantes son aquellos en los que el tramo móvil gira verticalmente en sus extremos, usualmente mediante algún sistema de contrapeso (figura 26) Esta solución es satisfactoria cuando se requiere un espacio libre angosto, pero alto.

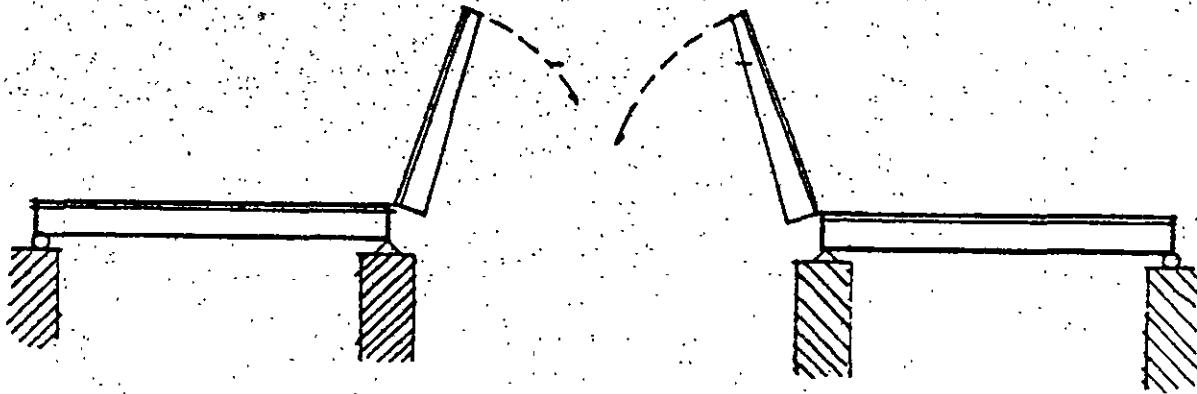


FIGURA 26 Puente basculante

Los puentes de gran altura libre probablemente se seleccionan para el tránsito de carretera o para un cruce en un área rural o para algún lugar donde la vía navegable por cruzar sea muy ancha. Por otro lado, los puentes móviles deberán ser tomados en consideración seriamente sobre los de gran altura para el tránsito ferroviario, para áreas urbanas, o para caos donde se requiera una gran altura libre (y probablemente angosta), sobre la vía navegable.

- Claros usuales en distintos tipos de superestructuras.

En la tabla 2 se incluyen distintos tipos de superestructuras y los claros en que son usados generalmente, y su selección dependerá de los factores indicados más arriba y de las características propias de cada tipo.

De acuerdo al claro se ha encontrado que la solución más eficiente para claros mayores de 4 metros es el empleo de traveses longitudinales paralelas al tránsito, soportando una losa cuyo espesor mínimo es de 15 cm; con este criterio, el número de traveses y su separación dependerá del claro máximo que pueda aceptar la losa. El esfuerzo principal de la losa es perpendicular al tránsito. Para puentes cuyos claros son menores de 4.0 metros utiliza la solución a base de una losa maciza, cuyo refuerzo principal es paralelo al tránsito.

Cuando el claro es mayor de 12 metros es económico el uso de vigas de concreto presforzado; esta solución facilita el uso de vigas prefabricadas, placas y losa colocada en sitio, aunque de las vigas se limita a unos metros por problemas de transporte.

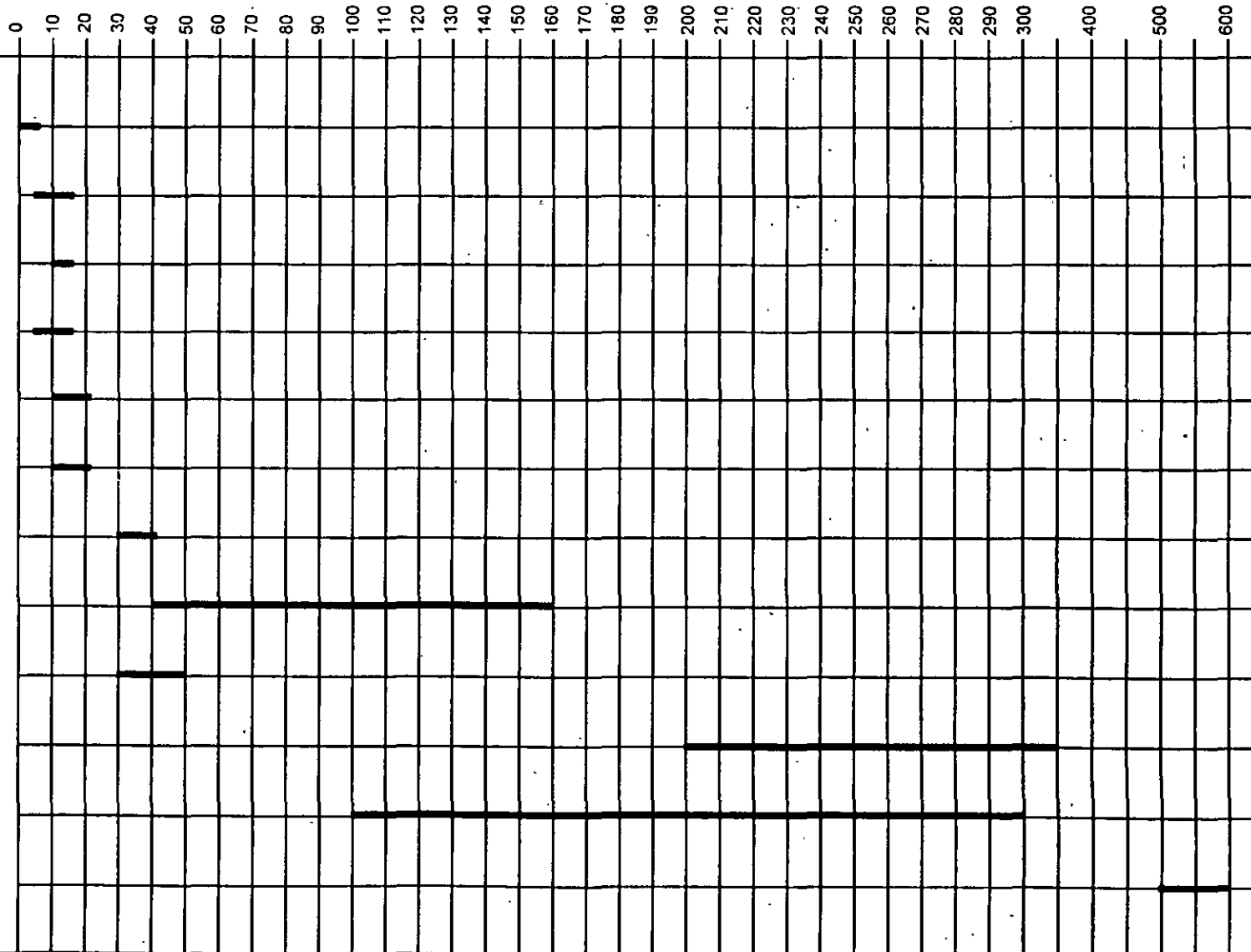
<b>TIPO DE SUPERESTRUCTURA</b>	<b>CLAROS</b>
<b>PUNTES DE CONCRETO RESFORZADO</b>	
Losa plana maciza. Losa plana aligerada. Losa nervurada.	Hasta 10 metros de 9 a 20 metros de 15 a 30 metros
Vigas sección T Vigas sección cajón. Simplemente apoyadas Vigas sección cajón continuas.	de 9 a 25 metros de 25 a 35 metros de 25 a 45 metros
<b>PUNTES DE CONCRETO PREESFORZADO</b>	
Vigas simples Vigas compuestas.	de 15 a 30 metros de 25 a 45 metros
Vigas sección cajón. Simplemente apoyadas. Vigas sección cajón. Continuas.	de 30 a 50 metros de 30 a 60 metros
<b>PUNTES DE ACERO</b>	
Vigas simples perfil laminado. Vigas de placa compuestas. Simplemente apoyadas. Vigas de placa compuestas. Continuas.	de 10 a 15 metros de 20 a 40 metros de 30 a 70 metros
Vigas de placa. Preesforzadas. Vigas de sección cajón. Simplemente apoyadas. Vigas de sección cajón. Continuas.	de 30 a 45 metros de 30 a 50 metros de 40 a 80 metros
Armadura simple. Armadura continua. Armadura en voladizo.	de 45 a 180 metros de 75 a 240 metros de 150 a 550 metros
<b>OTROS TIPOS</b>	
Tridilosa. Simplemente apoyada. Tridilosa. Continua.	de 9 a 60 metros de 25 a 70 metros
En arco. Atirantados. Colgantes.	de 30 a 500 metros de 150 a 400 metros de 300 a 1500 metros

TABLA 2 Claros usuales en distintos tipos de superestructuras.

CLAROS OPTIMOS PARA DIFERENTES TIPOS DE PUENTES

TIPO DE ESTRUCTURAS

CLAROS



## ANALISIS DE CARGAS

En el diseño de las estructuras, en este caso puentes, se incluye la determinación del tamaño y de la forma de los miembros y de sus conexiones, y el principal requisito es que las estructuras deben soportar con seguridad todas las cargas que se le apliquen. Por lo tanto, para el proceso de diseño es indispensable conocer todas las cargas y sus posibles combinaciones.

Los ingenieros proyectistas deben determinar las combinaciones racionales de carga que puedan producir los esfuerzos o deformaciones máximas en las diferentes partes de la estructura, ya que no es factible diseñar las estructuras ordinarias para que resistan todas las combinaciones de carga concebibles, ni las fuerzas excepcionalmente grandes; por lo tanto, el proyecto es necesariamente incierto. Se puede hacer una valuación estadística y probabilística de las intensidades de las cargas y del funcionamiento estructural, calculando las pérdidas económicas y los daños a seres humanos, pero en la actualidad, los ingenieros proyectistas apenas comienzan a considerar cuantitativamente estos factores. En vez de esto, para simplificar el proyecto de estructuras comunes, los reglamentos de construcción especifican las cargas mínimas de diseño y sus combinaciones críticas por medio de criterios basados en la experiencia, en algunas mediciones y en la lógica.

Los reglamentos actuales indican, por una parte, las normas encaminadas a la verificación de la resistencia de los elementos de una estructura utilizando hipótesis de dimensionamiento derivadas de un número suficiente de pruebas de laboratorio con objeto de lograr predecir mecanismos de falla bajo la acción de uno o varios elementos actuantes, y por otra, se preocupan de la respuesta de la estructura bajo condiciones de servicio.

Los reglamentos actuales de puentes se mantienen bajo criterios más conservadores que los correspondientes a edificios, y esto es debido a que no se conocen con precisión los efectos dinámicos del impacto de la carga viva, así como la fatiga debida a la repetición de las cargas, pero a medida que se va teniendo mayor información de los ensayos de laboratorio, los reglamentos de puentes van identificándose con los reglamentos de construcción vigentes de estructuras urbanas.

En los reglamentos se distinguen usualmente tres tipos de acciones de tráfico:

- a) Cargas repartidas por vía de circulación.
- b) Cargas concentradas por eje.
- c) Cargas de vehículo.

No obstante existen diversos criterios, según los reglamentos de distintos países, en cuanto a la consideración y modo de aplicación de las cargas. A veces se especifica distintos tipos de carga, según el tipo de esfuerzos que se calcula (esfuerzos locales o globales).

En la figura 27 se muestran los valores del momento flexionante máximo, por unidad de ancho, en un puente simplemente apoyado de una sola vía de circulación, en función del claro del mismo.

En la misma figura se observan las importantes diferencias que existen según los reglamentos de distintos países y se comprenden las consecuencias que éstas cargas específicas tienen en el proyecto, construcción y, en suma, en el costo del puente.

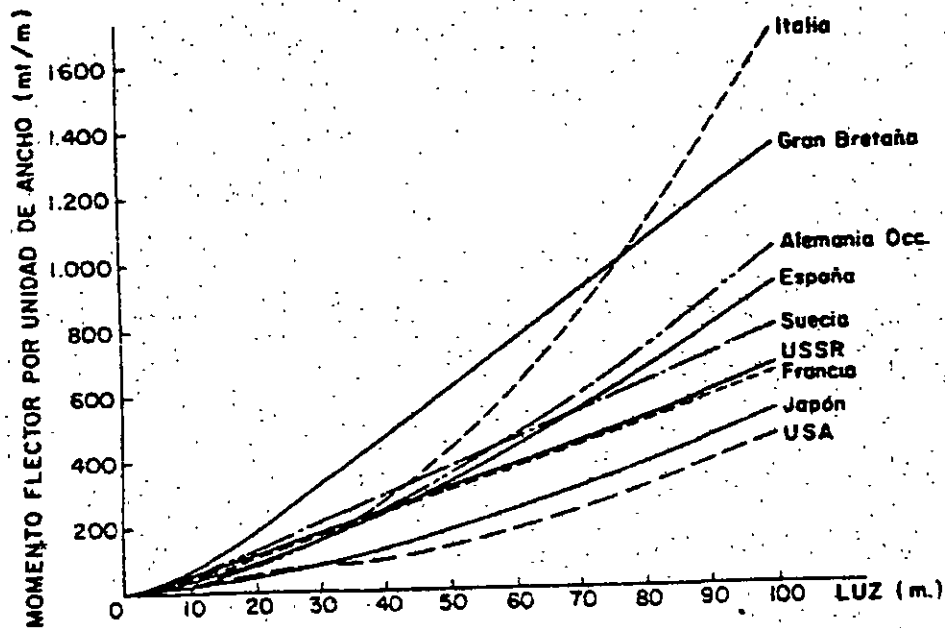


FIGURA 27. Momentos flexionantes máximos por unidad de ancho para una vía de circulación cargada, según las normas de los distintos países.

Para llevar a cabo el diseño y construcción de puentes, en México, se emplean comúnmente las siguientes especificaciones.

- a) Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Normas Técnicas para el proyecto de Puentes Carreteros", México, D.F., 1984.
- b) American Association of State Highway and Transportation Officials ( AASHTO ), "Standard Specifications for Highway Bridges", Washington, 1996.
- c) American Railroad Engineering Association ( AREA ), "Especificaciones de Puentes para Ferrocarriles".

Para el caso de puentes de caminos, las especificaciones americanas AASHTO, señalan que los elementos estructurales de un puente deben ser diseñados para soportar ciertas cargas o acciones, que se incluyen a continuación:

## CARGA MUERTA

La carga muerta consiste en el peso de la estructura, incluyendo las superficies de rodamiento, banquetas, parapetos, vías, tuberías, conductos, cables y otras instalaciones para servicios públicos.

La determinación de la carga muerta del puente implica un proceso iterativo, ya que el verdadero peso del puente sólo puede determinarse hasta que el puente ha sido diseñado. Por lo tanto, es necesario hacer una estimación preliminar de la carga muerta para el diseño y compararla con la que resulte de éste, repitiendo el proceso de refinamiento hasta que ambos pesos concuerden razonablemente. Un estudio de puentes semejantes puede ayudar para obtener la estimación preliminar de la carga muerta.

Para la determinación de la carga muerta se incluyen en la tabla 3 los pesos volumétricos de algunos materiales que son usados comúnmente en puentes.

Acero o acero fundido	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Hierro fundido	7800 Kg/m <sup>3</sup>
Aluminio, aleaciones	2800 Kg/m <sup>3</sup>
Madera (tratada o sin tratar)	800 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto simple	2300 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto reforzado	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Mampostería de piedra	2750 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, tierra, grava o balasto, compactados	1920 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, tierra y grava sueltas	1600 Kg/m <sup>3</sup>
Macadam o grava, compactados con aplanadora	2240 Kg/m <sup>3</sup>
Relleno de escorias	960 Kg/m <sup>3</sup>
Pavimento que no sea bloque de madera	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Tablón asfáltico	1730 Kg/m <sup>3</sup>
Vía de F.C. (riel, guardariel y accesorios de vía) por metro lineal de vía	298 Kg/m <sup>3</sup>

TABLA 3 Pesos volumétricos para la determinación de la carga muerta en puentes.

## CARGA VIVA.....

Las cargas vivas para caminos que se consideren sobre la calzada de los puentes, consistirán en el peso de la carga móvil aplicada, correspondiente a los caminos, coches y peatones.

### *Cargas móviles y criterios para el proyecto de puentes*

En este escrito se mencionan las cargas móviles utilizadas en los proyectos estructurales de puentes y algunos criterios de diseño relacionados con dichas cargas que son de uso en México.

Las especificaciones que normalmente se utilizan en el proyecto de puentes son las que estipula la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) de los Estados Unidos de América. Estas especificaciones han ido evolucionando al paso del tiempo, pudiéndose mencionar las ediciones de 1931, que fue la primera publicada; la de 1944, que fue la cuarta; la de 1977, que fue la duodécima y también la última traducida y publicada por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en 1984; y la de 1996, decimosexta, que es la más reciente.

Fue a partir de 1944 y hasta la actualidad que se adoptaron las cargas móviles de diseño que ahora se conocen. Dichas cargas consisten en camiones tipo o cargas por carril equivalentes en las que los camiones no son reales, sino sólo vehículos imaginarios que se usan para el diseño. Según la AASHTO hay dos clases principales de camiones: los denominados con la letra H seguida de un número y los designados con las letras HS, seguidas también de caracteres numéricos.

Los camiones de tipo H tienen dos ejes y el número que le sigue a la H en la denominación indica el peso total del camión cargado, en toneladas norteamericanas de 2,000 libras. Así, el camión H20 pesa 20 toneladas norteamericanas, que equivalen a 18.14 toneladas métricas.

Los camiones HS son vehículos tipo con tractor y semirremolque, con dos ejes en el primero y un eje en el segundo. El número que sigue a las letras HS es el peso del tractor en toneladas norteamericanas, el peso del semirremolque es el 80% del peso del tractor. Por ejemplo, en el camión HS20 el tractor pesa 20 toneladas norteamericanas, y el peso del semirremolque es de 16 toneladas norteamericanas, con lo que el peso total del camión es de 36 toneladas norteamericanas que equivalen a 32.66 toneladas métricas. En este caso la separación entre el eje posterior del tractor del tractor y el del semirremolque es variable dentro de ciertos límites con el fin de obtener el efecto más desfavorable para la estructura en diseño (ver anexo 1).

En México, no obstante que se utilizan las normas AASHTO para el proyecto de puentes, las cargas móviles de diseño que se usan son las denominadas T3-S3 y T3-S2-R4, que identifican a camiones reales cuyo tránsito está permitido en las carreteras federales del país, según lo indica el Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, publicado en el Diario Oficial de la Federación del día 26 de enero de 1994 y que fue modificado conforme al decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de mayo de 1996. De acuerdo con el reglamento mencionado vigente, el camión tpoT3-53 consta de un tractor con tres ejes y

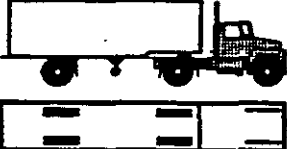
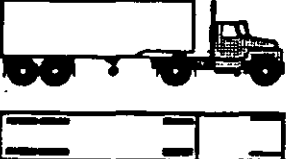
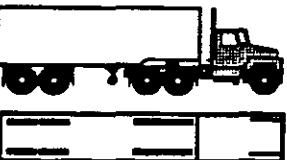
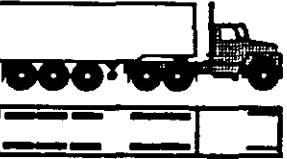
un semirremolque con tres ejes, cuyo peso bruto vehicular máximo autorizado es de 48.5 toneladas métricas para circular en caminos tipo A y B pudiendo aumentarse este peso a 54.5 ton Si el camión cuenta con suspensión neumática en todos sus ejes, excepto el direccional. El camión tipo T3-S2-R4 consta de un tractor con tres ejes, un semirremolque con dos ejes y un remolque con cuatro ejes, con peso bruto vehicular máximo autorizado de 66.5 ton para caminos tipo A y B que puede aumentarse a 72.5 ton durante el período de 8 de enero de 1997 al 8 de enero de 2002 su cuenta con un sistema auxiliar de frenos independiente al de balatas (posteriormente al período referido, el peso se ajustará a 66.5 ton); además de lo anterior, el peso bruto vehicular de este camión podrá aumentarse a 81.5 ton si cuenta con suspensión neumática en todos sus ejes, excepto el direccional.

La Dirección General de Conservación de Carreteras, previa consulta con la Dirección General de Servicios Técnicos, ha adoptado como carga móvil de diseño la que produzca el efecto más desfavorable entre los camiones tipo T3-S3 y T3-S2-R4 (con peso total máximo de 48.5 ton y 66.5 ton, respectivamente, y que se pueden observar las siguientes páginas) en todos los carriles que pueda albergar el ancho de calzada del puente en caminos tipo A y B. Para caminos tipo C y D la carga móvil de diseño será la que produzca el efecto más desfavorable entre cualquiera de los camiones ya mencionados en una banda y en la otra banda un camión tipo HS20.







Como dato histórico, puede mencionarse que en el pasado las cargas móviles utilizadas para el proyecto de puentes carreteros en México fueron las HS. Hasta 1972 se empleaba la carga HS15 en puentes de carreteras comunes y la carga HS20 en puentes de carreteras troncales. A partir de 1972 y hasta 1980, se generalizó el uso de la carga HS20, después de los cual ya se utilizaron las cargas T3-S3 y T3-S2-R4, pero con pesos y criterios diferentes a los que aquí se mencionan.










**PESO BRUTO VEHICULAR MAXIMO AUTORIZADO POR TIPO DE VEHICULO Y CAMINO (TONELADAS)**

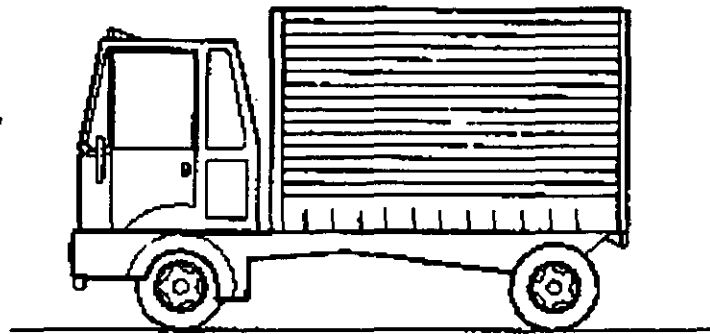
<b>TRACTOCAMION ARTICULADO</b>					
<b>CONFIGURACION DEL VEHICULO</b>	<b>NUMERO DE LLANTAS</b>	<b>TIPO DE CAMINO</b>			
		<b>A4 Y A2</b>	<b>B4 Y B2</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>T2-S1</b> 	10	27.50	27.50	24.50	NA
<b>T2-S2</b> 	14	35.50	35.50	31.50	NA
<b>T3-S2</b> 	18	44.00	44.00	39.00	NA
<b>T3-S3</b> 	22	48.50	48.50	43.00	NA

**PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO AUTORIZADO POR TIPO DE VEHICULO Y CAMINO (TONELADAS)**

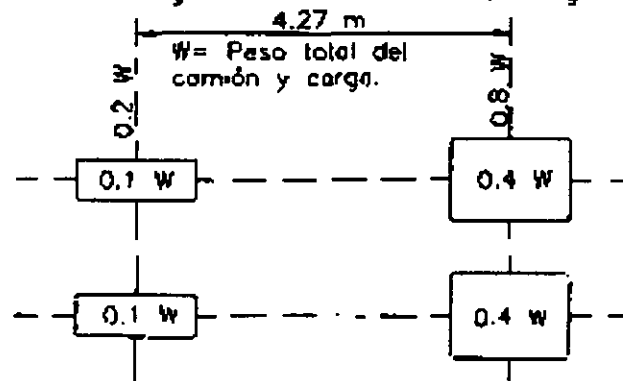
<b>TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO</b>					
<b>CONFIGURACION DEL VEHICULO</b>	<b>NUMERO DE LLANTAS</b>	<b>TIPO DE CAMINO</b>			
		<b>A4 Y A2</b>	<b>B4 Y B2</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>T2-SI-R2</b> 	18	47.50	47.50	42.50	NA
<b>T3-SI-R2</b> 	22	56.00	56.00	50.00	NA
<b>T3-S2-R2</b> 	26	60.50	60.50	52.50	NA
<b>T3-S2-R4</b> 	34	66.50*	66.50*	58.00	NA
<b>T3-S2-R3</b> 	30	63.00	63.00	55.00	NA
<b>T3-S3-S2</b> 	30	60.00	60.00	51.50	NA

**PESOS MAXIMOS AUTORIZADOS POR TIPO DE EJE Y CAMINO  
(TONELADAS)**

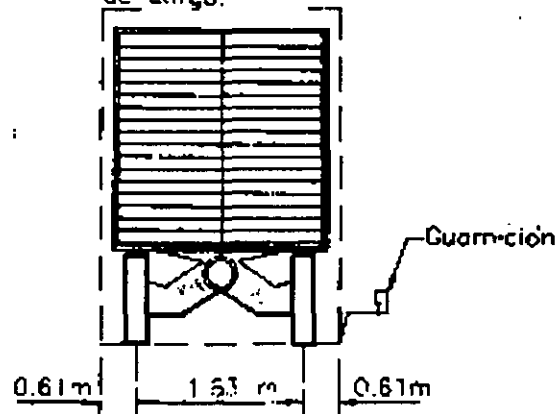
CONFIGURACION DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
 <p>SENCILLO DOS LLANTAS</p>	6.50	6.50	5.50	5.00
 <p>SENCILLO CUATRO LLANTAS</p>	10.00	10.00	9.00	8.00
 <p>MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS</p>	11.00	11.00	10.00	9.00
 <p>MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS</p>	15.50	15.50	14.00	12.50
 <p>DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS</p>	18.00	18.00	16.00	14.00
 <p>MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS</p>	19.50	19.50	17.50	15.50
 <p>TRIPLE O TRIDEM DOCE LLANTAS</p>	22.50	22.50	20.00	18.00



H20	3629 Kg	14515 Kg
H15	2722 Kg	10886 Kg
H10	1814 Kg	7257 Kg



3.05 m ancho del gólibo y del carril de carga.



Para el proyecto de losas se supondrá que el eje vertical central de la rueda queda a 30.5 cm de la cara de la guarnición

Camión tipo H

## CARGAS EQUIVALENTES

Carga concentrada 8165 kg para momento\*  
11793 kg para esfuerzo cortante

Carga uniforme 952 kg por metro lineal de carril de carga



**CARGA H20-44**

**CARGA HS20-44**

Carga concentrada 6123 kg para momento\*  
8845 kg para esfuerzo cortante

Carga uniforme 714 kg por metro lineal de carril de carga



**CARGA H15-44**

**CARGA HS15-44**

Carga concentrada 4082 kg para momento\*  
5897 kg para esfuerzo cortante

Carga uniforme 476 kg por metro lineal de carril de carga



**CARGA H10-44**

## CARGAS PARA CARRIL H Y HS

## CARRILES DE TRANSITO Y APLICACION DE LAS CARGAS

Se considerará que la carga equivalente por carril o la del camión tipo, ocupa un ancho de 3.05 m, sin embargo, debido a que el ancho de calzada se establece por condiciones geométricas de vialidad, se puede considerar que el ancho de cada carril de tránsito, para fines de análisis estructural, es el que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Ac}{N} \quad \text{EC.1}$$

donde:

A = Ancho del carril de tránsito, de diseño.

Ac = Ancho de calzada entre guarniciones sin contar la faja central.

N = Número de carriles de tránsito de diseño.

La relación entre Ac y N se especifica en la tabla 4.

Ac	N
De 6.10 m a 9.14 m	2
De 9.14 m a 12.80 m	3
De 12.80 m a 16.46 m	4
De 16.46 m a 20.12 m	5
De 20.12 m a 23.77 m	6
De 23.77 m a 27.43 m	7
De 27.43 m a 31.09 m	8
De 31.09 m a 34.75 m	9
De 34.75 m a 38.40 m	10

TABLA 4

Las cargas equivalentes por carril o los camiones tipo podrán ocupar cualquier posición dentro de su carril individual para diseño (A), estableciendo la posición que produzca la condición crítica.

EL tipo de carga, ya sea ésta del tipo de carga equivalente por carril (que corresponde a un tren de camiones) o carga de camión tipo (que corresponde a las cargas concentradas en los ejes, de un solo camión que circula a lo largo del puente), que se utilizará en el análisis del puente, será la que produzca los máximos esfuerzos, ya se trate de claros simplemente apoyados o de tramos continuos.

Para tramos simplemente apoyados se incluyen en la tabla 5 las longitudes de los tramos hasta las que la carga del camión tipo en cuestión produce los esfuerzos máximos. Así, para tramos simplemente apoyados con longitudes mayores a las consignadas en esa tabla, los esfuerzos máximos los producirá la carga equivalente por carril.

<b>Carga tipo:</b>	<b>H 15</b>	<b>H 20</b>	<b>HS 15</b>	<b>HS 20</b>
Para cortante, hasta	10.36 m	10.06 m	36.58 m	36.58 m
Para cortante, hasta	17.68 m	17.07 m	42.67 m	42.67 m

TABLA 5 Longitudes de tramos simplemente apoyados hasta las que el camión tipo produce esfuerzos mayores que la carga equivalente por carril.

De la tabla 5 notamos que un camión tipo produce los esfuerzos por cortante máximos, en relación con la carga equivalente por carril, hasta una longitud distinta a la que produce los esfuerzos máximos por flexión; así, por ejemplo, si se está analizando un tramo simplemente apoyado de 15 m de longitud sujeto a una carga H 15, el análisis por cortante se realizará utilizando la carga equivalente por carril, y el análisis por flexión se realizará utilizando el camión tipo.

Para tramos simplemente apoyados el espaciamiento del eje posterior, en camiones tipo HS, que produce los esfuerzos máximos, es el valor mínimo de 427 cm.

Para tramos continuos se deberá analizar qué tipo de carga es la que produce los máximos esfuerzos. En lo que respecta a las cargas de camión tipo HS se deberá considerar el espaciamiento del eje posterior más desfavorable tanto para momento positivo como negativo, considerando para éste último que el eje trasero puede situarse en el claro contiguo.

Las cargas equivalentes por carril consistirán en una carga uniforme por metro lineal de carril de tránsito, combinada con una carga concentrada (página 53) que puede deslizarse a lo largo del tramo de tal manera que produzca el máximo esfuerzo para cada punto del puente que se desee analizar. La carga concentrada y la carga uniforme se considerarán como uniformemente distribuidas en un ancho de 3.05 m sobre una línea normal al eje central del carril.

Las cargas equivalentes en el caso de tramos continuos consistirán en las cargas mostradas en la página 53, agregando a estas cargas otra concentrada de igual peso, que se colocará en otro tramo de la serie en posición tal que se produzca el máximo momento negativo. Para determinar el momento positivo máximo se usará solamente una carga concentrada por carril combinada con tantos tramos cargados uniformemente como se necesite para producir el momento máximo. La carga uniforme podrá ser continua o discontinua, según sea necesario para producir los esfuerzos máximos. Para el cálculo de momentos flexionantes y esfuerzos cortantes se usarán diferentes cargas concentradas en las cargas equivalentes por carril, como está indicado en la figura . Las cargas concentradas más ligeras se usan para el análisis por flexión, y las cargas concentradas más pesadas se usarán para el análisis de esfuerzos cortantes.

#### *CARGA MINIMA*

Para caminos principales o para aquellos que se espera tengan tránsito de camiones pesados, la carga mínima aplicable será la de tipo HS 15-44.

## REDUCCION DE INTENSIDAD DE LA CARGA VIVA.

Se podrán reducir los efectos de la carga viva de caminos actuando en cada línea, debido a que la posibilidad de que se produzcan simultáneamente las condiciones críticas en todas las líneas es muy remota. Así, si el puente está diseñado para tres carriles se podrá reducir en un 10% el efecto total de la carga viva, y en un 25% si el puente está diseñado para cuatro carriles o más. Si el puente está diseñado para uno o dos carriles no habrá reducción de carga viva.

El problema de la carga viva involucra no sólo el peso y espaciamiento de los vehículos y sus ejes, sino también la distribución de estas cargas sobre las losas y los largueros de soporte, la cual obviamente afectará al diseño. Se han deducido fórmula empírica, basadas en estudios teóricos y experimentales, y presentadas en especificaciones para puentes, tales como las de la AASHTO, de modo que pueda desarrollarse un diseño definido y razonablemente correcto.

Debe recordarse que tales fórmulas necesariamente están limitadas a los rangos para los cuales se dedujeron (Las especificaciones -AASHTO se refieren a claros no mayores de 100 a 200 m). Para diseños y dimensiones fuera de las convencionales, el ingeniero debe utilizar su propio juicio y experiencia en la interpretación y aplicación de esas fórmulas.

Los esfuerzos máximos en los miembros de un puente no sólo dependen del peso del vehículo en movimiento, sino también de su posición sobre el puente. Por lo tanto, tienen que determinarse las posiciones críticas de los vehículos en movimiento que producen los esfuerzos máximos en diferentes puntos a lo largo del puente. Esto se hace generalmente por medio de las "Líneas de Influencia", que dan las leyes de variación de los elementos mecánicos correspondientes, cuando la carga se desplaza a lo largo del tramo del puente. Más adelante se tratarán las líneas de influencia.

## CARGA VIVA SOBRE BANQUETA

Esta carga viva se establece de acuerdo a las siguientes condiciones:

1. Para el diseño de pisos, largueros y apoyos inmediatos a las banquetas se debe considerar una carga viva de  $415 \text{ kg/m}^2$  por área de banqueta.
2. Para traveses de sección compuesta, armaduras principales, etc. la carga viva a considerar será de acuerdo a lo siguiente:
  - + Para claros de 0 a 7.62 m de longitud  $415 \text{ kg/m}^2$
  - + Para claros de 7.63 a 30.48 m de longitud  $293 \text{ kg/m}^2$
  - + Para claros de más de 30.49 m de longitud, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \left( 146 + \frac{4464}{L} \right) \left( \frac{16.76 - A}{15.24} \right) \text{ EC. 2}$$

donde:

P = Carga viva por metro cuadrado (con un valor máximo de  $293 \text{ kg/m}^2$ ).

L = Longitud de banqueta cargada, en metros.

A = Ancho de banqueta, en metros.



## *CARGA VIVA SOBRE GUARNICION.*

Las guarniciones se diseñarán para resistir una fuerza lateral no menor de 745 Kg/m de guarnición, aplicada en la parte superior de la guarnición, o a 25 cm arriba del piso si la guarnición es de altura mayor que 25 cm.

Las guarniciones se amplían para servir eventualmente como banquetas de tránsito para peatones; se llaman "banquetas de emergencia" y tendrán un ancho mínimo de 45 cm. Solamente si la banqueta de emergencia mide más de 60 cm de ancho se proyectarán para las cargas especificadas para banquetas.

## *CARGA VIVA SOBRE PARAPETOS*

*Parapetos de calzada.* Los miembros superiores de los parapetos de calzada se proyectarán para resistir una fuerza lateral horizontal de 223 Kg/m simultáneamente con una fuerza vertical de 150 Kg/m aplicadas en la parte superior del parapeto. Cuando las guarniciones tengan más de 23 cm de altura, los barrotes inferiores del parapeto se proyectarán para resistir una fuerza Lateral horizontal de 450 Kg/m. Cuando las guarniciones tengan menos de 23 cm de altura, esa fuerza se aumentará en 60 Kg/m por cada 2.5 cm que la guarnición tenga abajo de los 23 cm de altura; el incremento agregado a la fuerza horizontal por aplicarse al barrote no será mayor de 300 Kg/m. Si no hay barrote inferior, los miembros del alma se proyectarán para resistir una fuerza horizontal de 450 Kg/m aplicada a no menos de 53 cm arriba de la calzada. Por cada 2.5 cm de altura en la guarnición, arriba de 255 cm, esa fuerza lateral horizontal se podrá reducir en 22.5 Kg/m, pero no será menor de 223 Kg/m. Las fuerzas horizontales se aplicarán simultáneamente. Los parapetos sin alma y con un solo barrote se proyectarán para las fuerzas especificadas anteriormente para barrotes inferiores.

*Parapetos para banquetas.* Los parapetos para banqueta se proyectarán para que resistan las fuerzas especificadas para los parapetos de calzada, y se sujetarán a las mismas restricciones en lo relativo a las alturas de guarnición. Cuando hay armaduras de paso a través trabes compuestas o arcos que separen la banqueta de la calzada, o cuando las banquetas estén protegidas por un parapeto sobre la guarnición, el parapeto de banqueta se proyectará solamente para las fuerzas especificadas para el barrote superior.

## **IMPACTO**

Es bien-conocido que un vehículo moviéndose a través de un puente produce esfuerzos más grandes que si el vehículo estuviera en una posición estática sobre la estructura. El efecto dinámico total no sólo es resultado del choque de las ruedas del vehículo con las imperfecciones del piso, sino que además incluye la aplicación de la carga viva en la estructura en un período de tiempo corto. Se ha probado mediante las teorías de la Dinámica, que una carga aplicada instantáneamente a una viga produce esfuerzos hasta de dos veces los producidos por la misma carga si ésta permaneciera estática en la viga. En puentes, la carga viva nunca es instantánea, pero se aplica en un período de tiempo pequeño.

Adicionalmente al verdadero efecto de impacto y al efecto de la aplicación repentina de carga, hay un tercer efecto, que es causado por la vibración del vehículo sobre sus muelles; las irregularidades del piso contribuyen a este efecto. La vibración del vehículo sobre sus muelles

induce vibraciones en la estructura, y la magnitud de los esfuerzos inducidos depende de las masas relativas del vehículo y puente, de la frecuencia natural de la estructura, y de las características de amortiguamiento del puente.

Se definen dos grupos de estructuras según sea aplicable o no el efecto del impacto en su diseño, siendo éstos, respectivamente, los grupos "A" y "B".

#### *GRUPO A*

1. Superestructura, incluyendo columnas de acero o de concreto sujetas a carga, torres de acero, columnas de marcos rígidos y en general aquellas partes de la estructura que se prolonguen hacia abajo hasta la cimentación principal.
2. La porción de los pilotes de acero o de concreto que sobresalgan arriba de la superficie del terreno y que estén rígidamente conectados a la superestructura como cuando forman marcos rígidos o sean parte de una estructura continua.

#### *GRUPO B*

1. Estribos, muros de sostenimiento, pitas y pilotes, excepto en los indicados en el grupo A.2.
2. Cimientos y presiones en las cimentaciones.
3. Estructuras de madera.
4. Cargas para banquetas.

Las estructuras del grupo A se deberán diseñar incrementando los efectos de la carga viva en un cierto porcentaje debido a los efectos de impacto, efecto dinámico y efecto vibratorio, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I = \frac{15.24}{L + 38.10} \quad \text{EC.3}$$

donde :

I = Factor de impacto, en porciento, cuyo valor máximo a considerar será de 30%.

L = Longitud del claro cargado, en metros. \*

\* En las especificaciones AASHTO se expresa que el valor de 'L' en vigas continuas es la longitud del tramo en cuestión para momento positivo y el promedio de los dos tramos adyacentes para momento negativo; no se hace ninguna definición de "L" para cortante, por lo que se utilizará, de igual forma que para momento positivo, la longitud del tramo considerado.

#### *FUERZAS LONGITUDINALES*

Cuando un vehículo acelera o frena sobre un puente, sus llantas transmiten al piso fuerzas longitudinales, cuyas magnitudes dependen del valor de la aceleración o frenaje. La máxima fuerza longitudinal resulta de frenar repentinamente; la magnitud de esta fuerza depende del peso del vehículo, de su velocidad en el instante de frenar, y del intervalo de tiempo en que el vehículo se detiene completamente. Como sería incierta la valuación de los factores anteriores

para la determinación de las fuerzas longitudinales, en las especificaciones se estipula que se tendrá en cuenta una fuerza longitudinal del 5% de la carga viva sobre todos los carriles que lleven tránsito de vehículos en la misma dirección. Para los puentes en que se considere que lleguen a ser en el futuro de una sola dirección, se considerarán cargados en todos sus carriles.

La carga usada será la carga equivalente por carril de diseño, con la carga concentrada para momento, sin considerar impacto, y la reducción especificada para cuando hay, varios carriles cargados.

El centro de gravedad de la fuerza longitudinal se supondrá que se encuentra a 1.22 m arriba de la losa del piso y que se transmite a la subestructura a través de la superestructura. La fuerza longitudinal añade esfuerzos muy pequeños a los miembros de la superestructura; pero es importante en el diseño de conexiones y de la subestructura.

Una fuerza longitudinal adicional, debida a la fricción en los apoyos para dilatación, deberá ser considerada en el diseño de la subestructura. Esta fuerza longitudinal es igual a la descarga en el apoyo por el coeficiente de fricción entre los materiales deslizantes que constituyen el apoyo. El uso de apoyos deslizantes de teflón, que tiene un coeficiente de fricción muy pequeño, minimiza las fuerzas longitudinales debidas al deslizamiento de los apoyos. En la tabla 6 se consignan los valores del coeficiente de fricción entre algunos materiales.

Material (1)	Coef.	Material (2)	Coef.
Entre piedra y piedra	0.40-0.70	Entre concreto y mat. Asf.	1.0-2.0
Entre madera y madera	0.25-0.50	Entre acero y acero	0.2-.05
Entre metal y piedra	0.30-0.70	Con rodillo de acero	0.03
Entre metal y madera	0.20-0.60	Teflón	0.04
Entre concreto y caucho	0.60-0.90		

(1) Ref. 38.

(2) Ref. 32.

TABLA 6. Valores del coeficiente de fricción para algunos materiales.

## FUERZAS DEBIDAS A VARIACIONES DE TEMPERATURA

Se deberán tomar en cuenta los esfuerzos o movimientos que resulten de las variaciones de temperatura. Se fijará el aumento o disminución de la temperatura para la localidad en que vaya a ser construida la estructura; dichas variaciones se calcularán a partir de una temperatura supuesta al tiempo de efectuarse la erección. Se tendrá muy en cuenta el retraso entre la temperatura del aire y la temperatura interior de miembros pesados de concreto o estructuras.

La variación de temperatura será generalmente como sigue:

\* *En estructuras de acero*

Para clima moderado de -18 a 49 °C

Para clima frío de  $-34$  a  $49$  °C

\* *En estructuras de concreto*

	Aumento de temperatura	Disminución de temperatura
Para clima moderado	17 °C	22 °C
Para clima frío	19°C	25°C

Dentro de un intervalo amplio de temperaturas, las dilataciones o contracciones que sufre el concreto por aumento o disminución de la temperatura, respectivamente, son proporcionales a la variación térmica. Esta proporcionalidad se expresa por medio del coeficiente de dilatación térmica lineal, que se define como el cambio de longitud que sufre un elemento cuando su temperatura varía en un grado centígrado. El concreto simple varía entre  $0.000006/^\circ\text{C}$  y  $0.000011/^\circ\text{C}$ . Para efectos de diseño es común tomar un valor promedio de  $0.000011/^\circ\text{C}$ , tanto para concreto simple, como para concreto reforzado.

Para el acero se considerará un coeficiente de dilatación térmica de  $0.000012/^\circ\text{C}$  (Ref. 27).

Si se permite la libre dilatación o contracción de la superestructura, el cambio de temperatura no origina esfuerzos "térmicos" a la superestructura, pero se originarán en los apoyos las fuerzas longitudinales indicadas en el subinciso anterior.

## ANALISIS ESTRUCTURAL

En el Proceso de estudio estructural de una obra de Ingeniería se pueden distinguir tres fases fundamentales que son:

- a) Idealización
- b) Análisis
- c) Interpretación

La idealización consiste en la representación de la obra de ingeniería mediante un modelo matemático que considere las propiedades más relevantes en relación con su estabilidad.

La fase de análisis estudia, mediante la utilización de recursos varios (Matemáticas, Mecánica, Resistencia de Materiales, etc.), el modelo-matemático definido en la fase de idealización, con el objeto de obtener una serie de resultados, cuyo significado y aplicación a la realidad de la obra constituye la última fase del proceso, que se denomina interpretación.

Se comprende que la idealización estructural y la interpretación de resultados contienen una elevada componente de experiencia e intuición, y es evidente, por otra parte, que ambas fases se encuentran profundamente relacionadas. En efecto, los resultados obtenidos y su interpretación dependen de la idealización o modelo considerado, y a su vez, los resultados obtenidos influirán en la determinación de modelos estructurales más convenientes, constituyéndose así un proceso cíclico, en el que el análisis se limita a determinar respuestas, conocida la estructura y las acciones.

En el análisis de una estructura se manejan dos conjuntos de magnitudes bien definidas:

1. Magnitudes de tipo estático (Fuerzas).
2. Magnitudes de tipo cinemática (Deformaciones).

Algunas de estas magnitudes, tanto estáticas como cinemáticas son conocidas y se denominan acciones. La determinación de las restantes magnitudes se lleva a cabo al imponer una serie de condiciones o ecuaciones estructurales. Tres clases bien definidas de ecuaciones relacionan estas magnitudes en el análisis estructural: las ecuaciones estáticas o ecuaciones de equilibrio, las ecuaciones cinemáticas o condiciones de compatibilidad, y las ecuaciones constitutivas del material, que relacionan las ecuaciones estáticas con las cinemáticas.

El análisis estructural consiste, entonces, en determinar las magnitudes incógnitas (estáticas y cinemáticas) que satisfacen, en conjunción con las magnitudes conocidas, a los tres tipos de ecuaciones anteriores. Así, el análisis consiste en obtener un conjunto de magnitudes estructurales que suponga a la estructura un equilibrio y una compatibilidad.

El análisis estructural puede dividirse según diferentes criterios. Probablemente una de las divisiones más esenciales del análisis se obtiene al introducir el concepto de linealidad. Se dice que una estructura es lineal, o se comporta linealmente, si bajo la acción de dos conjuntos de acciones (cargas y movimientos impuestos),  $E_1$  y  $E_2$ , que producen respectivamente, respuestas (resultados de desplazamientos y esfuerzos)  $R_1$  y  $R_2$ , se comprueban que la respuesta  $R$  obtenida bajo una acción  $E = K_1E_1 + K_2E_2$ , combinación lineal de las acciones

anteriores, es, asimismo, la combinación lineal de las respuestas respectivas; es decir,  $R = K_1R_1 + K_2R_2$ . Se dice, por el contrario, que una estructura es no Lineal si la condición anterior no se satisface para todos los posibles valores de los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$ .

Existe una relación no lineal bajo cualquiera de dos condiciones. La primera de éstas ocurrirá cuando las deformaciones en el material estructural no sean proporcionales a los esfuerzos; esto es, cuando el material no sigue la Ley de Hooke. La segunda ocurre cuando las deformaciones de la estructura son considerables ante la aplicación de las cargas.

Otra clasificación fundamental en el análisis de estructuras aparece al introducir la dimensión del tiempo en la aplicación de las acciones. De este modo, se puede hablar de análisis dinámico, si las fuerzas de inercia son tenidas en cuenta, y análisis estático, en caso contrario.

La variable tiempo puede surgir bajo otra faceta en el análisis de estructuras, no solamente en la aplicación dinámica de las acciones, sino también en la descripción de las características constitutivas de los materiales, dividiendo los modelos estructurales en aquellos que utilizan materiales con fluencia y en los que no la tienen.

Existe una gran variedad de métodos de cálculo que, en base a los criterios de análisis pertinentes a la estructura en estudio, proporcionan la solución de las ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y constitutivas que nos permiten conocer las incógnitas estáticas y cinemáticas de la estructura. Los diferentes métodos se distinguen por el proceso matemático empleado en la solución de las ecuaciones y por los efectos mecánicos considerados en el cálculo.

Según sean las características de la estructura a analizar, se elegirá el método de cálculo más adecuado para obtener los elementos mecánicos (incógnitas) que actúan sobre sus miembros.

En el caso de los puentes, existen tres parámetros característicos de la estructura que determinan, de un modo fundamental, la elección del método de cálculo (de esfuerzos en tableros) más adecuado. Estos parámetros son:

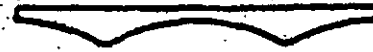
- a) Forma de la sección transversal.
- b) Geometría en planta.
- c) Condiciones de bordes y apoyos.

En la tabla 7 se resumen algunos métodos de cálculo de esfuerzos en tableros de puentes. En la tabla 8 se indican sus rangos de aplicación en función de los parámetros indicados en las figuras 29 a 31; estas tablas se presentan a manera de guía para la elección del método de cálculo más adecuado para estructuraciones con diferentes características.

En la tabla 8 se indican los rangos de aplicación más usuales y estrictos de los métodos de cálculo anteriores. Normalmente algunos de ellos pueden ampliarse, mediante algunas técnicas, al análisis de otras estructuras más complejas.



e) LOSA ESPESOR UNIFORME



b) LOSA ESPESOR VARIABLE



c) LOSA ALIGERADA CIRCULAR



d) LOSA ALIGERADA RECTANGULAR



e) SERIE DE VIGAS PREFABRICADAS NORMALIZADAS EN T INVERTIDA



f) SERIE DE VIGAS PREFABRICADAS NORMALIZADAS EN CAJON



g) PUENTES DE VIGAS PREFABRICADAS + FORJADO "IN SITU"



h) PUENTES DE VIGAS "IN SITU"



i) SECCION CAJON BICELULAR



j) SECCION CAJONES MULTIPLES

FIGURA 28

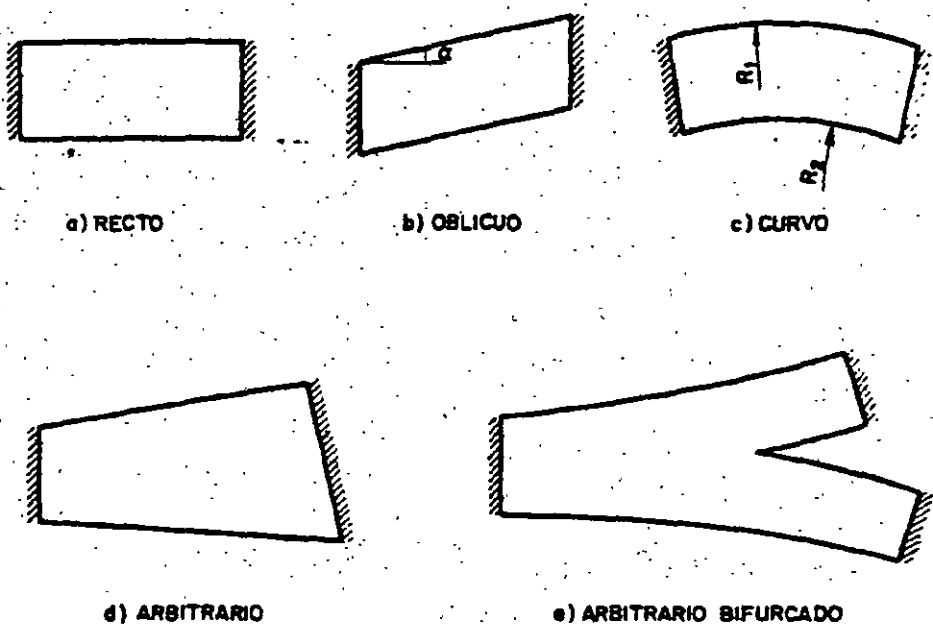


FIGURA 29

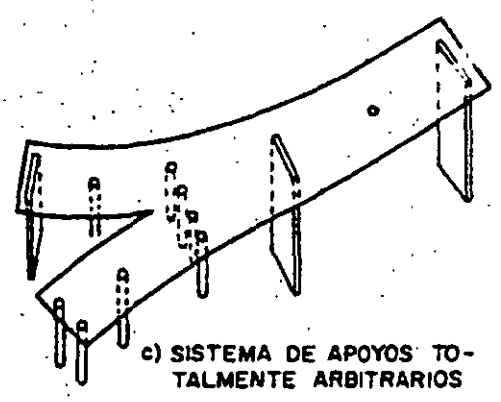
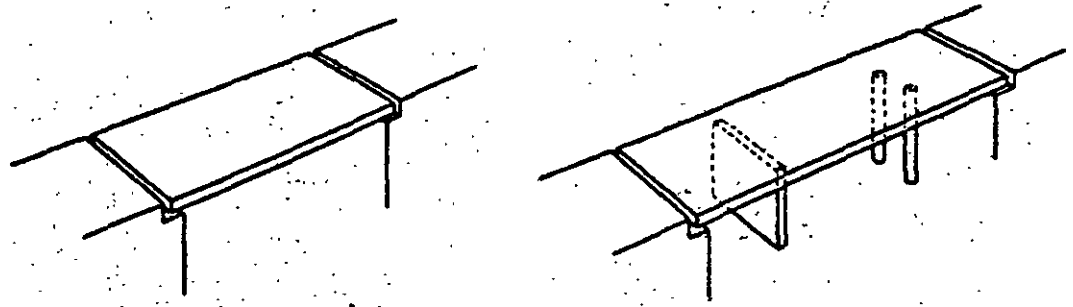


FIGURA 30



<b>Modelo estructural</b>	<b>Procedimiento de análisis</b>	<b>Método</b>
1. Losa ortótropa	- Tabulación	1.1. Guyón - Massonet-Rowe
	- Series de Fourier.	1.2. Losa ortótropa.
	- Series de fourier generalizadas	1.3. Losa ortótropa sin torsión
	- Numérico: diferencias finitas	1.4. Losa ortótropa (d.f.)
	- Numérico: elementos finitos	1.5. Losa ortótropa (e.f.)
	- Numérico: bandas finitas	1.6. Losa ortótropa (b.f.)
	- Numérico: métodos indirectos	1.7. Losa ortótropa (m.i.)
2. Lámina plegada	- Series de Fourier.	2.1. Lámina plegada
	- Series de fourier generalizadas	2.2. Lámina plegada intermedia
	- Numérico: solución aproximada	2.3. Lámina plegada larga
	- Numérico: elementos finitos	2.4. Lámina plegada (e.f.)
	- Numérico: bandas finitas	2.5. Lámina plegada (b.f.)
3. Emparrillado plano	- Métodos matriciales	3.1. Emparrillado plano
4. Entramado espaciales	- Métodos matriciales	4.1. Emparrillado espacial
5. Estructura (2-D)	- Numérico: elementos finitos	5.1. Elementos finitos (lámina)
6. Estructura (3-D)	- Numérico: elementos finitos	6.1. Elementos finitos (volúmenes)

TABLA 8.

Método de cálculo (4)	Tipo de tablero (1)			Geometría en planta (2)			Condiciones de apoyo (3)			
	Losa (1-a) -a (1-g)	Viga y losa (1-h)	Sección cajón (1-i) (1-j)	Rectangular (2-a)	Oblicua (2-b)	Circular (2-c)	Arbitra (2-b) (2-c)	Simple (3-a)	Soportes simple e intermedios (3-b)	Arbitra (3-c)
Losa ortótropa:										
1.1	X			X				X		
1.2 1.3	X			X		X		X	X	
1.4	X			X	X	X	X	X	X	X
1.5	X	X		X	X	X	X	X	X	X
1.6	X	X		X		X		X	X	
1.7	X	X		X	X	X		X	X	
Lámina plegada:										
2.1 2.2	X	X	X	X		X		X	X	
2.3	X	X	X	X		X		X	X	X
2.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2.5	X	X	X	X		X		X	X	
Emparrillado plano:										
3.1	X	X	(5)	X	X	X	X	X	X	X
Entramado espacial:										
4.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elementos finitos:										
5.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

(1) Hace referencia a la fig. 28

(2) Hace referencia a la fig. 29

(3) Hace referencia a la fig. 30

(4) Hace referencia a la Tabla 8

(5) Este método tiene pocas aplicaciones en este caso y exige introducir en el emparrillado unas características de deformación del tablero a cortante.

TABLA 9 . Rango de aplicación de los métodos de cálculo incluidos en la tabla 8.

En general, el análisis del tablero de un puente se divide en dos partes bien diferenciadas:

1. Análisis global.
2. Análisis local.

En especial, esta división se realiza si se pueden distinguir elementos losas y vigas.

## **1. Análisis global.**

En el análisis global, se obtienen los elementos mecánicos ocasionados por la acción de las cargas sobre los elementos principales de soporte del tablero del puente (vigas longitudinales y transversales).

El cálculo de los elementos mecánicos globales se complica en los puentes por el carácter dinámico de las cargas. Así, por ejemplo, el cálculo de un emparrillado plano que represente Las vigas longitudinales y transversales del tablero requiere de la elaboración de superficies de influencia que determinen Los elementos mecánicos para cada punto del tablero cuando la carga se desplaza sobre cualquier punto del mismo, lo cual es prácticamente imposible sin la ayuda de una computadora electrónica.

La dificultad señalada en el cálculo hizo necesaria, antes de la aparición de las computadoras electrónicas, el desarrollo de métodos aproximados de análisis que simplificaran el cálculo. Esto llevó a la división del análisis global en análisis longitudinal y análisis transversal, división que sigue aplicándose actualmente cuando no se cuenta con un programa de computadora para el análisis integral del tablero.

El análisis longitudinal consiste en la determinación de los esfuerzos producidos a lo largo del puente por su peso propio, por las cargas que actúan sobre él y por el asentamiento diferencial de los apoyos, sin considerar excentricidad de las cargas sobre los elementos longitudinales.

El análisis transversal del tablero consiste en la determinación de los esfuerzos en la sección transversal del mismo, y su repercusión en el sentido longitudinal como resultado de la excentricidad de las cargas: como la carga móvil puede desplazarse transversalmente a lo ancho de los carriles, esto ocasiona que algunas vigas longitudinales se carguen más que otras.

El enlace entre el análisis longitudinal y transversal se realiza a través de los coeficientes de distribución obtenidos en el último análisis.

## **2. Análisis local.**

El análisis local consiste en la determinación de los esfuerzos en la losa de piso inducidos por el contacto de las cargas puntuales con la superficie de rodamiento. Estos esfuerzos son de tipo concentrado y se restringen a una zona de la losa comprendida, en general, entre las vigas longitudinales y las vigas transversales.

En lo que sigue se desarrollan los aspectos correspondientes al análisis Longitudinal y, en forma breve, los correspondientes a los análisis transversal y local; para un estudio más completo de estos últimos consultar la referencia 36.

En el desarrollo siguiente se considera al puente un comportamiento elástico lineal, ya que corresponde, normalmente, al comportamiento de éstos bajo cargas de servicio.

#### **IV.4.2 ANALISIS LONGITUDINAL**

El análisis longitudinal consiste en la determinación de los esfuerzos a lo largo del puente considerando que las cargas no son excéntricas y que la sección transversal permanece horizontal a lo largo del puente.

La primera parte del análisis longitudinal del puente consiste en la determinación de los esfuerzos que produce su peso propio y las cargas o combinaciones de cargas, aplicables al caso, que puedan considerarse estáticas; este análisis se realiza con los métodos comunes de Análisis Estructural.

La segunda parte de este análisis consiste en la determinación de los efectos producidos por la carga viva de camiones: esta carga es móvil y se deberán considerar las posiciones críticas de ésta respecto a varios puntos del puente; esto se hace generalmente mediante las "Líneas de Influencia", que se desarrollan enseguida.

Y la última parte de este análisis consiste en la determinación de los esfuerzos producidos en la estructura como resultado de los asentamientos diferenciales de los apoyos, aspecto que será tratado más adelante.

## **BREVE SEMBLANZA DE LA HISTORIA DE LOS PUENTES.**

Por miles de años el hombre ha podido salvar espacios infranqueables - ríos, desfiladeros y barrancos - gracias a los diferentes tipos de puentes. Algunas ciudades no pueden concebirse sin sus puentes : El Cairo, Londres, Moscú, Nueva York, Sydney, México, y muchas otras. Los puentes tienen efectivamente una larga historia.

Hace más de dos mil quinientos años, la reina Nitócris de Babilonia mandó construir un puente sobre el río Eufrates. Con maderos, ladrillos cocidos y bloques de piedra como materiales de construcción, hierro y plomo como argamasa, Nitócris levantó un puente sobre uno de los ríos más famosos de la antigüedad.

Los puentes han influido en el curso de la historia. Cuando el rey Darío el Grande de Persis emprendió su campaña militar contra los escitas, quiso tomar la ruta terrestre más rápida posible desde Asia hasta Europa, lo que implicaba conducir a su ejército de 600,000 hombres a través del estrecho de Bósforo. Era peligroso cruzarlo en barca debido a la espesa niebla y las corrientes traicioneras, de modo que Darío construyó un puente flotante de 900 m de longitud enlazando barcas en cadena. Hoy en día ese cruce tarda dos minutos en recorrerse por automóvil, usando los puentes que hay en Estambul, hoy Turquía.

En tiempos bíblicos, fue cuando el rey Nabucodonosor de Babilonia sitió la ciudad insular de Tiro. Durante trece años intentó conquistarla. La ciudad sería tomada hasta trescientos años después cuando Alejandro Magno construyó un terraplén desde la costa hasta la isla.

En el siglo I, todos los caminos llevan a Roma, pero los romanos necesitaban puentes así como caminos, para mantener la cohesión del imperio. Valiéndose de rocas de hasta ocho toneladas, los ingenieros romanos edificaron puentes de arco también diseñados que algunos todavía permanecen hoy en día. Los mismos acueductos y viaductos también eran puentes en realidad.

En la edad Media, los puentes sirvieron a veces de fortalezas. En el año 944, los sajones construyeron en Londres un puente de madera sobre el río Támesis para protegerse de un ataque de los daneses. Casi tres siglos después fue reemplazado por el antiguo puente de Londres, recordando en las páginas de la historia y en cantos infantiles. Cuando la reina Isabel I ascendió al trono de Inglaterra, el puente de Londres se había convertido en uno de los centros de la vida social urbana, ya que se cobraba por el paso de personas y mercancías.

En el continente americano, los Incas los hacían con cuerdas. El puente de San Luis Rey sobre el río peruano Apurímac. Los Incas fabricaron cables del grosor de una persona retorciendo juntas las fibras de cierta planta, los apoyaron sobre pilares de piedra y los tendieron por encima del río. Después de asegurarlos por sus extremos, suspendieron una plataforma de tabloncillos por la que se podía transitar. Había equipos de mantenimiento que reemplazaban los cables cada dos años. También construido y mantenido el puente duró quinientos años.

El caso particular de México, antiguo, los nómadas que cruzaron el Estrecho de Bering fortuitamente emplearon puentes naturales, surgiendo el puente de arco : es decir, por un agujero practicado accidentalmente en una cortina de enrocamiento natural, el puente colgante

aprovechando las lianas enlazadas en los grandes árboles de bosques y selvas y el puente de vigas formado por un tronco atravesado sobre el obstáculo.

La llegada de los conquistadores españoles los hizo observar verdaderos alardes técnicos en los caminos de terracería que comunicaban las periferias del lago hacia la gran ciudad de Tenochtitlan. En el cruce de los canales con las calzadas y diques había puentes de madera con estacas a manera de pilotes para afianzar los terraplenes de las calzadas y soportar las vigas o troncos de árbol que soportaban el paso de peatones, y el paso del agua por debajo de la estructura. Obras atribuidas al Rey Chimalpopoca, tercer Monarca de los Aztecas.

Aunque no se conocía el arco como sistema estructural que permite la utilización de la piedra trabajando exclusivamente a compresión para salvar los claros. El arco maya conocido como “arco falso” representa la máxima aproximación de los pueblos americanos al arco romano.

Durante la época virreinal destaca el establecimiento de comunicaciones para explotar las minas, la agricultura, abastecimiento y defensa de las nuevas ciudades. Dispersas en vastísimos territorios. Con la técnica del arco no sólo se construyeron puentes, también acueductos. Uno de los más notables concluido en 1735 es el localizado en la ciudad de Querétaro, obra de Juan Antonio de Urrutia y Aranas. El puente de La Venta obra del arq. Pedro de Arrieta de acceso a la ciudad de San Juan del Río y concluido en febrero de 1710. Uno más es el puente sobre el río La Laja en Celaya concluido en 1809 obra del arq. Tres Guerras.

Las condiciones de “guerra civil” durante el México Independiente limitó de sobre manera la construcción de puentes. Consolidada la República en 1867, es el Presidente Benito Juárez quien asigna fondos federales para la construcción y conservación de carreteras continuando con la tradición de puentes de cantera. Uno de esos puentes es el de Lagos de Moreno concluido en 1857 formado por cuatro arcos de 16m de claro y 5m de flecha y cuya anécdota dice: “Este puente se hizo en Lagos y se pasa por arriba”.

Fue hasta 1837 cuando se dio la primera concesión para la construcción de la vía de ferrocarril de México - Veracruz. Durante el régimen de Maximiliano los primeros 140KM. de vía se consesionaron a una empresa inglesa entre México - Apizaco. La conclusión de la vía se dio hasta el 1 de enero de 1873.

Con la intervención de la locomotora de vapor se dio ímpetu a la proyección y construcción de puentes. Las rutas más convincentes para el ferrocarril por lo general atravesaban amplios canales y profundos desfiladeros. Los puentes de hierro fundido satisficieron la necesidad por un tiempo más espectaculares del siglo XIX es el puente colgante del estrecho de Menai, en el norte de País de Gales, proyectado por el ingeniero escocés Thomas Telford y terminado en 1826; con una longitud de 176m y todavía en uso. A finales del siglo XIX empezó a fabricarse el acero, material de propiedades idóneas para la construcción de puentes más largos y seguros.

De vuelta en México. Estos puentes “modernos” se diseñaban con los conocimientos de resistencia de materiales y de cálculo estructural : puentes de ingeniería. Se diseñaban por tanteos a escala natural con puentes provisionales de madera que daban a los ingenieros el éxito o cambio del puente. El acero en esta época permitió construir puentes de armadura o

tipo viaducto, en los que los elementos estructurales trabajan a esfuerzos directos de compresión o tensión y ocasionalmente sollicitaciones por flexión. Para el siglo XIX el puente ferroviario más famoso es el de la Barranca de Metlac (plasmado en un lienzo por José María Velasco) ; a fines de ese siglo, uno de los primeros puentes “carreteros” es el puente colgante sobre el río Grijalva cerca de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Otro es el puente Tasquillo en el estado de Hidalgo.

Ya en pleno siglo XX con la recién creada Comisión Nacional de Caminos en 1925, y en especial las carreteras México - Toluca, México - Puebla Y México - Cuernavaca. Dieron sitio al esfuerzo estoico para adaptarse, asimilarse y comprender el proceso de diseño de un proyecto carretero realizado por los ingenieros mexicanos. Hacia 1930 es el puente Tasquillo en la carretera México - Laredo uno de los más notables.

Con la “independencia” tecnológica del país los puentes de concreto reforzado se vuelven factibles al tener laboratorios de prueba para concretos de mayor resistencia, y del desarrollo de las siderúrgicas para proporcionar los aceros. En 1954 el Puente Belisario Domínguez viene a sustituir al puente sobre el río Grijalva. De 1953 el puente Zaragoza sobre el río Catarina en la ciudad de Monterrey, obra exclusiva de mexicanos; el puente sobre el río Tuxpan, Veracruz empleando el método de dovelas. El puente del río Coatzacoalcos de vigas prefabricadas presforzadas comprende vía carretera y de ferrocarril y con casi mil metros de longitud. El puente Chinipas de armadura de tres tramos y uniones remachadas y soldadas del ferrocarril Chihuahua - Pacífico. El puente Tuxtepec con presfuerzo exterior. Con losas de concreto sobre traveses de acero soldadas y presforzadas. Los puentes Fernando Espinosa y Mariano García Sela con sistema de piso de placa ortrópica.

La realización de estudios geotécnicos para puentes inició a mediados de los 40's con la construcción de puentes de Ferrocarril del Sureste. El uso de cilindros hincados por el método del pozo indio donde circundaba el agua se empleó en el puente Martínez de la Torre, Veracruz. De los puentes atirantados Antonio Dovalí Jaime y el Tampico, destacan sus cimentaciones; en el primero se utilizaron pilas de cimentación de gran diámetro y en el segundo se hincó un cilindro elíptico de 13m de diámetro mayor a 60m de profundidad dimensiones récords para cimientos en México.

En los 80's y 90's destacan : el puente ferroviario Metlac con sistema de dovelas en doble voladizo con longitud de 430m y altura de pilas de 130m. En la carretera entre Guadalajara y Colima están los puentes Barranca y el viaducto Piella del sistema Javier Barrio Sierra. De la vía férrea México - Querétaro son el viaducto Tula y el puente Tula, con longitudes de 616m y 839m en ambas partes. El puente la Marquesa en la carretera México - Toluca, estructura de dos cuerpos ya que se localiza en una curva horizontal. Otros puentes atirantados son el Antonio Dovalí Jaime de la carretera costera del Golfo con 1170m y claro de 698m compuesto de siete claros y una altura de 99m. El puente Tampico sobre el río Panuco cuyo claro máximo es de 360m y la porción central es un cajón metálico ortrópico de 293.5m longitud construidos con el sistema de doble voladizo. Uno de los más recientes corresponde a la autopista del Sol y es el puente Solidaridad.



## PRESENTACION PARA EL CURSO DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

**Tema:** Etapa de Construcción de Centrales Termoeléctricas.

### INDICE

#### □ Programación

- Programa de Conceptos Principales
- Programa de Fechas Clave
- Programa General de Ingeniería
- Programa General de Construcción

#### □ Recursos Humanos y Materiales

- Programa de recursos humanos
- Programa de utilización de maquinaria y equipo

#### □ Procedimientos Constructivos (obra civil y mecánica)

- Objetivo de los procedimientos

#### Obra civil

- Topografía
- Desmonte
- Terracerías
- Concreto
  - Fabricación de concreto en sitio
  - Fabricación de concreto en planta
  - Colocación de concreto
- Habilitado y colocación de cimbra y obra falsa
- Almacenamiento, habilitado y colocación de acero de refuerzo
- Drenajes, trincheras y ductos
- Albañilería y acabados para edificios
  - Cimientos
  - Muros
  - Pisos
  - Plafones
  - Terminado en cubiertas
  - Detalles complementarios de albañilería
- Herrería
- Cancelería de aluminio para puertas ventanas y cancelas
- Carpintería
- Cerrajería
- Vidrios y Cristales
- Instalación de drenaje pluvial en edificios
- Urbanización

- Fabricación y montaje de estructuras de acero
- Fabricación y montaje de tanques armados en campo
  - Armado del tanque en campo
  - Armado del fondo
  - Armado del cuerpo o casco del tanque
  - Tolerancias adicionales de manufactura y montaje
  - Métodos para la inspección de uniones soldadas
- Suministro, habilitado y colocación de techos y muros de lamina en edificios
- Construcción de cercas con malla ciclónica y rodapie de concreto armado
- Perforación de pozos
- Construcción de la mesa para el turbogenerador
- Asentamientos y cambios de posición de estructuras de acero y de concreto
- Suministro y colocación de grout
- Construcción de pilas de grava o columnas de piedra a base de vibrosustitución
- Pilotes de vibroconcreto
- Suministro y colocación de geomembrana y geotextil (membrana impermeable)

### **Obra Mecánica**

- Montaje, alineación, nivelación y balanceo de equipo mecánico
  - Turbinas de vapor y gas
  - Bombas de agua de alimentación
  - Bombas de agua de circulación
- Montaje, alineación y nivelación de los generadores de vapor e intercambiadores de calor
- Montaje, alineación y nivelación de tuberías, válvulas y accesorios de alta y baja presión
- Montaje de tanques armados en campo
- Ensayos no destructivos
  - Líquidos penetrantes
  - Radiografía
  - Ultrasonido
  - Partículas magnéticas
  - Caja de vacío
- Procesos de soldadura
  - Calificación de procedimientos
  - Calificación de personal
  - Calificación de equipo para soldar
  - Soldaduras alta presión (Código ASME y B31)
  - Soldaduras estructurales (Código AWS)
- Inspección a la recepción de equipo mecánico
  - Inspección visual
- Inspección de soldadura
  - Antes de la soldadura
  - Durante la soldadura
  - Después de la soldadura
- Pruebas de construcción
- Pruebas hidrostáticas y neumáticas de tuberías, válvulas, accesorios, tanques y equipos
- Recubrimientos anticorrosivos
- Conexiones en estructuras
  - Remachadas
  - Soldadas
  - Atornilladas

- Almacenamiento de equipo mecánico
  - Equipos mecánicos en nivel A
  - Equipos mecánicos en nivel B
  - Equipos mecánicos en nivel C
  - Equipos mecánicos en nivel D
- Limpieza de tuberías
  - Soplado de tuberías con vapor
  - Limpieza con aceite

**Nota:** Se presentará de manera ilustrativa un procedimiento constructivo de obra civil.

- El Aseguramiento de Calidad durante la Etapa de Construcción
  - Importancia del aseguramiento de calidad en las centrales termoeléctricas
  - Beneficios de la implantación del sistema de aseguramiento de calidad
  - Normativa aplicable al aseguramiento de calidad
  - Plan de calidad para la construcción
- La Supervisión de Construcción
  - Objetivo
  - El plan de calidad
  - El alcance de la supervisión
  - Las herramientas para la supervisión
  - Beneficios
- El Impacto Ambiental durante la Etapa de Construcción
  - Legislación
  - La manifestación de impacto ambiental
  - El estudio de riesgo
  - La autorización del proyecto
  - Medidas de mitigación

## **CONSTRUCCION DE LA MESA PARA EL TURBOGENERADOR**

### **Objetivo.**

Establecer los métodos que se deben seguir para revisar y efectuar los trabajos necesarios para, la construcción de la Mesa para Turbogeneradores.

### **Alcance.**

Este procedimiento se aplicará para la construcción de la mesa para turbogenerador de centrales termoeléctricas.

En este se comprenden los trabajos que corresponden a la obra falsa, cimbra, acero de refuerzo, embebidos y huecos, así como los requerimientos de recursos, la estrategia y la ejecución del colado.

### **Procedimiento.**

#### **Condiciones iniciales.**

El relleno de terracería en el cual se desplantará la obra falsa, deberá estar formado en capas con un grado de compactación del 95% Prueba Procto.

Las columnas de la mesa deben estar construidas hasta el nivel de fondo de las traveses correspondientes.

#### **Obra falsa.**

La obra falsa se construirá con andamios metálicos tubulares de alta resistencia, se apoyarán en su desplante contra el suelo sobre durmientes de madera.

Se utilizarán contraventeos normales entre los andamios, pero cuando la separación entre estos sea mayor a la de su alcance, se utilizarán contraventeos de varilla No. 8, amarrados a garrote con alambres a los tubos del andamio.

En la parte superior de los andamios, en cada puntal se colocarán gatos de ajustes, en estos se colocarán vigas metálicas o de madera en el sentido perpendicular al eje, de las traveses para recibir la cimbra de fondo.

Tolerancias El desplome máximo permitido será de 2 cm.

#### **Cimbra de fondo.**

Se formará colocando sobre las vigas perpendiculares el eje de las traveses, paneles de madera para acabado aparente, calafateando todas las uniones entre ellas para conservar su estanqueidad.

#### **Tolerancias.**

El nivel de la cara superior será el de proyecto + 1.0 cm. en 6.0 m, los niveles se verificarán mediante un levantamiento topográfico.

### **Acero de Refuerzo.**

Se colocará de acuerdo a las posiciones, formas, dimensiones y cantidades que se indiquen en los planos de Ingeniería Básica y de Detalle.

Los sobrantes del alambre de amarre se orientarán hacia la cimbra de fondo, los dobleces de las varillas se harán conforme a los radios que especifica el reglamento del ACI.

En el caso de que existan interferencias de varillas con huecos o piezas embebidas, se hará lo siguiente:

- La varillas se doblará en relación 6:1 para evitar la interferencia.
- De no ser posible lo anterior se cortará añadiendo el gancho estándar para su diámetro que marca el ACI.

### **Recubrimientos.**

Los recubrimientos de concreto sobre el acero de refuerzo serán los indicados en los planos de diseño o los mínimos siguientes:

Concreto colado en contacto con el suelo 7.5 cm. y permanentemente expuestos a él  
Concreto expuesto directamente a la intemperie:

<b>Varilla del # 6 al # 18</b>	5 cm
Varillas del # 5 y menores	4 cm
Concreto no expuesto directamente a la intemperie ni en contacto con el suelo: Losas.	
Varillas del 14 y # 18	4 cm
Varillas del 11 y menores	2 cm

### **Tolerancias.**

Las tolerancias para la colocación del acero de refuerzo estarán de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 7.5 del Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (ACI-318-83).

Una vez que esté terminado el armado, el Contratista deberá notificarlo a Comisión para que ésta proceda a su revisión y aprobación, con anticipación de 3 días y una hora antes del inicio.

### **Acabados y Curados.**

Las superficies del concreto que se lleven al nivel de terminación serán acabadas con llana de madera.

Posteriormente se colocará una capa de arena húmeda de 5 cm para proteger la superficie y a la vez curarla contra el secado rápido.

### **Cimbra lateral.**

Esta se formará colocando paneles de madera para acabado aparente, calafateando, las uniones entre ellos, para conservar la estanqueidad.

La superficie de la cimbra que estará en contacto con el concreto se deberá curar con aceite mineral limpio.

Se dejarán huecos a ventanas para inspección, limpieza, colocación de concreto y vibrado.

El troquelamiento de la cimbra se hará con elementos metálicos resistentes que garanticen la rigidez de la cimbra. Se podrá utilizar varilla corrugada, dejando camisas de poliducto para facilitar su retiro.

Las referencias para los niveles de terminación de concreto, se colocarán a cada 2.0 m en tramos rectos y en cada cambio de dirección.

### **Tolerancias.**

Se aceptarán como máximo desviaciones de:

- 5mm en 6.0 m en niveles y 6 mm en 6.0 m en alineamiento.
- 6mm en la dimensión de los elementos estructurales.

La verificación se hará mediante un levantamiento topográfico cuyos datos se anotarán en los formatos No. 3 y 4 anexos, respectivamente.

### **Preparación de la junta en las Columnas.**

Se removerá la costra de lechada superficial del concreto y todo el agregado y material suelto mediante el escarificado y sopleteado en la superficie de las columnas.

Posteriormente se lavará con chorro de agua-aire para sacar todo el producto del escarificado.

### **Estructura para soporte de la plantilla de anclas.**

En la parte superior de las columnas de concreto se dejarán ahogadas unas placas de acero, en las cuales se soldarán las columnas metálicas que soportan la estructura base del templete de las anclas.

Tanto las placas como las columnas serán de la calidad, forma y dimensiones que se indiquen en el diseño.

La colocación de las columnas metálicas deberá ser a plomo. (No hay tolerancias).

La estructura para soporte del templete debe ser rígida y su diseño deberá considerar esta condición.

Para evitar el desplazamiento lateral de la estructura a las columnas metálicas se les colocarán contravientos en las partes inferior y superior.

Se verificará su colocación mediante un levantamiento topográfico.

Esta capa de arena, se mantendrá húmeda durante 7 días las 24 horas del día de manera ininterrumpida, aún los fines de semana y/o días festivos. Al retirar la cimbra de los costados y, el fondo de las, trabes, se aplicará inmediatamente una película de membrana emulsionado para evitar la pérdida de agua en el concreto fresco. Previo a la colocación de la membrana, deberá humedecerse la superficie por curar.

## Coordinación de Proyectos Termoeléctricos

Gerencia de Construcción

Supervisión de Construcción de Proyectos Paquete

## Objetivo de la Presentación

- Dar a conocer el sistema de supervisión de construcción implantado por las Residencias de Obra y aplicado a contratos tipo Construir-Arrendar Transferir (CAT), Productor Externo de Energía (PEE) y Prestación de Servicios (CPS).

## Supervisión de Construcción

- **Objetivo:** Verificar, mediante un sistema de aseguramiento de calidad, el cumplimiento de los requisitos establecidos en el contrato durante toda la etapa de construcción del proyecto.

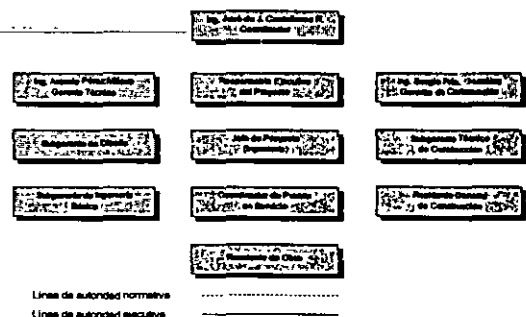
## Sistema de Aseguramiento de Calidad de la CPT

- Desarrollado con base en la Norma NMX-CC-003 equivalente a ISO 9001.
- **Alcance:** Proyectos CAT, PEE y CPS.

## Estructura Documental del Sistema de Aseguramiento de Calidad de la CPT

- **Nivel 1:** Manual de Aseguramiento de Calidad.
- **Nivel 2:** Procedimientos de Gestión.
- **Nivel 3:** Procedimientos Operativos, Estándares e Instructivos de Trabajo.

## Estructura Organizacional de la CPT





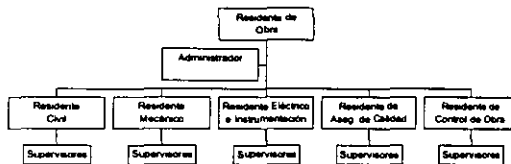
## Estructura Documental del Sistema de Calidad de una Residencia de Obra

- Nivel 1: Plan de Calidad para la Supervisión de Construcción.
- Nivel 2: Manual de Procedimientos Operativos, Estándares e Instructivos de Trabajo.

## Supervisión de Construcción

- Plan de Calidad para la Supervisión de Construcción.
  - Estructura Organizativa.
    - Define la estructura necesaria según el tipo de proyecto.
  - Alcance de la Supervisión.
    - Define los procesos constructivos a supervisar.
  - Herramientas de Supervisión.
    - Define qué herramientas de supervisión se aplicarán para cada proceso.

## Estructura Organizacional de la Residencia de Obra



## Alcance de la Supervisión

- Definido directamente por la Residencia de la Obra en función:
  - De la modalidad de contratación (CAT, PEE, CPS).
  - Del tipo de proyecto.
  - De la identificación de los principales procesos.

## Herramientas de Supervisión

- Auditorías de calidad periódicas al proceso de construcción.
- Vigilancia programada a los procesos de construcción.
- Supervisión continua de los procesos de construcción (Inspección Visual).

## Auditorías de Calidad

- Revisión de la implantación efectiva del sistema del aseguramiento de calidad
  - Con base en ISO 10011, procedimiento de la CPT y con personal calificado (Auditores).
    - Preparación (Notificación).
    - Realización (Identificación de No Conformidades en formatos de Solicitud de Acción Correctiva, en su caso).
    - Informe.
    - Seguimiento y Cierre.

## Vigilancias

- Definición de la vigilancia
  - Una revisión, observación ó medición para determinar el cumplimiento de los materiales, suministros, partes, componentes, sistemas, procesos o estructuras con los requisitos de calidad predeterminados.

## Vigilancias

- Con base en un procedimiento.
- De acuerdo con un programa periódico.
- Se documentarán Cartas Preventivas.
- Se identificarán Solicitudes de Acción Correctiva.

## Supervisión Continua

- Inspección visual de los procesos y métodos de construcción.
- Se documentarán Cartas Preventivas y Solicitudes de Acción Correctiva, según aplique.

## Carta Preventiva

- Documento que identifica condiciones en los procesos constructivos que de no atenderse, podrían originar una No Conformidad.

## Solicitud de Acción Correctiva

- Documento que identifica No Conformidades en los procesos constructivos o en sus resultados con respecto al sistema de aseguramiento de calidad y los requisitos técnicos especificados; y que requieren de la Sociedad la toma e implantación de Acciones Correctivas.

## Bitácora de Solicitudes de Acción Correctiva

- La Residencia de Obra llevará una bitácora de todas las Solicitudes de Acción Correctiva emitidas durante la construcción del proyecto para garantizar el correcto y oportuno cierre de las mismas previo a la puesta en operación de las instalaciones.

### **Beneficios de la Supervisión de Construcción a través de la Residencia de Obra**

- Representa una participación activa y constante en la prevención de posibles problemas en beneficio de la calidad, oportunidad y seguridad del proyecto.
- Detección oportuna de desviaciones y problemas en todo el proceso constructivo.
- Enlace de comunicación entre la Comisión y la Sociedad en el sitio de la obra.

### **Atención de Solicitudes de Acción Correctiva por parte de la Sociedad**

- En estricto apego a lo estipulado en el contrato.



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

**DIPLOMADO EN "GERENCIA DE PROYECTOS"  
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo IV "Construcción"  
Del 22 al 24 de Julio

**"ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELECTRICAS"**

Ing. Refugio López Pardo  
Ing. Miguel Soto Trejo  
Ing. Victor Cepeda Cárdenas  
Ing. Marco Antonio Ocampo S.  
Ing. Eduardo González  
Palacio de Minería, México 1999

# **ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS**

JULIO DE 1999

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## INTRODUCCION.

La Comisión Federal de Electricidad tiene como objetivo el generar y suministrar al menor costo posible la energía necesaria para satisfacer los requerimientos de una demanda creciente de electricidad.

En los últimos años, la capacidad instalada a pasado de 12092 MW en 1977 a 34791 MW en 1996, lo que representa un crecimiento del más del 187%.

Dadas las condiciones geográficas del país, casi el 52 % de la electricidad es producida por centrales cuyo combustible es a base de hidrocarburos, por lo que el presente trabajo se enfoca únicamente a este tipo de centrales.

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## 1.- CENTRALES TERMOELÉCTRICAS.

Enfocamos nuestra atención a un tipo de Centrales de Generación, que por su número y capacidad, son muy importantes en el sistema eléctrico de nuestro país: Las Centrales Termoeléctricas (CT).

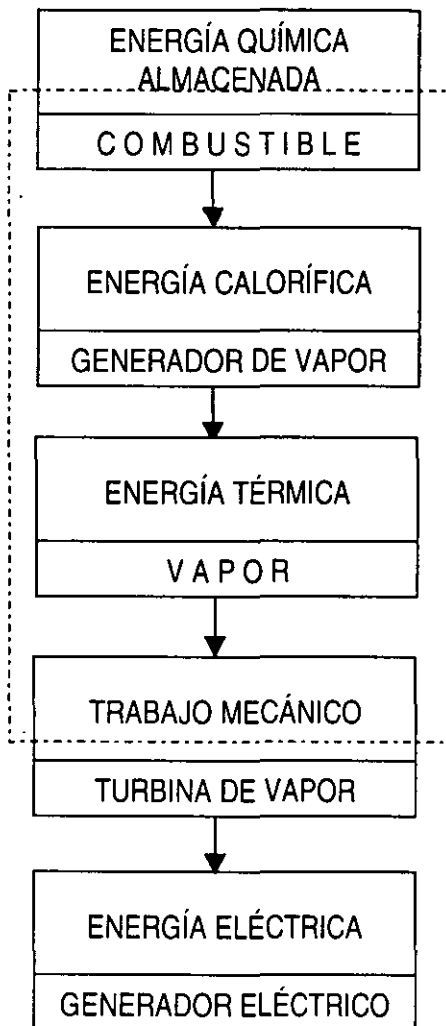


Figura 1.- Transformación de Energía en una Central Termoeléctrica

Analizando la figura anterior, las transformaciones de energía que se efectúan en este tipo de centrales, son las siguientes:

■ La fuente de energía disponible es un combustible (combustible pesado, gas, diesel, carbón, etc.). La energía se encuentra almacenada en el combustible según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química que en este caso es la combustión.

■ Al producirse la combustión, ya se tiene la primera transformación de energía, es decir, que la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) en la flama y en los gases calientes producto de la combustión. La combustión se realiza en el hogar de un generador de vapor.

■ Si la energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor, ya se tiene otra transformación de energía. Los gases ceden parte de su energía al vapor, teniéndose ahora vapor con mayor energía que llamaremos térmica. (Para diferenciar el término de energía calorífica asignado a los gases calientes).

■ La energía del vapor se transforma en Trabajo Mecánico en una turbina de vapor con lo que se tiene otra transformación de energía.

■ Finalmente, si la turbina está acoplada mecánicamente a un generador eléctrico, se tiene la última transformación de la energía y se llega al objetivo: La Producción de Energía Eléctrica.

Todas las transformaciones de energía citadas se efectúan dentro de una Central Termoeléctrica, que cuenta con el equipo para realizarlas.

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## 1.1.- EQUIPO PRINCIPAL DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.

Todo el equipo de una Central Termoeléctrica es importante, pero de acuerdo a su participación directa en la obtención del objetivo, así como por su tamaño y costo, se clasifica a los siguientes equipos como principales (figura 2):

- a) Generador de Vapor
- b) Turbina
- c) Condensador
- d) Generador Eléctrico.

## 1.2.- EQUIPO AUXILIAR DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.

Al resto del equipo que participa directa o indirectamente en la obtención del objetivo (producción de energía eléctrica) se le clasifica como Equipo Auxiliar.

Existe una gran variedad de Equipo Auxiliar, entre los que citamos:

- a) bombas
- b) ventiladores
- c) extractores
- d) calentadores
- e) enfriadores
- f) compresores
- g) eyectores
- h) deareador
- i) tanques

## 3.- SISTEMAS DE FLUJO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.

Se le llama Sistema de Flujo o simplemente "Sistema" a un conjunto formado por equipo y tuberías que manejan un fluido determinado, pudiendo ser, agua destilada, de mar, de enfriamiento, vapor, gases, combustible, o cualquier otro requerido en la Central, y son sistemas abiertos o cerrados.

Los equipos principales y los auxiliares se integran para formar parte de los sistemas de flujo.

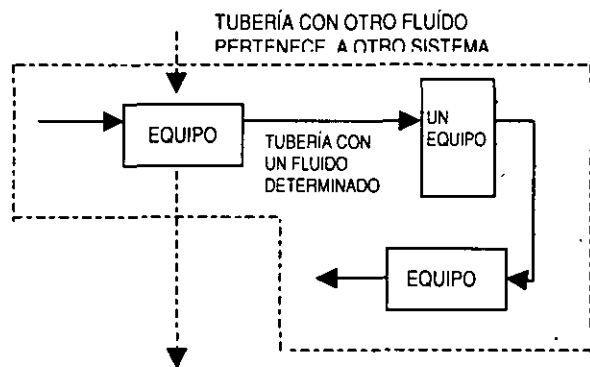


Figura 3.- Tuberías y equipo que forman un sistema.

Un mismo equipo puede pertenecer a varios sistemas, por ejemplo, el generador de vapor pertenece al sistema de aire-gases de combustión, al sistema de combustible, al de vaporización y sobrecalentamiento y a otros más.

Según las necesidades de cada Central en particular, pueden tenerse diversos sistemas.



# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Entre los principales sistemas están:

1. Condensado
2. Agua alimentación
3. Vaporización y sobrecalentamiento (agua-vapor generador -vapor).
4. Vapor principal
5. Vapor auxiliar
6. Extracciones y drenajes
7. Combustible
8. Aire y gases combustión
9. Aceite lubricación y control
10. Aceite sellos
11. Sellos de vapor
12. Gases  $N_2$ ,  $CO_2$  y  $H_2$
13. Enfriamiento principal
14. Enfriamiento auxiliar
15. Tratamiento agua repuesto
16. Dosificación e inyección de químicos
17. Análisis y muestreo
18. Agua de repuesto
19. Agua contra incendio
20. Agua de servicios
21. Aire de servicio
22. Aire de instrumentos
23. Lubricación equipo auxiliar
24. Agua de mar

## I.4.- DIAGRAMA GENERAL DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.

En la figura 4 se presenta un diagrama general de una Central Termoeléctrica incluyendo los sistemas principales y los equipos que los conforman. Este diagrama es solo representativo de una central termoeléctrica típica y puede tener variaciones según cada central real en particular.

## I.5.- COMPONENTES PRINCIPALES:

### - GENERADOR DE VAPOR

1. Economizador
2. Domo
3. Bajantes
4. Bombas circulación controlada
5. Domo inferior o cabezales
6. Tubos de generación
7. Tubos elevadores
8. Dispositivo de separación agua-vapor en el domo
9. Sobrecalentador (primario, secundario, etc.)
10. Recalentador

### - TURBINA

11. Turbina alta presión y primer paso
12. Turbina presión intermedia (1 + 2)
13. Turbina baja presión
14. Turbina baja presión
15. Escape

### - SISTEMA DE EXTRACCIONES

- E7. Extracción a calentador 7
- E6. Extracción a calentador 6
- E5. Extracción a calentador 5
- E4. Extracción a calentador 4
- E3. Extracción a calentador 3
- E2. Extracción a calentador 2
- E1. Extracción a calentador 1

### - CONDENSADOR Y SISTEMA DE CONDENSADO.

16. Condensador
17. Pozo caliente
18. Bombas de condensado
19. Eyectores
20. Calentador baja presión 1
21. Calentador baja presión 2
22. Calentador baja presión 3
23. Calentador baja presión 4
24. Deareador (calentador) 5

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## - SISTEMA AGUA ALIMENTACIÓN

25. Bombas agua alimentación
26. Calentador alta presión 6
27. Calentador alta presión 7

## 1.6.- CRITERIOS GENERALES

### **Condiciones de diseño.**

Los parámetros de diseño de una Central Termoeléctrica Convencional dependerá de varios factores, destacando los siguientes:

#### **a.- Sitio**

Las condiciones del sitio serán determinantes en los parámetros de diseño. Un sitio lejos de una fuente abundante de agua (mar o río), definirá el tipo del sistema de enfriamiento principal. Pudiendo ser sistema cerrado húmedo (torre de enfriamiento) o sistema cerrado seco (aerocondensador). Las presiones de vacío de la turbina de vapor se ve afectada directamente por el tipo de sistema seleccionado (desde 3 pulgadas de mercurio hasta 7), lo cual debe tenerse presente para satisfacer la demanda requerida en la región.

#### **b.- Combustible**

El tipo de combustible a utilizar (gas natural, combustóleo, carbón) determinará el tipo de generador de vapor (dimensiones) así como los diferentes sistemas que se deben considerar para su almacenamiento, tratamiento, suministro y reducción de emisiones contaminantes.

#### **c.- Ciclo Térmico**

La selección de la presión y temperatura a la entrada de la turbina, 12.41 MPa y 538°C/538°C para unidades de 160 MW, y de 16.55 MPa y 538°C/538°C para

unidades de 350 MW, se realiza conjugando diversos factores, tales como capacidad requerida en la región, el acceso de la planta industrial del País a la tecnología existente, evitar una operación demasiado compleja, experiencia operativa a nivel mundial, entre otros. En este marco se evalúan los distintos ciclos térmicos "Rankine", optándose por el de una etapa de recalentamiento y calentamiento regenerativo, dos pasos en alta presión y 4 o 5 en baja presión, con el objeto de alcanzar, dentro de las mejores condiciones de operación y mantenimiento, la temperatura óptima del agua de alimentación al generador de vapor.

En consecuencia, se establece un sistema de dos calentadores de alta presión, un desgasificador y 3 o 4 calentadores de baja presión.

## II.- BREVE DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS PRINCIPALES

### II.1. SISTEMAS DE VAPOR SOBRECALENTADO, Y VAPOR RECALENTADO

El sistema de vapor sobrecalentado, recalentado y vapor al recalentador, en cada caso, se conduce a través de dos líneas en unidades de 350 MW y de una línea en 160 MW. Cuando el vapor es conducido por dos líneas se cuenta con una interconexión para nivelar las presiones.

Del vapor al recalentador, se obtiene la extracción al calentador No. 7 en 350 MW, y al No. 6 EN 160 MW; de la turbina de presión intermedia se obtiene la extracción al calentador No. 6 y al desgasificador para

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

350 MW, y al No. 5 y al desgasificador en 160 Mw; de la turbina de baja presión a los calentadores del 1 – 4 en 350 MW y del 1 – 3 en las de 160 MW.

## II.2. SISTEMA DE CONDENSADO.

Este sistema comprende del vapor de escape de la turbina, cuyo condensado se lleva hasta el desgasificador; así como, el almacenamiento y suministro de agua de repuesto al ciclo y el servicio para sellos, enfriamiento y atemperación a los componentes de este y otros sistemas según corresponda.

El sistema tiene unidades pulidoras de condensado integradas, que eliminan al máximo los arrastres de fierro y otros elementos, aumentando la disponibilidad y confiabilidad del generador de vapor.

Las bombas de condensado son dos, cada una de 100% de capacidad, para mantenerse una en operación y la otra de respaldo.

El sistema se diseña en base a los valores del balance térmico al 100% de carga con servicios dejando márgenes de previsión de contingencias operativas y envejecimiento del equipo. Para el manejo del flujo continuo se prevén casos de contaminación por fuga de agua de circulación y el aseguramiento del control de agua de repuesto del ciclo. Se prevé también la derivación de calentadores y otros equipos que requieran salir de operación por fallas.

Cada unidad cuenta con un tanque de condensado, cuyo volumen neto satisface los requerimientos de 24 horas, reponiendo un 2.5% del flujo al generador de vapor, cuando éste opera al 100% de su capacidad.

## II.3. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.

La función principal de este sistema es el suministro de agua al generador de vapor en las condiciones de presión y temperatura que establece el Balance Térmico, mediante un precalentamiento al paso por dos calentadores de alta presión. La succión de agua del tanque de almacenamiento del desgasificador se lleva a cabo mediante dos bombas en paralelo cada una al 50% y una tercera de respaldo.

El tanque de almacenamiento del desgasificador tiene una elevación suficiente para cubrir la carga neta positiva de succión (CNPS) requerida por las bombas en condiciones extremas.

El gasto de agua al generador de vapor se cubre con las bombas de alimentación cuyo flujo lo regula un variador de velocidad, según sea la señal del nivel de demanda que reciba el domo. La velocidad variable permite ahorros de energía y evita sobreesfuerzos, en caso de condiciones operativas desfavorables.

Los calentadores de alta presión, números 5 y 6 en 160 MW y 6 y 7 en 350 MW tienen válvulas motorizadas para aislamiento y derivación. Así, en caso de ruptura de tubos en el último calentador este se deriva quedando fuera de servicio. Si la falla ocurre en el penúltimo, la protección operará para ambos.

El agua de atemperación para el control de temperatura del vapor sobrecalentado se toma del cabezal de descarga de las bombas y de un paso intermedio para el vapor recalentado.

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## II.4. SISTEMAS DE AGUA DE CIRCULACION.

Básicamente existen dos sistemas de agua de circulación en un planta termoeléctrica, que son:

- Sistema de circuito abierto
- Sistema de circuito cerrado.

### II.4.1. Sistema de circuito abierto.

El sistema de circuito abierto se compone básicamente de un condensador, bombas de agua de circulación, tubería de conducción y obra de toma.

En este sistema el agua fresca es tomada por las bombas de circulación y conducida por las tuberías al condensador, donde absorbe el calor latente de vaporización del vapor de escape de la turbina y finalmente es conducida hasta su fuente natural donde es eliminada.

Este sistema es empleado en plantas de potencia localizadas cerca de fuentes naturales de agua (ríos, lagos y mares). Las ventajas de este sistema es que no se emplean torres de enfriamiento, ni plantas de tratamiento de agua de repuesto, ocasionando un ahorro en la inversión inicial y en la operación de los equipos.

Para la circulación del agua de enfriamiento del condensador de vapor se requieren dos bombas verticales del 50 % de capacidad, cada una con su propio sistema de tubería hasta el condensador. En los sistemas abiertos, después del condensador, la conducción se efectúa mediante una tubería común y, en los sistemas cerrados, con una tubería por cada bomba. Las bombas se localizarán en cárcamos independientes que

quedarán aislados, mediante un sistema de compuertas, para evitar la salida de todo el sistema durante los trabajos de mantenimiento.

Por la diversidad de condiciones que se presentan en los sitios en donde se instalan los sistemas abiertos (mar, ríos, lagos, etc.), el sistema de acondicionamiento de agua consta de equipos opcionales que respondan a las necesidades particulares de cada proyecto, los más usados son:

- Reja contra troncos: es el primer paso en el acondicionamiento del agua lo constituye la colocación a la entrada de la obra de toma de un enrejado que retenga los objetos voluminosos que arrastran las corrientes, su limpieza se realiza manualmente.
- Reja basta: constituye el segundo paso en el tratamiento del agua y consiste en la remoción de los objetos menores que no fueron retenidos por el primer enrejado. Su operación puede ser manual o mecánica, mediante rastrillos, figura 20.
- Rejillas fijas: es una etapa intermedia entre la reja basta y la malla giratoria, y se puede constituir por una rejilla fija de limpieza manual.
- Malla giratoria: esta efectúa el acondicionamiento final del agua. El equipo es de tipo vertical, con alimentación por el centro y descargas laterales. Contará con un sistema automático de limpieza por aspersion. para remover los desechos retenidos en sus telas filtrantes.

### II.4.2. Sistema de circuito cerrado.

El sistema de circuito cerrado es usado cuando el agua de enfriamiento disponible es limitada, y consiste básicamente de un

## ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

condensador de dos o más pasos, una torre de enfriamiento de tiro mecánico o natural, tuberías y bombas de agua de circulación, como se muestra en la figura 22.

En este sistema las bombas de agua de circulación toman agua fresca de la torre de enfriamiento y es conducida por las tuberías a las cajas de agua del condensador, en donde se distribuye a través de los tubos, condensando el vapor hasta la temperatura correspondiente a su presión de saturación. Posteriormente, el agua caliente de circulación que sale del condensador es conducida a la torre de enfriamiento donde se produce el enfriamiento de la misma.

En las unidades turbogeneradoras de gran capacidad, la cantidad requerida de agua de enfriamiento es aproximadamente de 1.3 – 2.8 litros por minuto por cada kW de capacidad generada. La potencia requerida para circular esta cantidad de agua varía con el diseño del condensador, así como de la longitud y el área transversal de los ductos de entrada y descarga. Sin embargo, aproximadamente se necesita de 10 HP por cada 1 000 kW de capacidad generada, para una velocidad en los tubos del condensador de 1.8 – 2.4 m/seg. y el agua de repuesto es del orden del 5 - 7% del flujo de agua de circulación.

Es importante mencionar que en ambos sistemas es necesario con protección catódica del tipo corriente aplicada.

### II.5. SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

El generador de vapor está diseñado para quemar indistinta o simultáneamente combustóleo y gas natural. En este segundo caso la responsabilidad de la

Central Termoeléctrica se limita a su conducción desde la caseta reductora de presión y medición de PEMEX hasta los quemadores del generador de vapor.

El generador dual permite la alternativa de gas natural ante la expectativa de una mayor oferta por parte de PEMEX, sin embargo, es el aceite residual el combustible base. Su suministro se realiza por buques tanque, oleoducto o FF.CC.

Cada unidad de las dos que integran un módulo dispondrá de su propio sistema de almacenamiento y manejo de combustible, hasta su generador de vapor.

Sin embargo, para asegurar una mayor disponibilidad y confiabilidad se prevé la interconexión entre ambas.

En unidades de 160 MW, el tanque de almacenamiento tendrá una capacidad mínima de 15,000 m<sup>3</sup> y de 33,000 m<sup>3</sup> en las de 350 MW, suficiente para que la unidad opera a 80% de carga durante 20 días. Cada proyecto podrá incrementar estas capacidades, de acuerdo a las particularidades del sitio.

El calentador se instala a la salida de cada tanque, lo que facilita su mantenimiento.

Se cuenta con una bomba de transferencia de tipo tornillo, con capacidad de llenar el tanque de día, desde vacío, en cuatro horas.

Los tanques de día tendrán un volumen útil equivalente a doce horas de operación del generador de vapor al 100% de capacidad.

Del tanque de día, pasando por el calentador de succión y filtros, se bombea combustóleo al generador de vapor, acondicionando la viscosidad a través del calentador principal.

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

La unidad cuenta con tres bombas de tipo tornillo, para impulsar cada una el 50% del combustoleo a quemadores, dos para operación normal y un tercero de respaldo.

Cada unidad cuenta con un calentador de combustoleo a quemadores, con capacidad para manejar el flujo correspondiente al 100% de capacidad del generador de vapor. Existe un calentador del 100% de capacidad, como respaldo común de ambas unidades.

## III CONCEPTO DE CICLO COMBINADO

Derivado de los avances tecnológicos en los materiales, las grandes reservas de gas natural a nivel mundial y la exigencia de la globalización de abaratar el costo de generación para permitir la competencia en los mercados de las empresas de generación de energía eléctrica, la tecnología del Ciclo Combinado ha desplazado a las Centrales Termoeléctricas Convencionales a nivel mundial en la generación de energía eléctrica.

Un ciclo combinado esta formado por dos ciclos termodinámicos llamados: Ciclo Brayton y Ciclo Rankine.

El proceso de un ciclo combinado inicia con la inyección de gas natural regulado a la cámara de combustión de la turbina de gas, los gases residuales producto de la combustión son enviados a un generador de vapor por recuperación de calor, por medio de los cuales se genera vapor de alta presión y temperatura, con el que se acciona la turbina de vapor, la cual puede estar diseñada para operar con tres secciones de alta, media y baja presión, el vapor de escape de alta presión es

recalentado en el generador de vapor y usado en la sección de presión intermedia y el escape de baja presión se condensa.

Dentro de los equipos principales que conforman a una central de ciclo Combinado, se encuentran los siguientes:

- Turbina de Gas.
- Turbina de vapor.
- Generador eléctrico
- Generador de vapor por Recuperación de Calor.
- Condensador.

### Variables que limitan el rendimiento del ciclo Brayton real.

Las fabricantes de las turbinas de gas han ido incrementando la temperatura del gas a la entrada a la turbina. En la tabla 1 se muestra para diferentes modelos de turbinas de gas, el rendimiento y la temperatura de entrada del gas a la turbina.

Modelo	Capacidad MW	Temp. de entrada a la turbina	Relación de presiones del compresor	Rendimiento del ciclo abierto	Rendimiento del C.C.
A	165.5	1235°C	30	37.6 %	54.7 %
B	167.8	1288°C	15.2	36.2 %	55.0 %
C	170	1462	16.6	38.0 %	57%
D	167	1349	14	36.0 %	58.0 %

Tabla 1.- Tendencia en rendimientos de turbinas de gas.

# ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

## Desarrollo de ciclos combinados actuales.

### Concepto de Uniflecha.

Desde fines de la década de los sesenta, se introdujo por primera vez el concepto de uniflecha, sin embargo fue hasta 1989 cuando se aplicó con turbinas de gas avanzadas.

El concepto uniflecha consiste en tener en una sola flecha tanto a las turbinas de gas como a la turbina de vapor, contando en este caso con un solo generador eléctrico y un solo sistema de control.

### Experiencia en Tecnologías de Punta.

Aunque han ocurrido problemas operativos, estos se han corregido y de las experiencias adquiridas por los fabricantes a nivel internacional, y actualmente se han reportado disponibilidades del orden del 90% y mayores.

Dos fabricantes reportan tecnologías de turbinas de gas con rendimientos en ciclo abierto entre 38 y 39.5 % y en ciclo combinado entre 58 y 60%.

### Modularizaciones.

La técnica de producción en serie así como el preensamble en módulos tanto de las turbinas de gas, de vapor, recuperadores de calor, etc. ha disminuido los costos de ensamble en sitio y ha disminuido los costos de montaje.

### Flexibilidad Operativa.

El hecho de que las turbinas de gas puedan arrancar desde frío hasta plena carga en menos de 30 minutos y en caliente en menos de 20 minutos, y

controlar los rechazos de carga con gran rapidez debido a la baja inercia del sistema de alimentación de gas natural o diesel, se traduce en una flexibilidad operativa con otras técnicas de generación de energía eléctrica.

La economía de escala en turbinas de gas y ciclos combinados.

Los conceptos de turbinas de gas y de vapor en una sola flecha, la modularización, los incrementos en el rendimiento y la introducción de las turbinas mayores a 150 MW de capacidad ya en operación, (actualmente se están desarrollando turbinas de gas de hasta 230 MW ISO) han disminuido los costos de producción de la electricidad.

Lo anterior hace muy rentable a estas tecnologías, lo que explica su gran expansión a escala mundial.

La CFE está construyendo este tipo de centrales para aprovechar esta economía de escala en su sistema eléctrico.

## Ventajas de las centrales de ciclo combinado.

Las ventajas de las centrales de ciclo combinado contra otras tecnologías de generación termoeléctrica utilizando los precios actuales de gas natural y su proyección son las siguientes:

- Mayor rendimiento, del orden del 50% o mayor a condiciones ISO.
- Baja emisión de contaminantes (NOx, SO<sub>2</sub>, CO) y partículas,
- Mayor disponibilidad (90% o mayor en algunos casos)
- Cambios de carga rápidos (10%/min).
- Menores tiempos y costos de mantenimiento.
- Menores consumos de agua.

## ASPECTOS DE PROCESO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

- Menores costos de inversión y de operación en comparación con los de las Centrales convencionales.
- Menor área de instalación.
- Menores tiempos de construcción (las turbinas de gas se fabrican en módulos normalizados). Una turbogas sola puede comenzar a operar en 18 meses, un ciclo combinado de 225 MW ISO puede ponerse en servicio a los 27 meses contados ambos casos a partir de la fecha de colocación de la orden.
- Menores costos de financiamiento debido a bajos tiempos de construcción y montaje.
- Facilidad de operación, ya que la parte de vapor es relativamente simple, en ocasiones con pocos calentadores de agua de alimentación y menos equipos mecánicos.

### Expectativas Futuras

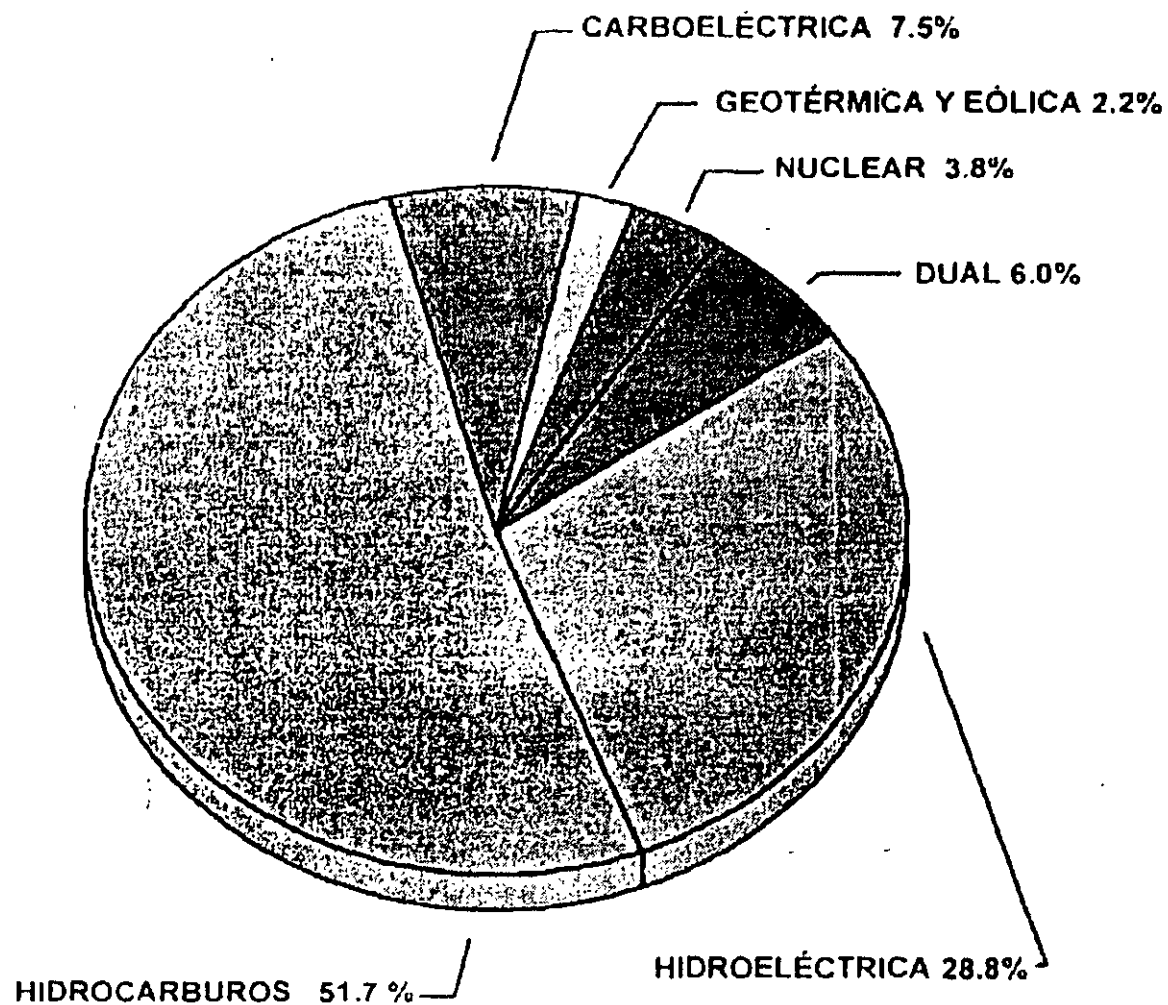
Los precios de los ciclos combinados han ido disminuyendo con el tiempo, y se espera disminuyan aún más.

Asimismo, hay programas de investigación de los fabricantes de turbinas de gas y de otras organizaciones en los cuales se persiguen rendimientos hasta el orden del 60% a condiciones ISO.

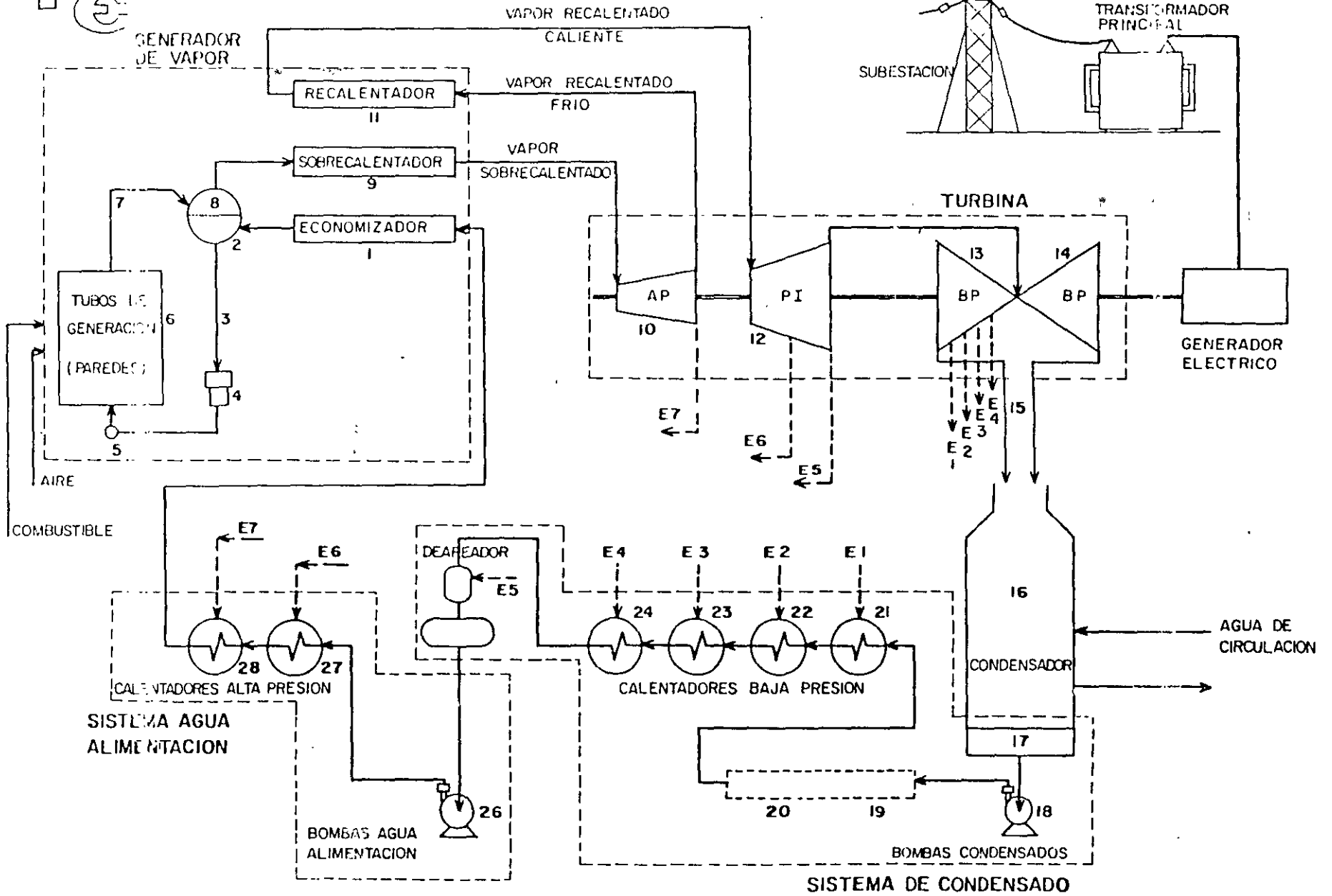
Así pues se espera que en el futuro inmediato disminuyan aún más los costos de electricidad (con relación a moneda constante), con la construcción de nuevas centrales eléctricas del tipo de ciclo combinado.



SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL  
CAPACIDAD EFECTIVA AL 31 DE DICIEMBRE DE 1996  
34,791 MW

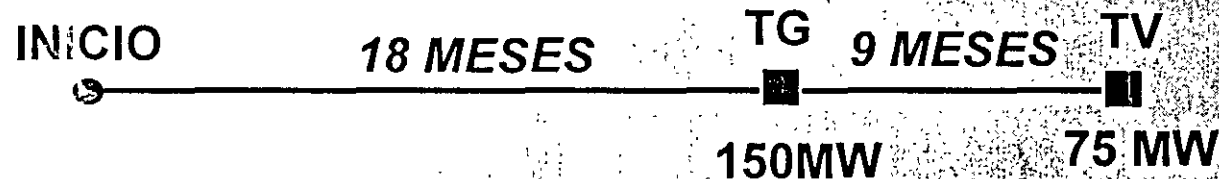


CFE



# TIEMPOS DE CONSTRUCCION

CCC 225 MW ( 27 MESES )



CT CONVENCIONAL ( 36 MESES )

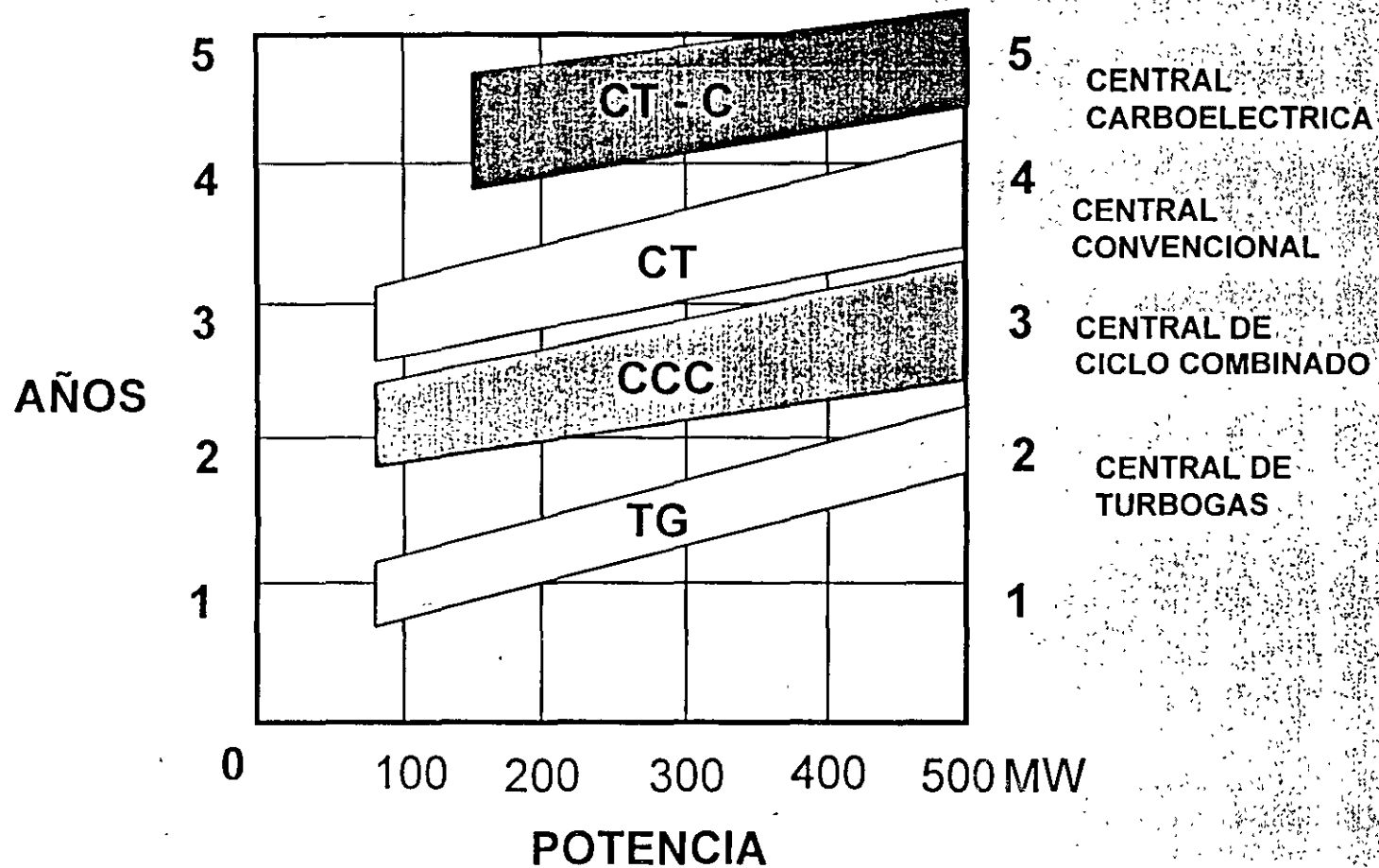


## FACTORES QUE INFLUYEN:

- MENOR REQUERIMIENTO DE AREA
- MENORES OBRAS DE INFRAESTRUCTURA
  - AGUA
  - COMBUSTIBLE
- FABRICACION ESTANDARIZADA DE EQUIPO PRINCIPAL

CFE - CPT

# TIEMPOS DE CONSTRUCCION



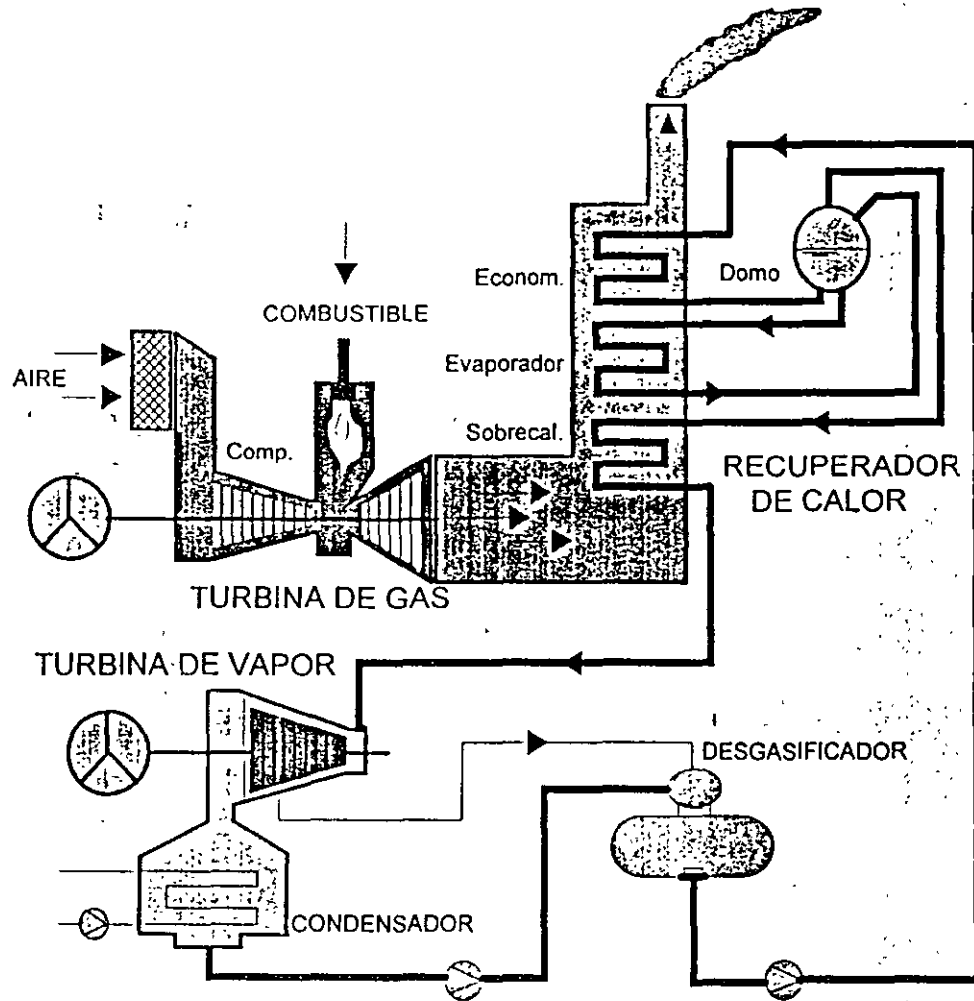
CFE - CPT

# **CARACTERISTICAS PRINCIPALES**

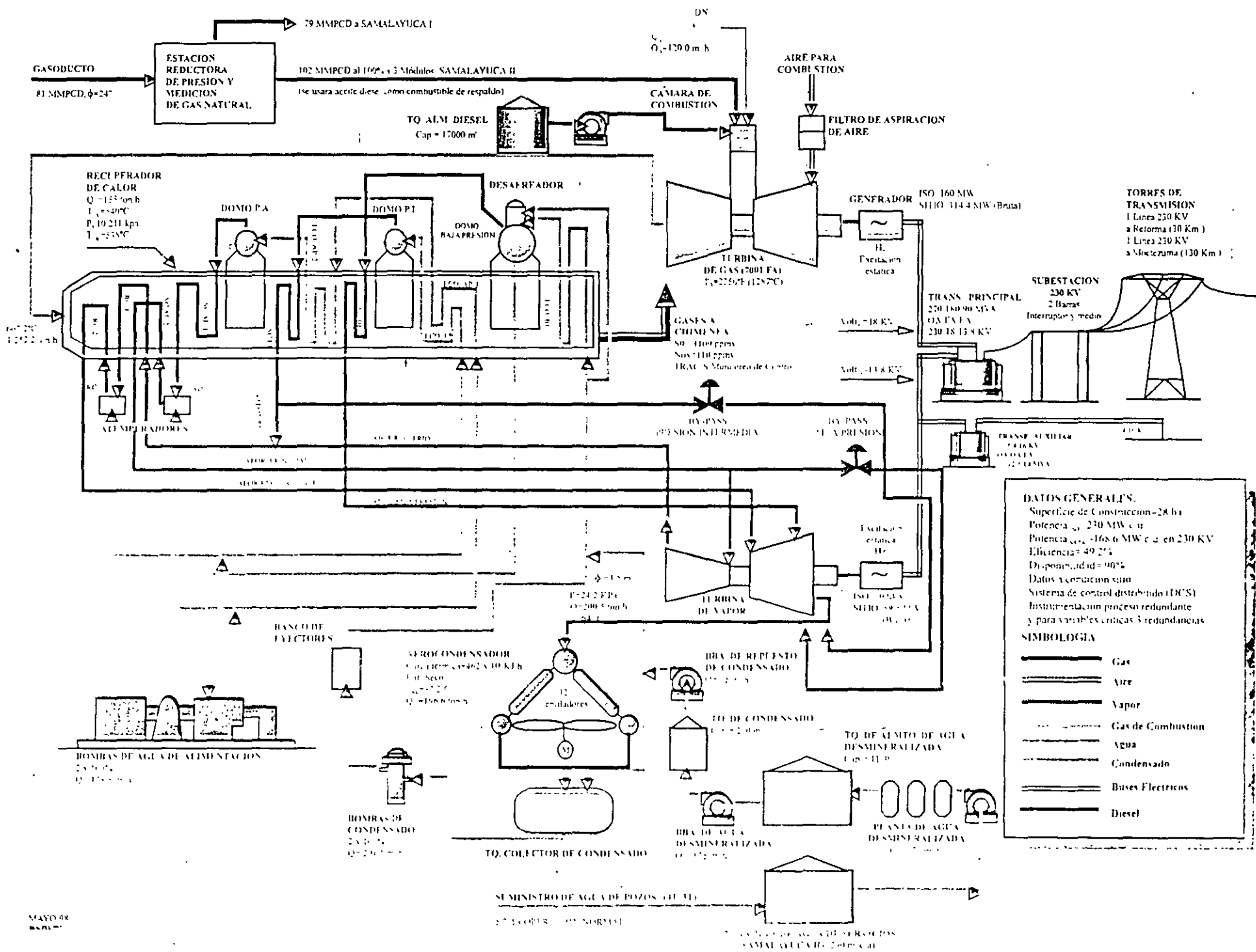
- ▼ **ALTA EFICIENCIA**
- ▼ **CORTO TIEMPO DE CONSTRUCCION**
- ▼ **BAJOS COSTOS**
- ▼ **GRAN FLEXIBILIDAD OPERATIVA**
- ▼ **BAJO IMPACTO AMBIENTAL**
- ▼ **BAJO CONSUMO DE AGUA**

**CFE - CPT**

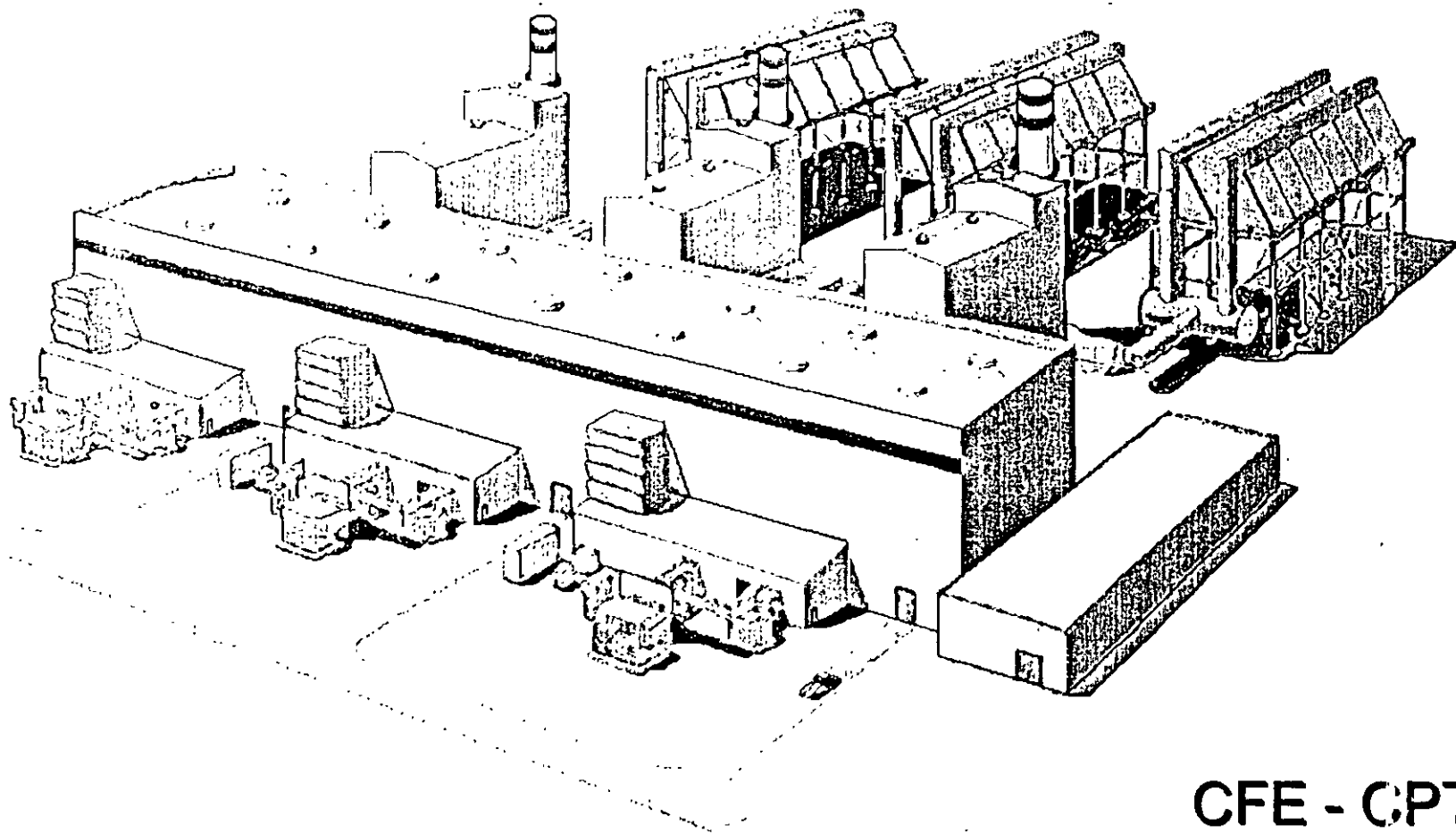
# ELEMENTOS DEL CICLO COMBINADO



CFE - CPT

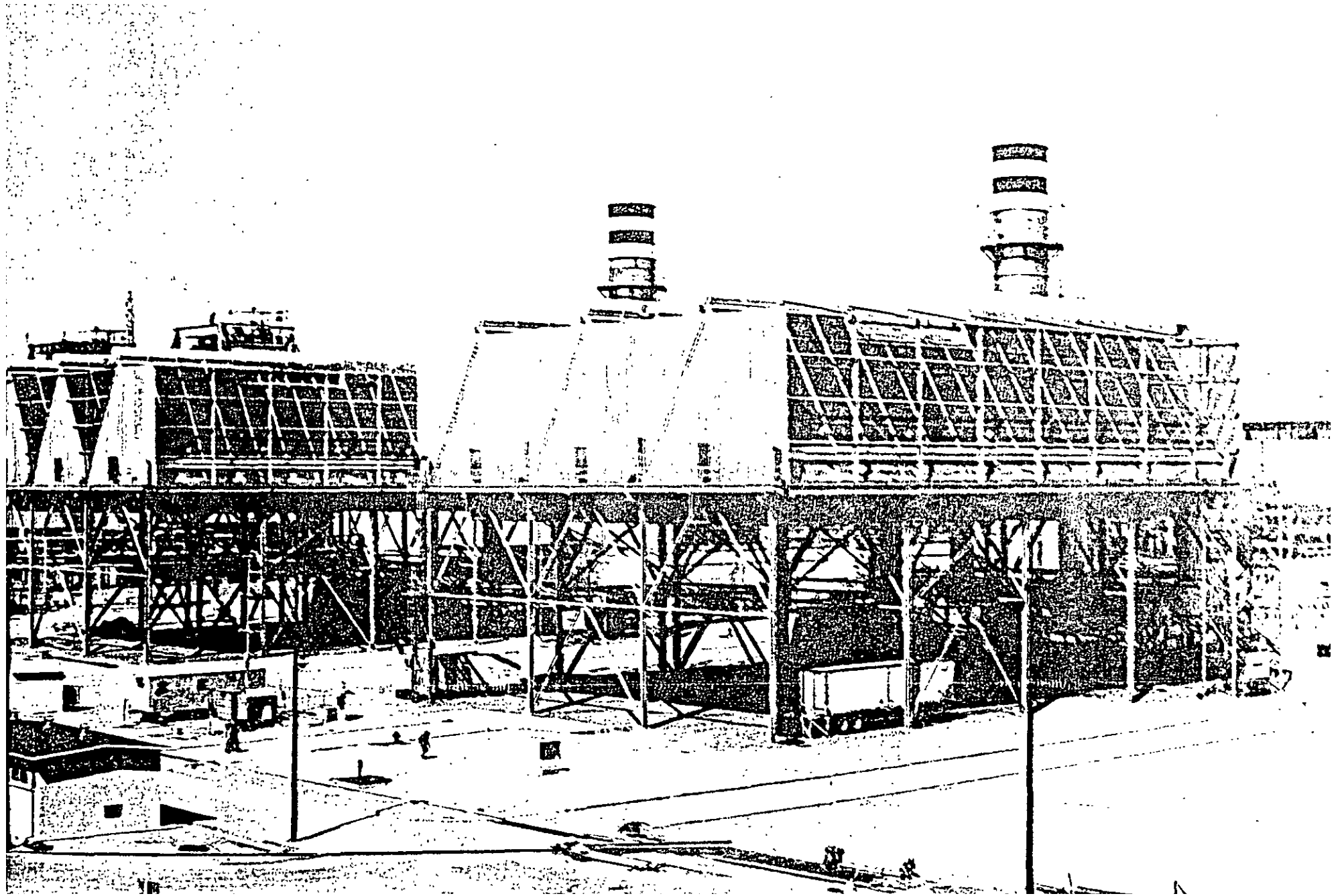


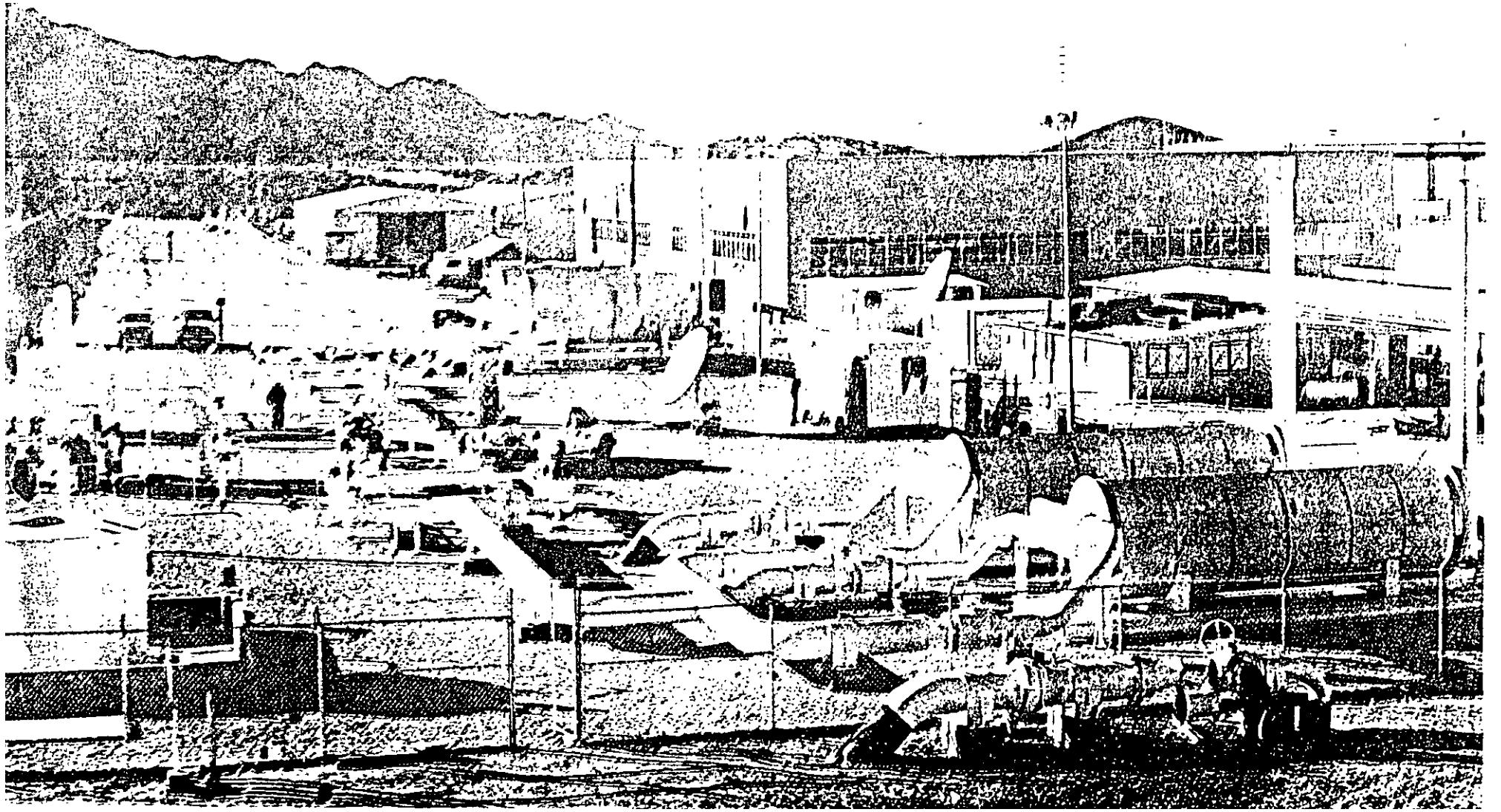
# CENTRALES DE CICLO COMBINADO

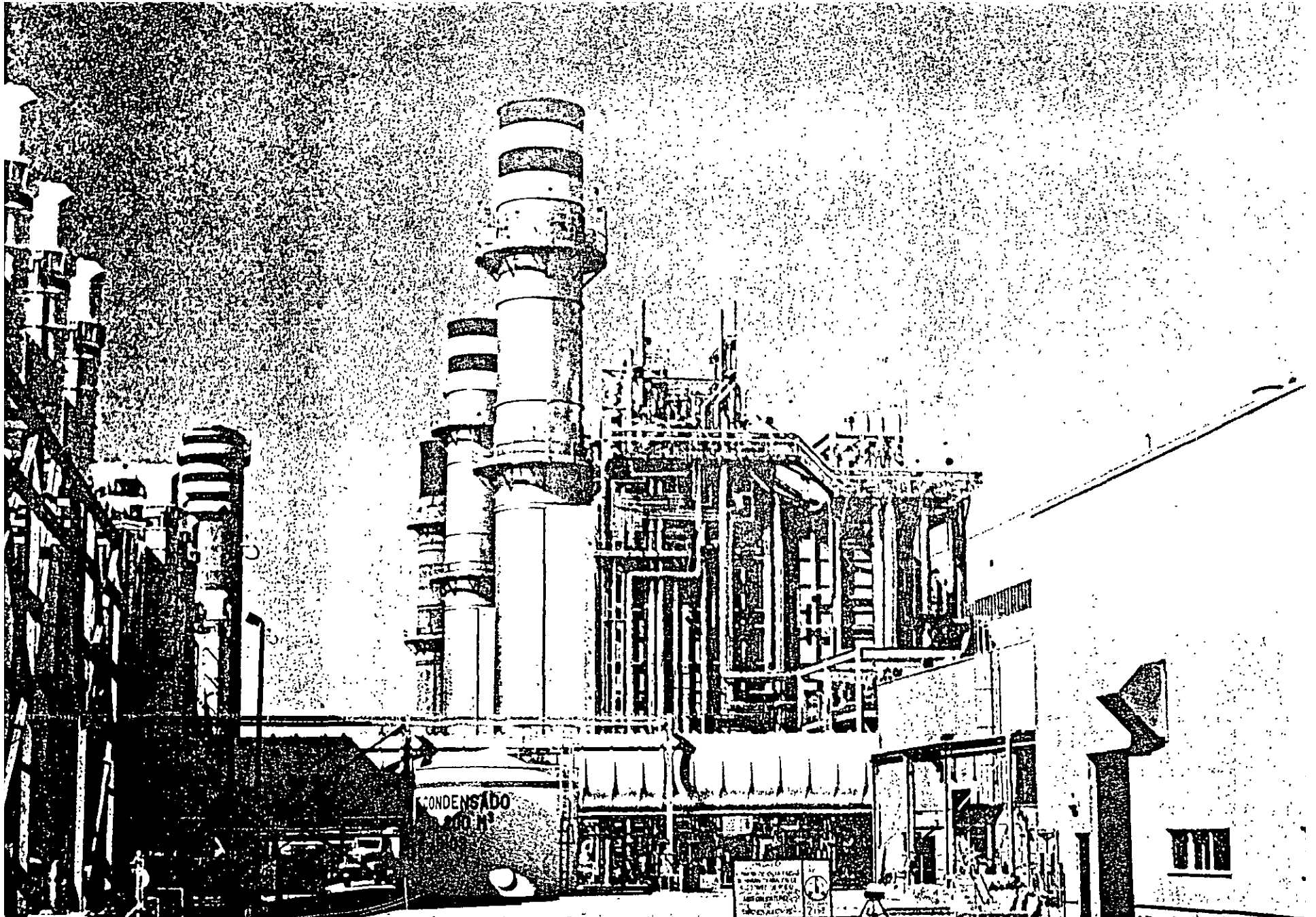


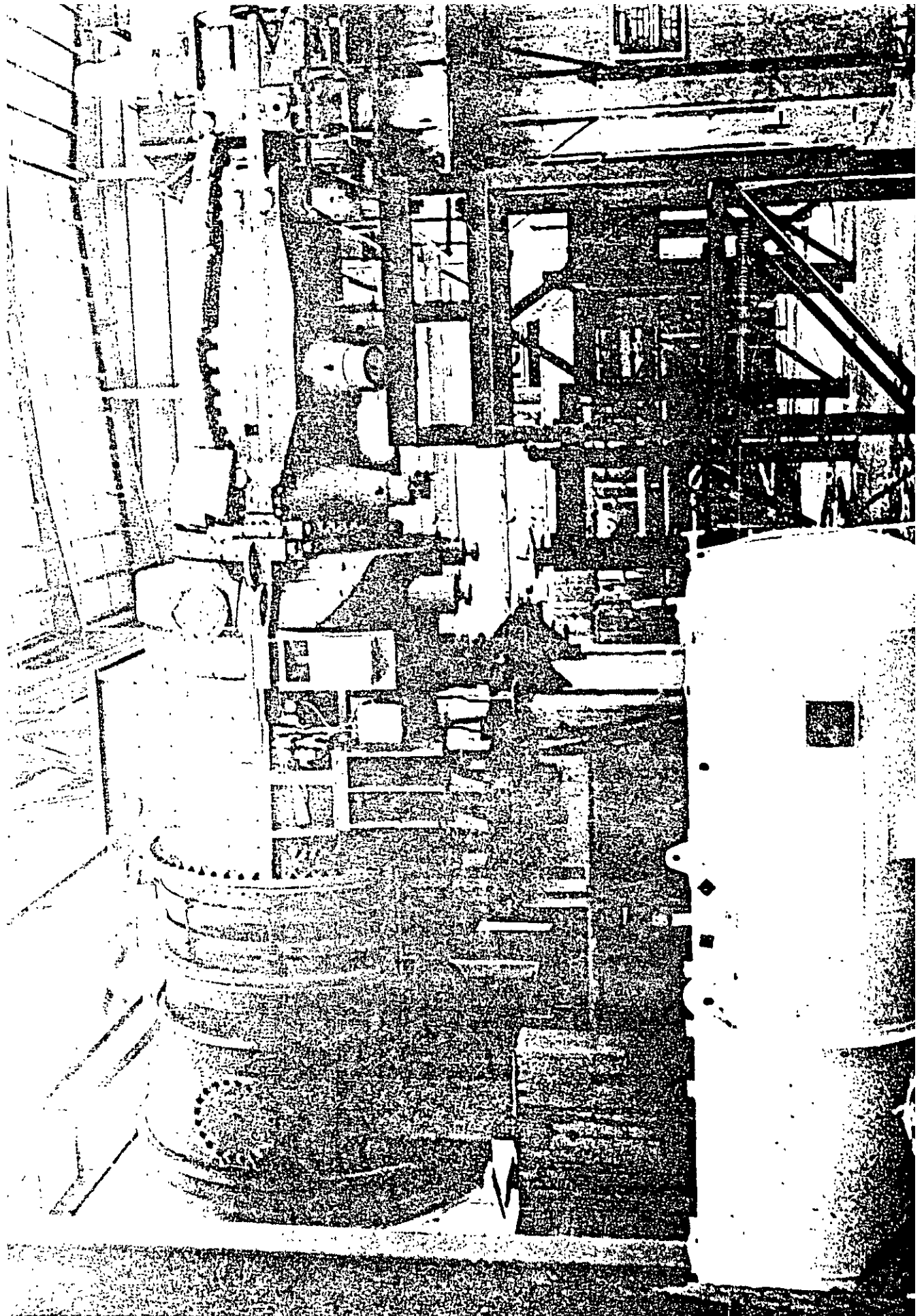
CFE - CPT











**LA INGENIERIA CIVIL**  
**EN**  
**PROYECTOS TERMoeLECTRICOS**

# **LA INGENIERÍA CIVIL EN PROYECTOS TERMOELÉCTRICOS**

## **Í N D I C E**

### **1.- SELECCIÓN DEL SITIO**

**Parámetros principales que se consideran en un estudio comparativo para Seleccionar el sitio de una Central.**

### **2.- INGENIERÍA BÁSICA**

**Arreglo general de la Central (sistemas de enfriamiento abierto y cerrado).**

**Criterios de diseño.**

**Especificaciones.**

### **3.- SISTEMAS Y ESTRUCTURAS PRINCIPALES**

**Bloque de fuerza: casa de máquinas, edificio eléctrico y de control, generador de vapor, transformadores, precipitadores electrostáticos, chimenea, pedestal del turbogenerador.**

**Sistemas de agua de circulación (enfriamiento).**

**Sistemas de manejo de carbón y depósitos de ceniza.**

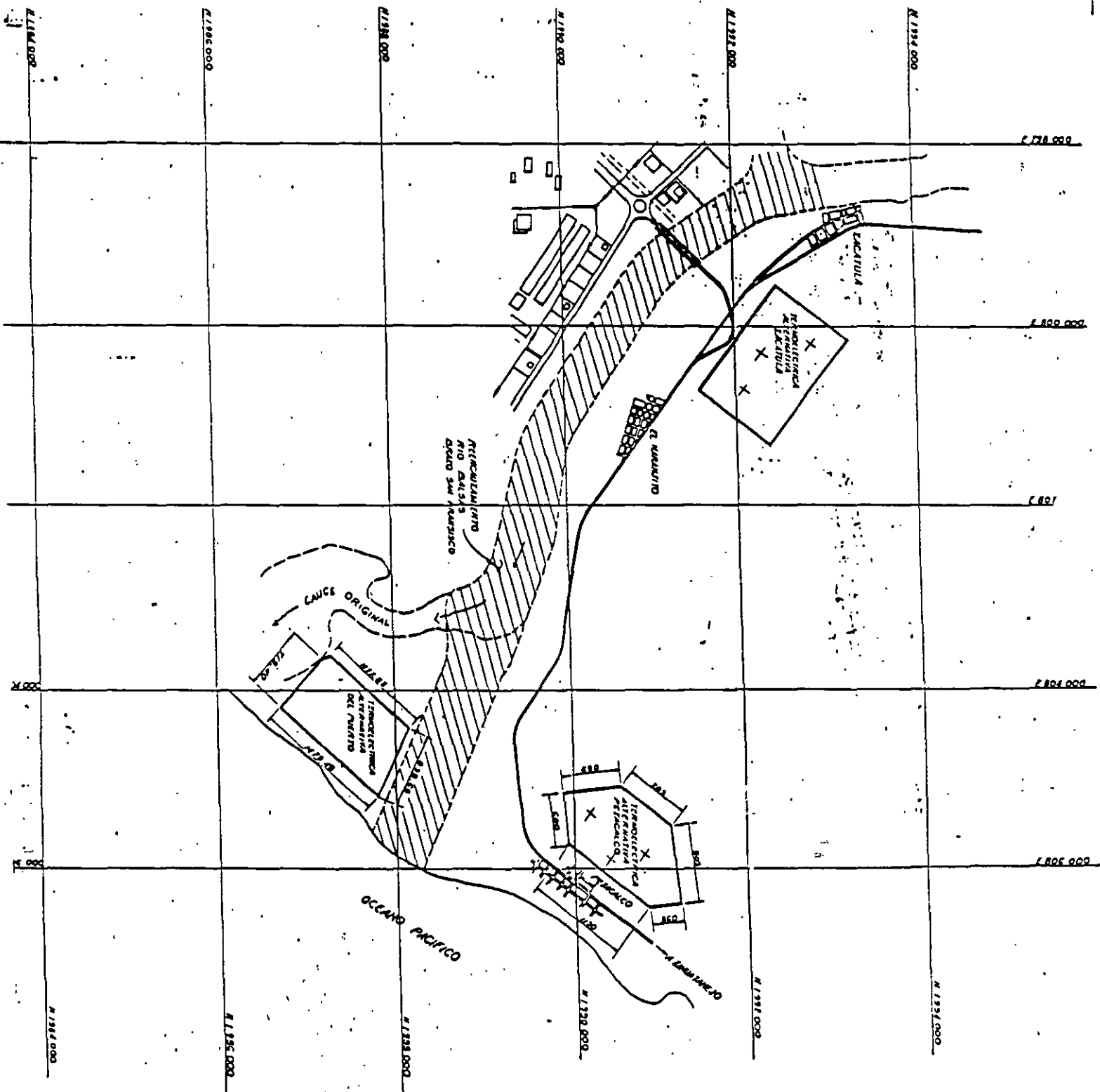
**Áreas exteriores: caminos de acceso e interiores, terracerías, drenajes pluvial, sanitario e industrial.**

**Edificios auxiliares.**

**Subestación.**

# SELECCION DEL SITIO

- USO DE TIERRA Y AGUA
- INSTALACIONES Y ACTIVIDADES HUMANAS
- ADQUISICION DEL PREDIO
- SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE
- PERMISOS DIVERSOS (ACCESO, SCT, ETC.)
- ESTUDIO DE LA RED ELECTRICA
- EVALUACION AMBIENTAL
- PARAMETROS ECONOMICOS
- PARAMETROS DEL PROCESO
- PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- EVALUACION TECNICO-ECONOMICA





# SELECCION DEL SITIO

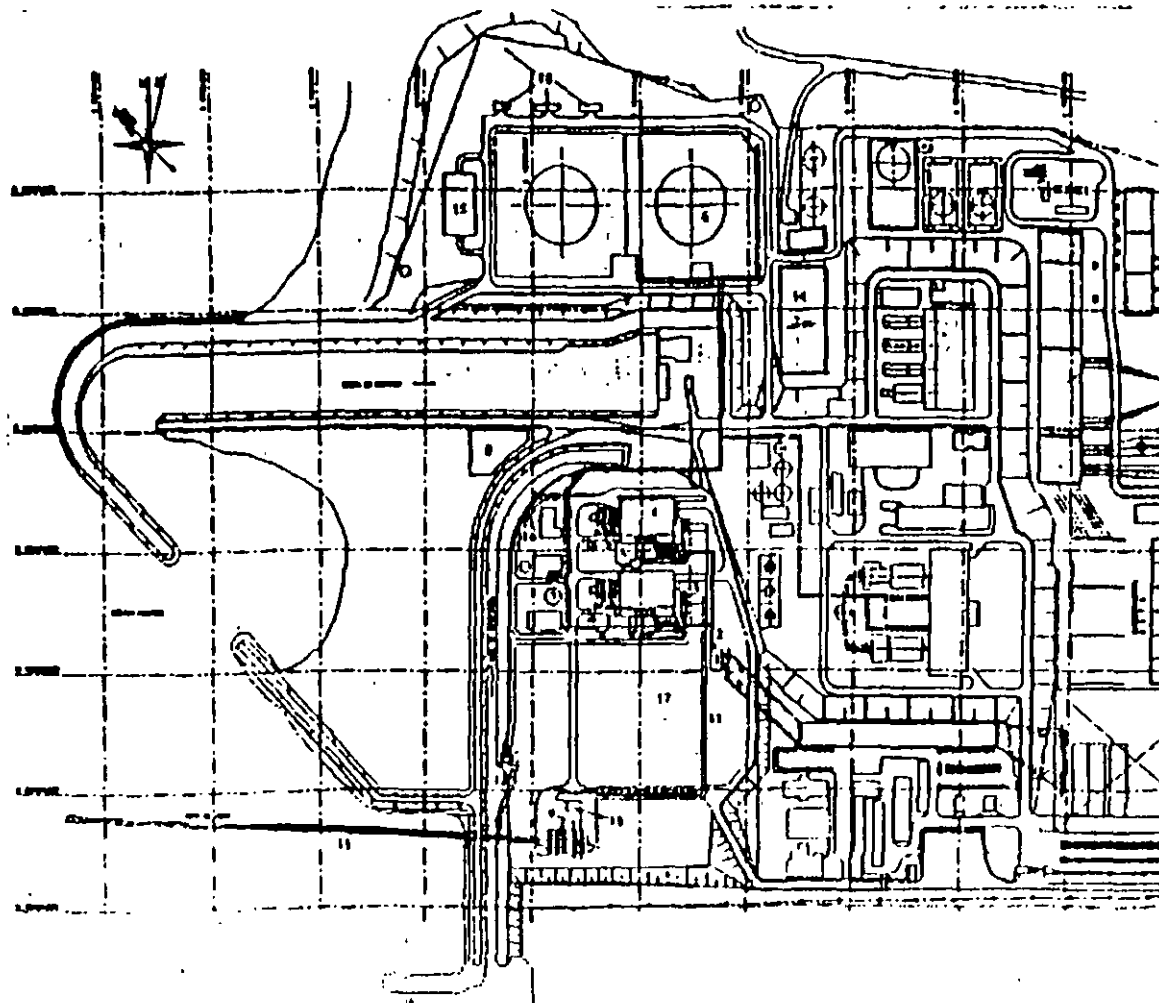
- TOPOGRAFIA
- BATIMETRIA
- GEOLOGIA Y GEOFISICA
- SISMOLOGIA
- GEOHIDROLOGIA
- HIDROLOGIA
- OCEANOGRAFIA
- METEOROLOGIA
- ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA LOCAL
- MECANICA DE SUELOS Y/O DE ROCAS
- ESTUDIOS DE MATERIALES
- ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
- PROGRAMAS

# INGENIERIA BASICA

(ANTEPROYECTO)

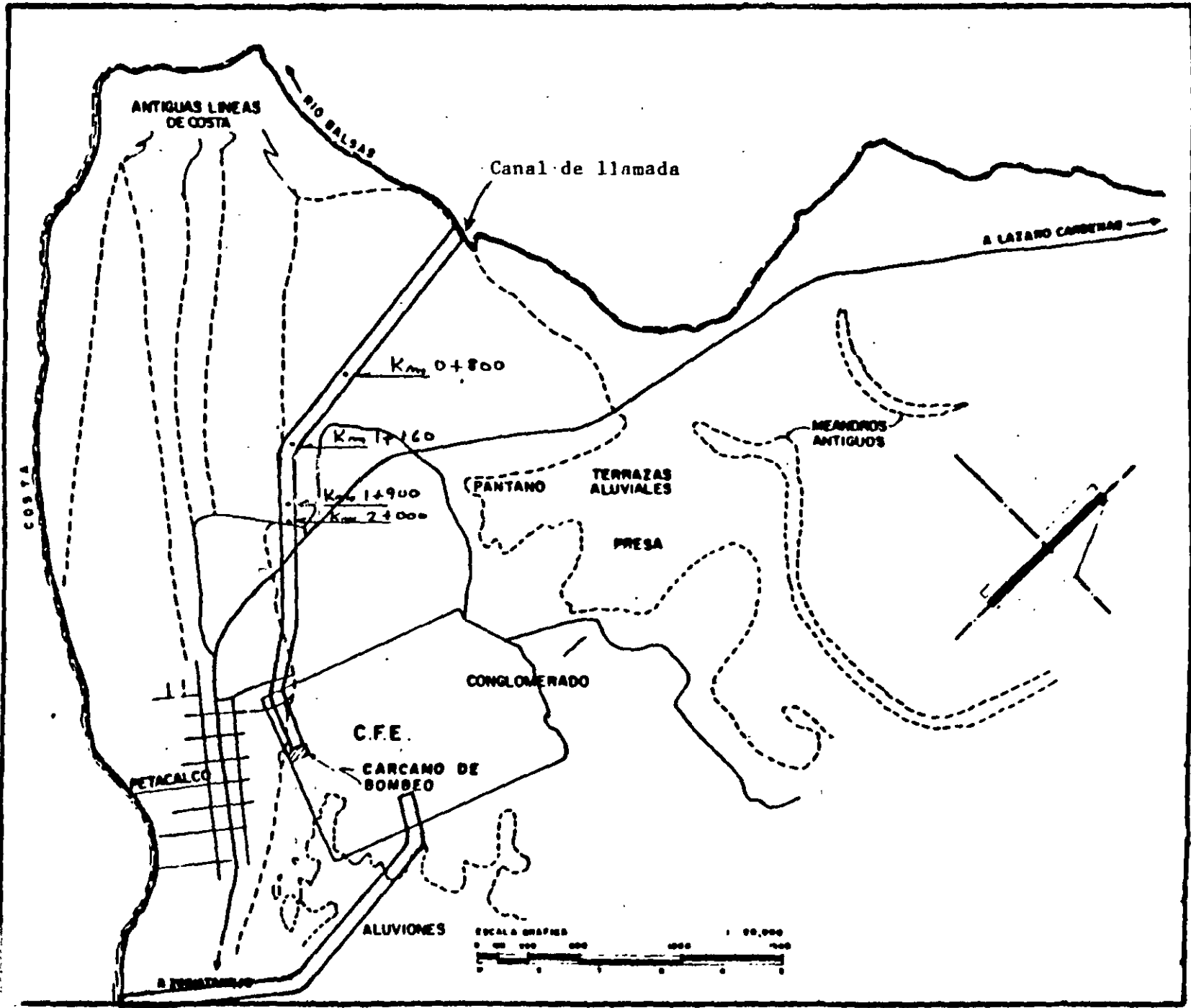
- ARREGLO GENERAL DE LA CENTRAL
- CAMINO DE ACCESO
- PUENTES
- MUELLES PARA RECEPCION DE EQUIPO Y COMBUSTIBLE
- TERRACERIAS
- OBRAS DE PROTECCION CONTRA INUNDACION
- CRITERIOS DE DISEÑO CIVIL-ESTRUCTURAL
- ESPECIFICACIONES
- PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION
- SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
- PROGRAMA DE FECHAS CLAVE

# ARREGLO GENERAL DE LA CENTRAL



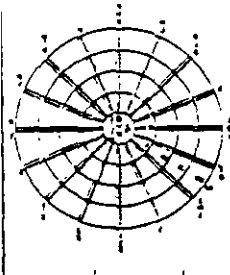
## DESCRIPCION DE EQUIPO

- 01 SUBESTACION ENCAPSULADA SF6 (PARA 900MM)
- 02 BUSES ELECTRICOS
- 03 AREA DE TRANSFORMADORES
- 04 CASA DE MAQUINAS Y RECUPERADORES DE CALOR
- 05 EDIFICIO ELECTRICO Y DE CONTROL
- 06 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL  
(EXISTENTE PARA ACONDICIONAR)
- 07 TANQUES DE AGUA DE SERVICIO
- 08 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
(EXISTENTE)
- 09 CASETA DE SULFATO FERROSO (AREA PARA 900MM)
- 10 DUCTOS DE AGUA DE CIRCULACION
- 11 CANAL DE DESCARGA
- 12 TOMA SUBMARINA DE AGUA DE CIRCULACION
- 13 ESTACION DE MEDICION Y REGULACION DE GAS  
(POR OTROS)
- 14 ALMACEN DE CHATARRA
- 15 LABORATORIO QUIMICO
- 16 AREA PARA MUEBLES FUTUROS
- 17 ALMACENES DE MATERIAS ANTI-CORROSIVAS RESIDUOS  
RELACIONADOS CON TUBERIAS VOLANTES Y ESCORIA





Scale 1:50,000



Scale 1:50,000

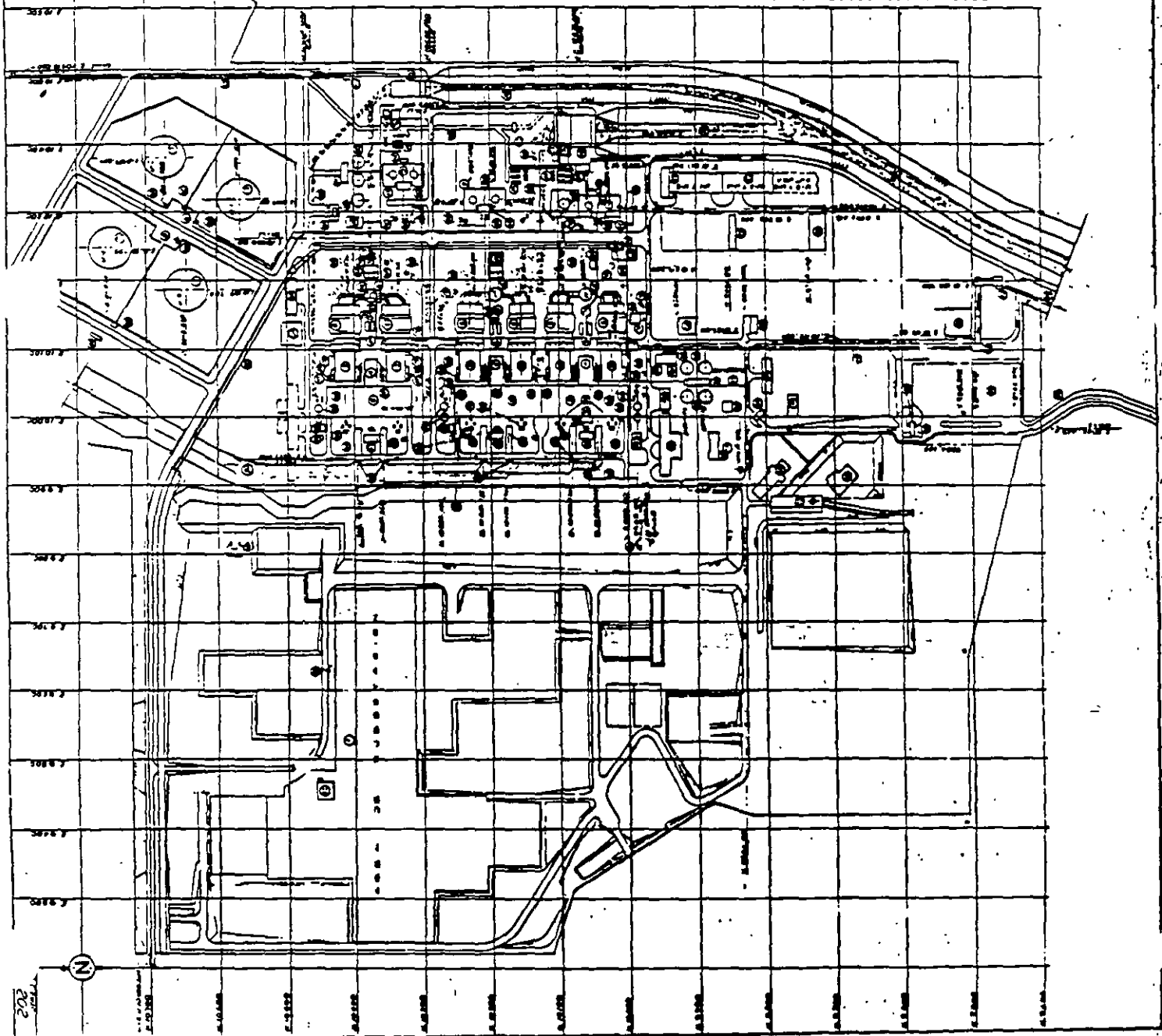
### NONENCIATURA

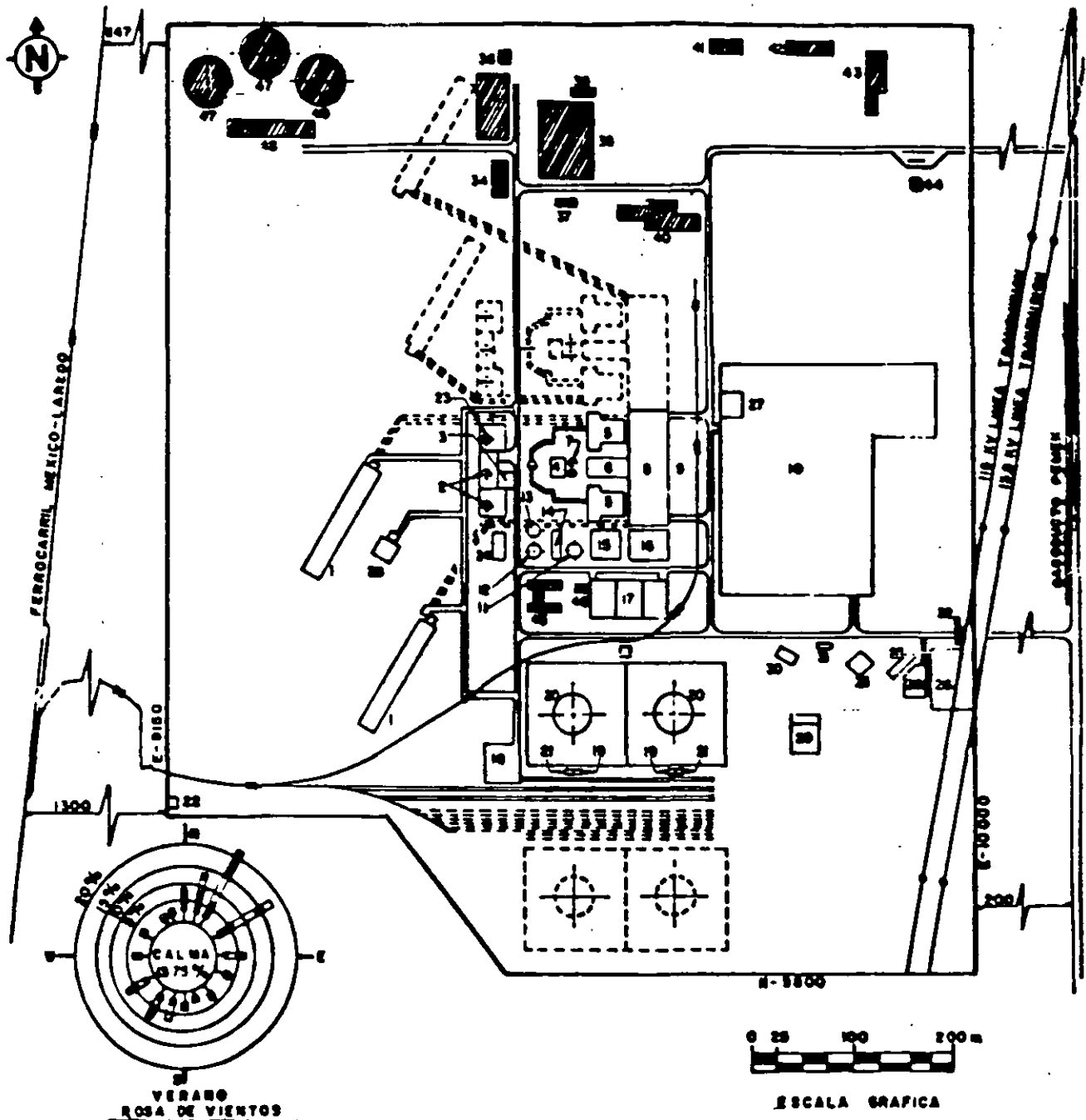
Il presente disegno rappresenta il piano di un complesso di edifici, con le relative dimensioni e le posizioni delle varie parti. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere.

Il presente disegno rappresenta il piano di un complesso di edifici, con le relative dimensioni e le posizioni delle varie parti. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere.

NOTA

Il presente disegno rappresenta il piano di un complesso di edifici, con le relative dimensioni e le posizioni delle varie parti. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere. Le dimensioni sono indicate in metri e centimetri. Le posizioni delle varie parti sono indicate con numeri e lettere.







**NOMENCLATURA**

- 1.- Torre de enfriamiento
- 2.- Tanque de día de combustible
- 3.- Área de calentadores de combustión
- 4.- Caseta de compresores
- 5.- Generador de vapor
- 6.- Edificio eléctrico y de control
- 7.- Tanque de condensado
- 8.- Casa de máquinas
- 9.- Área de transformadores
- 10.- Subestación
- 11.- Tanque de agua desmineralizada
- 12.- Tanque de agua de servicio
- 13.- Tanque de agua cruda
- 14.- Caseta de bombas
- 15.- Área de tratamiento de agua
- 16.- Taller mecánico, eléctrico e instrumentación
- 17.- Almacén
- 18.- Área de descarga de combustible de pipas

**ARREGLO GENERAL DE LA CENTRAL**

- 19.- Caseta de bombas transferencia combustible
- 20.- Tanque de almacenamiento de combustible
- 21.- Fosas colectoras de combustible
- 22.- Caseta de vigilancia
- 23.- Tanque de diesel
- 24.- Fosa de neutralización
- 25.- Oficina de capacitación y administración
- 26.- Estacionamiento
- 27.- Casa de subestación
- 28.- Área de dosificación de químicos para torres de enfriamiento
- 29.- Acuartelamiento militar
- 30.- Baños y vestidores
- 31.- Unidad médica del IMSS
- 34.- Taller mecánico
- 35.- Talleres (generales)

- 36.- Almacén de oxígeno y acetileno
- 37.- Oficina de almacén
- 38.- Almacén
- 39.- Básculas
- 40.- Comedor
- 41.- Bloquera
- 42.- Carpintería
- 43.- Oficinas
- 44.- Gasolinera
- 45.- Edificio de capacitación
- 46.- Sala de juntas
- 47.- Arena
- 48.- Almacén de cemento
- 49.- Grava

 Instalaciones provisionales  
 Instalaciones futuras

# INGENIERIA DE DETALLE

## BLOQUE DE FUERZA

- CASA DE MAQUINAS
- EDIFICIO ELECTRICO Y DE CONTROL
- GENERADOR DE VAPOR
- TRANSFORMADORES PRINCIPALES
- PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS
- LAVADORES DE GASES
- CHIMENEA

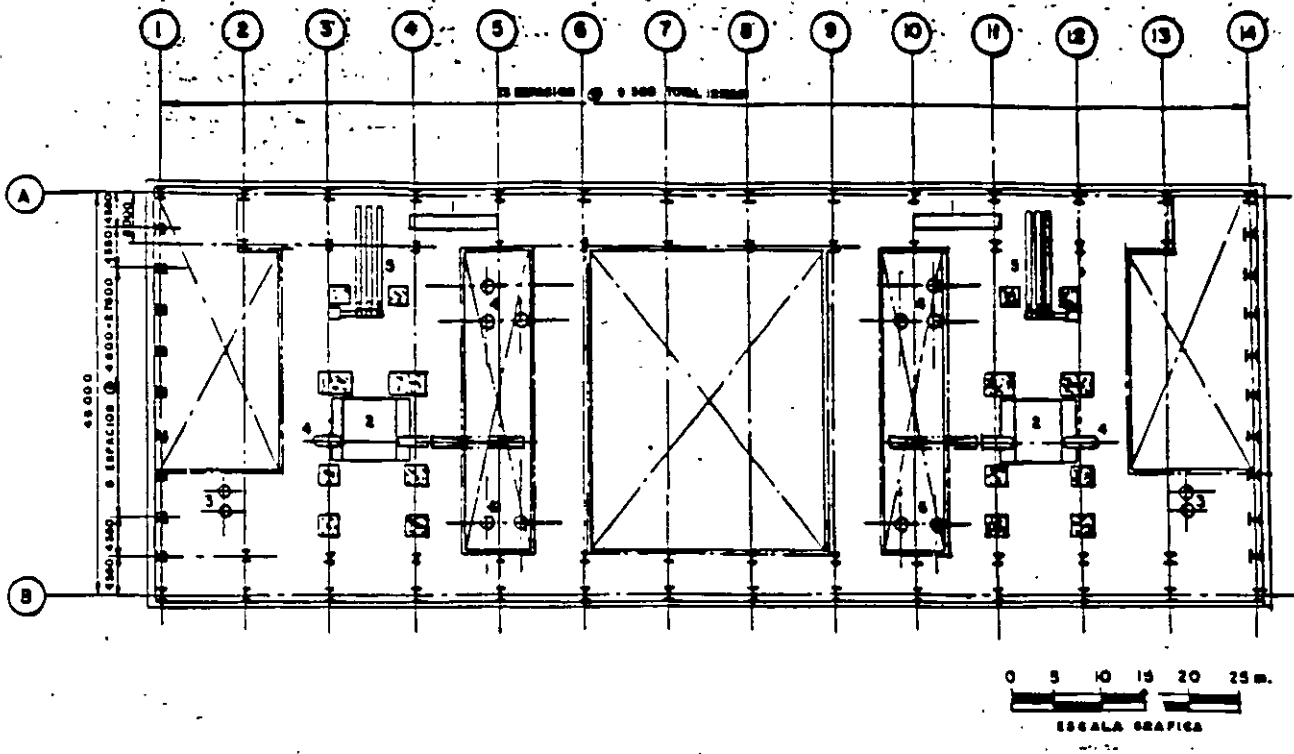


Fig.- III-3 Casa de Máquinas: Arreglo de Equipo Mezzanine Planta Niv. 6.000 m.

LISTA DE EQUIPO

1.- Cubículo de excitación  
2.- Condensador

3.- Enfriadores de aceite lubricante  
4.- Calentadores de baja presión

5.- " Bus." de fase aislada  
6.- Calentadores de alta presión

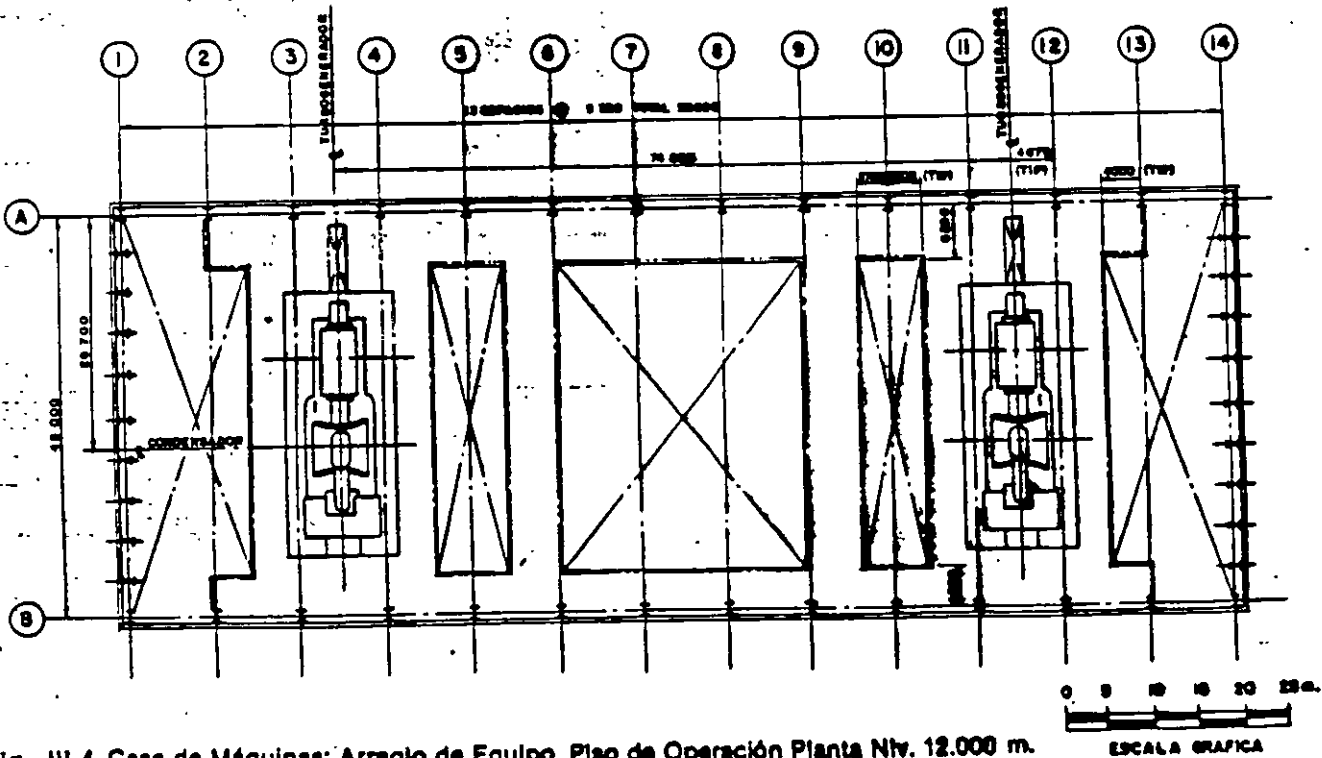
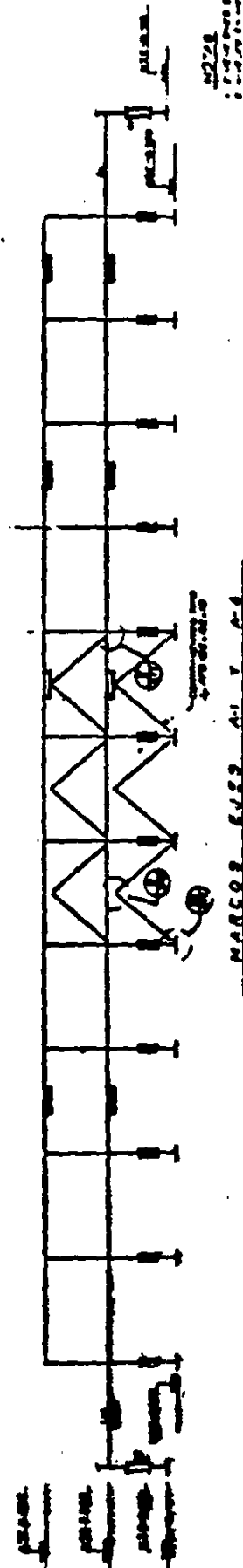
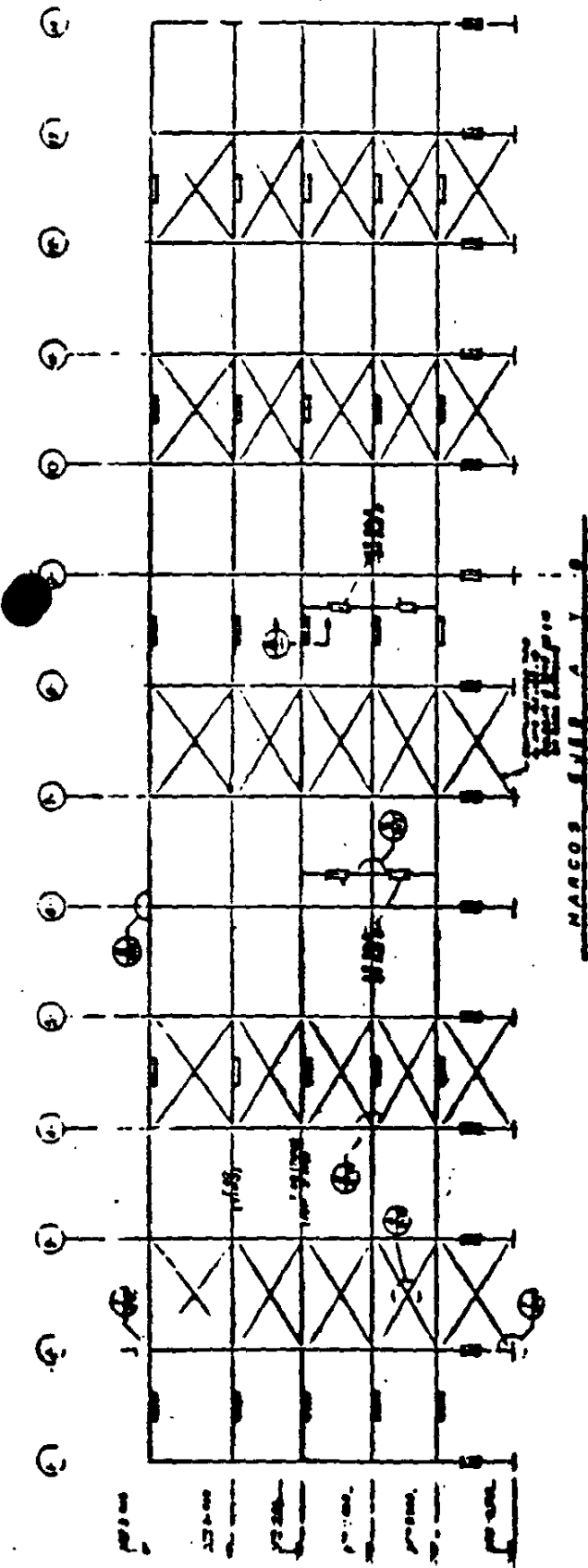
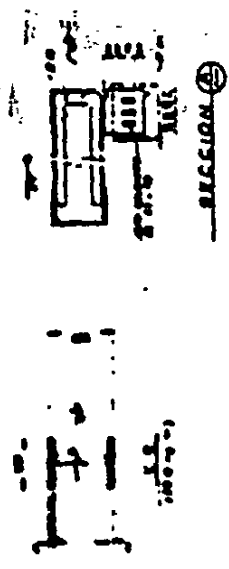


Fig.- III-4 Casa de Máquinas: Arreglo de Equipo Plano de Operación Planta Niv. 12.000 m.





NOTA  
 1. Verificar las condiciones de uso y carga.  
 2. Verificar las condiciones de uso y carga.



VERIFICAR LAS CONDICIONES DE USO Y CARGA.  
 VERIFICAR LAS CONDICIONES DE USO Y CARGA.

### V. 3.3 Chimeneas.

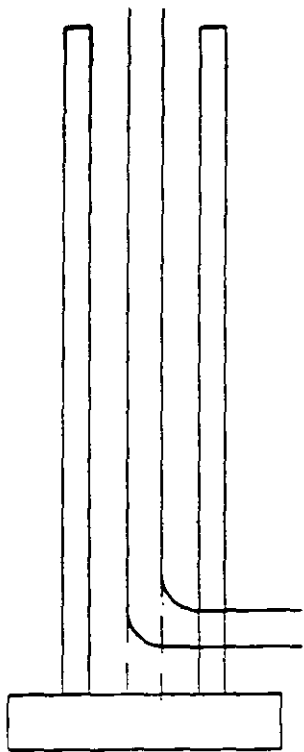
La altura mínima de las chimeneas será de 120 m para cumplir así con la concentración permisible de contaminantes en el aire, fundamentalmente de dióxido de azufre



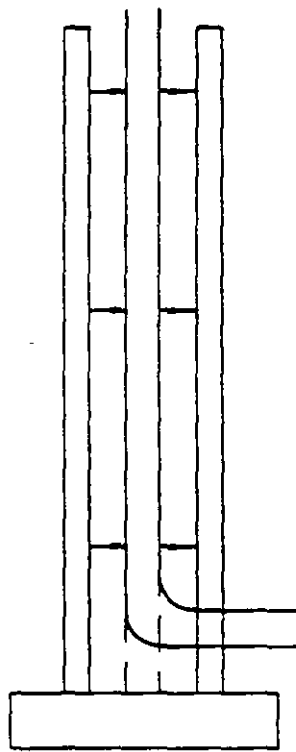
Chimenea Normalizada. Fuste de Concreto alojando dos tiros para dos unidades.

# ***CONTROL DE LA CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA***

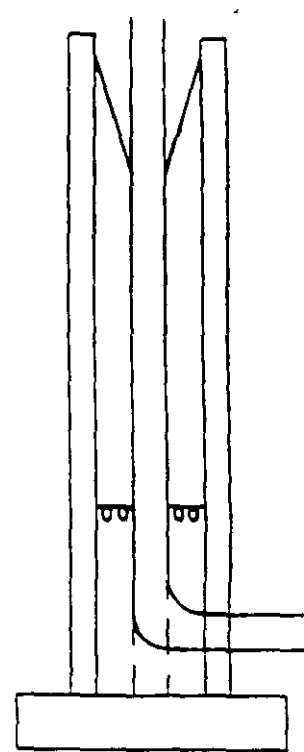
- ***DISPERSION DE CONTAMINANTES***
- ***DESULFURIZACION DE GASES***
- ***TRATAMIENTO DE COMBUSTIBLEO  
(DESULFURIZACION)***
- ***RETENCION DE PARTICULAS  
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS***



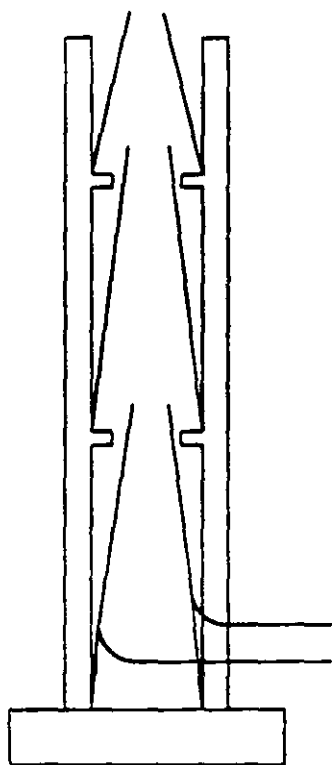
Revestimiento independiente libre



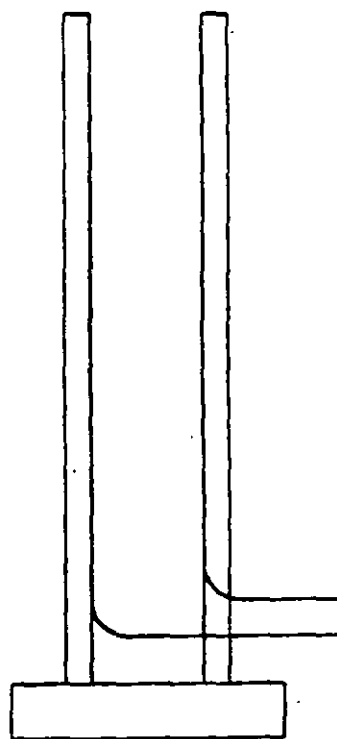
Revestimiento independiente estabilizado



Revestimiento independiente suspendido



Revestimiento soportado



Revestimiento integrado

## **ARREGLO NORMALIZADO:**

**Fuste de concreto alojando dos tiros para dar servicio al módulo de 2 unidades.**

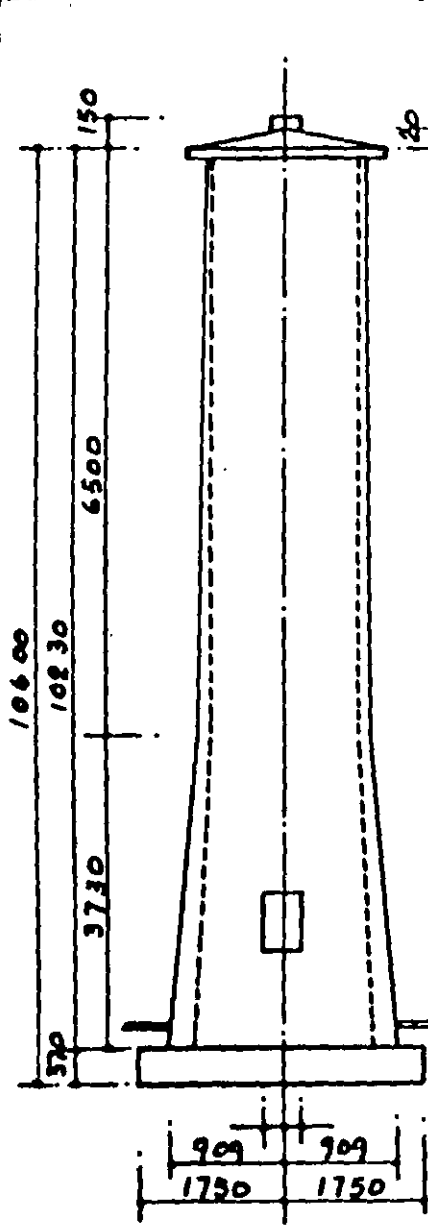
## **VENTAJAS DE ESTE ARREGLO:**

Mayor altura de la pluma para dos unidades funcionando.  
menor volúmen de concreto (menor costo).

## **SOLUCIONES ESTRUCTURALES ADOPTADAS COMO NORMALIZADAS.**

a).- Chimenea con fuste de concreto y dos tiros de tabique antiácido

b).- Chimenea con fuste de concreto y dos tiros de acero.



ELEVACION

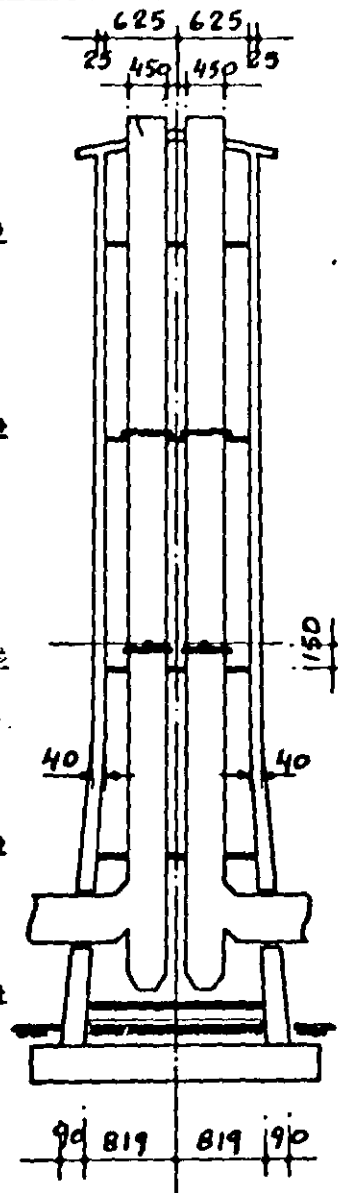
Plataforma N° 1

Plataforma N° 2

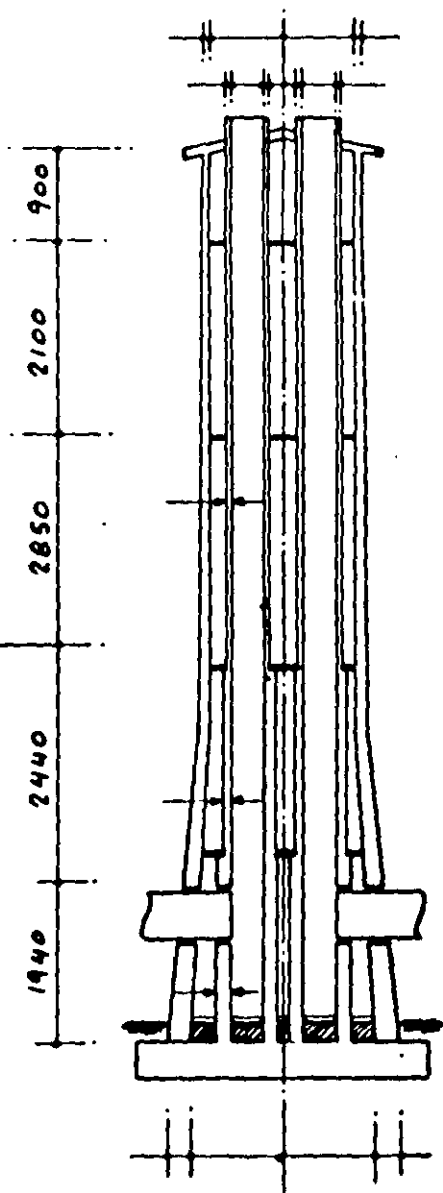
Plataforma N° 3

Plataforma N° 4

Plataforma N° 5



GEOMETRIA DE FUSTE Y TIROS DE ACERO



GEOMETRIA DE FUSTE Y TIROS DE TABIQUE

**MATERIALES**

- Concreto:  $f_c =$  \_\_\_\_\_  $\frac{kg}{cm^2}$   
 volumen fuste \_\_\_\_\_  $m^3$   
 volumen cimentación \_\_\_\_\_  $m^3$   
 Acero de refuerzo:  $f_y =$  \_\_\_\_\_  $\frac{kg}{cm^2}$   
 tamaño fuste \_\_\_\_\_  $kg$   
 tamaño cimentación \_\_\_\_\_  $kg$   
 Acero de tiro:  
 clasificación \_\_\_\_\_  
 tamaño \_\_\_\_\_  $kg$   
 Acero de plataformas:  
 clasificación \_\_\_\_\_  
 tamaño \_\_\_\_\_  $kg$   
 Acero de arribadas:  
 clasificación \_\_\_\_\_  
 tamaño \_\_\_\_\_  $kg$   
 Tabique de fierro:  
 clasificación \_\_\_\_\_  
 volumen \_\_\_\_\_  
 proveedor \_\_\_\_\_

**TERRENO**

- Resistencia del terreno \_\_\_\_\_  $\frac{kg}{cm^2}$   
 Peso volumétrico \_\_\_\_\_  $\frac{kg}{cm^3}$

**ANALISIS**

Espectro

Periodo fundamental  $T_n =$  \_\_\_\_\_  $Seg.$

# CHIMENEAS

## DISEÑO

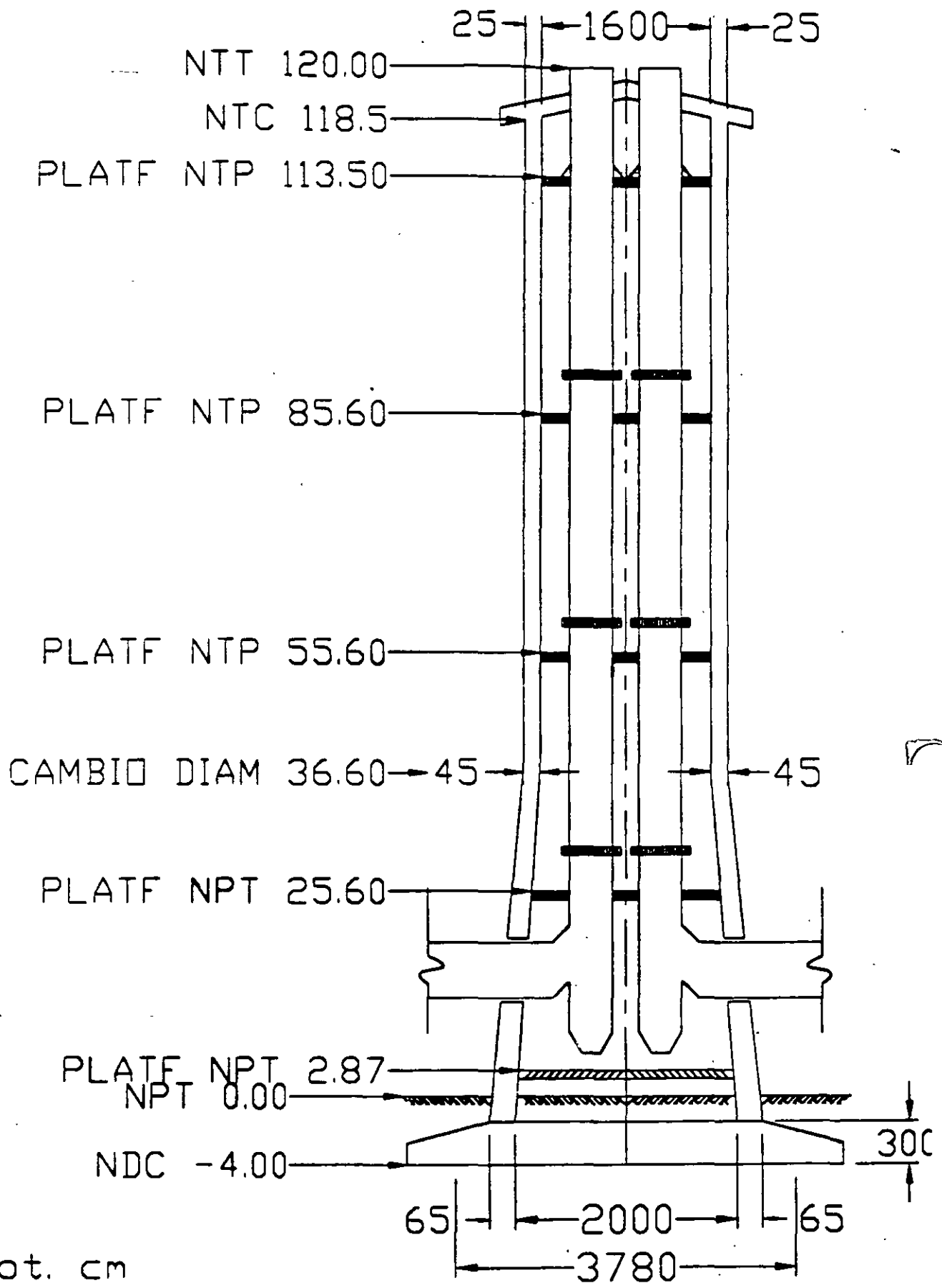
- **Dimensionamiento general**  
Altura y diámetro interior del ó de los ductos de gases efluentes de acuerdo a requerimientos de dispersión de contaminantes. No exceder límites permisibles a nivel del terreno.
- **Señalización**  
Licencia de la Dirección General de Aeronáutica Civil, satisfacer la reglamentación en cuanto a altura y localización respecto a aeropuertos y señalización diurna y nocturna.  
Etapas operativas y constructivas.
- **Protección contra descargas eléctricas.**  
Provista de pararrayos y sistema de tierras.
- **Elevadores y Escaleras Marinas.**  
En el espacio entre ductos de gases y pared interior del efluente.
- **Plataformas para muestreo de gases y mantenimiento.**

## **ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL**

Ejemplo: C.T. PETACALCO  
CARACTERISTICAS GENERALES

- Fuste de concreto reforzado alojando los tiros de dos unidades turbogeneradoras (350 MW c/u).
- Altura sobre el nivel del piso terminado, 120 m.
- Tiros de acero soportados en 4 tramos que apoyan en los elementos principales de plataformas conectadas al fuste de concreto.
- Tiros con apoyos guiados en el extremo inferior de cada tramo.
- Juntas de expansión de elastómeros de fiúor para tomar las expansiones longitudin del tiro por efecto de la temperatura.
- Cimentación por superficie con una zapata ortogonal diseñada para tomar el máximo efecto de volteo generado por Sismo.
- Elevados de piñón cremallera, capacidad de 400 Kg, para inspección y mantenimiento, que llega hasta la plataforma en el nivel 113.50.
- Escalera marina que se extiende hasta la cubierta de la chimenea.
- Cubierta de la chimenea, losa de concreto reforzado protegida con loseta antiácida.
- Aislamiento para los tiros de acero con fibra de vidrio de 2" de espesor.





acot. cm  
 niv m

DIMENSIONAMIENTO GENERAL

# PEDESTALES PARA TURBOGENERADORES

## ANALISIS Y DISEÑO

- ESTRUCTURA APORTICADA QUE SIRVE DE SOPORTE A LOS TURBOGENERADORES.
- DEBE CUMPLIR CON TODAS LAS EXIGENCIAS DEL FABRICANTE DEL EQUIPO.
- LOS PLANOS DEL FABRICANTE DEFINEN:
  - DIMENSIONES DE HUECOS.
  - ANCHOS DE TRABES TRANSVERSALES.
  - LONGITUD APROXIMADA EN PLANTA.
  - NIVELES.

1. - PRE-DISEÑO: SE BASA EN LA EXPERIENCIA DE FABRICANTES DE EQUIPO Y DE COMPAÑIAS DE DISEÑO.

- TRABES TRANSVERSALES:

PERALTE = 0.3 A 0.4 DEL CLARO DE TRABES LONG.

- COLUMNAS:

$$A > = \frac{W}{600} \frac{H}{000} \text{ (m}^2\text{)}, \quad \text{PARA 3600 RPM}$$

- LOSA DE CIMENTACION:

- EN SUELOS O PILOTES:

$$\text{PERALTE} > = \frac{1}{5} \quad \text{SEPARACION MAXIMA DE COLUMNAS}$$

- EN ROCA

PERALTE POR EXIGENCIAS ESTRUCTURALES PERO NO MENOR DE 1.80 M.

- TAMBIEN DEBE CUMPLIR REQUISITOS DE MASA

- RECOMENDACIONES GENERALES

- Pedestal aislado de la estructura de casa de máquinas.
- Elementos en voladizo deben omitirse.
- Columnas en intersección de vigas.
- Centro de rigidez  $\cong$  centro de gravedad, etc.

2. - ANALISIS:

2.1. - ANALISIS ESTATICO PARA DETERMINAR LA RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA.

OBJETIVO: Limitar desplazamientos del pedestal a valores especificados por el fabricante.

Limitaciones muy estrictas.

Varían de fabricante a fabricante.

Limitan desplazamientos absolutos y relativos.

- Criterio de desplazamientos absolutos.

La deformación del pedestal en cualquier punto no debe exceder 0.5 mm en cualquier dirección bajo las siguientes cargas:

1.5 (Peso de la máquina) + Peso Pedestal,  $\Delta$  Vert.

0.25 (Peso de la máquina) + Sismo,  $\Delta$  Horiz.

No es razonable este criterio.

- Criterio de desplazamientos relativos:

Limita las deformaciones diferenciales del pedestal entre puntos de apoyo a chumaceras, bajo cargas que actúan después del alineamiento inicial del equipo.

## 2.2. - MODELO DE ANALISIS:

2.2.1. - Estructura tridimensional considerando rigidez de nudos, sin losa de cimentación.

Rigidez de nudos :- Comandos específicos (Member end joint size STRUDL).

ACI:  $10K =$  Rigidez miembros ficticios  $\leq$  20 veces rigidez miembros adyacentes al nudo.

Todos elementos barra.

2.2.2. - Estructura tridimensional con elementos barra y sólidos tridimensionales, sin losa de cimentación.

Muy complicado y caro.

Resultados de ambos del mismo orden de magnitud

Programas de análisis en CFE:

- SAP
- STRUDL
- NASTRAN, ya no

Si la geometría cumple los requisitos de este análisis se acepta, si no se propone otra.

## 3. - ANALISIS DINAMICO:

3.1. - Análisis de vibración libre o de frecuencia. Se determinan frecuencias y modos de vibrar de la estructura.

Se debe garantizar que la estructura quede fuera del rango de resonancia:

$$0.6 \leq \frac{\theta}{\omega} \leq 1.4$$

No solamente con la velocidad de operación, sino con las velocidades críticas del rotor.

Pedestales en CFE con frecuencias naturales de aproximadamente 6 Hz.

Son de "baja sintonía" para velocidades de equipo de 3600 RPM = 60 Hz.

3.1.2.- Modelo de análisis: El mismo que se uso para análisis estático.

Programas de análisis:

- SAP
- STRUDL

3.2.- Análisis de vibración forzada o de respuesta: Se obtiene la respuesta de la estructura a las fuerzas dinámicas provocadas por desbalanceos normales del rotor.

3.2.1.- Modelo de análisis: El mismo que se uso para análisis estático.

Programas de análisis:

- SAP
- STRUDL

#### 4.- ANALISIS ESTATICO DE ESFUERZOS:

Como el de una estructura convencional. Se obtienen elementos mecánicos de diseño.

##### 4.1.- Cargas

4.1.1.- Del equipo: Las proporciona el fabricante en magnitud dirección y sentido (no todas).

- Peso propio
- Vacío
- Par de la turbina                      Operación normal
- Par del generador
- Expansión del equipo

- Accidentes de las turbinas:
  - pérdida de álabes
  - arqueo del rotor

Cargas  
accidentales

- Accidente del generador:
  - corto circuito.

4.1.2.- Del pedestal: Las estima el que diseña el pedestal.

- Peso propio
  - Temperatura
  - Flujo plástico del concreto.
- Operación normal
- 
- Sismo
- Cargas accidentales

Combinaciones de cargas:

- Operación normal
- Accidente del generador
- Accidente de las turbinas
- Sismo

4.2.- Modelo de análisis: Comprende a la estructura en el espacio, a la losa de cimentación y al suelo.

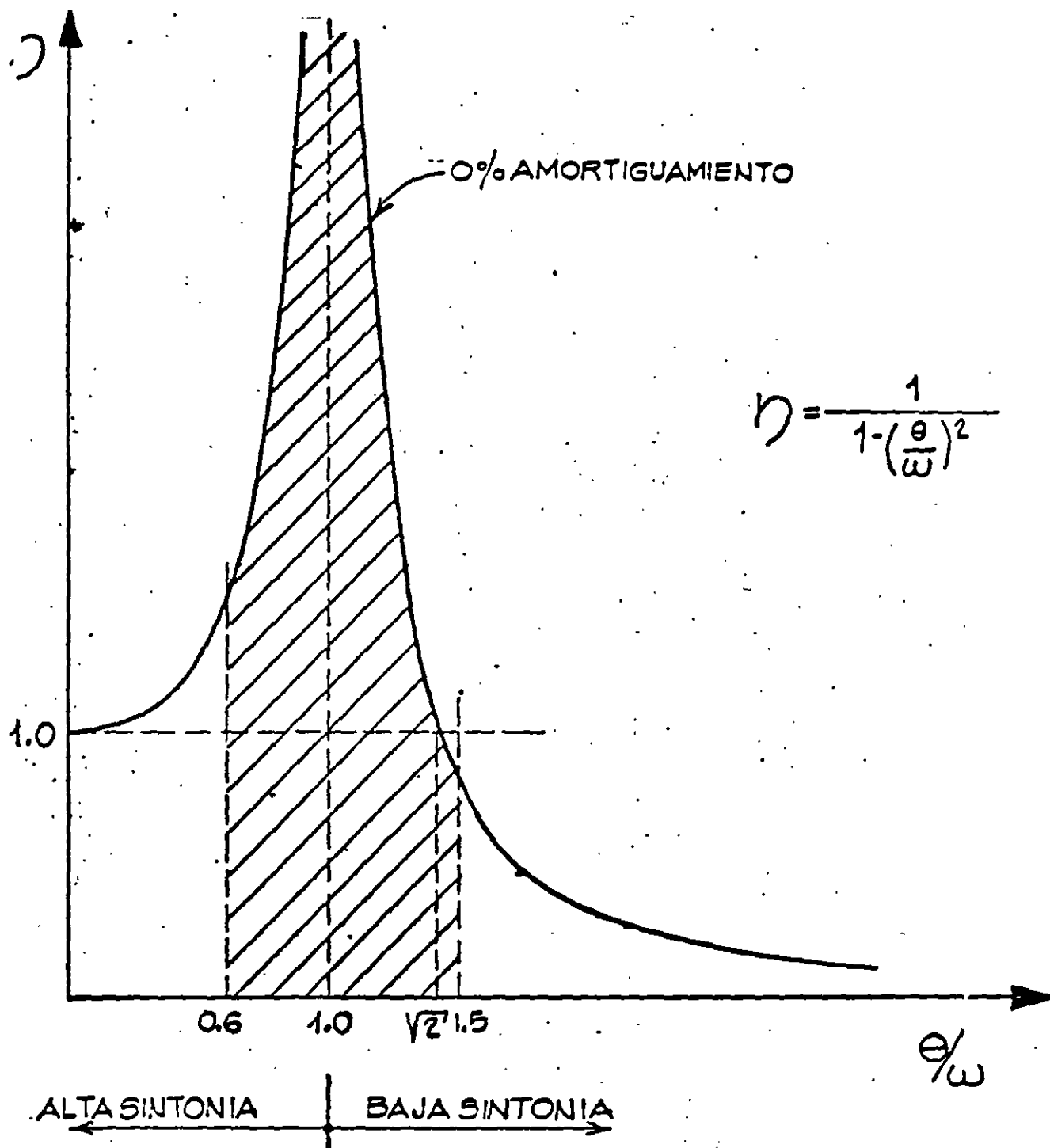
Programas de análisis:

- SAP
- STRUDL

### 5.- DISEÑO:

Como el de una estructura espacial convencional  
Diseño a resistencia según el ACI última edición  
Porcentajes de refuerzo mínimos mas bajos debido a la  
robustez de las secciones.

El diseño se complementa con la elaboración de planos  
constructivos.



RANGO DE RELACION DE FRECUENCIAS INACEPTABLES.

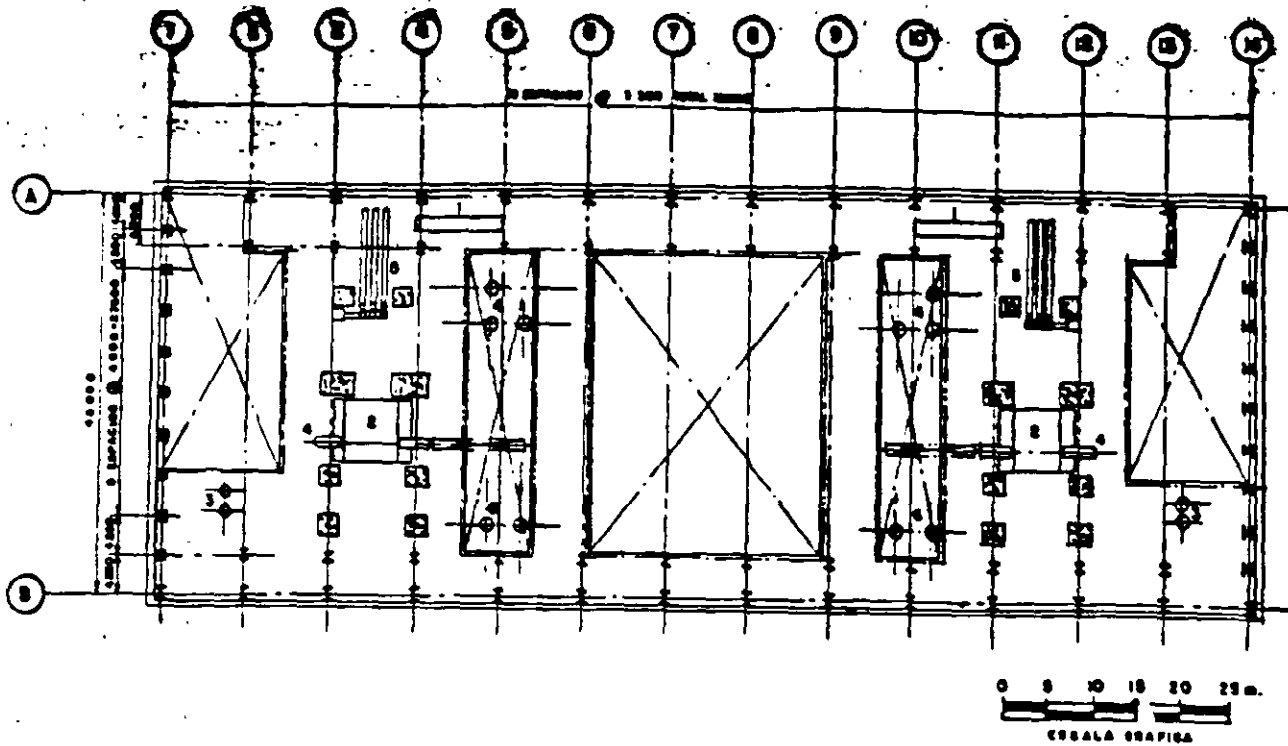


Fig.- III-3 Casa de Máquinas: Arreglo de Equipo Mezzanine Planta Niv. 6.000 m.

LISTA DE EQUIPO

1.- Cubículo de excitación  
2.- Condensador

3.- Enfriadores de aceite lubricante  
4.- Calentadores de baja presión

5.- " Bus." de fase aislada  
6.- Calentadores de alta presión

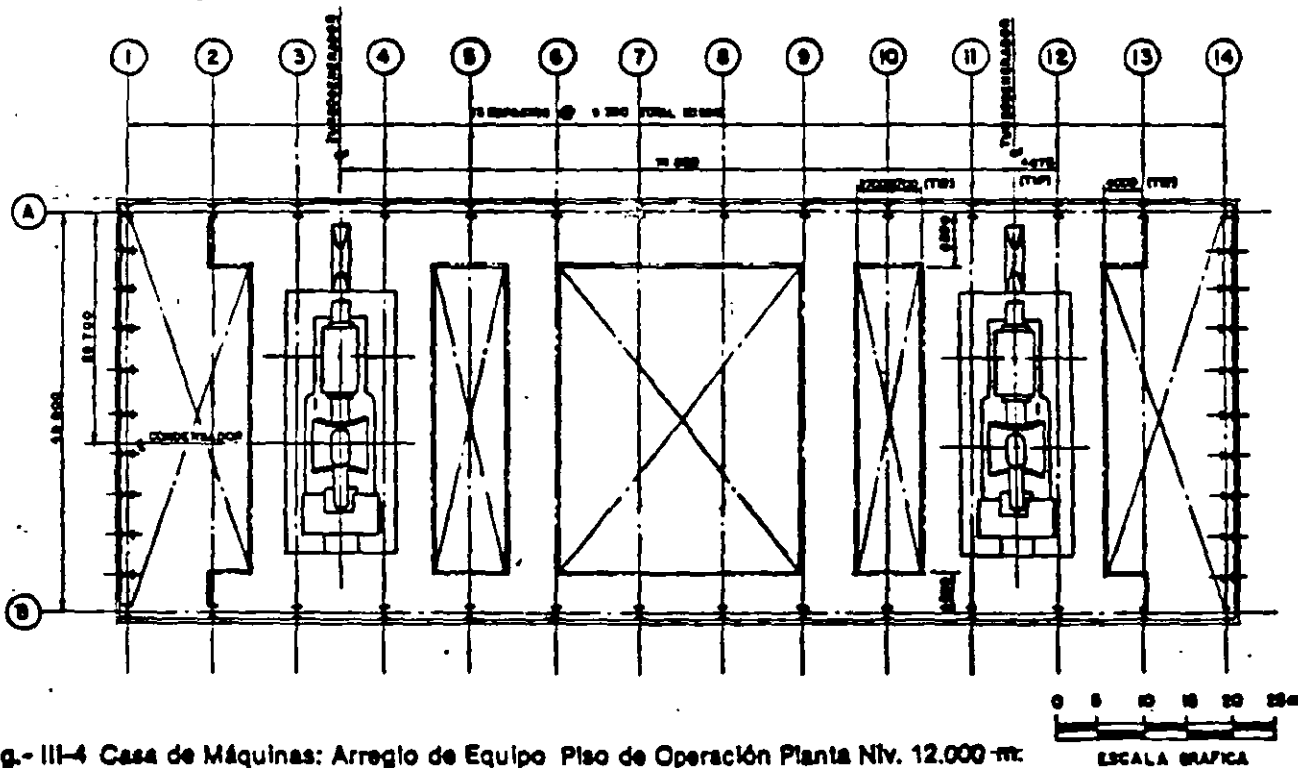
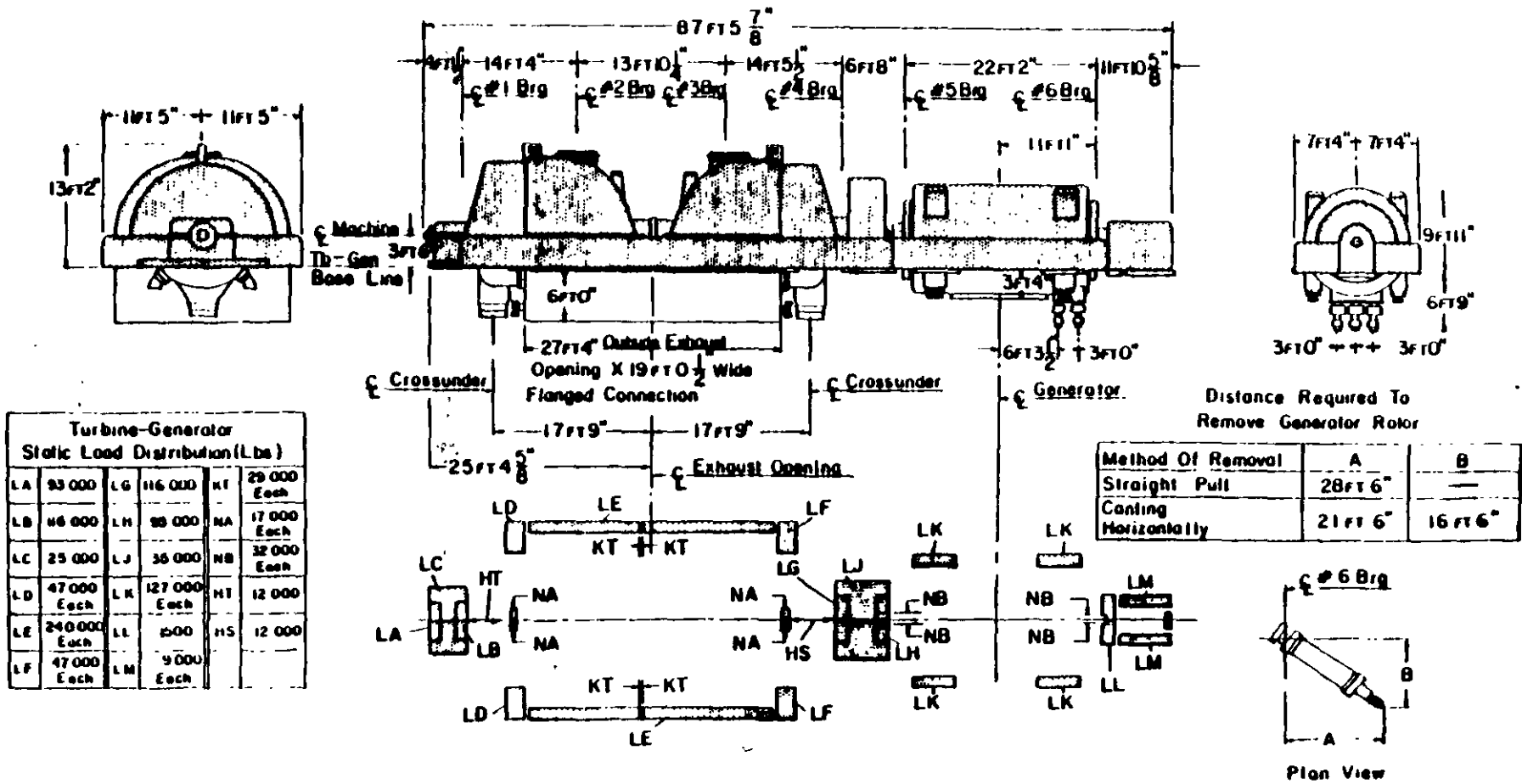


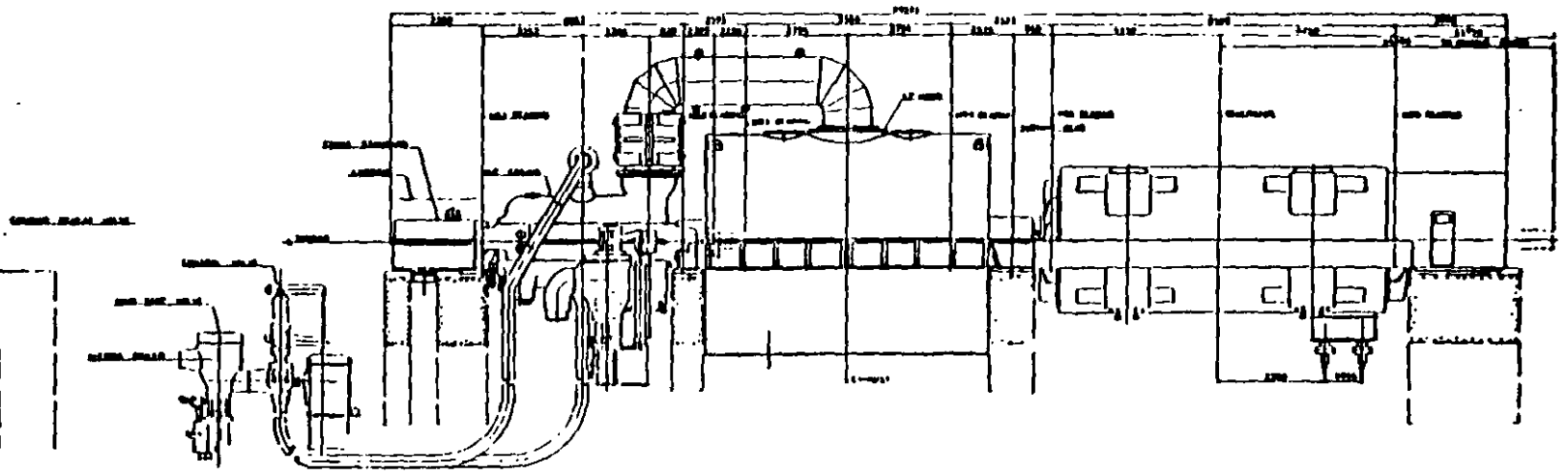
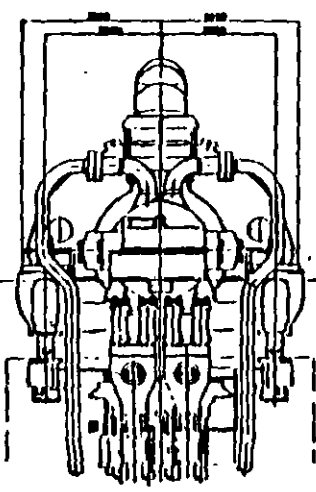
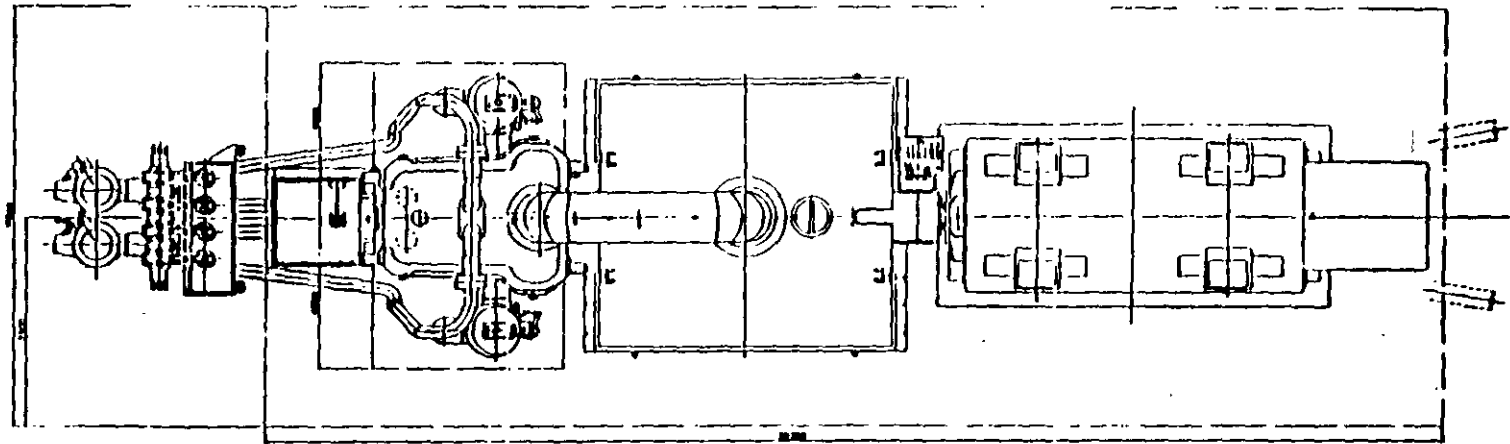
Fig.- III-4 Casa de Máquinas: Arreglo de Equipo Piso de Operación Planta Niv. 12.000 m.





1. Steam conditions: Variable with 38-in. last-stage buckets.
2. LA and LB loadings do not occur simultaneously but are superimposed on LC load. LA load is zero for normal operation. For full value of LA load, LB load is zero.
3. LG and LH loadings do not occur simultaneously but are superimposed on LJ load. LG load is zero for normal operation. For full value of LG load, LH load is zero.
4. Load values shown are for turbine-generator unit only. Additional load contributed by condenser not included.
5. This outline shall not be used for construction purposes.

Fig. 28, Sheet 3. Typical outline and loading diagram for 1800-rpm, double-flow, condensing, low-pressure element of 220,000-kw, close-coupled, cross-compound, steam turbine-generator unit



T/C mechanical outline

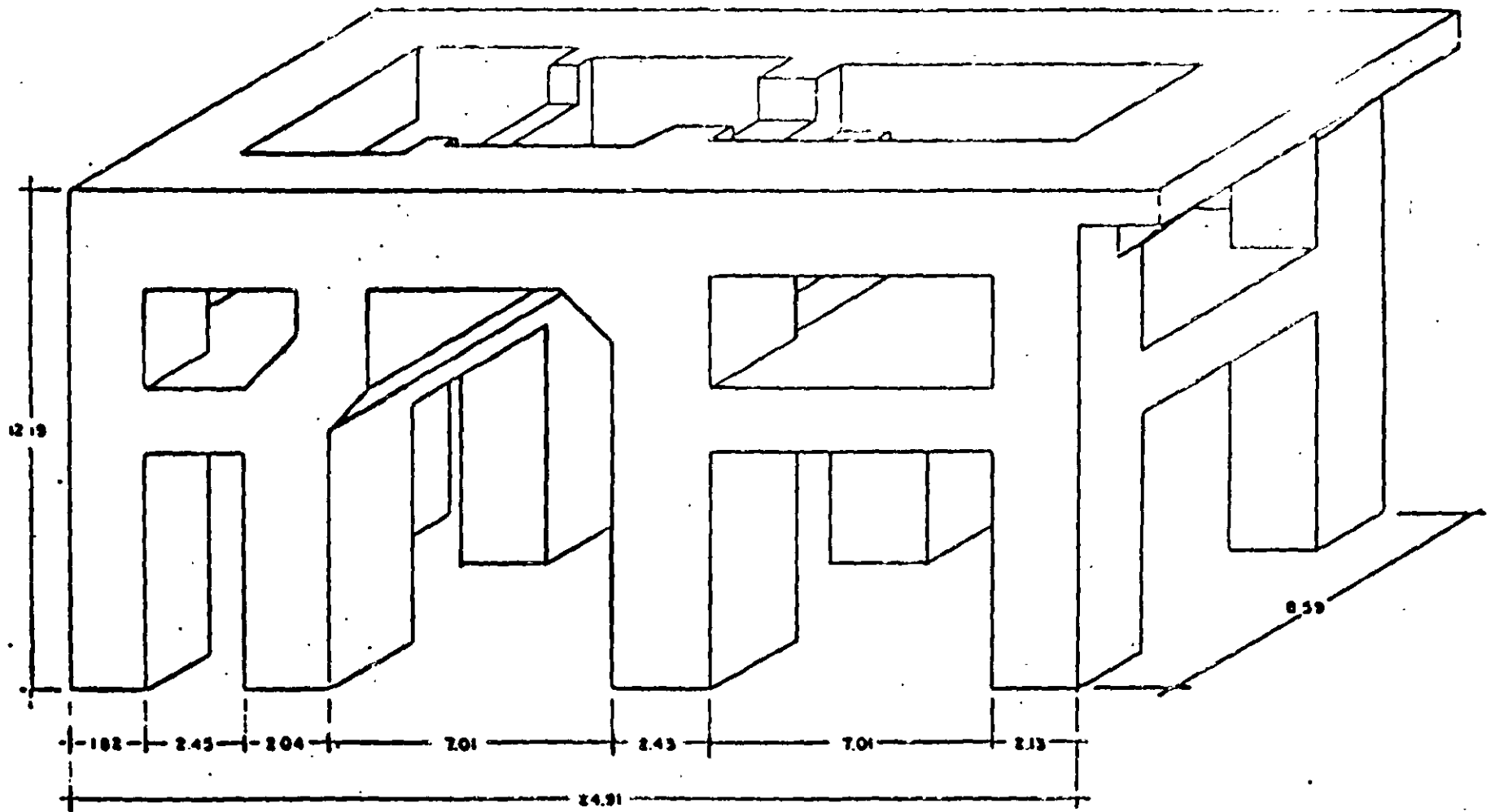
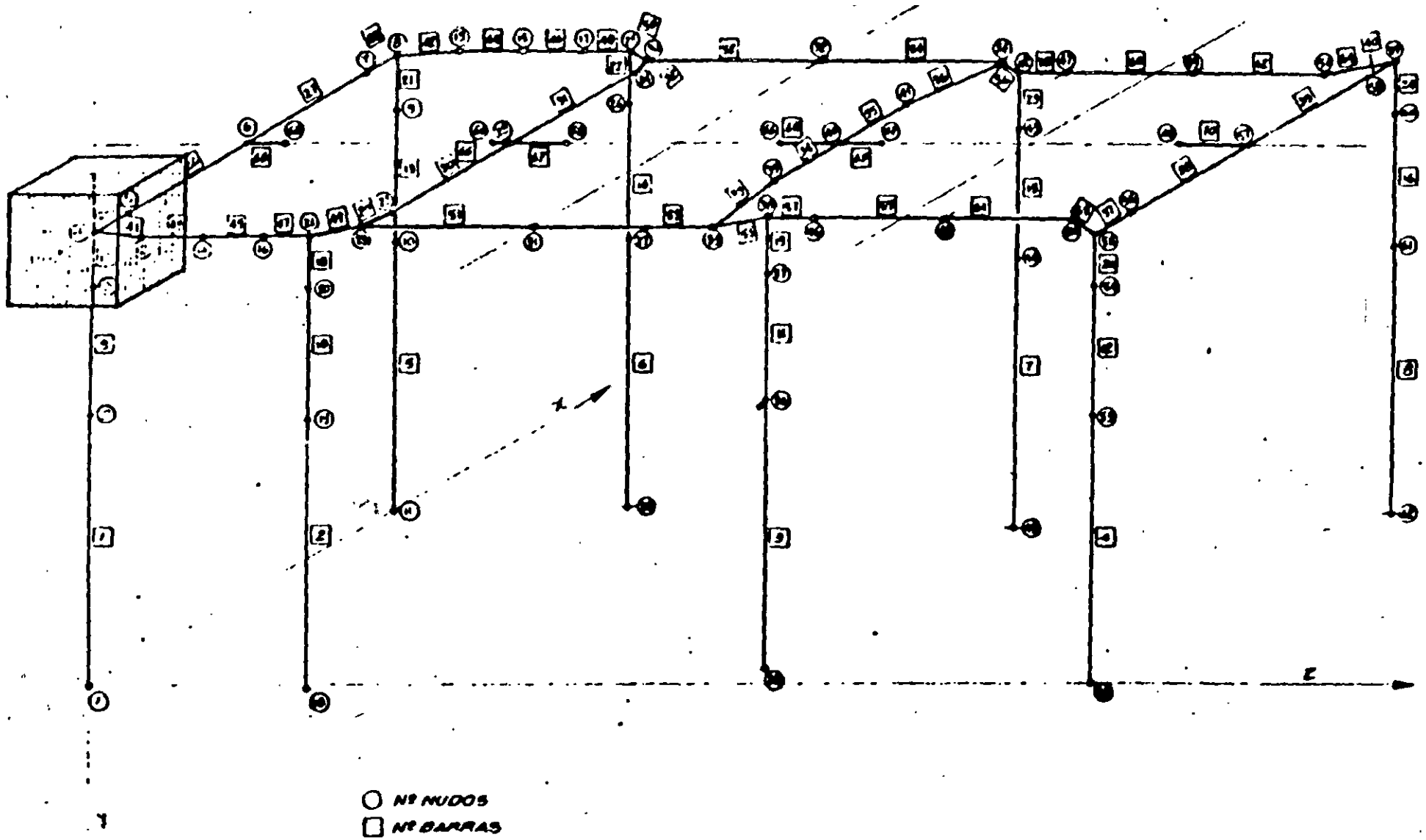
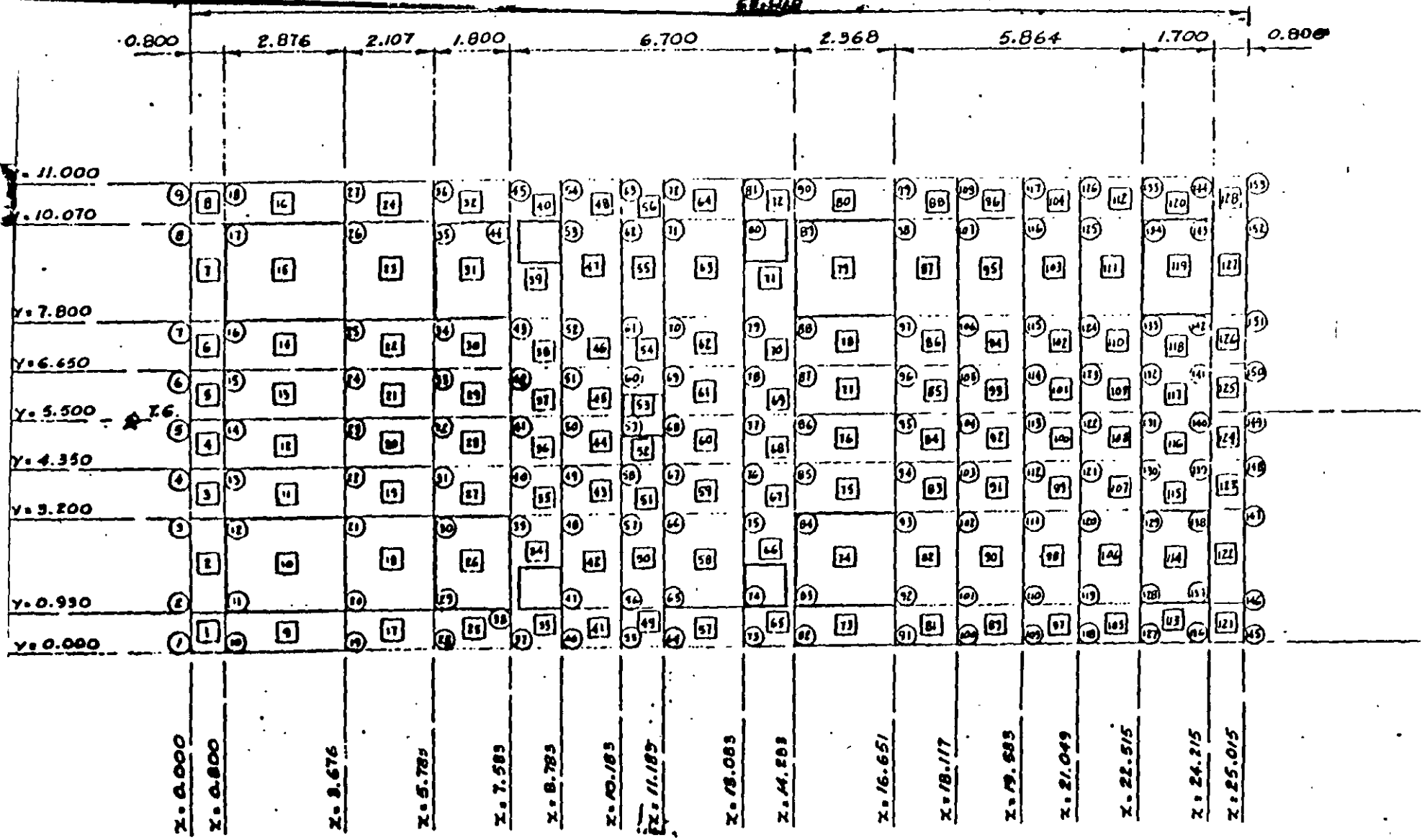


FIG. 4.1 Estructura de Apoyo de la Unidad

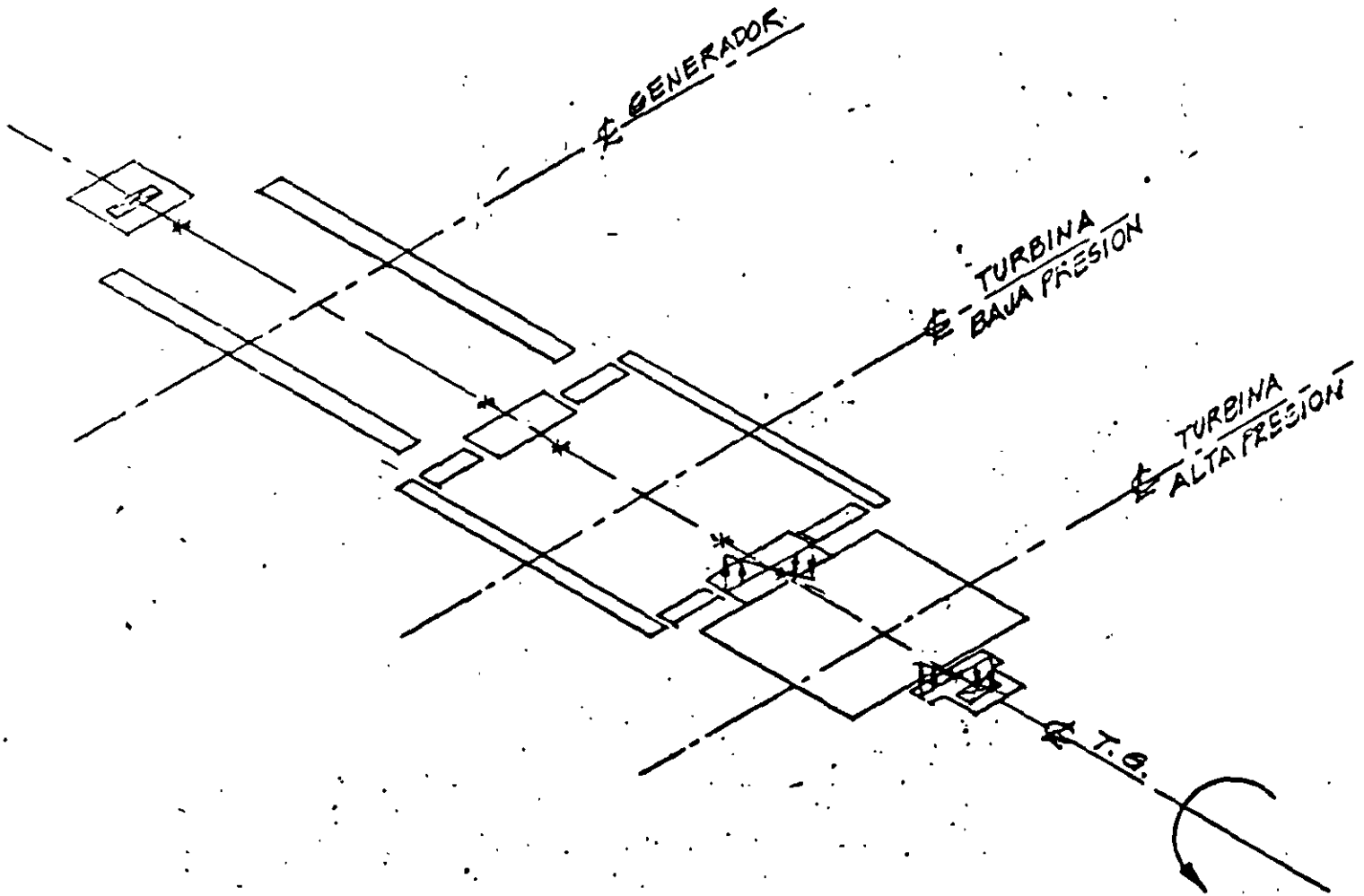
**PEDESTALES PARA TURBOGENERADORES**

<b>CONCRETO REFORZADO</b>		<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<p>1.- La masa y el amortiguamiento del concreto son adecuados para absorber vibraciones.</p> <p>2.- La baja conductividad del concreto no permite distorsiones locales y puede soportar altas temperaturas sin daños mayores.</p> <p>3.- Es posible adaptar su forma a turbinas y tubería peculiares</p> <p>4.- Los materiales se obtienen con relativa facilidad en cualquier sitio.</p> <p>5.- Los pedestales de concreto tienen mejor apariencia que los de acero.</p> <p>6.- No requieren de mantenimiento.</p> <p>7.- Se tiene amplia experiencia en su uso.</p>	<p>1.- Son mucho mas pesados que los de acero</p> <p>2.- El tiempo de construcción es mayor que para el caso de pedestales de acero.</p>	<p>1.- El acero es mas confiable (como material) debido al alto control de calidad en su fabricación.</p> <p>2.- Son mas ligeros.</p> <p>3.- Permite mayor espacio por sus reducidas secciones.</p> <p>4.- Menor tiempo de construcción.</p> <p>5.- Es posible hacer modificaciones para corregir errores.</p> <p>6.- Es posible adaptarlos a otros equipos.</p>	<p>1.- tienen alta conductividad termica causa de posibles distorsiones locales.</p> <p>2.- Para altas temperaturas (caso de incendio) es posible un colapso.</p> <p>3.- Pueden presentarse vibraciones locales debido a la escasa masa y amortiguamiento del material.</p> <p>4.- El costo es mayor.</p> <p>5.- Requiere de mantenimiento.</p> <p>6.- Requiere de elevada calidad en su fabricación y montaje.</p>

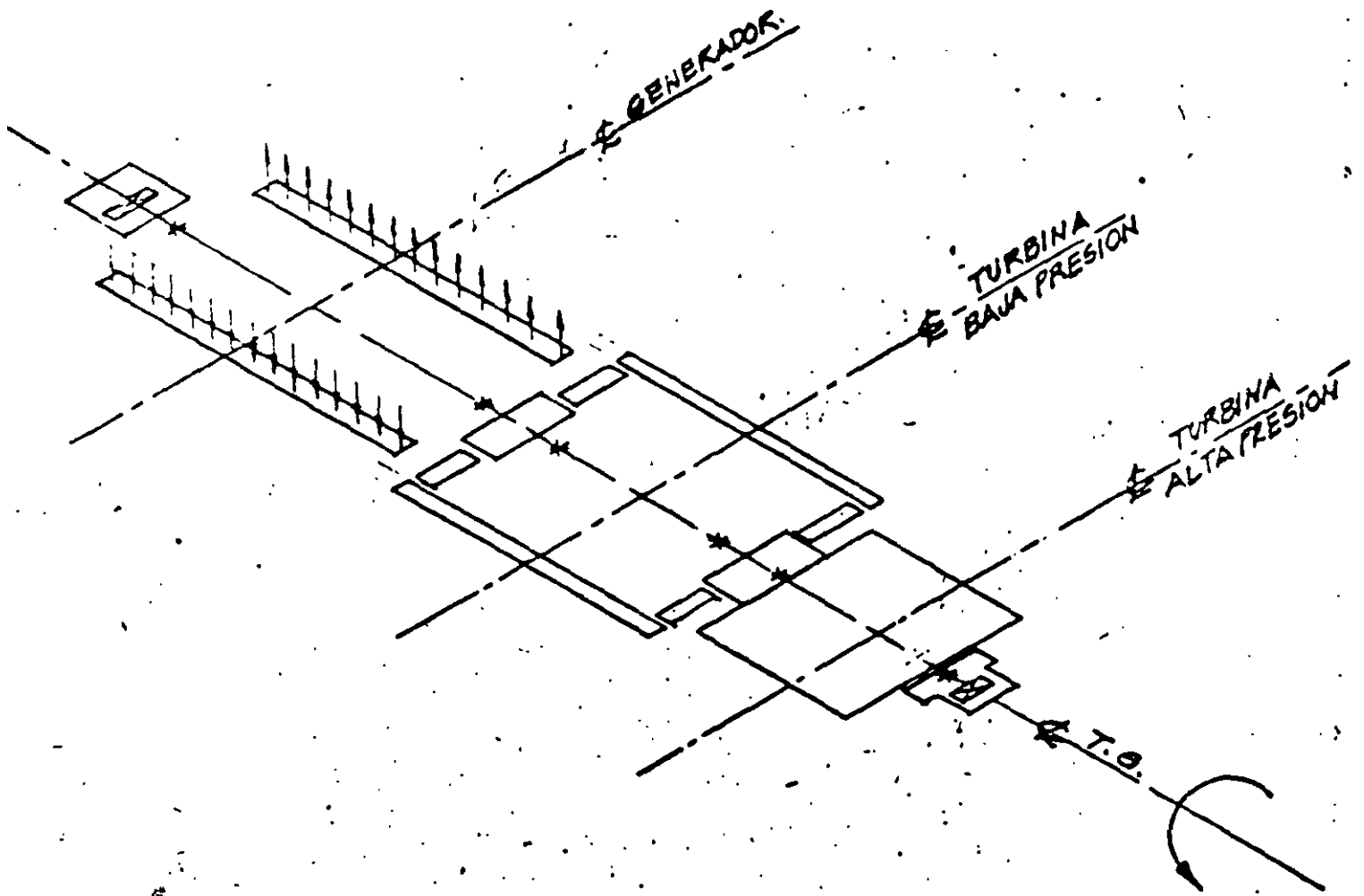




○ Nº NUDOS  
 □ Nº ELEMENTOS

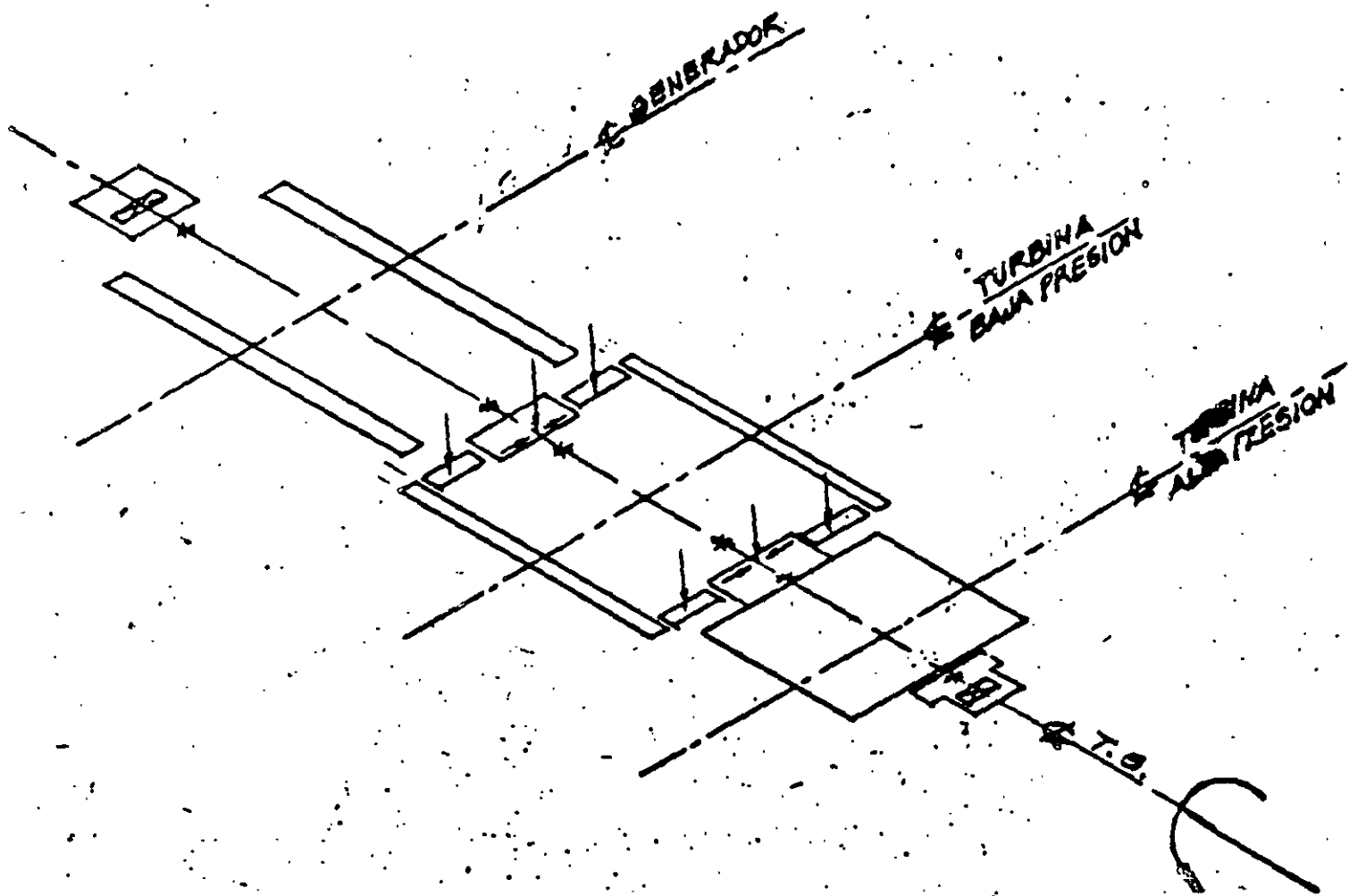


PAR NORMAL TURBINA ALTA PRESION

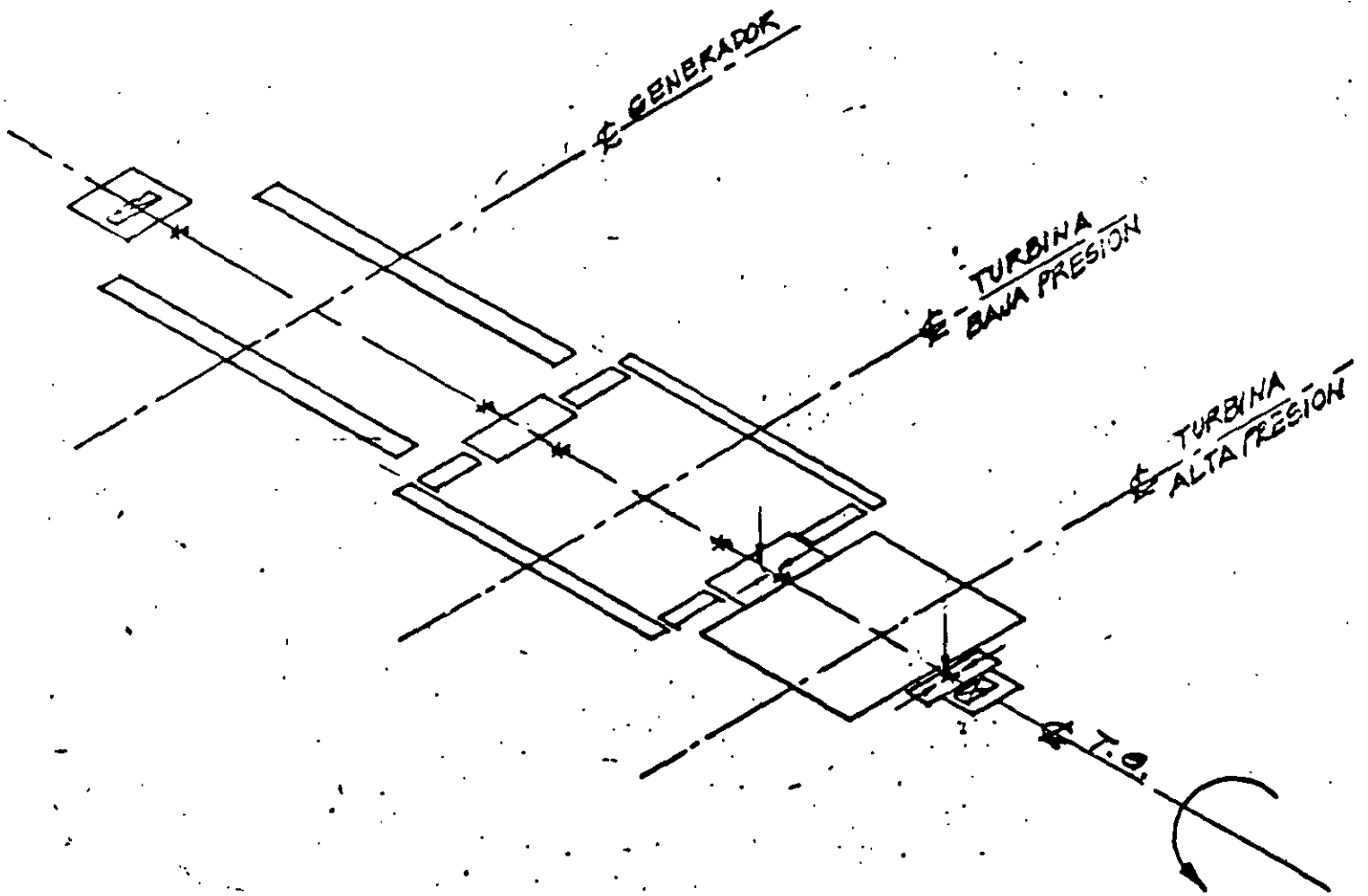


**CORTO CIRCUITO DEL GENERADOR**

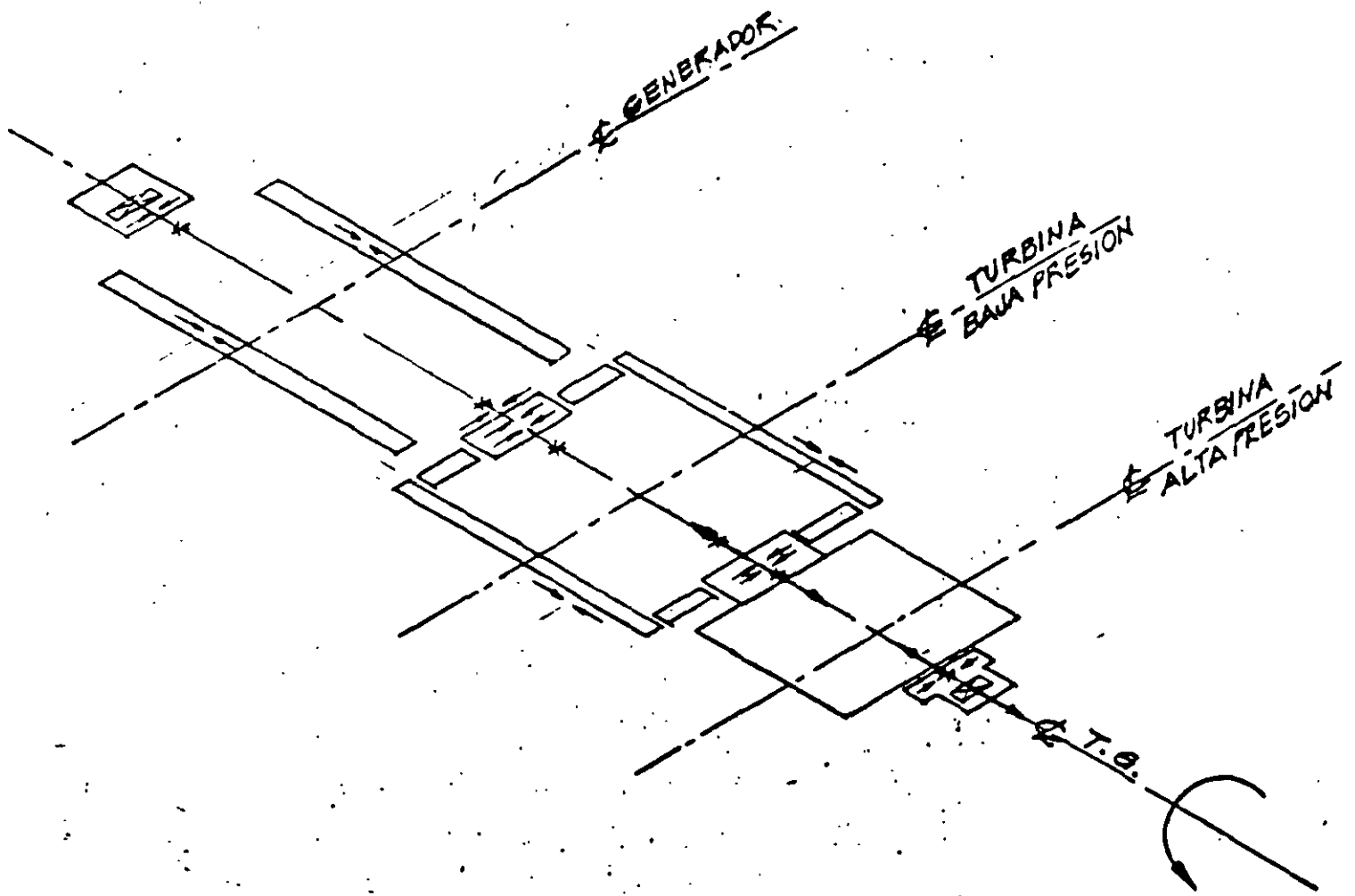




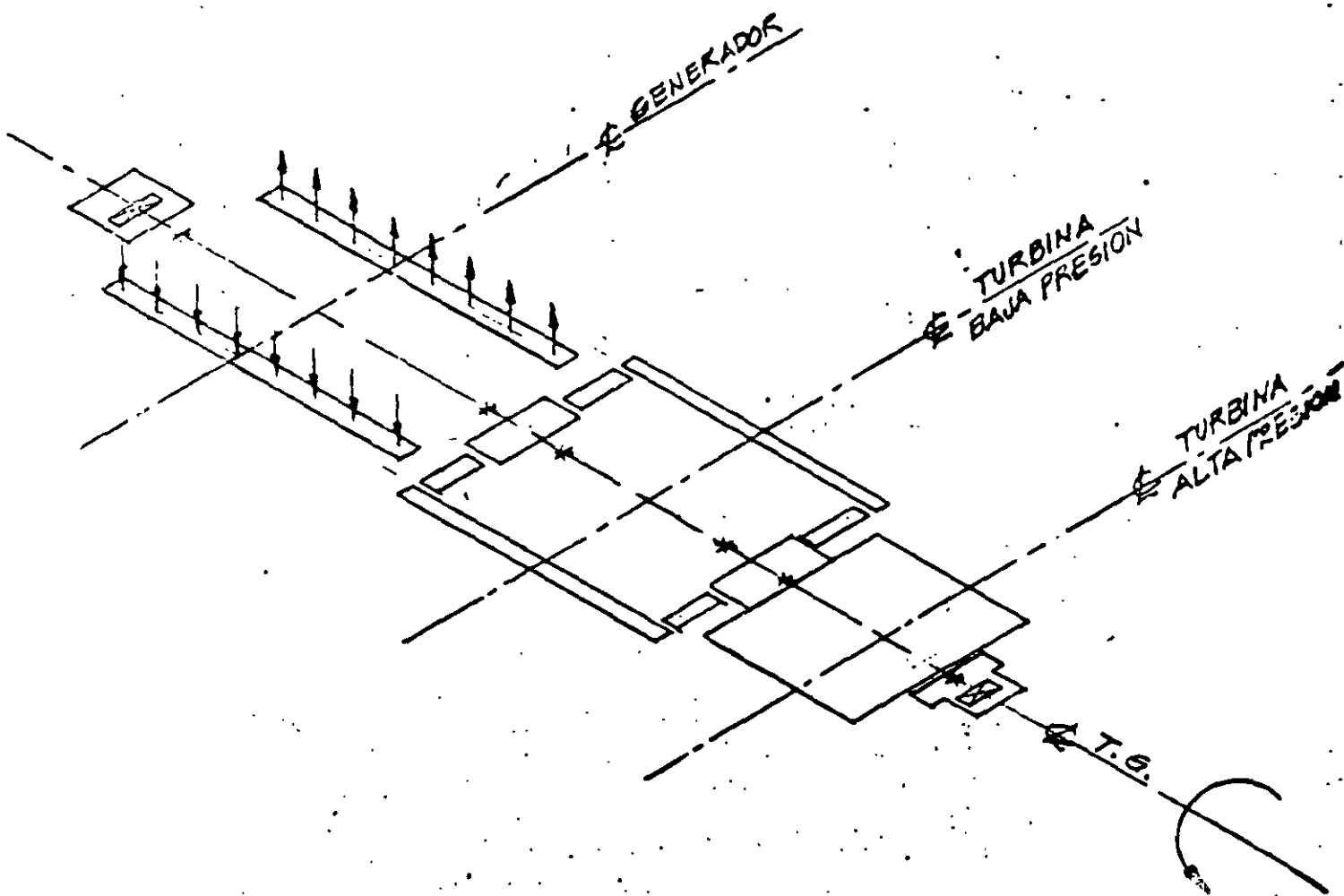
ACCIDENTE DE TURBINA BAJA PRESION



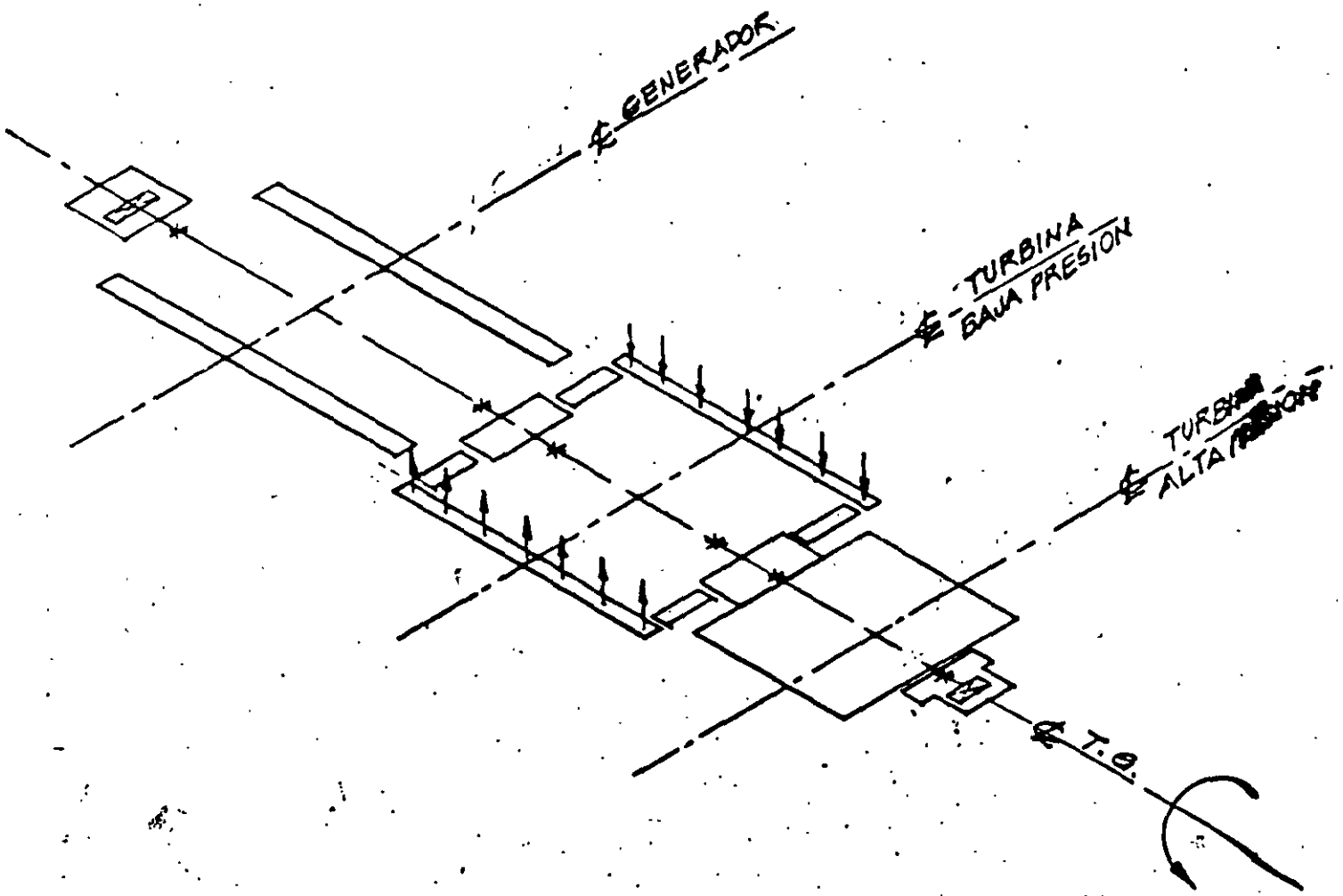
ACCIDENTE DE TURBINA ALTA PRESION



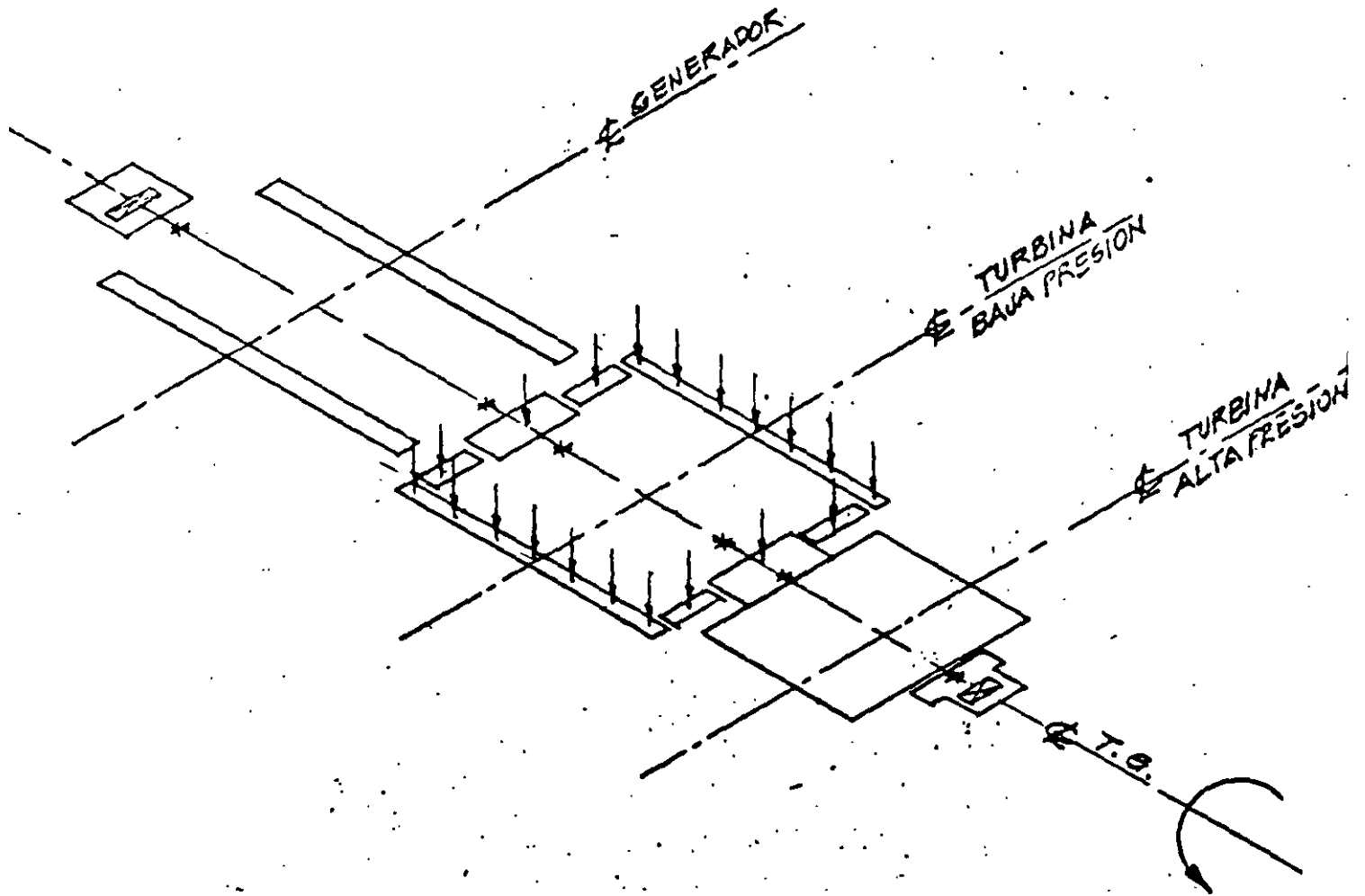
EXPANSION DEL EQUIPO



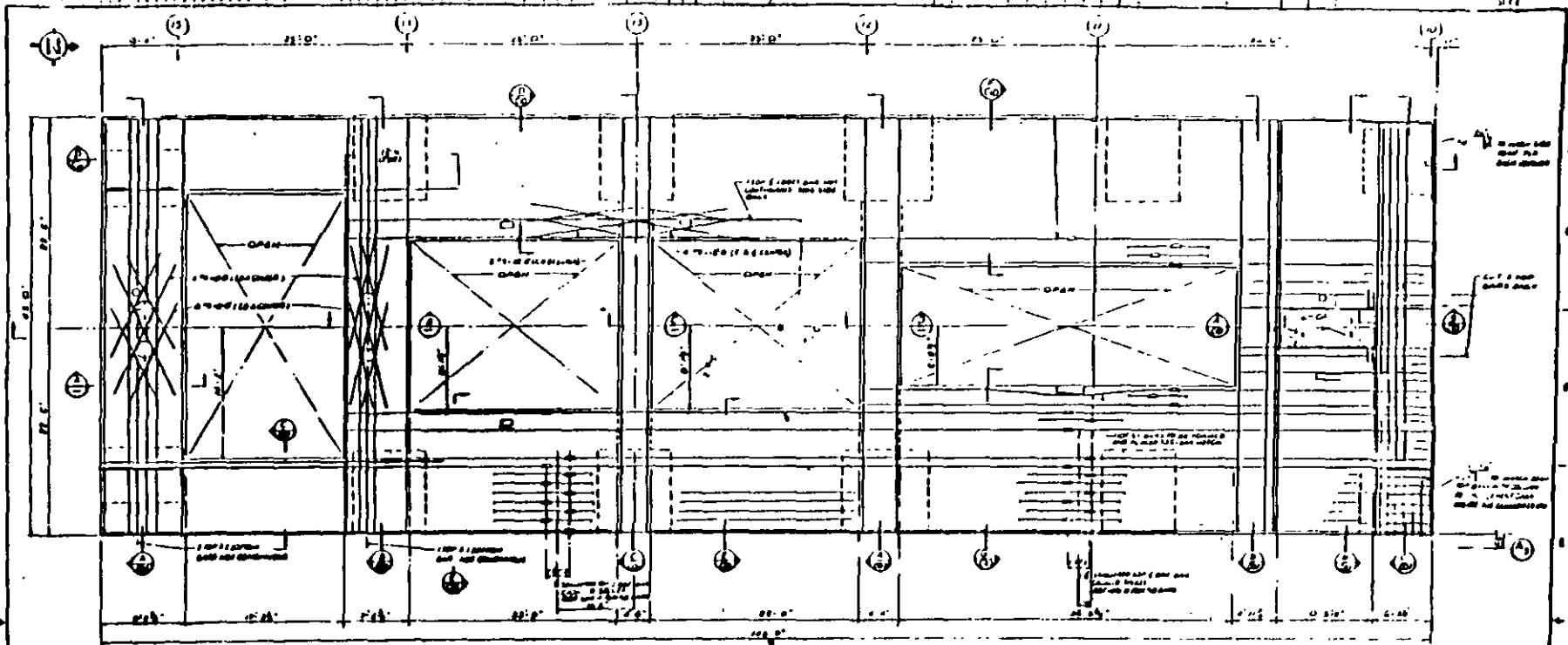
PAR NORMAL DEL GENERADOR



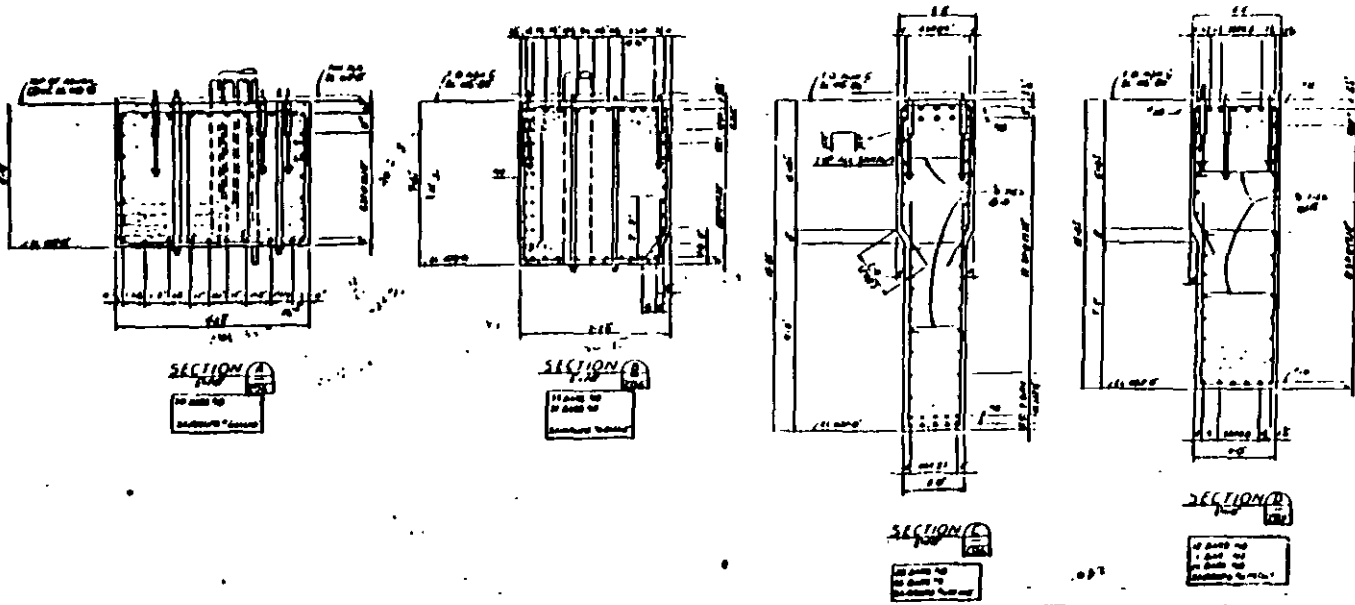
PAR NORMAL TURBINA BAJA PRESION



CARGA DE VACIO



DECK REWORKING PLAN



- NOTES**
1. All work to be done in accordance with the above.
  2. All work to be done in accordance with the above.
  3. All work to be done in accordance with the above.
  4. All work to be done in accordance with the above.
  5. All work to be done in accordance with the above.

ALL WORK TO BE DONE IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE.

# **SISTEMAS PRINCIPALES**

- 1. VAPOR SOBRECALENTADO,  
RECALENTADO Y VAPOR AL  
RECALENTADOR**
- 2. SISTEMA DE CONDENSADO**
- 3. SISTEMA DE AGUA DE  
ALIMENTACION**
- 4. SISTEMA DE AGUA DE  
ENFRIAMIENTO**
- 5. SISTEMA DE COMBUSTIBLE**
- 6. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE  
AGUA**



# INGENIERIA DE DETALLE

## AREAS EXTERIORES

- ESPUELA DE FERROCARRIL
- SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL
- SISTEMA DE DRENAJE SANITARIO
- SISTEMA DE DRENAJE INDUSTRIAL
- TRATAMIENTO DE EFLUENTES
- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION
- OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN EL MAR
- TORRES DE ENFRIAMIENTO
- SUBESTACION
- DIQUES Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO
- MUELLE PARA DESCARGA DE CARBON Y/O COMBUSTOLEO

DEFINICION DE RESPONSABILIDADES.

CONCEPTO	MECANICO	CIVIL	DISÑO DE PLANTA
PROYECTO HIDRAULICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión y verificación.</li> <li>- Informaciones de pérdidas en condensadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trazo de gradientes hidráulicos para todas las modalidades de operación.</li> <li>- Cálculo y análisis de condiciones transitorias.</li> </ul>	
EQUIPO MECANICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección y adquisición.</li> </ul>		
ESTRUCTURAS DE TOMA Y DESCARGA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición de criterios funcionales.</li> <li>- Información del equipo,</li> <li>- Revisión de compatibilidad con el equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arreglo general.</li> <li>-Análisis y diseño estructural.</li> <li>-Selección y adquisición de barreras, agujas, rejillas de barras y rejillas para peces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición de necesidades de espacio para equipos y tuberías auxiliares.</li> <li>- Trazo de tuberías auxiliares.</li> </ul>
TUBERIA DE AGUA DE CIRCULACION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definición y revisión de criterios funcionales.</li> <li>- Información para evaluación económica.</li> <li>- Selección, adquisición y localización de válvulas y juntas de expansión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localización.</li> <li>- Selección y adquisición de la tubería.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trazo de la tubería auxiliar dentro de las estructuras de toma y descarga.</li> </ul>

# DISEÑO

- ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS
  - OLEAJE
  - CORRIENTES
  - MAREAS
- ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
- ESTUDIOS DE DIFUSIÓN  
TÉRMICA ( MODELOS )

# **OBRAS DE TOMA**

## **FUENTES DE ABASTECIMIENTO**

- **TIPO SUPERFICIAL  
<ESCOLLERAS, CANAL DE  
LLAMADA>  
(MAR, LAGO O LAGUNA)**
- **TIPO SUBMARINA**
- **POZOS - TORRE DE  
ENFRIAMIENTO.**

# **OBRAS DE DESCARGA**

- **SUPERFICIAL <CANAL DE DESCARGA, ESCOLLERAS>**
- **SUBMARINAS**

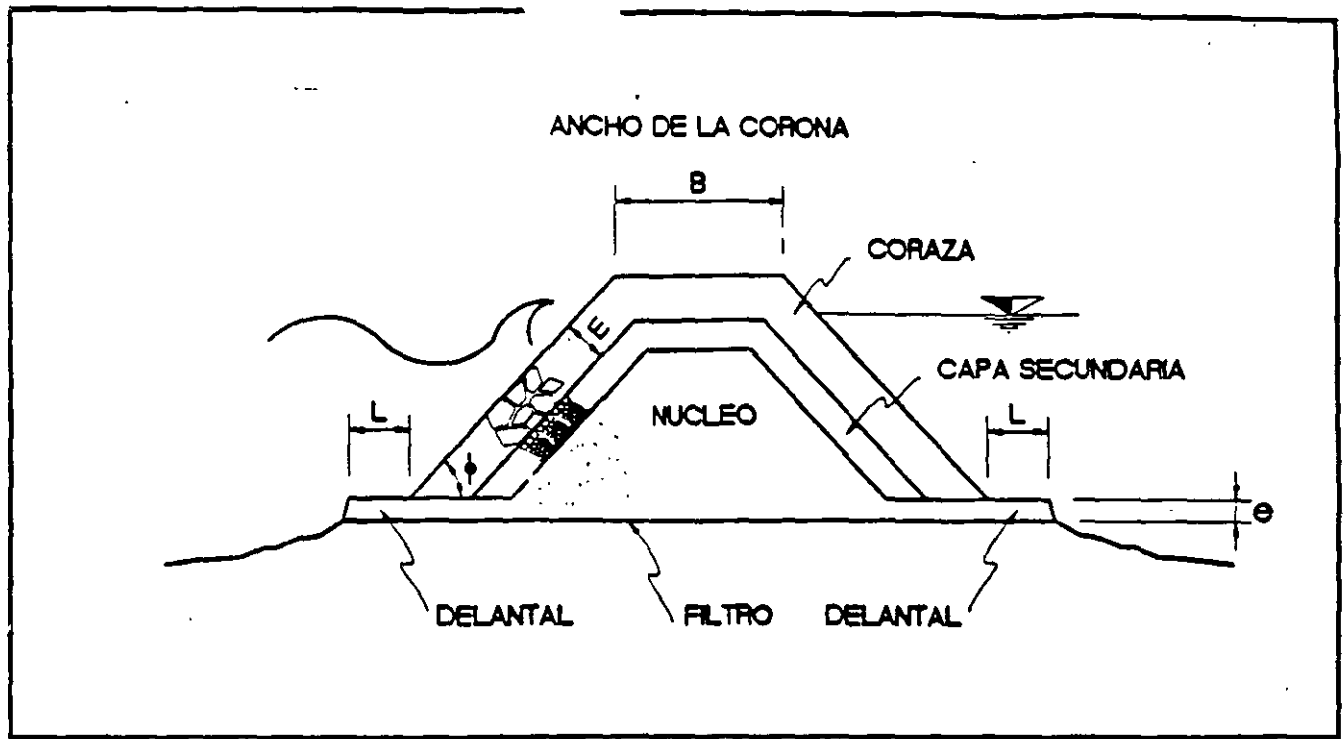


FIGURA IV.7.- SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UNA ESCOLLERA O ESPIGON

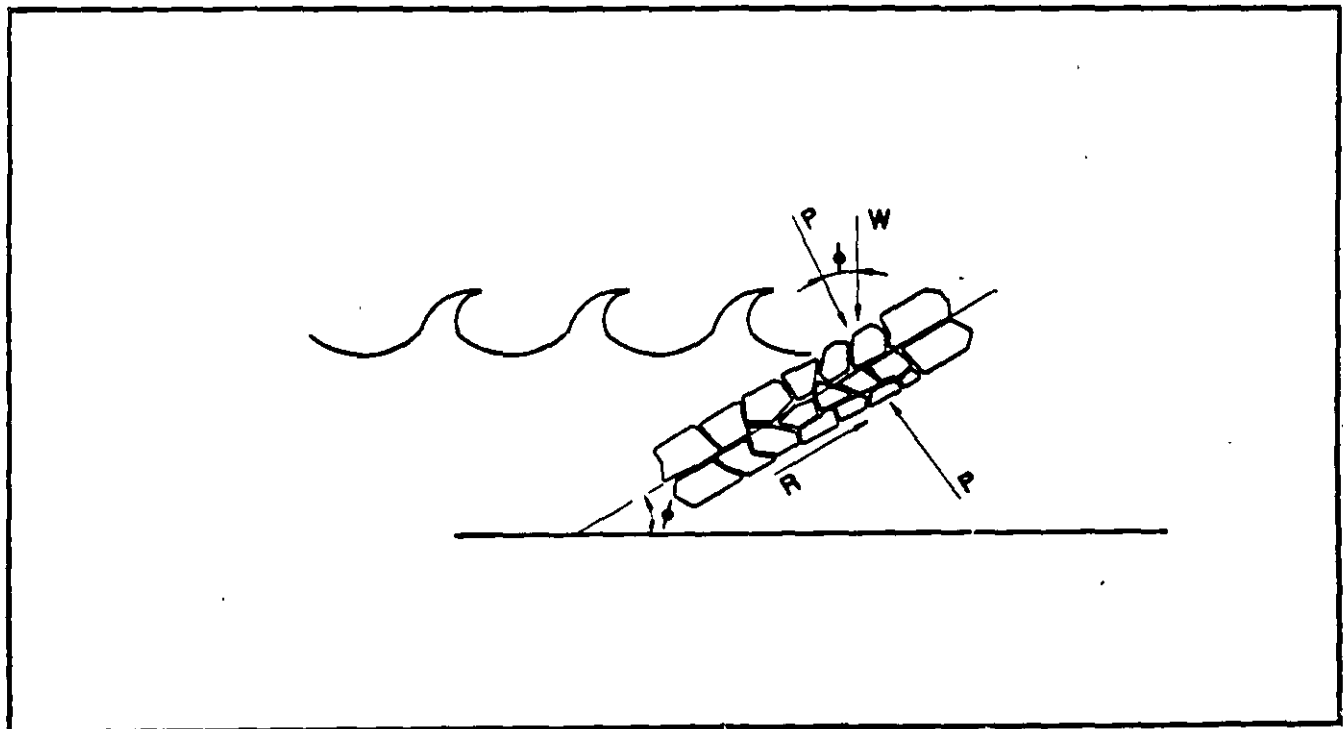


FIGURA IV.8.- FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA ESTABILIDA DE LA CORAZA

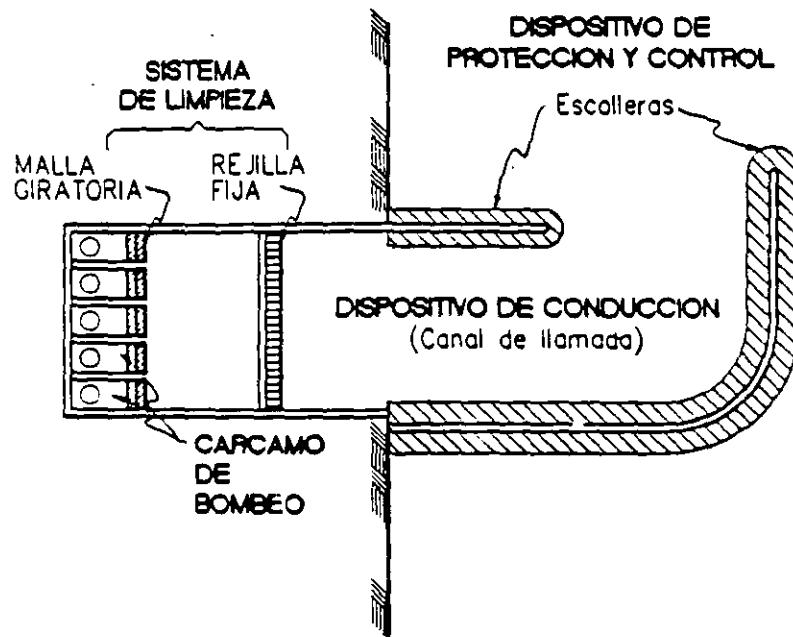


FIGURA IV.4.- OBRA DE TOMA MARINA SUPERFICIAL

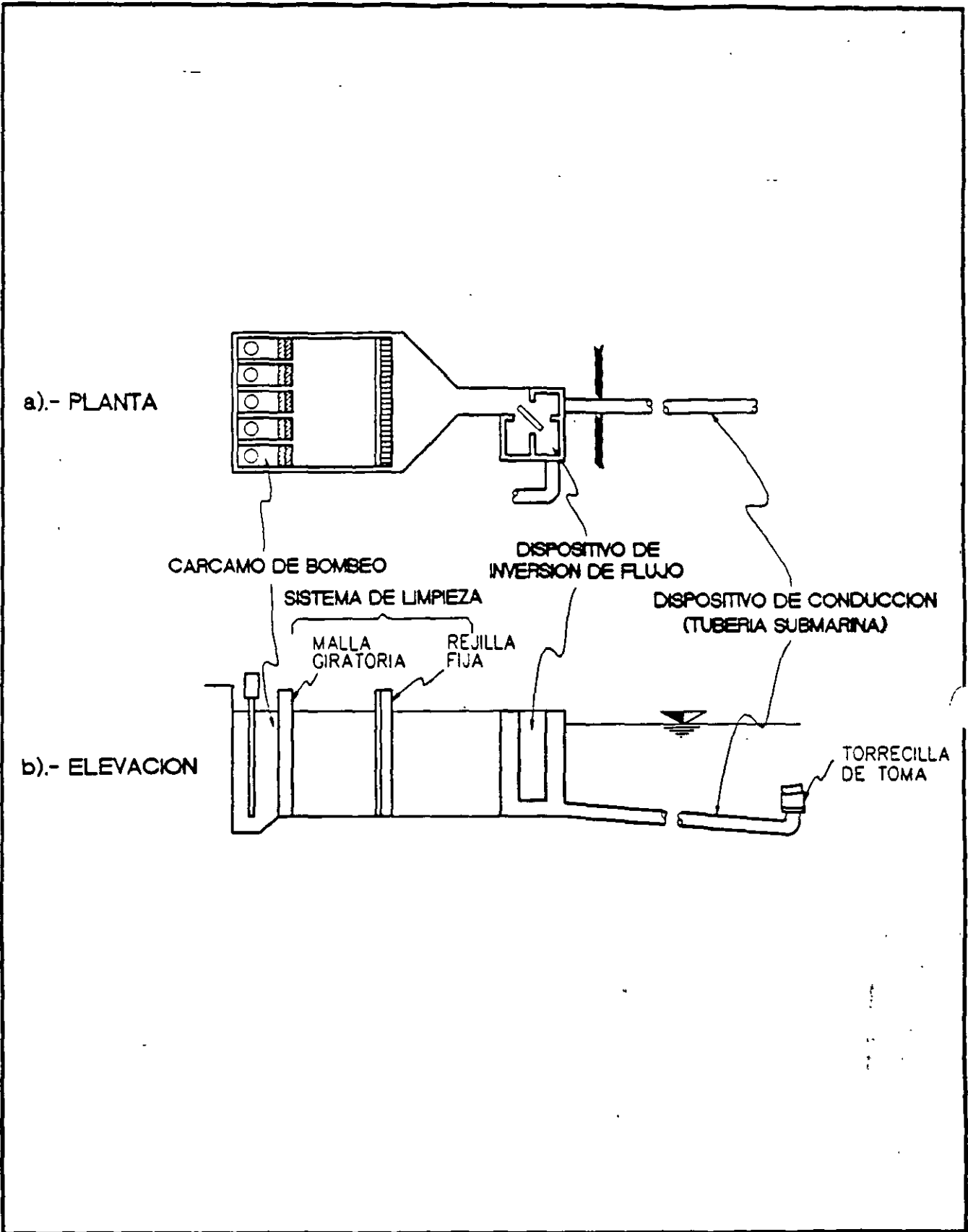


FIGURA IV.5.- OBRA DE TOMA SUBMARINA



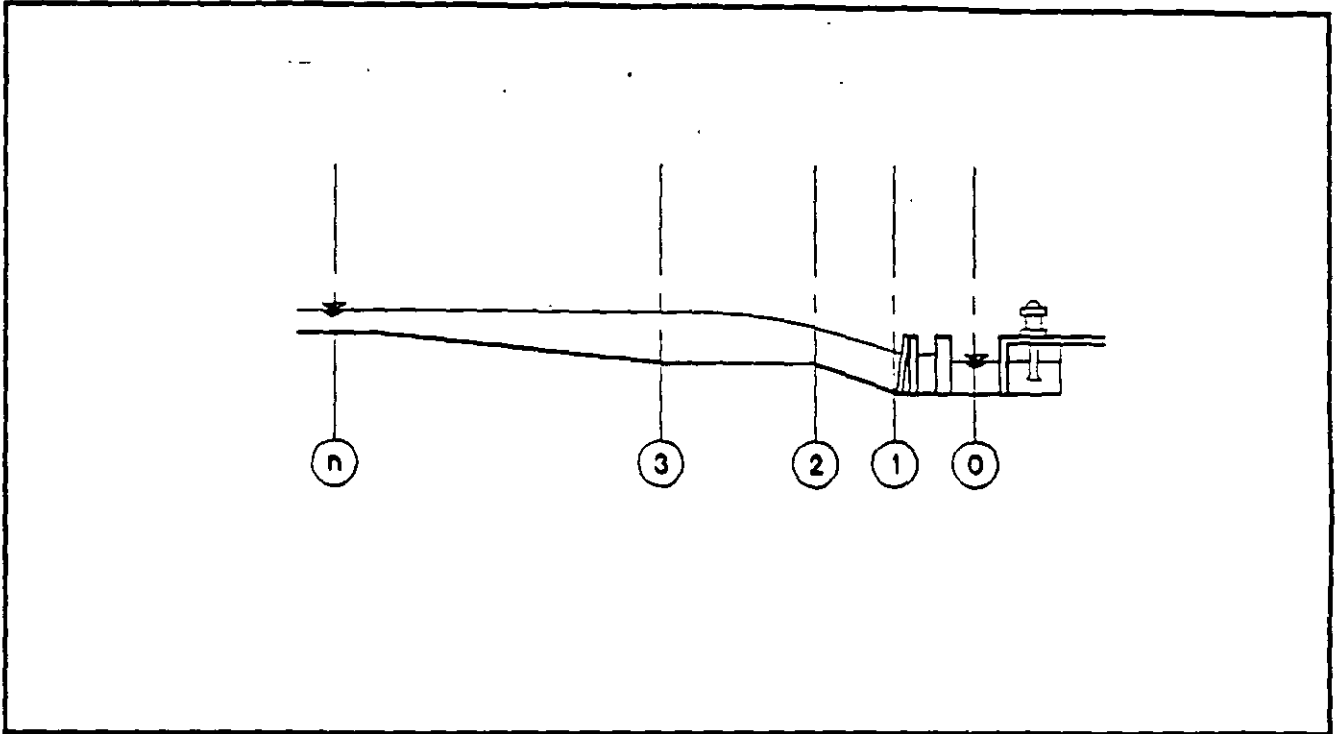


FIGURA N.12.- PERFIL HIDRAULICO GENERADO POR FLUJO EN CANAL DE LLAMADA

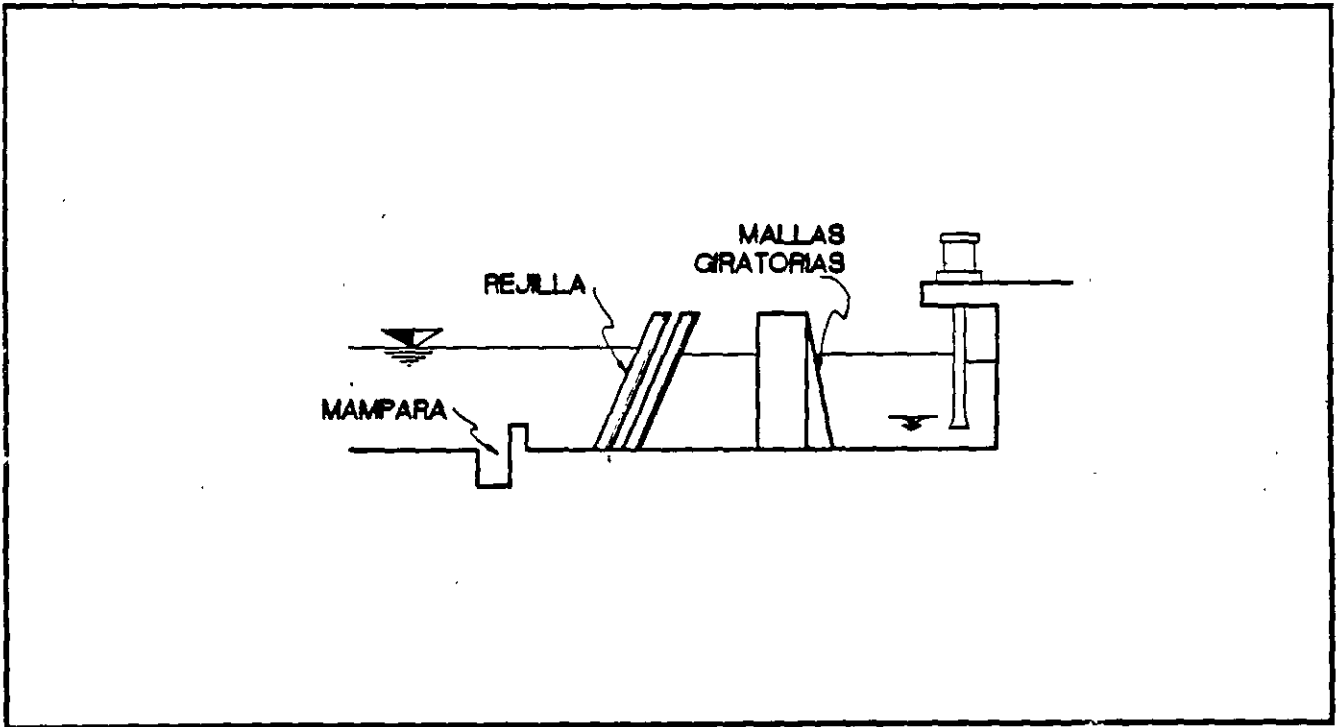
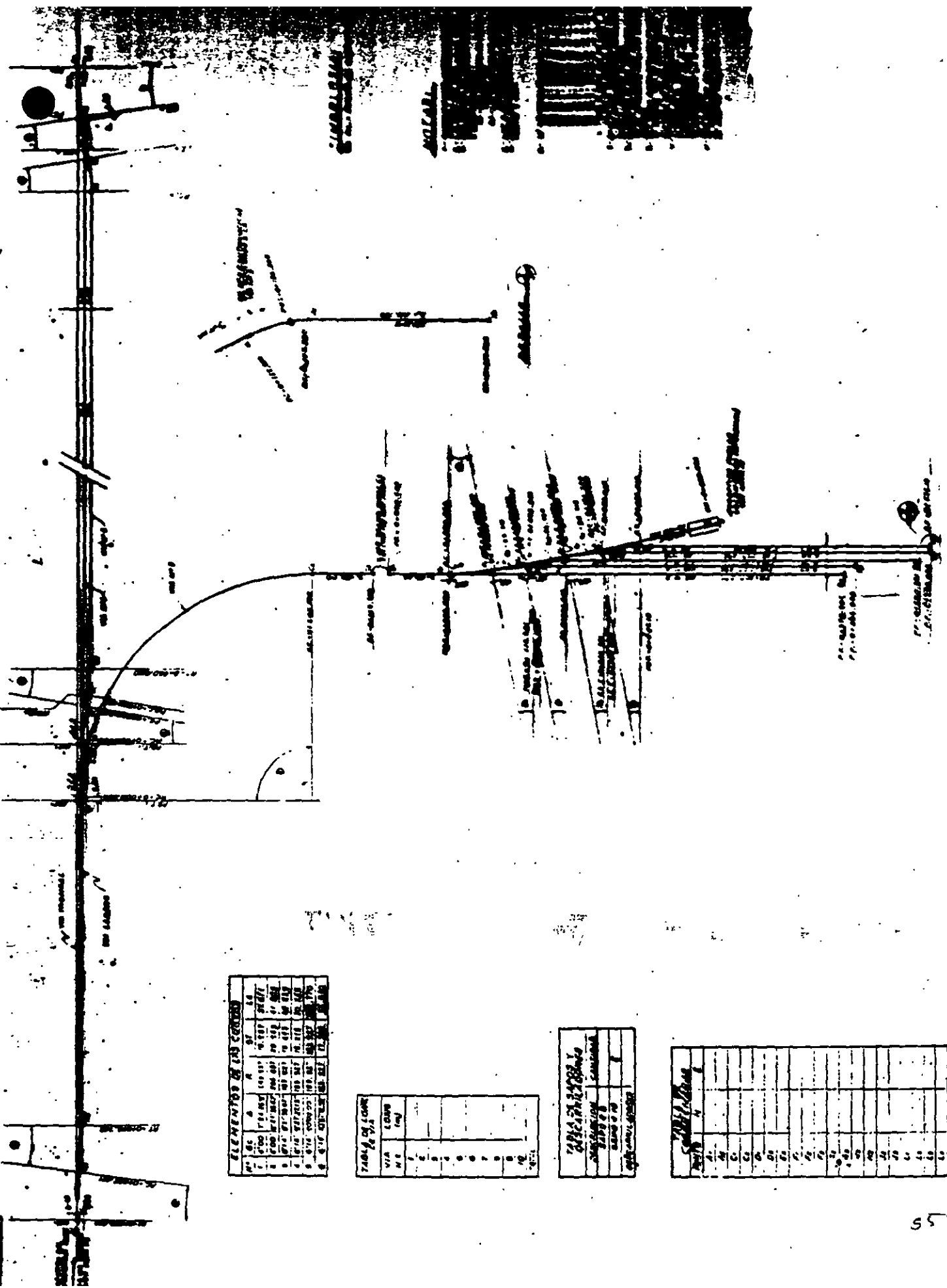


FIGURA N.13.- DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE LIMPIEZA

# COMENTARIOS:

- EL SISTEMA DE AGUA DE ENFIAMIENTO ES FUNDAMENTAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL GENERADORA Y SU OPTIMIZACION TENDRA REPERCUSION IMPORTANTE EN LOS COSTOS A 30 AÑOS, DE VIDA UTIL OPERATIVA.
- LA PARTICIPACION INTERDISCIPLINARIA SOBRE TODO PARA UN SISTEMA ABIERTO CON USO DE AGUA DE MAR CONLLEVA A UNA PLANEACION Y SEGUIMIENTO ESTRICTO PARA SU PUESTA EN SERVICIO CON OPORTUNIDAD.
- ES RECOMENDABLE DURANTE LA OPERACION APLICAR UN PROGRAMA DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO EN TODOS LOS COMPONENTES DEL SISTEMA, DETECCION DE FUGAS DE DUCTOS, LIMPIEZA DE INCRUSTACIONES EN CARCAMOS, REJILLAS, MALLAS Y DUCTOS, MANTENIMIENTO EN CANALES DE LLAMADA Y DESCARGA, ESCOLLERAS, ETC.



**ELEMENTS OF THE TRACK**

No.	Loc.	A	B	ST	SS
1	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	1000	1000
6	1000	1000	1000	1000	1000
7	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000

**TABLE OF WORK**

VIA	GROUP	NO.
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6
7	1	7
8	1	8
9	1	9
10	1	10

**TABLE OF WORK**

NO.	GROUP	NO.
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6
7	1	7
8	1	8
9	1	9
10	1	10

NO.	GROUP	NO.
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6
7	1	7
8	1	8
9	1	9
10	1	10

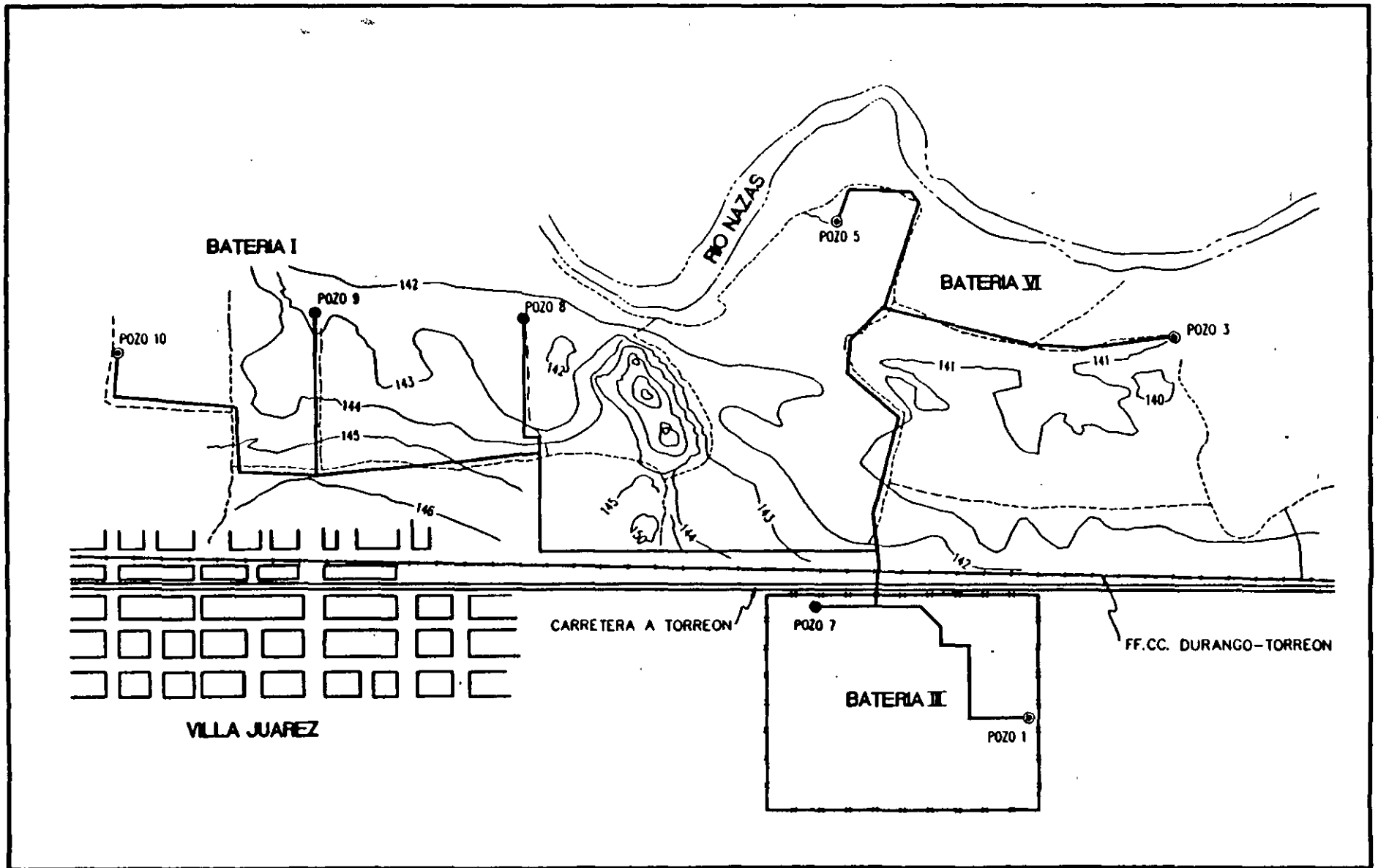


FIG IV.3.- ARREGLO GENERAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA C.T. LERDO

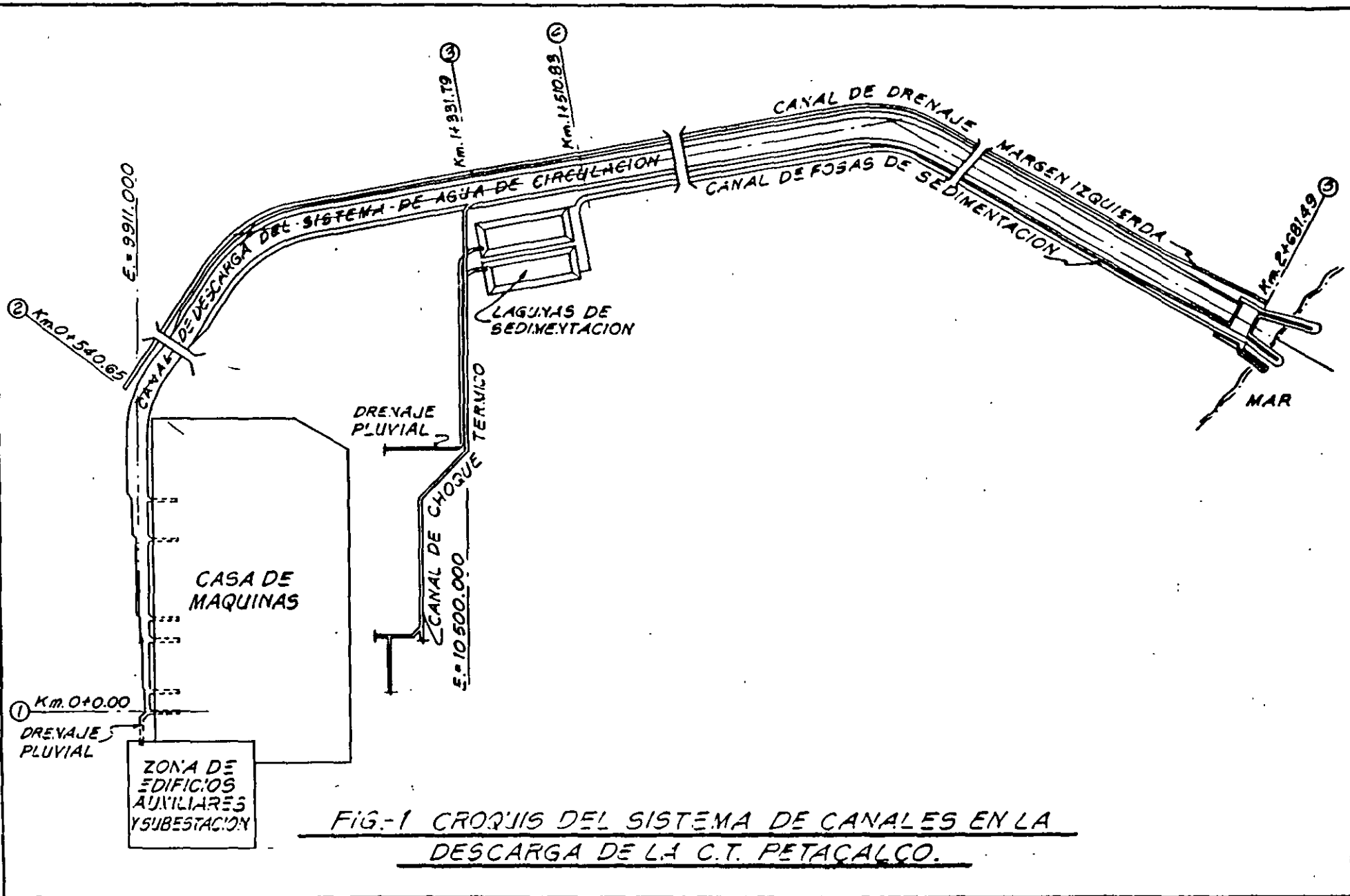


FIG.-1 CROQUIS DEL SISTEMA DE CANALES EN LA DESCARGA DE LA C.T. PETACALCO.

# INGENIERIA DE DETALLE

## EDIFICIOS AUXILIARES

- EDIFICIO DE OPERACION
- EDIFICIO DE CAPACITACION
- BAÑOS Y VESTIDORES
- UNIDAD MEDICA
- DELEGACION SINDICAL
- ALOJAMIENTO MILITAR
- CASETA DE ACCESO
- TALLER ELECTROMECHANICO Y DE INSTRUMENTACION
- ALMACENES
- CASETA DE CONTROL DE SUBESTACION
- CASETA DE COMPRESORES
- CASETA DE BOMBAS, CONTRA INCENDIOS, TABLEROS, ETC.

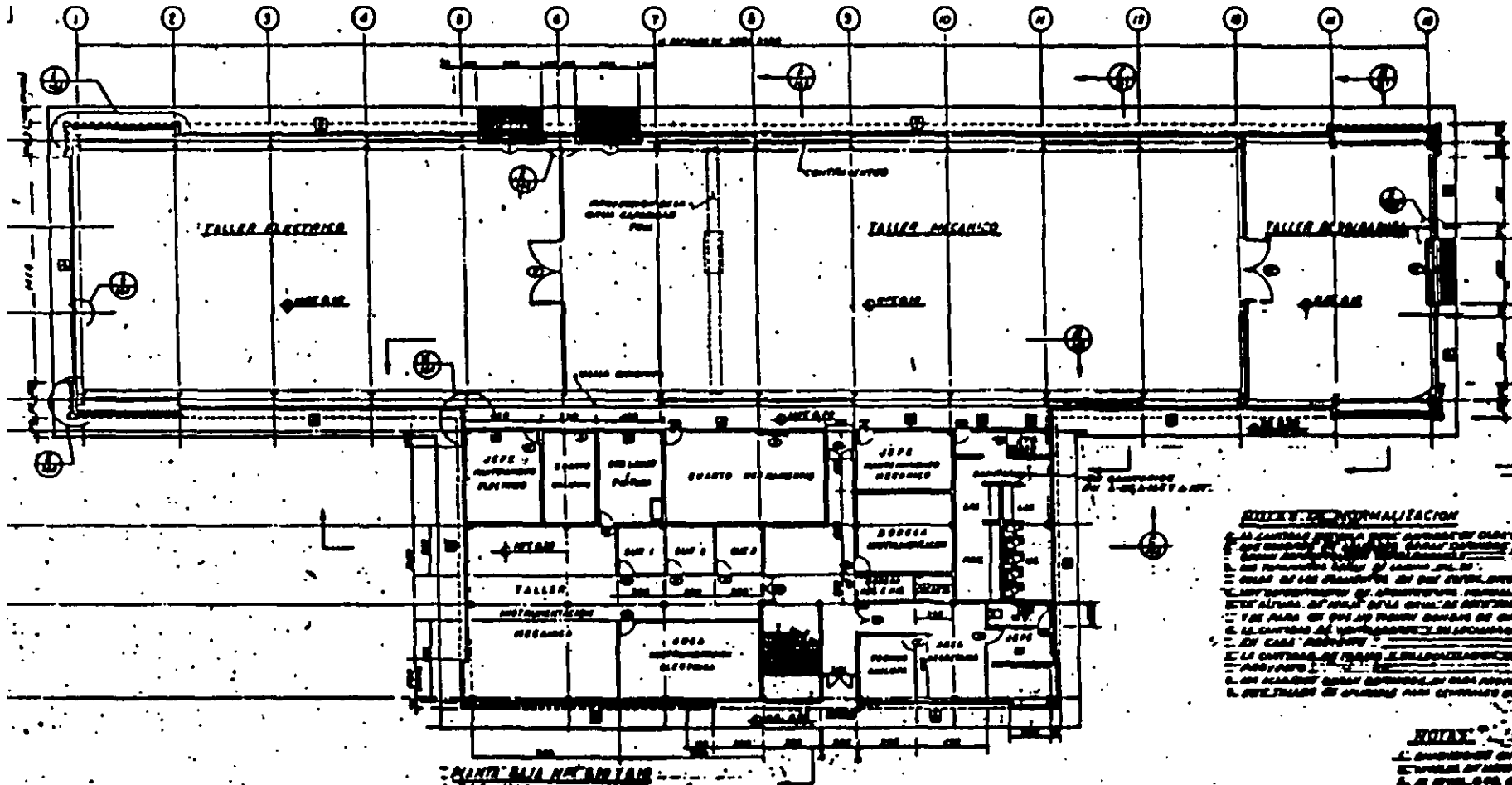
## EDIFICIO ADMINISTRATIVO O DE OFICINAS

EL DIMENSIONAMIENTO SE REALIZA PARA DIFERENTES CENTRALES --  
TERMoeLECTRICAS, DE ACUERDO AL ORGANIGRAMA DE OPERACION DE  
CADA UNA:

- PARA CENTRALES CON 4U - 350 O 160 MW
- PARA CENTRALES CON 2U - 350 O 160 MW
- PARA CENTRALES CON 4U - 84 O 37.5 MW
- PARA CENTRALES CON 2U - 84 O 37.5 MW

ES UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO CON DOS AREAS CLARA  
MENTE DEFINIDAS: UNA PARA EL AREA TECNICA Y OTRA PARA LA -  
ADMINISTRATIVA.

EN CADA PROYECTO SE HACEN LAS ADAPTACIONES DEFINIDAS POR --  
LAS CONDICIONES DEL SITIO.



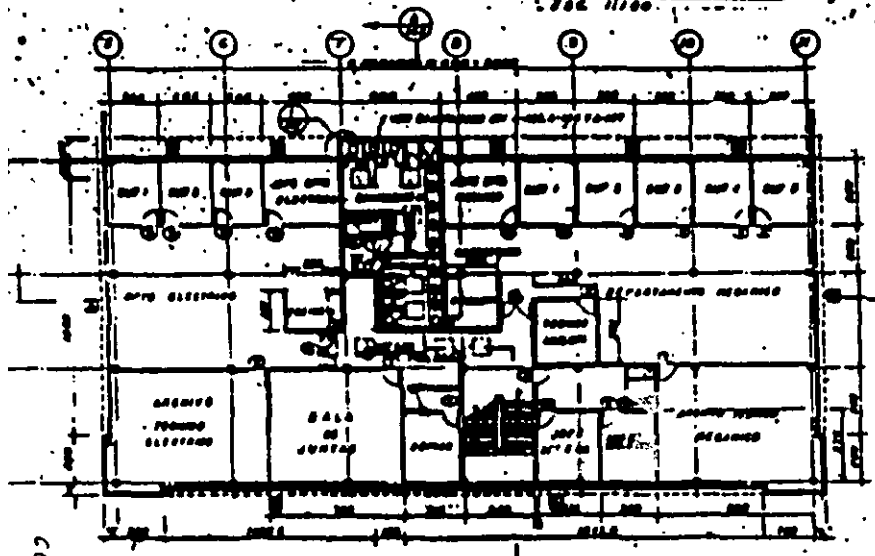
PLANTA BAJA N.º 1000

**LEYENDA DE NORMALIZACION**

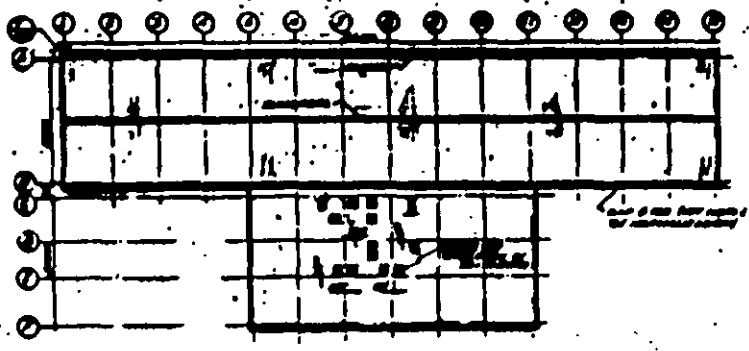
1. LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 2. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 3. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 4. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 5. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 6. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 7. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 8. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 9. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 10. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 11. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 12. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 13. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 14. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD  
 15. LOS CUENTAS DE LA CONTADURIA GENERAL DEPARTAMENTO DE CONTABILIDAD

**NOTAS**

1. DIMENSIONES EN METROS  
 2. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 3. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 4. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 5. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 6. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 7. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 8. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 9. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 10. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 11. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 12. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 13. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 14. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO  
 15. EN CASO DE DUBIO CONSULTAR AL ARQUITECTO



PLANTA N.º 1000

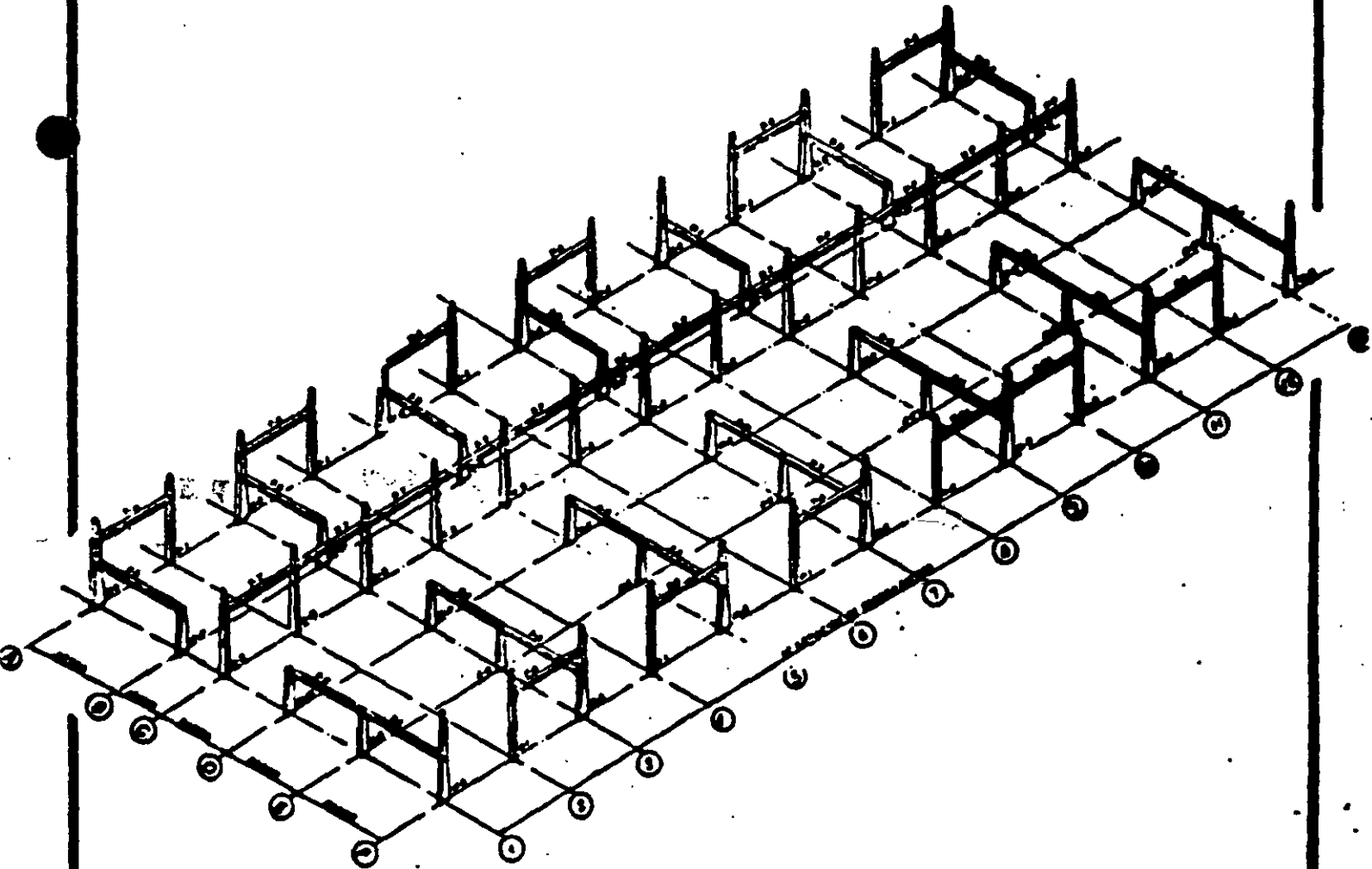


PLANTA N.º 1000



2.- DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

La estructura de una Subestación consta de una serie de subestructuras denominadas "BAHIAS" constituidas a su vez por marcos ortogonales o contenidos en un sólo plano. La función estructural de cada una de estas bahías es soportar equipo eléctrico diverso tal como cuchillas, aisladores, etc. y además el peso y tensiones de cables conductores e hilos de guarda tendidos desde la última torre de transmisión de la línea (torre de remate) pasando por la subestación y de aquí a la Casa de Máquinas.





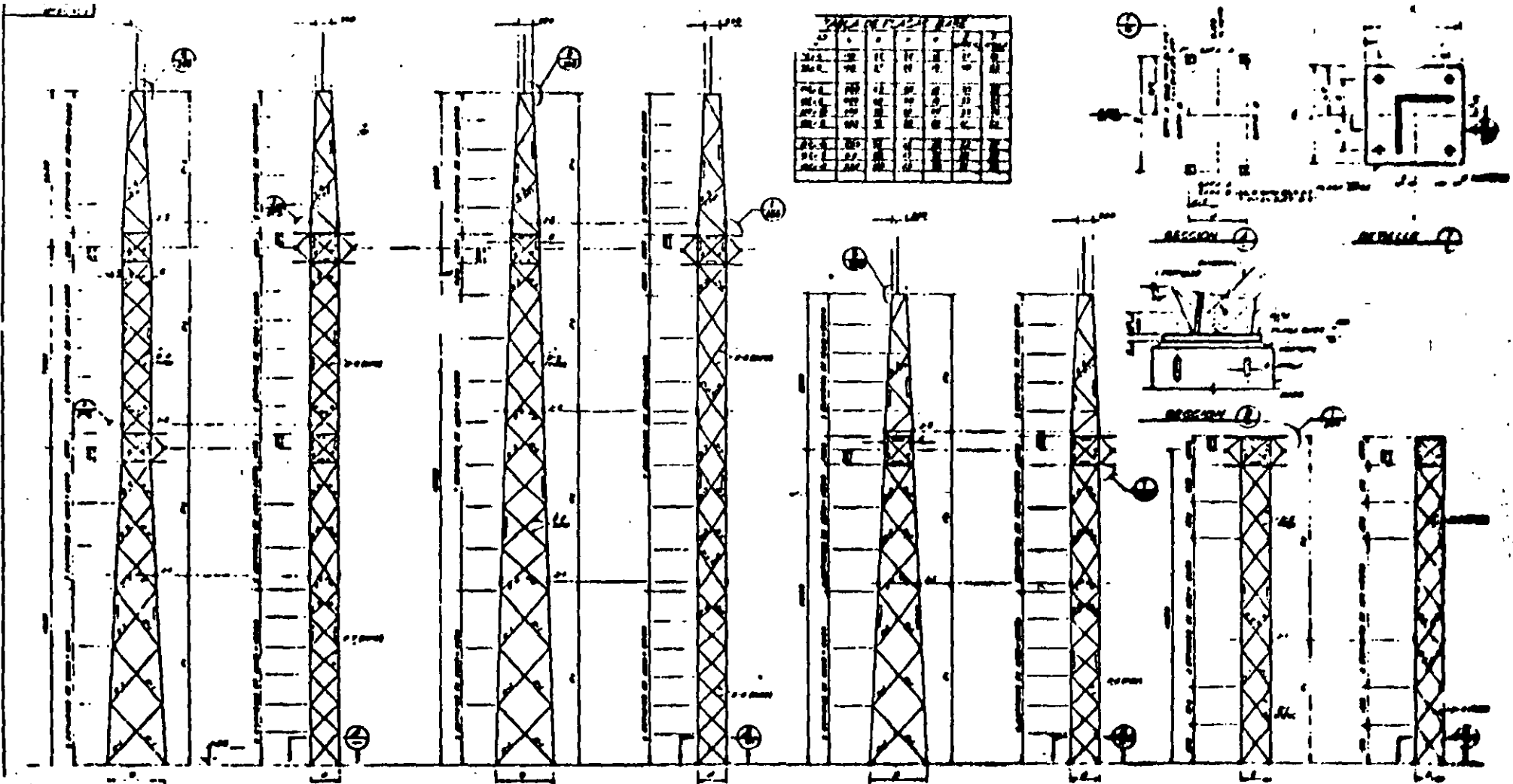
## COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

### 3.5 Subestación.

Estructuras de columnas y traveses de celosía de acero formando marcos ortogonales o en un solo plano cuya función es soportar las cargas transmitidas por aisladores, conductores e hilos de guarda.

La geometría general queda definida con los arreglos tipo de equipo eléctrico para subestaciones de 230 KV y 400 KV.

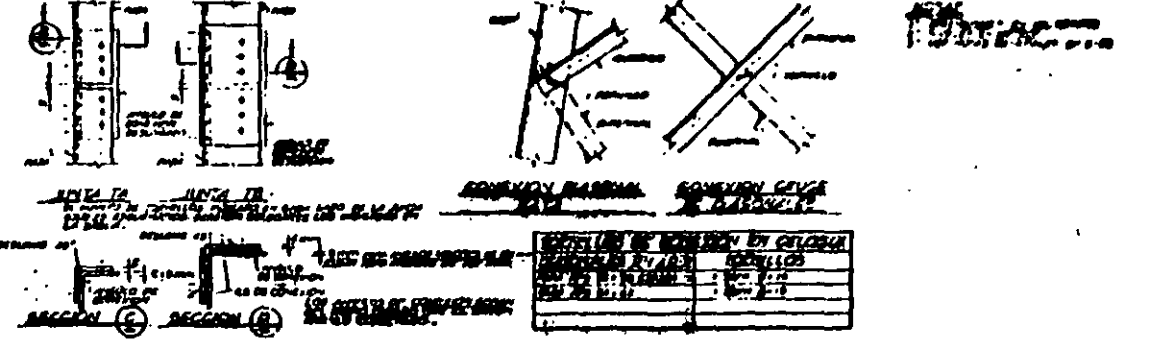
Los perfiles de traveses y columnas se diseñan para tensiones máximas en cables y efectos del viento para velocidades regionales de 90, 125, 150 y 185 km/h.



NO.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
7	...	...	...	...
8	...	...	...	...

SECCION 1 COLUMNA 1 Y 2      SECCION 2 COLUMNA 3 Y 4      SECCION 3 COLUMNA 5 Y 6      SECCION 4 COLUMNA 7 Y 8

COLUMNAS		UNIDADES	
NO.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...



NO.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...



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

**DIPLOMADO EN “GERENCIA DE PROYECTOS”  
ICA – DECFI, UNAM**

Módulo IV “Construcción”  
Del 22 al 24 de Julio

**“PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LINEAS DE TRANSMISION”**

Ing. Abimael Cruz Alavez

Palacio de Minería, México 1999

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LINEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBESTACIONES ELECTRICAS

Abimael Cruz Alavez\*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año de 1882, se dio el nacimiento de la industria eléctrica al entrar en funcionamiento en Londres la primera central destinada a dar iluminación artificial a los hogares de dicha ciudad. Desde entonces, para la industria, el hogar, la comunidad, los países y la humanidad en general, la energía eléctrica ha sido uno de los elementos más importantes para el progreso.

Las principales fuentes generadoras de electricidad en la actualidad son las plantas termoeléctricas e hidroeléctricas.

Cualquiera que sea la fuente de generación, se requiere forzosamente de líneas de transmisión y redes de distribución que permitan llevar la electricidad generada a los centros de consumo; entonces, es muy importante que estas obras sean diseñadas de tal manera que cumplan con dicho objetivo y con el menor riesgo de falla posible. En México, la Comisión Federal de Electricidad cumple cabalmente con estos principios.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el suministro de energía eléctrica creció de forma rápida y sostenida en todo el mundo.

En los países desarrollados este crecimiento fue del orden del 7% anual, lo cual implicó duplicar las instalaciones cada 10 años. Los sistemas eléctricos se desarrollaron verticalmente, incluyendo la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, y horizontalmente, abarcando territorios cada vez más extensos.

Los progresos técnicos, la interconexión de los sistemas y las economías de escala en las instalaciones, permitieron que los costos marginales de suministro de energía eléctrica descendieran, lo cual benefició tanto a las empresas eléctricas como a los consumidores. Esta situación perduró hasta principios de los años setenta y fue alterada por la elevación de los costos de operación, debida a las crisis petroleras y la subsecuente elevación de los precios del petróleo y de otros energéticos, así como de los costos de inversión causada por reglamentaciones ambientales más estrictas, lo que ha originado que los precios marginales del suministro de energía eléctrica se eleven.

---

\* Encargado de la Subgerencia de Diseño de Subestaciones y Líneas de Transmisión. CPTT, CFE.

## **1.1 Necesidades actuales**

Se tienen grandes necesidades de desarrollar y construir proyectos de transmisión y transformación para poder cubrir las demandas de electricidad tanto domésticas como industriales del país; por ello, la Comisión Federal de Electricidad, actualmente tiene en proceso el diseño y construcción 341 líneas de transmisión que suman un total de 11,925 km, de los cuales 5,895 corresponden a 400 kV, 3,360 a 230 kV y 2,670 a 115 kV, Tabla 3; respecto a la transformación, se tienen en este momento en proceso de diseño y construcción 472 subestaciones, las cuales aportarán 25,718 MVA y 4,705 MVAR.

## **1.2 Necesidades futuras**

El Programa de obras de CFE correspondiente al período 1998 - 2007, contempla la instalación de subestaciones y líneas de transmisión en las cantidades que se muestran en las Tabla 4 y 5. Como se puede notar, por mucho este año de 1999 es el que exige mayor actividad de instalación, requiriéndose 11,500 MVA's y 2,426 MVAR en subestaciones y 8,010 km/línea, disminuyendo en los 2 años siguientes a un 60 % aproximadamente; en los años subsecuentes los requerimientos disminuirán en un mayor porcentaje, sin embargo habrá que tomarse en cuenta que para entonces, las necesidades de modernización y mantenimiento aumentarán.

Durante algunos años a futuro no se vislumbran cambios notables en las formas convencionales de generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica<sup>1</sup>; de ahí que los métodos de diseño y construcción que se verán a lo largo de estas exposiciones seguirán siendo válidos por algún tiempo, sin embargo, debemos tener presente que dado el acelerado desarrollo tecnológico en equipos de medición, protección y comunicación, en materiales, en maquinaria y procedimientos de construcción, se presentarán cambios paulatinos en muchas áreas que exigirán una actualización y aportación innovadora continua de los ingenieros que se dedican a las actividades de diseño y construcción de subestaciones y líneas de transmisión eléctricas.

## **2. GENERALIDADES**

Un sistema eléctrico de alta tensión es el conjunto de estructuras, equipos y accesorios destinados a generar, transportar y transformar la energía eléctrica para que se pueda distribuir y utilizar con tensiones bajas en la industria, en la comunidad y en el hogar (figura 1).

El transporte y la transformación se realiza a través de las líneas de transmisión y las subestaciones eléctricas; éstas últimas pueden ser para elevar las tensiones o para disminuirlas.

Los tipos de corriente eléctrica son: continua, alterna trifásica y alterna monofásica. En la actualidad, sólo la tensión de la corriente alterna se puede transformar, y debido a que la transmisión de energía eléctrica resulta más

económica realizarla en altas tensiones, entonces la generación se realiza preferentemente en corriente alterna trifásica.

Una línea de transmisión siempre estará asociada a dos subestaciones, una con transformador elevador de tensión a un valor que haga económica su transportación y otra con transformador reductor de tensión a un valor apropiado para su utilización en las redes de subtransmisión o distribución.

Los sistemas eléctricos deben garantizar su operación para satisfacer la demanda de energía de los usuarios con calidad y oportunidad; para ello deben operar sin interrupciones, con tensiones adecuadas y con frecuencias dentro de límites tolerables, así como con las protecciones suficientes para disminuir o evitar daños a las personas y al medio ambiente donde operan. Esto implica que el diseño y construcción de los sistemas eléctricos deben prevenir y disminuir el número y efecto de las fallas, a tal grado que resulten confiables y económicos, respetando siempre tanto especificaciones y normas propias de la ingeniería de diseño y construcción, como las leyes correspondientes a protección ambiental y convivencia humana.

Otro aspecto que debe contemplarse dentro de los sistemas eléctricos es su mantenimiento y crecimiento para el futuro; es decir, prever las actividades de mantenimiento para su adecuada operación y los espacios suficientes para ampliaciones sobre todo en las subestaciones.

El diseño y construcción de las líneas y subestaciones eléctricas exigen el trabajo conjunto de ingenieros eléctricos, topógrafos y civiles, así como profesionales en las ramas de biología, ciencias ambientales, agronomía, forestales y abogados; aquellos para diseñar dimensiones, coordinación de aislamientos, estructuras de soporte, terracerías, caminos, cimentaciones, selección de trayectorias y sitios, protecciones, control, comunicaciones, etc., éstos para identificar y recomendar acciones para proteger los ecosistemas, la agricultura, recursos forestales, y disminuir o evitar el impacto ambiental, así como para gestionar licencias, permisos y negociar los derechos de paso e indemnizaciones.

#### Referencias bibliográficas

1. Henríquez H., G. (1998), "Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas", Ed. Limusa, Noriega Editores, México.
2. CFE, (1998), "Información Básica", Ed. Comisión Federal de Electricidad, México.

Julio, 1999.

**SUBESTACIONES  
MVA INSTALADOS EN TODA LA REPÚBLICA**

<b>SE (MVA)</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
<b>SE TRANS</b>	<b>90,478</b>	<b>94,520</b>	<b>96,679</b>
<b>SE DISTRI</b>	<b>26,220</b>	<b>27,117</b>	<b>28,241</b>
<b>SE L.F.C.</b>	<b>19,342</b>	<b>19,572</b>	<b>19,173</b>
<b>TOTAL</b>	<b>136,040</b>	<b>141,209</b>	<b>144,093</b>



**SUBESTACIONES DE ALTA TENSION, MVA  
INSTALADOS**

<b>SE (MVA)</b>	<b>1998</b>
<b>400 KV</b>	<b>44,353</b>
<b>230 KV</b>	<b>39,009</b>
<b>161-115KV</b>	<b>9,902</b>
<b>TOTAL</b>	<b>93,264</b>

En la actualidad, en México se brinda servicio de energía eléctrica al 95% de la población del país con 22 millones de usuarios. La Comisión Federal de Electricidad atiende a poco más de las dos terceras partes y opera en todo el territorio nacional, con excepción del Distrito Federal, 81 municipios del Estado de México, 45 de Hidalgo, 2 de Morelos y 3 de Puebla, los cuales son atendidos por Luz y Fuerza del Centro que equivale a un 22% del total.

La capacidad de generación instalada es de 36.1 Gigawatts de la cual la mitad es generada con plantas que utilizan hidrocarburos (51.7%), las plantas hidroeléctricas proporcionan poco más de la cuarta parte (28.8%) y las carboeléctricas, geotérmicas, eólicas, nuclear, de ciclo combinado y dual, proporcionan una quinta parte.

La infraestructura de transformación a 1998 es de 144 mil MVA, de los cuales 93.3 MVA corresponden a subestaciones de entre 400 y 115 kV (Tabla 1); en tanto que la correspondiente a transmisión es de 67 mil km sólo para las líneas de entre 400 y 115 kV (Tabla 2).

De acuerdo con las proyecciones de CFE, la oferta anual requiere un incremento del 6% aproximadamente, lo cual significa una expansión de 13 GW para los próximos 6 años que equivale a la tercera parte de la oferta actual, con un costo aproximado de 250 mil millones de pesos, con los necesarios trabajos de desarrollo y modernización de los sistemas de transmisión, transformación y distribución, requiriéndose 25 mil km de líneas de alta tensión.

La Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, dependiente de la Subdirección de Construcción de la Comisión Federal de Electricidad, es la encargada de desarrollar y construir los proyectos de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión de alta tensión en todo el territorio nacional. Como entidad rectora, desarrolla toda la ingeniería básica, en tanto que el diseño o ingeniería de detalle sólo la desarrolla en parte de los proyectos, debido a que la mayor cantidad de éstos se contrata con la iniciativa privada. La construcción de los proyectos invariablemente se realiza a través de la iniciativa privada debido a que la CFE no posee la infraestructura material y humana para llevarla a cabo.

En la actualidad, existen tres modalidades principales a través de las cuales participa la iniciativa privada para realizar los proyectos de transmisión y transformación; la primera es la modalidad de obra pública tradicional, en la cual la CFE proporciona los diseños y suministros de equipos electromecánicos y materiales; en la segunda, la que la CFE proporciona la ingeniería básica y parte del suministro de equipo y/o materiales, y la iniciativa privada desarrolla el diseño, adquiere equipos electromecánicos y materiales, y realiza la construcción y puesta en servicio de la obra. La tercera modalidad es la de PIDIREGAS, en la cual sólo se proporciona la ingeniería básica, quedando todas las demás actividades como parte del alcance de los contratos adjudicados mediante concursos internacionales a la iniciativa privada.

**LINEAS DE TRANSMISIÓN EN PROCESO DE DISEÑO  
O EN CONSTRUCCIÓN, 1999.  
KM/L**

<b>PROGRAMA</b>	<b>400 KV</b>	<b>230 KV</b>	<b>115 KV</b>
<b>PAI(98/99)</b>	<b>1,425</b>	<b>1,240</b>	<b>833</b>
<b>OP(98/00)</b>	<b>472</b>	<b>405</b>	<b>545</b>
<b>PID1(98/00)</b>	<b>808</b>	<b>518</b>	<b>188</b>
<b>OAPI1(98/00)</b>	<b>47</b>	<b>87</b>	<b>302</b>
<b>PID2(99/01)</b>	<b>416</b>	<b>566</b>	<b>539</b>
<b>OAPI2(99/01)</b>	<b>39</b>	<b>22</b>	<b>250</b>
<b>PID3(00/02)</b>	<b>2,688</b>	<b>522</b>	<b>13</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5,895</b>	<b>3,360</b>	<b>2,670</b>

## NECESIDADES DE INSTALACIÓN SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN, MVA.

TENSIÓN	1988	1989	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
40KV	280	567	1,375	420	50	1,730	2,625	2,500	2,675	1,100
20KV	78	419	449	238	60	59	1,119	2,134	488	83
15KV	129	1,714	991	99		40	120	80	20	
TOTAL	3,762	11,500	6,815	6,727	1,100	2,384	3,864	4,714	3,191	1,913

## NECESIDADES DE INSTALACIÓN SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN. COMPENSACION (MVAR)

COMPVA	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
400KV	628	1,362	25	187	1,508	17	842	175	75	333
230KV	120	504	392	72	100					
115KV	425	560	2,080	81	30	32	46	25	90	
TOTAL	1,173	2,426	2,507	340	1,638	49	986	200	165	333

# NECESIDADES DE INSTALACIÓN LINEAS DE TRANSMISIÓN ALTA TENSIÓN (KM/L)

LINEAS (K	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
400KV	784	3,015	834	3,732	3,320	222	2,386	737	413	445
230KV	989	2,649	1,391	999	136	592	480	224	56	389
115KV	634	2,346	1,582	368	99	157	29	298	361	85
TOTAL	2,407	8,010	3,807	5,496	3,555	971	2,895	1,259	830	1,729

# **LA GEOTECNIA Y LAS CIMENTACIONES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

M. en C. Abimael Cruz Alavez <sup>1</sup>

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el año de 1882 se dio el nacimiento de la industria eléctrica al entrar en funcionamiento en Londres la primera central destinada a dar iluminación artificial a los hogares de dicha ciudad. Desde entonces, para la industria, el hogar, la comunidad, los países y la humanidad en general, la energía eléctrica ha sido uno de los elementos más importantes para el progreso.

Las principales fuentes generadoras de electricidad en la actualidad son las plantas hidroeléctricas y termoeléctricas. El calor que hace posible producir el vapor de agua de las termoeléctricas puede ser mediante la combustión del carbón, nafta o a partir de reacciones nucleares; éstas últimas se les conoce como nucleoeeléctricas y el caso único en México lo representa "Laguna Verde". Cualquiera que sea la fuente de generación, se requiere forzosamente de líneas de transmisión y redes de distribución que permitan llevar la electricidad generada a los centros de consumo; entonces, es muy importante que estas obras sean diseñadas de tal manera que cumplan con dicho objetivo y con el menor riesgo de falla posible. En México, la Comisión Federal de Electricidad cumple cabalmente con estos principios.

Las líneas de transmisión de energía eléctrica pueden ser aéreas o subterráneas. En esta exposición trataremos sólo el caso de líneas aéreas por ser las más comunes y porque las estructuras que utilizan presentan mayores problemas en las cimentaciones.

En la República Mexicana, las líneas de transmisión más comunes son para tensiones de 400, 230 y 115 kV, con 1 ó 2 circuitos y con 1, 2 y hasta 3 conductores por fase.

## **2. ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS MECÁNICOS QUE TRANSMITEN AL TERRENO.**

Las estructuras de transmisión pueden ser torres o postes troncocónicos de

---

<sup>1</sup>Encargado de la Subgerencia de Diseño de Subestaciones y Líneas de Transmisión, CPTT-CFE.

acero, arreglos de postes de acero, concreto o madera. La elección del tipo de estructuras a utilizar estará en función de la tensión a transmitir, de los claros por librar y topografía existente, espacios disponibles por derecho de vía y por cuestiones estéticas.

Los postes troncocónicos están restringidos a zonas urbanas por los claros cortos que libran, menor espacio transversal que requieren y por cuestiones estéticas. Las torres pueden ser autosoportadas o con retenidas.

Las estructuras de transmisión tienen que diseñarse para que resistan tanto los pesos como la acción del viento sobre los cables y la estructura misma, así como algunas otras acciones posibles de presentarse como rotura de cables o hielo. El ingeniero diseñador de cimentaciones debe identificar en primer lugar la magnitud y la forma de cómo se transmiten los elementos mecánicos de las diversas estructuras al suelo de cimentación.

Las torres autosoportadas transmiten las cargas al terreno de cimentación mediante 4 patas, dos de ellas trabajan a compresión y las otras dos lo hacen a tensión, todas con fuerzas horizontales transversales y/o longitudinales, tal como se representan en la figura 1. Las torres con retenidas pueden tener un apoyo central o dos apoyos que trabaja a compresión, en tanto que las retenidas lo hacen a tensión. En todos estos casos, para analizar y diseñar las cimentaciones que trabajan a compresión se requiere el conocimiento de la capacidad de carga del terreno donde se apoyan, en tanto que para las cimentaciones que trabajan a tensión se requiere conocer la resistencia al arrancamiento de los rellenos que gravitan sobre ellas, así como del terreno natural circundante por encima del nivel de desplante.

Los postes troncocónicos solo poseen un apoyo y por tanto la forma de transmitir las cargas al terreno difieren con respecto a como lo hacen las patas de las torres. En el caso de los postes, en sus bases de apoyo se tienen fuerzas horizontales (transversales y/o longitudinales), verticales y un momento, tal como se aprecia en la figura 2.

Identificados debidamente la magnitud y forma de actuar de los elementos mecánicos que transmiten las diversas estructuras al terreno, se procede a estudiar las propiedades del suelo para identificar y evaluar adecuadamente los parámetros de resistencia que permitan realizar el análisis de estabilidad y diseño de las estructuras de cimentación.

### **3. LA GEOTECNIA**



En las líneas de transmisión se aplican en forma muy amplia los conocimientos de la **Geotecnia** para diseñar correctamente las cimentaciones de estructuras que soportan los conductores, disciplina que involucra a la Mecánica de suelos y Mecánica de rocas; teniendo como disciplinas y ciencias auxiliares la Geología, Hidráulica, Estructuras, Sísmica y Topografía.

La Geología aplicada a la Ingeniería Civil es la base primaria de la Geotecnia; si un geotecnista carece de los conocimientos de esa disciplina, seguramente tendrá muchos desaciertos en su vida profesional. Las estructuras geológicas más comunes asociadas a problemas de estabilidad son las fallas, estratigrafías con inclinación y orientación desfavorables, fracturas, grietas y grados de alteración de las rocas. Las figuras 3 y 4 ilustran algunas de estas estructuras geológicas que podrían afectar una línea de transmisión.

La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos y rocas está asociada al contenido de agua que poseen en su estructura, de tal forma que a mayor cantidad de agua menor resistencia al esfuerzo cortante y mayor inestabilidad de las masas de suelos; resulta así fundamental el conocimiento del comportamiento del agua tanto en el interior del suelo como en la superficie donde provoca erosión y socavación en diversas estructuras civiles, poniéndose de manifiesto así la importancia de la Hidráulica dentro de la Geotecnia. El efecto negativo del agua en los suelos y rocas se manifiesta en las temporadas de lluvia o cuando se rompen tuberías de agua, mediante movimientos de las masas de estos materiales comúnmente conocidos como deslizamiento de taludes, los cuales pueden ser de pequeña, mediana o gran magnitud; hundimientos de terrenos o fallas localizadas en la cimentación por disminución de la capacidad de carga o por socavación en cauces de ríos, arroyos o barrancas. Las figuras 5, 6 y 7 ilustran problemas de esta naturaleza y que deben preverse debidamente para disminuir los riesgos de falla en los tipos de estructuras que nos ocupa.

El agua influye en el comportamiento de la estructura del suelo mediante la presión de poro, la cual incide en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, misma que se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$s = c + \bar{\sigma}'_n \tan \phi$$

donde  $c = f(w)$

$$y \quad \bar{\sigma}'_n = s_n - u$$

siendo

$s$  = resistencia al esfuerzo cortante en unidades  $FL^{-2}$ .

$c$  = cohesión del suelo; es una función circunstancial que depende de la actividad fisicoquímica de las partículas sólidas finas y del contenido de agua ( $w$ ).

$\sigma'_n$  = esfuerzo efectivo normal al plano de falla en  $FL^{-2}$ .

$\sigma_n$  = esfuerzo total normal al plano de falla en  $FL^{-2}$ .

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo

Una de las deficiencias que aún no se han superado dentro de la Ingeniería Civil es la disociación que existe entre ciertas disciplinas que la conforman; así, el geotecnista trata de desentenderse del estructurista a quien se le deja que se encargue del análisis y diseño de la superestructura y de la propia cimentación. El estructurista a su vez tiende a no involucrarse mucho en entender el comportamiento del suelo y sólo solicita al geotecnista la capacidad de carga del terreno de cimentación y los asentamientos que se puedan provocar, sin preocuparse en muchas ocasiones de la interacción que por naturaleza se genera en el acoplamiento de la estructura y el terreno de cimentación. Por fortuna esta disociación tiende a disminuir y se espera que en un futuro cercano se lleguen a diseños más racionales que tomen en cuenta dicha interacción.

Dentro de la Geotecnia aplicada a las Líneas de Transmisión, la Topografía es muy importante debido a que los problemas de inestabilidad de las masas de suelo generalmente están asociadas con los relieves topográficos del terreno. Así, los deslizamientos y erosión de taludes están relacionados a estructuras geológicas y a pendientes muy pronunciadas de laderas. Los cauces de arroyos y ríos es necesario identificarlos debidamente tanto en su sección transversal como en su pendiente longitudinal para prever los problemas potenciales de inundación y socavación. Las partes bajas o depresiones generalmente son zonas potencialmente inundables por tanto resulta de suma importancia su identificación previa al diseño.

Los conocimientos de Ingeniería Sísmica resultan valiosos para el geotecnista para entender tanto el comportamiento de las estructuras y su cimentación, como la del terreno donde se apoyan. En el caso de líneas de transmisión, el diseño de las estructuras está regido más por la acción del viento que por eventos sísmicos; sin embargo, el suelo sí llega a ser afectado en forma negativa durante los eventos sísmicos con pérdida de resistencia al esfuerzo cortante por generación de presión de poro o por amplificaciones de las ondas sísmicas en suelos blandos en estado saturado. Sin duda los problemas sísmicos que más pudieran afectar

a las cimentaciones de estructuras de transmisión están asociados con el agrietamiento en suelos y con la licuación de arenas finas uniformes saturadas.

### **3.1. Exploración y muestreo de suelos.**

Para lograr diseños adecuados de cimentaciones, tanto en funcionalidad como en costo, se requiere de un conocimiento racional de las propiedades índice y mecánicas de los materiales que les servirán de apoyo. Para ello, se hace necesario realizar actividades de exploración y muestreo de las diferentes formaciones que se encuentran a lo largo de la trayectoria elegida de la línea de transmisión, contando previamente con la distribución de estructuras.

La exploración consiste en primer lugar, en una visita preliminar de campo por el ingeniero geotecnista a lo largo de la trayectoria para identificar las diferentes formaciones y rasgos que presentan en la superficie, estableciendo al mismo tiempo un programa de exploración y muestreo superficial y/o profundo para conocer las propiedades del subsuelo. Los sondeos consisten en pozos a cielo abierto en suelos firmes y poco compresibles y sondeos profundos a base de Penetración Estándar o de Cono Eléctrico en suelos blandos o de baja resistencia; por mucho, los P.C.A. son los sondeos más frecuentes, sin embargo están limitados a la profundidad del nivel de aguas freáticas o hasta 5 m cuando el N.A.F. se encuentra a mayor profundidad. El número, tipo y distribución de los sondeos depende de la variación del tipo de terreno y de la experiencia y pericia del ingeniero geotecnista para conjugar los aspectos de mecánica de suelos, mecánica de rocas, geológicos, topográficos e hidráulicos. Con estos sondeos se pueden extraer muestras del subsuelo y/o inferir las propiedades mecánicas de los materiales encontrados. Las muestras recuperadas se estudian en el laboratorio y con ellas se evalúan las propiedades que permiten establecer el comportamiento mecánico de los materiales de cimentación. Con toda esta información, tanto de campo como de laboratorio, se construyen los perfiles estratigráficos a partir de los cuales se eligen los tipos de cimentación más adecuados para cada estructura. La figura 8 representa un perfil estratigráfico construido a partir de la información arrojada por un sondeo de Penetración Estándar.

En esta etapa se debe poner especial énfasis en detectar la profundidad del nivel de aguas freáticas (N.A.F.), ya que tendrá una influencia muy importante en el proceso de construcción. También se debe detectar la potencialidad de inundación de las diferentes zonas por donde pasará la línea de transmisión, el

riesgo de desbordamiento y socavación de ríos y arroyos, factibilidad de deslizamientos de laderas e identificar las diferentes estructuras geológicas que representen un comportamiento desfavorable de las masas de suelo en los sitios que se hayan elegido previamente para ubicar las diversas estructuras. Toda esta información se debe registrar en los informes geotécnicos.

### **3.2. Pruebas de laboratorio**

La experiencia en el uso de suelos y rocas en el campo, se obtiene sólo a través de un frecuente manejo de resultados cuantitativos obtenidos en el laboratorio y la observación directa de campo.

Una buena decisión en cimentaciones se obtiene cuando se conjuga la capacidad de análisis de los resultados de laboratorio, observación de campo y conocimientos sólidos del comportamiento mecánico e hidráulico de las masas de suelo.

Las pruebas índice más comunes que se realizan para proyectos de líneas de transmisión son: granulometría, límites de plasticidad, contenido natural de agua, peso específico relativo de sólidos y peso específico natural, en tanto que las pruebas mecánicas son: compresión simple, compresión triaxial no consolidada no drenada (triaxial rápida) y de consolidación, esta última sólo para el caso de suelos altamente compresibles y cuando se considere importante limitar los asentamientos en la estructura. Todos los resultados obtenidos mediante estas pruebas nos proporcionan valores razonablemente aproximados de las propiedades de los suelos y el ingeniero geotecnista debe estar consciente de que pueden variar en forma muy apreciable en el campo.

### **3.3 Capacidad de carga y deformaciones en los suelos.**

Existen dos aspectos fundamentales que se deben cuidar en el análisis y diseño de las cimentaciones: a) que la presión transmitida al suelo no rebase la resistencia al esfuerzo cortante de éste para no provocar una falla catastrófica de la estructura, y b) que la presión transmitida no induzca deformaciones excesivas al suelo que se traduzcan en un mal funcionamiento de la estructura aunque no falle estructuralmente. El primer aspecto considera tanto las cargas permanentes como las accidentales más desfavorables que actuarán en la estructura en cualquier instante de la vida útil de la estructura, en tanto que el segundo aspecto considera sólo las cargas permanentes debido a que las deformaciones más

importantes de los suelos son función del tiempo.

En el caso de líneas de transmisión, las fallas más frecuentes se asocian con el primer aspecto, ello debido a que las cargas eventuales que deben soportar las estructuras son muy altas en comparación a las cargas permanentes como son peso propio, peso de cables y aisladores, etc.

Para garantizar que no se rebase la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos de cimentación, se evalúa lo que se conoce como capacidad de carga del terreno ante la aplicación de cargas compresivas. La figura 9 presenta el modelo teórico general que se acepta como válido en la actualidad, dentro de la Mecánica de Suelos, para evaluar la capacidad de carga de los suelos. Observando dicho modelo, se puede inferir la influencia que tiene el tipo de suelo, el nivel freático, condiciones topográficas, ancho de la cimentación y la profundidad de desplante en el valor de la capacidad de carga.

Para el caso de líneas de transmisión, se toma como valor de análisis y diseño la capacidad de carga neta admisible ( $q_a$ ), que despreja la sobrecarga  $\gamma D_f$  y se encuentra afectada con un factor de seguridad de 3. Debido a que el análisis se realiza considerando tanto las cargas permanentes como las cargas dinámicas accidentales más desfavorables que pudieran presentarse, la  $q_a$  se incrementa en un 33% y al hacer la comparación entre ésta y los esfuerzos inducidos se acepta un factor de seguridad igual a 1.00.

Para diseñar pilas de cimentación en torres, se requiere conocer tanto la capacidad de carga a compresión del suelo, como la resistencia que pueda desarrollar en la cara lateral o fuste de la pila; así, las pilas tendrán capacidad de carga en la punta y en el fuste; para evaluar esta última, se requiere conocer los parámetros de resistencia de los diferentes estratos del suelo que son la cohesión  $c$  y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

Para las cimentaciones en postes, los momentos transmitidos al suelo son muy grandes y por tanto las dimensiones de las zapatas de cimentación resultan también muy grandes, lo cual ha obligado a buscar otras alternativas de solución como son las pilas. Para estos casos, la capacidad de carga en la punta de las pilas pasa a un segundo término y la resistencia a la presión lateral del suelo resulta de la mayor importancia; en la figura 10 se representa el modelo teórico propuesto por Broms<sup>2</sup> para realizar este análisis, para ello se requiere conocer los parámetros  $c$  y  $\phi$  de los diferentes estratos del subsuelo.

#### **4. CIMENTACIONES**

Es claro que cualquier estructura para que sea segura y trabaje correctamente, debe poseer una cimentación adecuada.

La cimentación es la parte de las estructuras ya construidas que no llama la atención y pasa inadvertida para la mayoría de la gente; sin embargo, la organización de sus elementos básicos, y el estudio de cada una de sus partes, exige del ingeniero mayor destreza y mejor criterio que el que normalmente necesita para realizar el proyecto. La construcción de una cimentación es, muchas veces, el trabajo más difícil de todos los que representan al realizar una obra.

Siempre resultará más económico diseñar y construir una cimentación adecuada que reconstruir una cimentación inadecuada y reparar estructuras afectadas.

En general, las cimentaciones se dividen en superficiales y profundas. Las primeras pueden ser zapatas aisladas (Figs. 11 y 12) o corridas, zapatas aisladas ligadas con contratraveses (Fig. 13), losas, pilas cortas (Figs. 14 y 15) y pilones o zapatas ancladas en roca (Figs. 16 y 17), así como muertos de anclaje para retenidas. Las segundas pueden ser pilas (Figs. 18 y 19) o pilotes (Figs. 20 a 25). Para el caso de cruce de ríos, barrancas o escurrideros, la profundidad de desplante debe tomar en cuenta la probable socavación que presenten.

#### **4.1. Cimentaciones Superficiales.**

Se les conoce como cimentaciones superficiales aquellas que se desplantan a una profundidad no mayor de 5 m, aunque las pilas podrían llegar hasta 7 m. Se emplean en suelos con capacidad de carga mayor de 30kPa (3 ton/m<sup>2</sup>).

Estos tipos de cimentación pueden ser de concreto o de acero.

Debido a problemas de corrosión y aciertas deficiencias en el diseño que se detectaron en las cimentaciones metálicas, a partir de 1992 la C.F.E. empezó a restringir su uso y en contrapartida se ha generalizado el empleo de cimentaciones a base de concreto reforzado, las cuales presentan mayor resistencia a la corrosión en condiciones normales y en suelos sumamente agresivos se pueden mejorar empleando cemento tipo II o puzolánico.

En ningún caso estas estructuras se desplantarán sobre tierra vegetal, suelos o rellenos sueltos, o desechos.

##### **4.1.1. Consideraciones de Análisis.**

Los dados o fustes de las cimentaciones deberán sobresalir una longitud mínima

de 30 cm del nivel del terreno en zonas no inundables y la misma longitud por arriba del NAME en zonas susceptible a inundación para torres y 70 cm para postes.

Debido a que las trayectorias de las líneas de transmisión cruzan por diferentes tipos de terreno, los cuales pueden presentar una amplia variedad en el valor de la capacidad de carga, es práctica general agrupar los diseños para los siguientes valores típicos de capacidad de carga neta admisible ( $q_a$ ): 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa y mayores a 400 kPa (0.5, 1.0, 2.0, 3.0 y mayores a 4.0 kg/cm<sup>2</sup>). El estudio geotécnico debe comprender la zonificación de la trayectoria de acuerdo con tales valores y señalar claramente la profundidad mínima de desplante para garantizarlos; sólo cuando se justifique por economía se recomienda tomar otros valores intermedios.

La profundidad mínima de desplante será de 2.00 m para zapatas y 3.00 m para muertos de anclaje y pilas, siempre con referencia al nivel de terreno natural. Para el caso de sitios susceptibles a la erosión o socavación, la profundidad mínima de desplante se considera a partir del nivel inferior estimado de socavación. En todos los casos se deben atender las recomendaciones del estudio geotécnico.

La conexión entre las patas de las torres y los dados de cimentación se diseñan por medio de placas de base y anclas o con extensiones del montante ahogadas en el dado (stub) con "clips" (uñas) atornillados.

#### **4.1.1.1. Revisión de Estabilidad**

Para la revisión de estabilidad se deben emplear las cargas y momentos más desfavorables que la superestructura transmite a la cimentación, afectados por el factor de carga correspondiente.

##### **4.1.1.1.1. Capacidad de Carga.**

Deben cumplirse los siguientes requisitos:

$$a) S_{max} < q_a \quad (1.33)$$

Donde:

$S_{max}$  = Presión efectiva máxima aplicada al terreno en condiciones dinámicas kPa.

$q_a$  = Capacidad de carga neta admisible del terreno a nivel de desplante (kPa).

No se considera peso de relleno y está afectada por un factor de seguridad  $F_s = 3$ .

- b) En los diagramas de esfuerzos para la zapata, obtenidos con la fórmula de la escuadría u otro procedimiento de análisis, en que resulten "tensiones", se emplea el método de sección reducida sólo si la "tensión" resultante es menor o igual al esfuerzo de compresión producido por los pesos del relleno y zapata. Si el esfuerzo de tensión es mayor, se deben aumentar las dimensiones en planta de la zapata.

#### 4.1.1.1.2. Volteo.

Debe cumplirse:

$M_r/M_v > 1,0$  para zapatas

$M_r/M_v > 1,25$  para pilas en postes

Donde:

$M_r$  = Momento resistente, producido por todas las fuerzas que se oponen al volteo aplicadas a la cimentación respecto al borde de la zapata o losa, o al punto de inflexión en el caso de pilas.

$M_v$  = Momento de volteo, producido por todas las fuerzas que producen volteo aplicadas a la cimentación respecto al mismo borde o al punto de inflexión en el caso de pilas.

Las fuerzas resistentes por peso del relleno se calculan considerando los pesos volumétricos que recomiende el estudio geotécnico para condiciones más desfavorable de sequía, humedad e inundación, según se estime se presente durante la vida útil de la línea, de acuerdo a la calidad de los materiales que se utilizarán en los rellenos y a las características del equipo que se emplee para compactarlos.

El peso del relleno actuante sobre las zapatas corresponde al volumen de una pirámide truncada, que tiene una inclinación máxima de sus caras con respecto a la vertical de 20 grados para suelo friccionante y 30 grados para suelo cohesivo, valores que varían en función de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, de la forma de terminar la excavación en su base, con o sin covacha, y de la forma de colado de la zapata con respecto a las paredes de la excavación que puede



ser en contacto o con separación (Fig. 26).

Se incluye el peso de la cimentación para ambas condiciones.

Se analizan tanto las patas sometidas a compresión como las sometidas a tensión.

#### **4.1.1.1.3. Arrancamiento de Zapatas y "Muertos" de Anclaje para retenidas.**

Debe cumplirse:

$$P/T > 1,00$$

Donde:

P = Suma de fuerzas verticales que actúan sobre la cimentación. Incluye pesos del relleno y de cimentación (kN).

T = Fuerza de tensión máxima (kN).

Las fuerzas resistentes por peso del relleno se calculan considerando las mismas condiciones señaladas en el inciso anterior.

#### **4.1.1.1.4. Asentamientos**

Para su análisis se emplean cargas de servicio para las condiciones más desfavorables.

a) Los asentamientos totales simultáneos de las zapatas deben ser menores de 5 cm.

b) Los asentamientos diferenciales deben ser menores de:

Entre zapatas 5 cm

Entre los bordes de cada zapata 2 cm

#### **4.1.2. Pilonos Apoyados en Roca.**

Este tipo de cimentación consiste en una estructura con forma de pirámide truncada y dimensiones en su base reducidas en comparación con las zapatas.

Se emplea en terrenos rocosos donde la capacidad de carga es igual o mayor a 300 kPa (3,0 kg/cm<sup>2</sup>).

Tanto el efecto de arrancamiento como el de volteo en las patas trabajando a tensión, se toman mediante anclas colocadas en la roca.

La altura mínima del pilón es de 1,00 m y depende de la longitud del Stub o de las

anclas si la torre se conecta con placas de base.

Las anclas colocadas en roca se recomienda sean de varilla corrugada con diámetro mínimo de 25,4 mm y colodas en barrenos no menores de 50,8 mm de diámetro. El espacio entre el ancla y la pared del barreno se rellena con mortero de cemento, agregando un aditivo expansor para garantizar la adherencia. En todo caso se siguen las recomendaciones del estudio de mecánica de suelos o rocas.

## **4.2. Cimentaciones Profundas.**

Las cimentaciones profundas se emplean cuando se requiere transferir la carga impuesta por las estructuras a estratos más profundos debido a que los estratos superiores del subsuelo no tienen la suficiente resistencia al corte, son muy compresibles o son susceptibles a la licuación ante cargas dinámicas.

Pueden ser pilas o pilotes y para su elección se toman en cuenta las recomendaciones del estudio de mecánica de suelos. Las cuatro patas de la torre quedan conectadas con traveses de liga.

Tanto las pilas como los pilotes pueden diseñarse para trabajar por fricción y/o por punta y en todos los casos la separación mínima entre pilotes o entre pilas es de 3 veces su diámetro o lado. Las cimentaciones profundas se diseñan para satisfacer los requisitos de estabilidad y funcionalidad. Para el caso de cauces de ríos, debe tomarse en cuenta la profundidad probable de socavación.

### **4.2.1. Estabilidad.**

Se emplean cargas factorizadas para las condiciones más desfavorables.

En la C.F.E. se utiliza actualmente el programa SAP90, método de análisis que toma en cuenta la distribución y propiedades de los diversos elementos que constituyen la estructura de cimentación de la torre o poste que son las pilas o pilotes, traveses de liga, cabezales, dados y suelo. El análisis se realiza en conjunto, tomando las cargas a tensión, compresión y horizontales en los elementos correspondientes.

Los cabezales tienen un peralte mínimo de 100 cm y los dados la longitud necesaria para ahogar la pata de la torre (stub); estos últimos en ningún caso tendrán una longitud menor de 40 cm si el NAME no rebasa el cabezal y la misma longitud por arriba del nivel del NAME si éste es mayor que la altura del cabezal.

#### 4.2.2. Capacidad de Carga.

La pila o pilote más desfavorable debe cumplir el siguiente requisito:

$$Q_{\text{máx}} < Q_a \text{ (1.33).}$$

Donde:

$Q_{\text{máx}}$  = Carga máxima aplicada al pilote o pila debido a las cargas externas y peso propio (kN). Resulta del análisis y considera acciones dinámicas.

$Q_a$  = Capacidad de carga admisible del pilote o pila, calculada a partir de las propiedades de resistencia del subsuelo (kN), y afectada con un factor de seguridad  $F_s=3$ .

#### 4.2.3. Arrancamiento.

La pila o pilote más desfavorable deberá cumplir con lo siguiente:

$$Q_{t \text{ máx}} < Q_{ta}$$

Donde:

$Q_{t \text{ máx}}$  = Carga máxima a la tensión aplicada a la pila o pilote debido a las cargas externas y peso propio (kN). Resulta del análisis y considera acciones dinámicas.

$Q_{ta}$  = Capacidad de carga admisible a la tensión de la pila o pilote, calculado a partir de las propiedades de resistencia del subsuelo (kN).

#### 4.2.4. Asentamientos.

- a) Los asentamientos totales simultáneos de las partes de la torre deben ser menores de 5 cm.
- b) Los asentamientos diferenciales deben ser menores de 2 cm entre patas.

#### 4.2.5. Diseño Estructural.

El diseño estructural de las cimentaciones profundas comprende las pilas o pilotes, trabes de liga, cabezales y dados de empotramiento de las patas, todos de concreto reforzado, para lo cual se siguen los lineamientos del ACI 318.

Las pilas se cuegan en sitio y los pilotes pueden ser colados en sitio o precolados. Tanto las pilas como los pilotes se diseñan para resistir, sin sufrir daño, lo

siguiente:

- 1) Compresión bajo cargas verticales.
- 2) Tensión debida a fuerzas de subpresión, bufamiento del suelo y/o fuerzas externas.
- 3) Fuerzas horizontales que ocasionen flexión y esfuerzos cortantes (fuerzas horizontales que transmite la superestructura, y presiones hidrodinámicas en corrientes de agua).
- 4) Fuerzas excéntricas que causen flexión.
- 5) Momentos flexionantes por curvatura.
- 6) Efectos de columna en los tramos sin soporte lateral del terreno en contacto con el aire, lodo o suelo muy blando.

Para el caso de pilotes precolados y que se colocan en el sitio por hincado, adicionalmente deben diseñarse para resistir:

- 7) Esfuerzos durante el manejo, que comprende transporte e izado.
- 8) Aplastamiento y esfuerzos cortantes por impacto durante el hincado.

#### **4.3. CIMENTACIONES ESPECIALES**

En líneas de transmisión, es frecuente que las soluciones de cimentación tengan que adaptarse a condiciones particulares de los sitios donde se ubican las estructuras.

Las condiciones topográficas son las que más inciden en estos problemas. En las figuras comprendidas de la 27 a la 31 se presentan algunas soluciones que se han adoptado para resolver problemas especiales, las cuales requieren análisis y diseños que se salen de los tradicionales.

#### **5. DRENAJE Y SUBDRENAJE.**

Para el caso de laderas, y en zonas muy lluviosas, deberá preverse la construcción de drenajes superficiales para encauzar el agua hacia sitios donde no afecte la erosión a la estructura.

Cuando se diseñen muros de retención, deberá dotárseles de subdrenaje con materiales filtrantes para evitar presiones hidrostáticas o hidrodinámicas que afecten su estabilidad. Las dimensiones de los filtros y las características granulométricas de los materiales que los constituyen deben ser adecuados para

garantizar la rápida eliminación del agua sin el arrastre de material fino.

## **6. CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

El avance técnico y científico en el análisis y diseño de cimentaciones es constante y el diseñador de cimentaciones para líneas de transmisión debe encontrarse al día en dichos aspectos; resulta así de suma importancia que los procesos constructivos, la supervisión y el control de calidad en el campo asuman su función de garantizar que los diseños se apliquen de la mejor forma posible ajustándose a las especificaciones emitidas para tal propósito.

Debe reconocerse que las teorías de análisis y diseño de cimentaciones, necesariamente poseen un alto grado de simplificación, idealización matemática y de empirismo debido al actual estado del conocimiento, por lo cual no pueden tomarse todas las variantes y condiciones de campo. Por otro lado, las condiciones de campo no siempre se pueden captar o reproducir en forma completa en los modelos analíticos, de ahí que las soluciones siempre llevarán un grado de incertidumbre, misma que deberá de disminuirse durante el proceso constructivo, adaptando las soluciones a las condiciones de campo. Toca entonces al constructor y diseñador estar pendientes durante el proceso constructivo para interactuar en forma tal que se logre adoptar la cimentación más adecuada desde los puntos de vista funcional y económico. No obstante, existen aspectos que atañen en exclusiva al constructor para cumplir requisitos de calidad y que el diseñador poco o nada puede hacer al respecto; esos aspectos son fundamentalmente el control en la fabricación y colocación de concretos, y selección y compactación de rellenos.

Al realizar un concurso para la construcción de una obra, se parte del principio de que todas las empresas participantes tienen suficiente ética profesional y la capacidad técnica y económica para realizar dicha actividad; de ahí que por regla general se adjudique la construcción a la que cotiza más barato. Desafortunadamente, son contadas las compañías constructoras que llegan a cumplir con los principios mencionados, de tal modo que la filosofía común es "... primero ganar el concurso, después ya veremos cómo esquivar las obligaciones técnicas o justificar cantidades de obra extraordinarias para recuperar los bajos costos ofertados ....".


El Control de Calidad implica cumplir con todas las especificaciones técnicas y constructivas, y abarca desde la localización correcta de las estructuras y sus apoyos, hasta la verificación de la resistencia de los concretos y los pesos

volumétricos alcanzados en los rellenos.

Aunque la fabricación de concretos y compactación de rellenos no son las únicas actividades que involucran Control de Calidad durante la etapa constructiva, sí son las únicas de las que se lleva una memoria mediante reportes de laboratorio. Un análisis adecuado de estos reportes nos lleva a establecer si el Control de Calidad es bueno o es malo, y nos permite emitir una opinión del Aseguramiento de Calidad Total de la obra.

Para el caso de rellenos, se recomienda que en primer lugar el grado de compactación no sea menor al 90% de la prueba de compactación Próctor estándar, y que se empleen materiales cuyo peso específico seco a ese grado de compactación no sea menor a  $16 \text{ kN/m}^3$  ( $1600 \text{ kg/m}^3$ ).

Julio, 1999.

	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN
	C. P. T. T.	DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV


COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN

GERENCIA TÉCNICA

DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

ESPECIFICACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN  
DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DESDE  
115 KV HASTA 400 KV  
REV 01-OP-08/97

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	<b>DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>

**INDICE  
(GENERALIDADES)**

**CAPITULO I**

1.-	OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....	4
2.-	NORMAS DE CALIDAD .....	4
3.-	DEFINICIONES .....	6
4.-	OBLIGACIONES .....	8
4.1-	EN LA PRESENTACIÓN DE LA OFERTA .....	8
4.2-	EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS .....	9
4.3-	OBLIGACIÓN DE C.F.E. ....	11

**CAPITULO II**

1.-	TRABAJOS PRELIMINARES AL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN .....	11
	1.1- VERIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS .....	12
	1.2- APERTURA DE LA BRECHA .....	14
	1.3- CAMINOS DE ACCESO .....	17
2.-	CIMENTACIONES .....	19
	2.1- TRAZO DE CEPAS .....	20
	2.2- EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO .....	21





SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN

DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

2.3-	ANCLAJE PARA CIMENTACIÓN .....	23
2.4-	ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO .....	23
2.5-	CONCRETO EN CIMENTACIONES .....	24
2.6-	RELLENO Y COMPACTADO .....	25
2.7-	SISTEMA DE TIERRAS .....	26
3.-	MONTAJE DE ESTRUCTURAS .....	27
3.1-	ARMADO DE ESTRUCTURAS .....	27
3.2-	VESTIDO DE ESTRUCTURAS .....	30

### CAPITULO III

1.-	INSTALACIÓN DE CABLES .....	31
1.1-	TENDIDO Y TENSIONADO DE CABLE DE GUARDA .....	31
1.2-	TENDIDO Y TENSIONADO DE CABLE CONDUCTOR .....	33

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

**ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LINEAS DE  
TRANSMISIÓN  
DESDE 115 KV. HASTA 400 KV.**

**CAPITULO I.  
GENERALIDADES.**

**1.- OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Estas Especificaciones tienen por objeto establecer los requerimientos generales que debe satisfacer la construcción de Líneas de Transmisión.

Lo indicado en estas Especificaciones rige la construcción de las líneas de transmisión de alta tensión de la **COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.**

**2.- NORMAS DE CALIDAD.**

El contratista debe respetar en la construcción, las siguientes especificaciones:

Especificación C.F.E. L0000-10 .....	Derechos de Vía.
Especificación CFE L0000-10,00JL020 .....	Protección Catódica.
Especificación CFE D8500-01 y 02 .....	Recubrimientos anticorrosivos.
Especificación C.F.E. L0000-11 .....	Empaque, embarque y almacenamiento de bienes adquiridos por C.F.E.
Puesta en Servicio. ....	Manual de Puesta en Servicio Para Líneas de Transmisión.
ASTM C - 172.....	Método para muestras de Concreto fresco.

- ACI - 304 .....Práctica recomendada para medir, mezclar, transportar y colocar el Concreto.
- ASTM C-94 .....Especificaciones para concreto premezclado.
- ASTM C-150 .....Especificaciones para Cemento Portland.
- ASTM C-595 .....Especificaciones para Concretos Hidráulicos mezclados.
- DGN B 6(vigente) .....Secretaria de Industria y Comercio para uso de acero de refuerzo.
- ASTM C 33 .....Especificaciones para agregados de concreto, Especificaciones para rellenos compactados.
- ACI-318 .....Reglamento de las construcciones de concreto reforzado.
- CRD C-119 .....Determinación del porcentaje de partículas planas y alargadas (U.S. Army Corp of Engineers).
- ASTM C-31 .....Fabricación y curado de especímenes de concreto en el campo.
- ASTM C-39 .....Método de Ensayes a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- ASTM C-494 .....Especificaciones para aditivos químicos en el Concreto.
- ASTM C-143 .....Método de prueba para Revenimiento del Concreto.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

ASTM C-309.....	Membrana de curado.
ACI-347 .....	Práctica recomendada para cimbras de concreto.
C.F.E. CPTT-CON 01 .....	Fabricación y colocación de concreto en estructuras de Se's y Líneas de Transmisión.
Recomendaciones.....	Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección del Ambiente.

Así también, el contratista debe cumplir con lo establecido en el Manual de Seguridad para la Construcción de Subestaciones Eléctricas y Líneas de Transmisión de C.F.E.

Los licitantes deberán considerar lo establecido en los criterios ecológicos CE.OESE-003/89, para la selección y preparación de sitios y trayectoria, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión de energía eléctrica de potencia, publicadas en el diario oficial de la federación el 08 de junio de 1989.

C.F.E. se reserva el derecho de indicar los valores que no correspondan con las normas, recomendaciones y especificaciones.

### 3.- DEFINICIONES.

Para éstas Especificaciones aplican las siguientes definiciones:

**RESIDENCIA DE SUPERVISIÓN:** es la que representa directamente a C.F.E. ante el contratista en asuntos relacionados con la ejecución de los trabajos, o derivados de ellos, en el lugar donde se ejecutan las obras y tiene a su cargo cuando menos:

- 1.- Llevar bitácora de la obra
- 2.- Verificar que los trabajos se realicen conforme a lo pactado en el contrato.
- 3.- Revisar conjuntamente con la superintendencia de construcción del contratista, las estimaciones de trabajos ejecutados, en el caso de proceder firmarlas para su trámite de pago, mediante la factura correspondiente.



SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN  
DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

- 4.- Rendir informes periódicos y al final del cumplimiento del contratista en los aspectos legales, técnicos, económicos, financieros y administrativos.

**LICITANTE** Es la persona física o moral que cumple con los requisitos técnicos y financieros solicitados en la Convocatoria de la Licitación y por consiguiente está calificado para participar en ésta.

**CONTRATISTA** es la persona física o moral que realiza las obras.

**KILOMETRO-LINEA** Esta unidad corresponde a un kilómetro de línea de transmisión medido en sentido horizontal, tomando en cuenta todos los componentes y cantidad de circuitos que intervienen. Cuando en el catálogo de conceptos se indique que ésta es la unidad de medición y pago, para poder estimarla el contratista debe haber realizado las actividades completas incluidas en el concepto.

**PRECIO UNITARIO** es la unidad de pago que se utiliza para determinar el alcance de las estimaciones del trabajo ejecutado.

**"SUMINISTRO"** Son los equipos y materiales de instalación permanente proporcionados por C.F.E.

A cargo del Contratista quedan las maniobras de carga y descarga, transportes desde el lugar designado por C.F.E. hasta el sitio de la obra, almacenaje, custodia, reposición en caso de daño, pruebas de rutina, montaje y puesta en servicio de los mismos.


#### 4.- OBLIGACIONES.

##### 4.1 EN LA PREPARACIÓN DE LA OFERTA

Para la determinación de los precios unitarios el licitante utilizará para la mano de obra, como mínimo el tabulador aprobado por el SINDICATO ÚNICO DE TRABAJADORES ELECTRICISTAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA (SUTERM) y las condiciones establecidas en el modelo de contrato colectivo y aplicará los costos vigentes de materiales, equipo y maquinaria, de acuerdo a lo indicado en la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas.

El licitante debe conocer el sitio de la obra antes de calcular el precio unitario de los conceptos en que se divide, teniendo cuidado en observar lo siguiente:

- a) La topografía del terreno.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

- b) Condiciones climatológicas de la región.
- c) Sondeos hechos para determinar el tipo de material para las excavaciones, cuando existan. Las conclusiones que de la observación de estos sondeos obtenga son de su única y absoluta responsabilidad.
- d) Los niveles freáticos.
- e) Mano de obra de la región y costo de los materiales y equipo que empleará para la construcción.
- f) Vías de comunicación y servicios existentes, así como problemática relativa a asentamientos irregulares y crecimiento urbano constante.
- g) Flora y fauna existente.

El licitante debe tomar en cuenta al elaborar su oferta que los cruzamientos con otras líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica se efectuarán con la **línea energizada (en vivo)**.

Solo en casos especiales y bajo previa revisión y autorización de C.F.E. podrán efectuarse libranzas con líneas desenergizadas.

#### 4.2 EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS


El contratista ejecutará las obras de acuerdo con lo estipulado en estas Especificaciones en el plazo establecido, ajustándose al programa de trabajo que forma parte del contrato.

La construcción de las obras se llevará a cabo siguiendo las instrucciones del proyecto y respetando lo indicado en los planos que lo conforman. El contratista está obligado a tener una copia permanente de los planos del proyecto en la Residencia de la obra.

Para los cruzamientos con vías de comunicación y cultivos, el contratista deberá prever las maniobras de tal modo que no se interrumpan los servicios o se propicien accidentes.

El contratista habilitará por su cuenta almacenes de obra, bodegas, campamentos, oficinas, etc. y es el único responsable ante las autoridades y terceros del incumplimiento de las disposiciones federales, estatales, municipales y de los daños que su personal cause a terceros.

El contratista proporcionará todos los elementos y materiales de construcción y de consumo que sean necesarios para ejecutar la obra, incluyendo su transporte, almacenaje y movimientos locales hasta los sitios de utilización. La contratista suministrará los materiales de instalación permanente que se especifican en el anexo correspondiente.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

El contratista debe respetar las observaciones y recomendaciones que el **INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA** emite en su resolución aprobatoria del proyecto incluidas en estas Bases y en general durante la construcción tiene la obligación de producir las menores afectaciones posibles al ecosistema.

C.F.E. podrá exigir en cualquier momento los certificados de calidad de los materiales de construcción y consumo y es obligación del contratista tenerlos disponibles en la Residencia de la Obra.

C.F.E. podrá verificar y en su caso aprobar los trazos, líneas, niveles y estacados necesarios para la ejecución de los trabajos.

Cuando sea necesario efectuar cruzamientos con vías de comunicación, el contratista debe avisar por escrito con **60 días de anticipación** a C.F.E. la fecha programada para realizar dicho cruzamiento.

Una vez terminada la construcción de la obra, se efectuará una revisión final haciendo pruebas de conductividad y aislamiento; aplicando los lineamientos establecidos en el Manual de Puesta en Servicio para Líneas de Transmisión, el contratista está obligado a efectuar las reparaciones que se requieran.

Es obligación del contratista, al terminar los trabajos de construcción elaborar y entregar a la Comisión la siguiente documentación del proyecto ejecutado:

1. Un juego completo de planos topográficos del proyecto con la información de la ubicación final y de las estructuras, tal como quedó construida la línea de transmisión.
2. Las hojas de distribución de estructuras del proyecto debidamente llenadas, con toda la información relevante para el proyecto.
3. La lista general de materiales y equipos que quedaron finalmente instalados en la línea de transmisión.

Permisos especiales para la construcción, tales como el de uso de explosivos son de la absoluta responsabilidad del contratista. C.F.E. no tiene responsabilidad en la tardía obtención o rechazo de estos y no aceptará sobre costos y variaciones en el plazo de ejecución que pretendan justificarse en el retraso en la obtención de estos permisos.

#### 4.3 OBLIGACIONES DE C.F.E.

Es responsabilidad de C.F.E. tener liberado oportunamente el derecho de paso en la trayectoria de



SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN

DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

la línea de transmisión, así como la obtención de todos los permisos federales, estatales y municipales para la apertura de brecha y la construcción.

Quando por causas ajenas a C.F.E. no se tenga en el tiempo programado el derecho de paso de algún tramo de la línea, o algún permiso de derribo de árboles o de construcción, el contratista debe acordar con C.F.E. el cambio de su frente de trabajo a otro tramo de construcción, para lo cual se podrá modificar el plazo de ejecución de obra solamente del tramo afectado.

Es responsabilidad de C.F.E. la obtención oportuna de todos los permisos para cruzamientos con vías de comunicación existentes, para lo cual cuando así se indique en las Bases, el contratista deberá entregar oportunamente la documentación necesaria para su tramitación.

## CAPITULO II.

### 1.- TRABAJOS PRELIMINARES AL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN.

En este capítulo se incluyen todas las actividades necesarias para preparar el terreno para la construcción, estas actividades son:

#### 1.1 VERIFICACIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS.


1.1.1 DESCRIPCIÓN. La verificación del levantamiento topográfico es la actividad que debe desarrollar el contratista para comprobar que la información contenida en los planos topográficos del proyecto es correcta.

En caso de existir desviaciones en los planos, que pudieran afectar las características del proyecto, éstas deben ser reportadas inmediatamente a C.F.E., con el objeto de aplicar oportunamente las correcciones necesarias y evitar contratiempos que pongan en riesgo el programa de ejecución del proyecto.

La localización de estructuras consiste en ubicar en el terreno por medio del señalamiento adecuado (mojoneras y estacas) los sitios en que deberán instalarse las estructuras, de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

En el caso de que al efectuar esta actividad, el contratista detecte que el sitio predeterminado para ubicar alguna estructura no es el adecuado por una situación particular que pudiera afectar su estabilidad o dificultar el proceso constructivo, lo



	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

deberá reportar de inmediato a C.F.E., quien tomará las medidas correctivas correspondientes.

**1.1.2 EJECUCIÓN.** El Contratista localizará en el campo los sitios de instalación de las estructuras, y colocará la mojonera correspondiente en el centro; ésta debe tener claramente indicado con pintura indeleble el número y tipo de la estructura. Adicionalmente verificará los puntos sobresalientes del levantamiento topográfico y laderas existentes, así como los cruces con vías de comunicación y construcciones en general.

A partir del centro de cada estructura (la mojonera instalada), el contratista efectuará los levantamientos topográficos en diagonal que se utilizarán para determinar las extensiones que se instalarán en cada pata de la estructura y para determinar los ejes de las excavaciones.

**1.1.3 TOLERANCIAS.** En la localización de estructuras en tangentes, se admitirá una tolerancia de  $\pm 3$  m sobre el eje de la línea y  $\pm 10$  mm perpendiculares respecto a dicho eje, manteniendo siempre la trayectoria original.

En estructuras con deflexión no se admitirá tolerancia.

**1.1.4 MEDICIÓN.** Se medirá tomando como unidad la ESTRUCTURA localizada. Cuando por requerimientos del proyecto o situaciones particulares detectadas durante el desarrollo de estos trabajos sea necesario cambiar el sitio de localización de alguna estructura, los trabajos necesarios los desarrollará el contratista.

#### **1.1.5 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO.**

- a) Desmante o brecha topográfica.
- b) Verificación del levantamiento topográfico y localización de estructuras.
- c) Instalación de mojoneras y mantenimiento de las mismas durante la construcción.
- d) Obtención de los levantamientos topográficos en diagonal, necesarios para determinar extensiones y centros de excavación.
- e) Relocalización de estructuras cuando las necesidades del proyecto así lo determinen, para facilitar el proceso de construcción o para mejorar la confiabilidad de la línea.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

La unidad de pago que se empleará en este capítulo es la **ESTRUCTURA** localizada y el contratista debe considerar todas las actividades que desarrollará y los costos en que incurrirá al calcular sus precios unitarios. C.F.E. no reconocerá el pago de ningún concepto extraordinario imputable a la contratista en este capítulo.

## 1.2 APERTURA DE LA BRECHA.

**1.2.1 DESCRIPCIÓN.** Se entenderá por apertura de brecha, al desmonte de una franja de terreno a todo lo largo de la línea, cuyo centro coincidirá con el trazo topográfico.

La brecha tiene como objetivos esenciales:


- Proteger las estructuras y conductores contra la caída de árboles o ramas que puedan ocasionar daños o fallas en la Línea.
- Permitir las maniobras de construcción durante el desarrollo de los trabajos.
- Servir para la habilitación de caminos a lo largo de la Línea, para el transporte de personal, materiales y equipos; así como para el tendido y tensionado de cables conductores y de guarda.
- Proteger a los bosques, terrenos y cultivos adyacentes a las líneas, contra posibles incendios ocasionados por la caída de conductores.

**1.2.2 DISPOSICIONES.** Previo a la apertura de la brecha, se deberán seleccionar métodos y procesos de construcción que aseguren el menor daño a los Ecosistemas. En todos los casos el contratista debe respetar sin desviaciones los señalamientos hechos por el **INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA** en la resolución aprobatoria del proyecto.

Las características de la brecha serán fijadas por C.F.E. en cada línea de transmisión y siempre se tendrá en cuenta la protección de los ecosistemas. En términos generales se ejecutará la brecha mínima indispensable para permitir los trabajos de construcción, mantenimiento y operación segura de la línea.

**1.2.3 EJECUCIÓN.** El contratista ejecutará esta actividad observando estrictamente lo indicado a continuación:

- En la apertura de la brecha, deberá procurarse el uso de herramientas manuales o mecánicas. El uso de productos químicos o fuego queda estrictamente prohibido.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

- El área a desmontar en el sitio de estructuras será de **50 x 50 m** como máximo, excepto en zona de cultivos y árboles frutales, como son cítricos, café, plátanos., etc. En estos casos C.F.E. indicará lo procedente.
  - El contratista deberá al momento de efectuar el desmonte o brecha topográfica evitar afectación a la flora presentes en la zona y que se encuentren catalogadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL 1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestre, terrestre y acuáticas en peligro de extinción amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección publicadas en el diario oficial de la federación el 16 de mayo de 1994.
  - El contratista debe conservar las mojoneras colocadas, reponiéndolas en caso de daños y pérdidas.
  - El contratista efectuará el trazo de la brecha de acuerdo con el ancho ordenado por la C.F.E.
  - El contratista podrá hacer el desmonte a mano o empleando maquinaria manual; al producto resultante se le dará el tratamiento que indique el INE en su oficio resolutorio.
  - El desmonte se efectuará únicamente en las áreas indicadas por C.F.E.
  - El uso de maquinaria se limitará solamente al desmonte en el área de las torres y para retirar el producto del propio desmonte en caso de requerirse.
  - Deben preverse los libramientos necesarios para evitar daños en cultivos; cuando sea estrictamente necesario hacer brecha en cultivos, se notificará a C.F.E. quién indicará lo procedente.
  - El contratista efectuará la apertura de cercas y la colocación de puertas (falsetes), que permitan el paso de vehículos para lo cual solicitará permiso a los propietarios de los predios. Son responsabilidad del contratista los daños y perjuicios que se ocasionen por negligencia en la colocación de los falsetes.
- El contratista está obligado a conservar la brecha hasta la recepción final de las obras.

**1.2.4 TOLERANCIAS.** El ancho de la brecha a cada lado del eje de la línea de transmisión, no deberá excederse en más o menos 0,50 m del ancho técnico fijado.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. E. P. T. T.</b>	

**1.2.5 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO.** La unidad medición y de pago que se empleará en este capítulo es el KILOMETRO - LINEA y el licitante debe considerar todas las actividades que desarrollará y los costos en que incurrirá al calcular sus precios unitarios. C.F.E. no reconocerá el pago de ningún concepto extraordinario imputable a la contratista en este Capítulo. Los conceptos incluidos en este capítulo son:

- a) Trazo de la brecha.
- b) Desmante a mano o con herramienta manual.
- c) Remoción o entrega de los productos del desmante.
- d) Corte de los árboles altos fuera de la brecha, incluyendo cualquier maniobra de remoción. En cada caso C.F.E. indicará la altura de árboles que debe ser respetada.
- e) Reparación o pagos de daños ocasionados a terceros, imputables al Contratista.
- f) Conservación de la brecha hasta la puesta en servicio de la línea de transmisión.
- g) Programa de rescate y manejo de flora en peligro de extinción afectada, en base a indicaciones del INE en su oficio resolutorio.

### 1.3 CAMINOS DE ACCESO.

**1.3.1 DESCRIPCIÓN.** Se entiende por caminos de acceso a la ejecución de los trabajos que se requieren para garantizar la seguridad en el transporte del personal, material y equipo necesario para ejecutar la construcción de la línea y deben construirse en la forma más económica con terracerías a "pelo de tierra" o con los espesores mínimos necesarios de cortes o terraplenes.

Los permisos necesarios para la construcción de los caminos nuevos o reparación de los existentes que estén fuera del derecho de vía, serán por cuenta del contratista quien será responsable de los daños que ocasione durante la construcción, reparación y uso de estos.

**1.3.2 EJECUCIÓN.** Los caminos de acceso deben construirse en la forma mas económica posible, pero considerando que deben estar en condiciones de utilización durante todo el tiempo que dure la construcción del proyecto.



SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN  
DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

Deben ser construidos dentro del ancho de brecha indicado por C.F.E. y deben tener un ancho mínimo de corona de 3 m. La construcción de sistemas de drenaje, cunetas, contracunetas y cualquier trabajo adicional que se requiera debe ser considerado en el precio unitario.

Cuando C.F.E. determine que dentro del derecho de vía, no se ejecute brecha para respetar cultivos existentes, indicará al contratista el procedimiento y trayectoria de los caminos para la ejecución de la obra, siendo responsabilidad de C.F.E. la obtención de los permisos y pago de los cultivos dañados en la trayectoria que se defina. Si se causan daños adicionales a los previstos en la trayectoria definida por C.F.E., estos daños serán de la responsabilidad del contratista, así como los daños que ocasione el dejar abiertos los falsetes y cercas de los terrenos que se atraviesen durante la construcción de la obra.

Cuando se requieran cortes, rellenos, obras de drenaje u otras obras que afecten negativamente el ecosistema, se deberá comunicar a C.F.E., quién determinará el proyecto respectivo que contenga las medidas de atenuación de esos impactos.

Es obligación del contratista retirar los materiales de deshecho producto de la construcción de los caminos de acceso, así como la restauración de la capa vegetal adyacente a estos, de tal forma que se eviten erosiones o alteraciones al ecosistema. El contratista debe mantener en buen estado los caminos que utilice durante la construcción.


Previo a la construcción de los caminos de acceso se deberán seleccionar los métodos y procesos de construcción que aseguren el menor daño posible a los ecosistemas.

**1.3.3 MEDICIÓN.** La unidad de medida es el kilómetro-Línea.

**1.3.4 CARGOS INCLUIDOS EN LOS PRECIOS UNITARIOS.** Durante la visita a la obra, el licitante observará la cantidad de caminos que construirá dentro y fuera de la trayectoria de la línea, evaluará cada caso y obtendrá un solo precio unitario, que será el resultado de dividir la suma de los costos de todos esos caminos, entre la longitud total de la línea.

El licitante debe considerar todas las actividades que desarrollará y los costos en que incurrirá al calcular sus precios unitarios. C.F.E. no reconocerá el pago de ningún concepto extraordinario imputable a la contratista en este Capítulo.

Se estimará por unidad de obra terminada incluyendo los cargos y operaciones siguientes:

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

- a) Localización y Trazo.
- b) Desmonte.
- c) Construcción de caminos de acceso dentro y fuera de la trayectoria de la Línea, incluyendo cunetas, contracunetas y obras de arte, si se requieren.
- d) Mantenimiento y conservación de los caminos.
- e) Apertura y cierre de cercas en los terrenos que se atraviesen y reconstrucción de las mismas.
- f) Reparación de daños causados durante la construcción.

## 2.- CIMENTACIONES.


En esta Especificación se considera que las cimentaciones de todas las estructuras son empotradas en concreto y de acuerdo con las características del terreno y lo indicado en el proyecto pueden ser de los siguientes tipos:

- 1.- zapatas aisladas
- 2.- pilas
- 3.- ancladas en roca
- 4.- pilotes

En este concepto quedan incluidas todas las actividades necesarias para construir las cimentaciones de las estructuras y son las siguientes:

- a) Trazo de cépas.
- b) Excavaciones o perforaciones en cualquier tipo de terreno.
- c) Anclajes para cimentaciones en roca.
- d) Acero de refuerzo.
- e) Elaboración e instalación de cimbras, incluyendo los materiales necesarios.
- f) Concreto en cimentaciones.
- g) Relleno y compactación.
- h) Instalación de sistemas de tierras.
- i) Suministro e hincado de pilotes.

La unidad de pago que se empleará en este concepto es cimentación-estructura y se podrán efectuar pagos parciales de:

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

- el 10 % al tener concluida la excavación o anclaje.
- el 20 % al tener concluida la colocación de acero de refuerzo ó hincado de pilotes.
- el 20 % al tener concluido la colocación de concreto y descimbrado.
- el 50 % al concluir la cimentación y recibida por CFE.

El licitante debe considerar las actividades que desarrollará y los costos en que incurrirá al calcular los precios unitarios de su oferta. C.F.E. no reconocerá el pago de ningún concepto extraordinario imputable a la contratista en este Capítulo.

- 2.1 TRAZO DE CEPAS.-** Esta actividad consiste en localizar y marcar en el terreno las zonas de excavación, perforación o barrenación para la construcción de las cimentaciones del proyecto.  
Para el trazo de las cepas, se debe considerar que el eje transversal de la estructura es normal al eje de la línea en tangente y cuando sea el caso de deflexión, deberá coincidir con la bisectriz del ángulo de deflexión.


Es responsabilidad del contratista que los trazos, líneas, niveles y estacas estén adecuadamente colocados. En el caso de que alguno de estos elementos no se encuentre, su relocalización y reposición será por cuenta del contratista.

**2.2 EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO.**

**DESCRIPCIÓN.** Las excavaciones a cielo abierto, son las que se efectúan para alojar y desplantar las cimentaciones de las estructuras.

El licitante deberá determinar en base a sus observaciones de campo y experiencia las cantidades y tipos de los materiales que deberá considerar en su oferta. También debe determinar los procedimientos de excavación y perforación que utilizará para lograr una ejecución eficiente de los trabajos, tomando siempre en cuenta las recomendaciones contenidas en la **Resolución Aprobatoria del INE**, así como los equipos que empleará según los tipos de cimentaciones que requiera el proyecto.

Cuando para ejecutar las excavaciones se requieran explosivos, ademe, ataguías y/o bombeo, el contratista suministrará los materiales, equipos y mano de obra necesarios, sin que esto sea justificante de pago adicional para C.F.E.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

Quando se autorice el uso de explosivos para ejecutar las excavaciones, su uso estará condicionado a evitar el fracturamiento y alteración del terreno natural, más allá de la sección teórica fijada. Su uso y método de empleo deberá someterse a la aprobación de C.F.E.

En los casos en que se haga necesario el uso de explosivos, deberá el contratista tomar las precauciones necesarias para la protección del público, de los trabajadores, de las obras mismas y de las propiedades públicas y privadas. Cualquier daño ocasionado por el uso de explosivos será de la responsabilidad del contratista.

Los permisos para la obtención de explosivos serán tramitados por el contratista, sin que C.F.E. tenga ninguna responsabilidad en el proceso de obtención, por lo que no reconocerá como justificante de retraso en la ejecución del proyecto o costos adicionales la tardía obtención de los permisos.

El contratista debe acatar las disposiciones de la Secretaría de la Defensa Nacional en cuanto a la obtención, almacenamiento y uso de explosivos.

El contratista tomará las medidas necesarias para evitar que las excavaciones puedan originar daños a personas, animales y vehículos; cubriéndolos y poniéndoles señales adecuadas.

Quando se construya sobre laderas, la profundidad de desplante de la cimentación se medirá partir de la parte inferior del desnivel.

Para el caso de laderas y en zonas muy lluviosas, debe preverse la construcción de drenajes superficiales para encauzar el agua hacia sitios donde no afecte la erosión a la estructura.


Quando se diseñen muros de retención, debe dotárseles de subdrenaje con materiales filtrantes para evitar presiones hidrostáticas o hidrodinámicas que afecten su estabilidad. Las dimensiones de los filtros y las características granulométricas de los materiales que los constituyan deben ser adecuados para garantizar la rápida eliminación del agua, sin el arrastre de material fino.

El fondo y las paredes de las excavaciones deberán quedar formando una superficie limpia de material suelto y/o inestable.

Durante el proceso de excavación, el material producto de la misma se podrá depositar alrededor, dejando cuando menos un metro libre entre los límites de la excavación y el pie del talud del material extraído, con el fin de evitar derrumbes del material al interior de la excavación.

**2.2.1 TOLERANCIAS.** Se admitirá una tolerancia de 10 mm en las dimensiones laterales de las cepas para facilitar los trabajos de nivelación y alineación.



	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

En caso de que la profundidad de la excavación sobrepase a la indicada, se deberá rellenar hasta el nivel teórico, garantizando un apoyo seguro para la cimentación de la estructura.

Para dar por terminada la excavación que haya sido necesario ejecutar se verificarán trazos, niveles y acabados.

### 2.3 ANCLAJES PARA CIMENTACIÓN

Son varillas corrugadas con un diámetro mínimo de 25 mm, las cuales se colocarán en barrenos perforados en roca sana, no menores de 51 mm de diámetro.

El espacio entre ancla y la pared del barreno se rellenará con mortero de cemento y un aditivo espansor para garantizar la adherencia.

Para el diseño de este sistema de anclaje, se deberán seguir las recomendaciones de la GERENCIA DE INGENIERÍA EXPERIMENTAL Y CONTROL.

### 2.4 ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO.

Está constituido por las varillas de acero corrugado que quedarán ahogadas en el concreto después del colado y que ayudarán a éste a soportar las solicitaciones.

Para el suministro, manejo y aplicación del acero de refuerzo en la construcción de las cimentaciones se deberá cumplir con la Especificación C.F.E.. CPTT-CON01 "FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LINEAS DE TRANSMISIÓN" y el Reglamento de la Construcción del Concreto Reforzado (ACI 318).

### 2.5 CONCRETO EN CIMENTACIONES.

**DESCRIPCIÓN.** Es la mezcla de materiales pétreos inertes, cemento, agua y aditivos que se especifiquen en las proporciones adecuadas que al endurecerse adquieren la resistencia mecánica, durabilidad y características requeridas para la construcción de los cimientos de las estructuras. Los concretos para las cimentaciones deben fabricarse y colocarse cumpliendo estrictamente con lo indicado en la Especificación C.F.E.. CPTT-CON01 "FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LINEAS DE TRANSMISIÓN".

El control de calidad de la fabricación de concretos será responsabilidad del contratista y en todo momento puede ser verificado por C.F.E., para lo cual se tomarán las muestras necesarias.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

**TOLERANCIAS.** Las tolerancias serán como se indican a continuación:

- a) Variación de dimensiones de cimientos en planta: 13 mm.
- b) Variación de desplazamiento o excentricidad en cualquier dirección: 40 mm.
- c) Variación de espesor 5% del indicado.
- d) Excentricidad en la base de columnas, vigas, muros y losas: 2 mm.
- e) En el caso de cimientos para estructuras metálicas con retenidas se admitirá una tolerancia de: 5 mm entre centro de anclas y 10 mm de desnivel entre columnas.

## 2.6 RELLENO Y COMPACTADO.

**2.6.1 DESCRIPCIÓN.** Corresponde al material que se coloca en las cepas excavadas para alojar a los cimientos de las estructuras, después de que se haya revisado y aceptado la nivelación del cerramiento (Bottom-Panel).


**2.6.2 EJECUCIÓN.** Se procederá a efectuar los rellenos utilizando de preferencia el producto extraído de las excavaciones, siempre y cuando el material sea apropiado para este objetivo; en caso contrario será necesario utilizar material producto de bancos de préstamos.

Ya sea que se utilice material producto de la excavación o de banco, éste deberá estar exento de partículas mayores de 75 mm, así como de materia orgánica (raíces y material vegetal).

El material se colocará en capas de 15 cm de espesor para el caso de suelos cohesivos (arcillosos), cada capa se humedecerá hasta su contenido de humedad óptimo, se compactará con pizón mecánico (bailarina) o neumático; si los suelos son granulares (arenosos), se empleará en su compactación placa vibratoria.

La compactación deberá llevarse al 95 % del peso volumétrico seco máximo del material de que se trate. Para los suelos cohesivos, el peso volumétrico seco máximo quedará referido a la prueba proctor C.F.E. (energía de compactación = 7 kg-cm/cm<sup>3</sup>); para los suelos granulares, al peso volumétrico seco máximo obtenido de pruebas de compactación relativa efectuados por vía húmeda de acuerdo a la norma ASTM D-2049.

El Contratista realizará las pruebas de compactación necesarias para garantizar la calidad del trabajo.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

**2.6.3 MEDICIÓN.** El costo de relleno y compactado forma parte del concepto "CIMENTACIÓN". El licitante debe hacer las consideraciones necesarias al preparar su oferta. C.F.E. no aceptará cargos desglosados o extraordinarios imputables a la contratista por este concepto.

## **2.7 SISTEMA DE TIERRAS.**

**2.7.1 DESCRIPCIÓN.** El sistema de tierras para Líneas de Transmisión consiste en la instalación de antenas y contra antenas a base de alambre o cable según se indique en el proyecto, las cuales estarán conectadas a las patas de las torres con los conectores tipo fundido apropiados.

Cuando con la instalación de antenas no se logre la resistencia a tierra marcada por el proyecto se hincarán varillas copperweld de 16 mm de diámetro por 3 m de longitud en forma vertical conectadas a las terminales de las antenas. En casos extremos se recurrirá al empleo de rellenos especiales en el suelo para lograr el objetivo.

**2.7.2 EJECUCIÓN.** Con base en la ingeniería del sistema de tierras se instalarán las antenas de la longitud necesaria en cada pata de cada torre, así como las varillas y en su caso los rellenos de baja resistencia necesarios.

Para la instalación de los sistemas de tierras se tomarán en cuenta las siguientes instrucciones:


La instalación del alambre o cable indicado en el proyecto debe hacerse a **una profundidad de 1,50 m en terreno cultivable y 0,80 m. en terreno no cultivable;** procurando que su trayectoria se localice en terreno de baja resistencia.

El relleno, de preferencia se hará con el producto de la excavación, a menos que por sus características eléctricas, sea necesario sustituirlo por material de las características adecuadas para garantizar una buena conexión a tierra.

Cuando sea necesario el uso de varillas, éstas deberán colocarse en forma vertical.

Cuando las varillas al ser hincadas, no alcancen la profundidad necesaria por encontrarse en terreno duro o semiduro, se podrán sacar e intentar su colocación en sus inmediaciones (30 a 50 cm), y/o ejecutar una barrenación de 2,5 cm de diámetro por 3 m de longitud, rellenando los huecos con el producto adecuado que marque el proyecto.

**2.7.3 MEDICIÓN.** El costo de instalación del sistema de tierras forma parte del concepto "CIMENTACIÓN". El licitante debe hacer las consideraciones necesarias al preparar su oferta. C.F.E. no aceptará cargos desglosados o extraordinarios imputables a la contratista por este concepto.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE- CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

### 3.- MONTAJE DE ESTRUCTURAS

#### 3.1 ARMADO DE ESTRUCTURAS.

**3.1.1 DESCRIPCIÓN.** Las actividades incluidas en este capítulo son las necesarias para armar e instalar las estructuras, en los sitios fijados por el proyecto, y dejarlas preparadas para el tendido y tensionado de los cables, estas actividades son las siguientes:

- a) Prearmado de estructuras.
- b) Montaje de estructuras.
- c) Revisión de las estructuras montadas.

El licitante al elaborar la oferta debe considerar todas las actividades que desarrollará y los costos en que incurrirá al calcular sus precios unitarios, la C.F.E. no reconocerá el pago de ningún concepto extraordinario imputable a la contratista.

**3.1.2 EJECUCIÓN.** El Contratista es el responsable del manejo de las estructuras desde su carga o embarque en los puntos de entrega, su transporte, descarga y almacenamiento, movimiento hasta los sitios de instalación y montaje.

El Contratista armará y montará todos los miembros que comprenden la estructura de acuerdo con los planos, utilizando el método constructivo que garantice que no se dañen las partes de las torres.


Una vez nivelada la base y ejecutado el relleno y compactado de las cimentaciones, se podrá continuar con el armado de los cuerpos superiores.

La tornillería que se coloque en posición vertical se instalará con la tuerca hacia abajo.

En el proceso de armado y el montaje de la estructura no se permite la colocación de elementos forzados.

El contratista debe contar con el equipo y accesorios necesarios para efectuar los trabajos indicados en este concepto, de tal manera que estos se ejecuten de acuerdo al programa de trabajo.

Para la señalización aérea se deberá aplicar lo marcado en la guía provisional **CFE-GSLE-61** en lo correspondiente a deflexiones en líneas de transmisión, asentando que la aplicación de pintura podrá efectuarse antes de instalar el fierro estructural, teniendo el constructor la obligación de pintar nuevamente aquellos elementos que por motivo de maniobras en su montaje así se requiera. Para

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

la aplicación de esmalte anticorrosivo deberá respetar la especificación CFE-D8500-01 y CFE-D8500-02.

### 3.1.3 TOLERANCIAS.

#### PARA ESTRUCTURAS AUTOSOPORTADAS.

- a) Tolerancia en alineamiento del eje: 10 mm.
- b) Tolerancia admitida en distancia de los vértices del primer cerramiento al eje de la Línea de torre de suspensión: 0,5% de la distancia del proyecto.
- c) Tolerancia admitida en la distancia del vértice del primer cerramiento a la bisectriz en torre de ángulo será del 0.5% de la distancia del proyecto.
- d) Tolerancia en horizontalidad: desviación máxima 5 mm.
- e) En el armado y nivelado del cerramiento (Bottom-Panel) se permitirá una tolerancia máxima de desnivel de 5 mm.

### 3.1.4 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO.

Comprenderán los cargos y operaciones siguientes:

- a) El transporte, recepción, carga, acarreo y maniobras auxiliares para almacenar las diversas piezas metálicas, garantizando que no sufran deterioros por deformación u oxidación; la verificación de todos los elementos estructurales necesarios, así como el registro de las piezas, identificándolas por medio de marbetes.
- b) Las maniobras de acarreo de piezas hasta el sitio de su instalación.
- c) El prearmado de las partes de las estructuras, la movilización y presentación de las piezas de la misma hasta su instalación definitiva, incluyendo la nivelación de la base y la fijación total de la estructura.
- d) Cualquier otra operación necesaria para que la estructura quede totalmente instalada y armada.
- e) Los movimientos de acarreo e instalación de elementos faltantes de la estructura detectados en la revisión.



SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN

DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

**3.1.5 MEDICIÓN.** La unidad de pago que se empleará para el concepto de MONTAJE DE ESTRUCTURAS será la ESTRUCTURA y se podrán efectuar pagos parciales de:

- el 20 % al concluir el armado y nivelado de bottom-panel.
- el 50 % al concluir el montaje de cuerpo superior
- el 30 % al tener el vestido, señalización y revisado.

### **3.2 VESTIDO DE ESTRUCTURAS**

**3.2.1 DESCRIPCIÓN.** El vestido de estructuras consiste en colocar en los lugares respectivos los herrajes, aisladores y accesorios en general; incluyendo las placas de aviso de peligro y numeración de estructuras de acuerdo con lo indicado en los planos del proyecto, éstas actividades son las siguientes:

- a) Instalación de los conjuntos de herrajes y aisladores, tanto para los cables conductores como para los cables de guarda.
- b) Instalación de los sistemas de señalización de peligro y numeración consecutiva de las estructuras.
- c) Señalización aérea de numeración en cada una de las estructuras y en ambos sentidos de la trayectoria de la línea de transmisión.

**3.2.2 EJECUCIÓN.** El Contratista debe ejecutar estos trabajos con las precauciones necesarias para garantizar el ensamble adecuado de todos los componentes de las cadenas de herrajes y aisladores.

El Contratista deberá contar con el equipo y herramientas apropiadas.

No se deberán hacer sustituciones de ninguna clase de los materiales, se instalarán exactamente los indicados en los planos del proyecto.

El contratista revisará y limpiará todos los materiales antes de instalarlos.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

### 3.2.3 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO INTEGRADO

- a) La instalación de los conjuntos de herrajes y aisladores, tanto para los cables conductores como para los cables de guarda.
- b) Colocación de placas de numeración de estructuras y de aviso de peligro y señalización especial.

El vestido de estructuras forma parte del concepto MONTAJE DE ESTRUCTURAS, por lo que el licitante debe considerar los costos en que incurrirá al elaborar su oferta. C.F.E. no aceptará ningún cargo desglosado por este concepto.

## CAPITULO III

### 1.- INSTALACIÓN DE CABLES

#### 1.1 TENDIDO Y TENSIONADO DE CABLE DE GUARDA.


**1.1.1 DESCRIPCIÓN.** Las actividades incluidas en este concepto, son las correspondientes al tendido del cable de guarda a lo largo de toda la línea de transmisión, el tensionado correspondiente y su sujeción definitiva a los herrajes para unirlos a la estructura.

El tendido y tensionado del cable de guarda consiste en colocar el cable indicado en el proyecto y los herrajes necesarios en los extremos superiores de las estructuras y posteriormente tensionar el cable para dejarlo a una altura determinada del suelo.

Para el tendido de cable de guarda se empleará el método de tensión mecánica controlada.

En cada tramo en que se haya dividido el programa de tendido se comprobarán las flechas por lo menos en 3 claros, uno al centro y los que más se aproximen al claro regla, procurando que no sean cercanos entre sí.

El Contratista tendrá cuidado de que en ningún caso los empalmes queden a menos de 15 m de la clema.

	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	C. P. T. T.	

Para el tendido de cable se utilizarán poleas de fierro, si se instala cable de acero de 9.54 mm (3/8") de diámetro, tipo Siemens Martin; en caso de instalar cable de acero con aluminio soldado (Alumoweld), las poleas para el tendido serán de aluminio u otro material suave que no maltrate al cable.

En cualquier método que se utilice para tender el cable de guarda, se cuidará que el cable no se maltrate o forme cocas.

Para el tensionado de cable se aplicará el método de tensión mecánica controlada y se medirá la tensión con dinamómetro, de acuerdo a lo indicado en las tablas de flechas y tensiones.

Cuando durante el proceso de tendido y tensionado de los cables, sea necesario efectuar cruzamientos con otras líneas de transmisión, de distribución o de comunicaciones, el contratista debe efectuar los trabajos con línea energizada, para lo cual tomará las precauciones necesarias, utilizando las estructuras auxiliares que se requieran.

También debe prever las estructuras auxiliares necesarias para efectuar el tendido en el cruce de carreteras, caminos y vías de ferrocarril o marítimas.

En los cruzamientos de Líneas de Transmisión y vías de comunicación, no se colocarán empalmes en el claro de cruce y claros adyacentes. En estos casos el contratista deberá prever sus maniobras de tal modo que evite la interrupción en los servicios.

En caso de usar herrajes tipo preformado, éstos no se utilizarán en forma provisional durante el tendido y tensionado del cable; ni se usarán si están mojados o el abrasivo está dañado.

Antes de instalar los herrajes preformados deberá limpiarse perfectamente el cable, especialmente si tiene grasa.

Al instalar los herrajes y empalmes se ajustarán a las indicaciones del fabricante.

**1.1.2 TOLERANCIAS.** Se admitirá una tolerancia en flechas de proyecto de  $\pm 1.5\%$  con límite máximo en valor absoluto de  $\pm 1$  m.

**1.1.3 MEDICIÓN.** Se medirá por kilómetro-línea, considerando la longitud de la Línea en proyección horizontal y la instalación de todos los cables que marca el proyecto.

Se harán pagos parciales de este concepto de acuerdo a lo siguiente:

50% cuando se tenga el tendido.





SUBDIRECCIÓN  
DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN

DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV

50% cuando se termine el tensionado y revisado.

#### 1.1.4 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO.

- a) La recepción, almacenaje, maniobras y acarreo hasta el sitio de la obra de: cable, herrajes y accesorios, así como registros para fines de contabilidad de almacén.
- b) El tendido y tensionado del cable, así como la colocación de los accesorios de acuerdo con los planos y especificaciones.

#### 1.2 TENDIDO Y TENSIONADO DE CABLE CONDUCTOR.

**1.2.1 DESCRIPCIÓN.** En este concepto se incluirán todas las actividades relacionadas con el tendido, tensionado, enclenado, instalación del sistema de amortiguamiento necesario para evitar vibraciones en los cables conductores que pudieran llegar a dañarlos, o a dañar la estructura y la instalación de los dispositivos necesarios para mantener los subconductores del haz de conductores múltiple separados entre sí a distancias seguras.

Este concepto incluye el tendido y tensionado de cable conductor, la colocación definitiva de los herrajes correspondientes y sus accesorios para sujetarlos a las cadenas de aisladores; la instalación de separadores y amortiguadores cuando se necesiten, la ejecución de los empalmes de tramos de cable conductor, y la instalación de puentes y remates en las torres que se requieran.


El contratista deberá presentar previamente al inicio de la instalación de cables su programa de tendido el cual será autorizado por C.F.E.

**1.2.2 EJECUCIÓN.** El Contratista deberá transportar el cable a los almacenes de la obra para su distribución a los sitios en que se instale, utilizando equipo adecuado.

El Contratista efectuará el tendido de cable conductor bajo el procedimiento de tensión mecánica controlada, entendiéndose como tal procedimiento, aquel en el cual el cable conductor no tenga contacto con el suelo, para lo cual es necesaria la utilización de equipos y herramientas especiales.

El equipo principal estará constituido por una unidad de frenaje y otra de tensión, con sistema de radio-comunicación adecuado.

La unidad de frenaje o desenredo deberá ser de doble tambor recubierto con neopreno en las superficies donde el cable conductor quede en contacto.

	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV
	C. P. T. T.	

Para reducir el peligro de falla el diseño de equipo debe ser tal, que se pueda mantener la tensión deseada en forma constante, por lo cual deben de tener sistemas de frenos que puedan ser operados manual, neumática, hidráulica o eléctricamente.

El equipo estará diseñado de manera que no haya transmisión de calor generado por el sistema de frenaje de los tambores por donde pasa el cable conductor. Deberá haber un sistema de frenaje mecánico suave en los portacarretes para evitar que no se cuelgue el cable entre el portacarrete y el equipo de frenaje o desenredo. El recubrimiento del neopreno deberá ser como mínimo de 6 mm (1/4") de espesor en los tambores.

El cable conductor deberá dar 4 ½ vueltas como mínimo en cada uno de los tambores.

El equipo deberá ser capaz de mantener en forma continua la tensión por conductor especificada de acuerdo con las características del cable por tender.

Cuando durante el proceso de tendido y tensionado de los cables, sea necesario efectuar cruzamientos con otras líneas de transmisión, de distribución o de comunicaciones, el contratista debe efectuar los trabajos con línea energizada, para lo cual tomará las precauciones necesarias.

También debe prever las estructuras auxiliares necesarias para efectuar el tendido en el cruce de carreteras, caminos y vías de ferrocarril o marítimas.


El cable guía con el que se dará la tensión deberá ser adecuado, para evitar la aplicación de esfuerzos indeseables en las cadenas de aisladores y estructuras y deberá conectarse al cable conductor por medio de eslabones giratorios (swivel) y mordazas tipo calcetín sencillo. El extremo de las mordazas (calcetines) deberá ser flejado y encintado al conductor para facilitar su paso sobre las poleas y tener seguridad en las maniobras.

El Contratista instalará los herrajes, separadores, puentes y remates de acuerdo a los planos y especificaciones de la C.F.E.

El Contratista deberá contar con el equipo necesario para efectuar el tendido bajo tensión mecánica controlada, con las poleas suficientes y del diámetro requerido para el tipo de cable que se esté tendiendo, las empalmadoras adecuadas para instalar los herrajes a compresión y cualquier otro equipo que requiera para el desarrollo seguro y eficiente de esta actividad.

Las poleas que se utilicen en el tendido y tensionado de los conductores deberán tener un diámetro mínimo, medido al fondo de la garganta de 12 veces al diámetro del cable conductor, la garganta deberá estar recubierta de hule o neopreno y será del ancho necesario; las poleas deberán estar montadas en chumaceras de bolas o rodillos.

Es importante que el Contratista tenga el mayor cuidado al manipular el cable conductor, para que éste, no sufra deterioro ni roturas que posteriormente puedan acarrear problemas a cuando la instalación esté en operación.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN.</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

El Contratista deberá tensionar, usando el método de medición directa de flecha y verificación con dinamómetro, comprobados con las tablas de flechas y tensiones del proyecto.

Los tramos a tensionar no serán mayores de 3 000 m, salvo casos especiales en que se justifique. En cada tramo de tensionado deberá comprobarse las flechas cuando menos en 3 claros, procurando hacer esta verificación en los claros que más se aproximen al claro regla.

El Contratista deberá cuidar que el cable conductor no permanezca tendido sin tensionar y enclamar más de 72 horas.

En ningún caso los empalmes quedarán a menos de 25 m de los apoyos (suspensión o tensión), ni se permitirá su paso por las poleas.

La distancia entre empalmes no será menor de 450 m, no se permitirá más de un empalme en el mismo conductor por claro.

No se instalarán empalmes o manguitos de reparación en los cruzamientos con carreteras, ferrocarriles y Líneas de transmisión.

Antes de engrapar o sujetar en forma definitiva los conductores se verificarán los libramientos a tierra.

La separación de los puentes a la estructura deberán cumplir con las distancias mínimas indicadas en las Normas de proyecto.

### 1.2.3 TOLERANCIAS.

- a) Se admitirá una tolerancia en variación de flechas indicadas en proyecto de  $\pm 1.5\%$  con límite máximo en valor absoluto de  $\pm 1$  m.
- b) En conductores múltiples se admitirá una tolerancia en la misma fase de  $\pm 25$  mm en flecha.
- c) Entre fases los conductores del mismo claro deben tener la misma flecha y se acepta una tolerancia máxima de 10 mm por cada 100 m de longitud, sin exceder de 50 mm para cualquier longitud de claro.

1.2.4 MEDICIÓN. Se medirá por kilómetro-línea, considerando la longitud de la Línea en proyección horizontal.

	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE L.T. DESDE 115 KV HASTA 400 KV</b>
	<b>C. P. T. T.</b>	

La unidad de pago para este concepto, será kilómetro-línea, para los conductores de fase. El contratista deberá considerar en su oferta todas las actividades que desarrollará para realizar este concepto. La C.F.E. no aceptará cargos adicionales a los indicados en la oferta.

Se harán pagos parciales a los avances de acuerdo a lo siguiente:

50% Cuando el cable esté tendido sobre poleas.

50% Cuando se termine el tensionado y revisado.

**1.2.5 CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO.**

- a) La recepción y transporte a su almacén, almacenaje, maniobras y acarreo hasta el sitio de la obra, registro para fines de contabilidad del almacén de los cables, herrajes y accesorios.
- b) Tendido y tensionado de los cables y la instalación de herrajes, separadores (si se requieren), amortiguadores, empalmes, puentes y accesorios de acuerdo con los planos del proyecto.
- c) Suministro y colocación de perchas para cruces en vías de comunicación y líneas eléctricas.

## 1.2.- CLASIFICACION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

### 1.2.1.- LÍNEA DE TRANSMISIÓN

En general, una línea de transmisión es un medio necesario para transportar energía eléctrica desde las plantas generadoras hasta los centros de consumo.

Por la magnitud del bloque de energía a transportar y a la considerable distancia que muchas veces separa a las plantas generadoras de los centros de consumo, técnicamente conviene efectuar la transmisión a altas tensiones ; las cuales en nuestro país tienen valores que van de los 13,200 hasta 400,000 Volts, y en algunos países muy desarrollados dicha transmisión se efectúa con tensiones eléctricas de mayor valor a las mencionadas. Desde el punto de vista eléctrico, en cuanto a su tensión eléctrica de operación, las líneas de transmisión de alta tensión se clasifican para 13.8, 34.5, 115, 230 y 400 KV; así como para uno, dos ó mas circuitos.

### 1.2.2.- LÍNEAS AÉREAS

La transmisión de energía Eléctrica, desde las plantas generadoras hasta las subestaciones y su posterior distribución a los centros de demanda se puede realizar por vía aérea o subterránea. se ha demostrado a nivel mundial que la conducción aérea resulta ser la mas económica y por ende la más utilizada.

Las estructuras de soporte para líneas de transmisión aérea pueden ser de los tipos :

- a).- Torres
- b).- Postes
- c).- Marcos
- d).- Estructuras tubulares

Dentro de estos, las torres son las mas empleadas debido a que el costo por kilómetro de línea es menor, sin embargo, el impacto visual que representan las torres así como el espacio en planta requerido, hace que en zonas urbanas y suburbanas la energía sea conducida por medio de postes.

### 1.2.3.- LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

Cuando una línea de transmisión en torres ó postes no es posible llevarla por las calles de una ciudad y se tiene la necesidad de alimentar una subestación, la solución se puede dar con cables aislados de potencia instalados en forma subterránea, también puede suceder que por razones de impacto ambiental en algunas zonas residenciales o turísticas se tenga que usar el sistema subterráneo.

Normalmente una línea subterránea consta de los siguientes elementos banco de ductos y/o trincheras para alojamiento de cables de potencia y registros para empalmes y deflexiones.

## 1.5.- NORMAS, RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES QUE APLICAN EN LA CONSTRUCCION DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

En virtud de que las líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, en la mayoría de los casos se construyen cruzando superficies e instalaciones de diversa naturaleza; su edificación, operación y mantenimiento está sujeto al cumplimiento de ciertos requisitos, los cuales están contenidos en normas y reglamentos de carácter federal, a fin de conservar la seguridad y la salud del público y de los trabajadores así como preservar el medio ambiente.

Uno de los conjuntos de requisitos que se aplican durante el proyecto, construcción y operación de las líneas de transmisión, son las estipuladas en el artículo 2204 y 2203 de la NORMA OFICIAL MEXICANA "NOM-001-SEMP-1994", RELATIVA A LAS INSTALACIONES DESTINADAS AL SUMINISTRO Y USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, publicada en el Diario Oficial de la Federación, del 10 de Octubre de 1994, la primera denominada "alturas de conductores y partes vivas de equipo, sobre el suelo, aguas y vías férreas" y la segunda "separación vertical entre conductores soportados en diferentes estructuras, ésta última se refiere a la separación vertical mínima que deben tener los conductores desnudos energizados de las líneas de transmisión aéreas con respecto a los cables conductores de otras líneas de transmisión, de comunicación, retenidas, mensajeros, y conductores suministradores de trolebuses y trenes eléctricos.

Otro de los requisitos que se aplican en el proyecto, construcción y operación de las líneas de transmisión es el conocido como "DERECHO DE VIA", el derecho de vía es una faja de terreno que se ubica a lo largo de cada línea aérea. El objetivo del derecho de vía son: Disponer del área bajo los cables conductores de tal manera que permitan su adecuada operación con la máxima confiabilidad y el menor índice de salidas, en beneficio del servicio público eléctrico. Facilitar su inspección y mantenimiento con las mínimas interferencias. Proporcionar la seguridad necesaria a los residentes que se ubiquen en la vecindad de las líneas, para evitar la posibilidad de accidentes, debido a una descarga por contacto directo, o por fenómenos de inducción.

La confiabilidad de las líneas de transmisión, al igual que la de cualquier otro sistema bien diseñado depende en gran medida de la calidad de los materiales y equipos utilizados así como de los métodos empleados para el diseño y su construcción. En la Comisión Federal de Electricidad se cuenta un gran número de especificaciones generadas en forma interna y que sirven para normalizar la fabricación y suministro de materiales y equipos, así como de establecer los lineamientos de uso normalizado para el diseño y construcción, hablando de líneas de transmisión de alta tensión, se tienen grupos de especificaciones de acuerdo con su aplicación.

Para los estudios y proyectos de líneas de transmisión se cuenta con los siguientes lineamientos y especificaciones:

ESPECIFICACION	NUMERO
LINEAMIENTOS GENERALES PARA PROYECTOS DE LINEAS DE TRANSMISION	CFE-DDLT-9501
LINEAMIENTOS GENERALES PARA PROYECTOS INTEGRALES DE LINEAS DE TRANSMISION SUBTERRANEAS	CFE-DDLTS-9507
ESPECIFICACIONES PARA PROYECTOS DE LINEAS DE TRANSMISION	CPTT-DDLT-950131
NORMAS PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS DE LINEAS DE TRANSMISION	CPTT-DSS-9207
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS PARA LINEAS DE TRANSMISION	CPTT-EMSI-9611
LIBRAMIENTOS MINIMOS A TIERRA A CONSIDERAR EN LOS PROYECTOS DE LINEAS DE TRANSMISION	S/N

Para la fabricación y suministro de materiales y equipos que se instalan en las Líneas de Transmisión se cuenta con las siguientes especificaciones:

ESPECIFICACION	NUMERO
DISEÑO, FABRICACION Y PRUEBAS DE POSTES METALICOS PARA LINEAS DE TRANSMISION	CFE-J6100-54
DISEÑO DE TORRES PARA LINEAS DE TRANSMISION	CFE-J100-50
CABLES DE ALUMINIO CON CABLEADO CONCENTRICO Y NUCLEO DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE ALUMINIO SOLDADO (ACSR/AS)	CFE-E0000-18
CABLE DE GUARDA	CFE-E0000-22
ALAMBRES Y CABLES DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE ALUMINIO SOLDADO	CFE-A0000-01
AISLADORES DE SUSPENSION DE PORCELANA Y VIDRIO TEMPLADO	CFE-52200-02
HERRAJES PARA LINEAS DE TRANSMISION	CFE-2H1LT-01
CONJUNTOS DE HERRAJES PARA LINEAS DE TRANSMISION	CFE-2H1LT-41
AMORTIGUADORES DE VIBRACION TIPO STOCKBRIDGE PARA LINEAS DE TRANSMISION	CFE-511BO-36
EMPAQUE, EMBARQUE, RECEPCION, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE BIENES ADQUIRIDOS POR CFE.	CFE-L0000-11
AVISO PREVENTIVO, PELIGRO ALTA TENSION	CFE-HA100-34
AVISO PREVENTIVO, NUMERO PARA INSPECCION AEREA	CFE-H0000-35
REQUISITOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS	CFE-L0000-31
COMERCIAL GENERAL	CFE-L0000-03

Para la construcción de las líneas de transmisión se tendrá que respetar las siguientes normas y especificaciones:

ESPECIFICACION	NUMERO
ESPECIFICACION PARA CONSTRUCCION DE LINEAS DE TRANSMISION DESDE 115 KV HASTA 400 KV.	CPTT-DDLT-96
FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS DE SUBESTACIONES ELECTRICAS Y LINEAS DE TRANSMISION	CFE-CPTT-CON01
PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DEL SISTEMA DE TIERRAS EN LINEAS DE TRANSMISION	CFE-DDLT-0695
TERMINOS QUE DEBERAN ACATAR LOS CONTRATISTAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LINEAS DE TRANSMISION	S/N
PUESTA EN SERVICIO DE LINEAS DE TRANSMISION Y SUBESTACIONES ELECTRICAS	S/N
RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	CFE-D8500-02
SEÑALIZACION DE LINEAS DE TRANSMISION PARA INSPECCION AEREA, TRAFICO AEREO Y NAVEGACION	CFE-GSLE2-61
RESOLUCION APROBATORIA DEL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA AL PROYECTO POR CONSTRUIR	S/N

Para los controles de calidad de concretos y acero de refuerzo además de las especificaciones internas de CFE que aplican se deberán respetar las siguientes normas del ACI y ASTM :

NUMERO	DESCRIPCION
ACI 211	Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal, Lightweight and Heavyweight Concrete.
ACI 304	Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete.
ACI 305	Hot Weather Concreting.
ACI 306	Cold weather Concreting.



NUMERO	DESCRIPCION
ACI 308	Standard Practice for Curing Concrete
ACI 309	Recommended Practice for Consolidation for Concrete.
ACI 318	Building Code Requirements for Reinforced Concrete.
ASTM C 33	Specifications for Concrete Aggregates.
ASTM C 94	Specification for Ready Mixed Concrete.
ASTM C 150	Standard Specification for Portland Cement.
ASTM C 143	Test Method for Slump of Portland Cement Concrete
ASTM C 172	Method of Sampling Freshly Mixed Concrete.
ASTM C 173	Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
ASTM C 494	Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
ASTM C 595	Specificatin for Blended Hydraulic Cements.

Además de las normas procedimientos y especificaciones anteriormente señaladas, CFE respetará las restricciones y reglamentos estipulados por las Dependencias y/o autoridades oficiales coincidentes en el Proyecto como son : Respetar las disposiciones manifestadas en la resolución en materia de impacto ambiental que para cada obra establece el INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA; tramitar y aplicar los permisos y/o recomendaciones establecidas por el INSTITUTO NACIONAL DE ARQUEOLOGIA E HISTORIA "INAH" con referencia a vestigios arqueológicos en zonas de ubicación de las obras; autorización y trámite para cruces y/o ocupación marginal con vías de comunicación, Trámites de Licencias para construcción expedida por las autoridades Municipales en donde se ubiquen las obras, Anuencias de paso, trámites de avalúos por la COMISION DE AVALUOS DE BIENES NACIONALES "CABIN" y pagos por afectación, Trámites de expropiación y/o contratos por Servidumbre legal de paso.

## ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

A continuación se dan a conocer en términos generales de los diferentes aspectos a los que se debe poner especial atención para que la construcción de líneas de transmisión se realicen acordes con los diseños, recursos, tiempos y costos programados, así como también conforme a lo estipulado en las especificaciones de construcción y las normas de calidad establecidas. Durante la construcción de las líneas de transmisión se presentan diversos problemas de tipo técnico que hay que dar soluciones con el fin de ir cumpliendo las metas y objetivos trazados, resaltando que los criterios de solución se van complementando cada vez más con las nuevas experiencias que se van adquiriendo durante la participación constructiva de diversas obras de este mismo tipo, aportando con ello, aspectos positivos para ser aplicadas a otros proyectos similares coadyuvando a la optimización de recursos, tiempos y costos.

### 1.0 ALMACENES.

Uno de los aspectos que revisten de importancia es el de contar con la totalidad de los equipos y materiales de instalación permanente con la oportunidad suficiente, de los cuales se debe de realizar una distribución en forma adecuada y estratégica en cada uno de los almacenes que se determinen dependientes de la longitud de la línea ó de la dificultad que se tenga para llevarlo a las mismas. Se procurará que el traslado de estos materiales ó equipos de los almacenes hasta el sitio de su instalación sean de una distancia más corta disminuyendo el tiempo de recorridos y contar con ellos más rápidamente y en condiciones óptimas para su colocación.

La ubicación de los almacenes se deberá realizar en una forma estratégica dentro de la zona de influencia del trayecto de la línea. Al seleccionar el sitio de un almacén para resguardar los materiales a utilizar en la construcción de una línea de transmisión, es importante considerar que éste cuente con acceso directo a través de carretera pavimentada y una ubicación en el punto medio de influencia más cercano al trayecto de la línea y que esté relativamente plano con una firmeza adecuada para la recepción y alojamiento de los materiales y equipos.

### 1.1 ACOMODO Y PROTECCIÓN DE MATERIALES.

Primeramente se deberá verificar que todos los bienes que sean necesarios para el servicio de la construcción sean cuantificados de acuerdo a lo indicado en el proyecto.

Asimismo se solicita independientemente de que si las maniobras son por parte de la compañía contratista ó a cargo de Comisión Federal de Electricidad, que el equipo sea idóneo para las maniobras de carga y descarga, para evitar causar daños al material a instalar.

A la recepción de los equipos y materiales en los almacenes es importante que se efectúe una verificación de los mismos a la vez que se colocan en su lugar de almacenamiento, esto nos permite conocer la cantidad exacta de posibles faltantes ó sobrantes y que nos servirá para solicitar a las áreas correspondientes su asignación ó autorización de compra y/o habilitado.

Un adecuado acomodo e identificación de cada uno de los materiales y equipos dentro del almacén, repercute en un manejo con mayor rapidez y por consiguiente en beneficio del avance de construcción de la obra, porque se contará con ellos en el sitio de su instalación con la oportunidad deseada y en la cantidad requerida.

Todos los bienes deben de estar debidamente identificados y contar con un almacén y/o bodega para los materiales que así lo requieran, anaqueles y áreas con piso de concreto.

Las instalaciones deberán de contar con el resguardo de vigilancia las 24 horas durante el periodo que dure la obra, así como con un equipo adecuado contra incendio.

## 2 CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA CIVIL

### 2.1. VERIFICACIÓN DEL PERFIL TOPOGRÁFICO, LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS Y TRAZO.

Al inicio de toda construcción de una línea de transmisión, la primera actividad de campo que se debe realizar es la verificación del perfil topográfico con la ubicación de las estructuras, mediante la cual podremos determinar si existe variación con respecto al levantamiento topográfico entregado, así como también obtener el tipo de extensiones que requiere cada estructura. De existir variaciones que no estén dentro de las tolerancias establecidas en la Norma para Levantamientos Topográficos y que afecten al proyecto se reportará a CFE quien determinará la modificación al Proyecto.

Esta verificación del perfil topográfico es de gran importancia realizarlo, ya que con ello a parte de confirmar el levantamiento topográfico que sirvió para el proyecto de ubicación de cada una de las estructuras de las que esta formada la línea de transmisión, nos sirve de conocimiento del tipo del terreno donde se efectuará la construcción, así como la dificultad que se presentará para ello, tanto para el acceso de cada estructura como para determinar que su ubicación es apropiada.

La determinación de las extensiones que se instalarán para cada estructura, se realiza a partir de los perfiles en cruz que se obtienen previamente al efectuar la localización de las estructuras y verificación del perfil. Estos perfiles se realizan en cada una de las patas de la torre sacando el desnivel que tienen, relacionado con el correspondiente del centro de la torre, representada por la mojonera a una distancia de 1.5, 3, 6, 9 y 12 mts., para configurarse en el formato respectivo a escala 1:100, que al plasmar la plantilla del tipo de torre a instalar nos arroja la extensión a utilizar.

Existe, en ocasiones que se determinaron extensiones fuera de las que se tienen diseñadas para el tipo de torre, lo que nos provoca:

- 1.- Buscar una posible reubicación de la propia torre.
- 2.- Solicitar al fabricante de la torre el diseño para el tipo de extensión requerida ó .
- 3.- Diseñar un dado-columna para absorber la diferencia del desnivel del terreno con la extensión de mayor longitud.

Es importante el conocer el tipo de extensiones que se instalará en cada una de las patas de las torres, ya que el trazo para realizar la excavación va en función de esta condicionante, para que la cimentación de concreto quede debidamente al centro de dicho trazo.

Uno de los aspectos que se deben cuidar en la determinación del tipo de extensiones en las estructuras que por condiciones del tipo del suelo tendrán cimentaciones ancladas, es de considerar la profundidad que se presentará al retirar el material suelto (despalme) ó intemperizado, hasta localizar la roca sana.

Cuando por las condiciones de Topografía, la estructura requiera de obras complementarias de protección, dentro de las actividades de localización debe reportarse a CFE para el correspondiente análisis y Diseño.

### 2.2. APERTURA DE BRECHA FORESTAL

Esta actividad de apertura de brecha forestal es primordial para lograr el cumplimiento del programa de construcción y está ligado a la autorización previa de construcción de la línea de transmisión por parte del Instituto Nacional de Ecología ya que en éste documento se indican las condicionantes Ecológicas que deberán considerarse para la construcción del proyecto, si fuera el caso, se establecerá un programa de Protección y Rescate de Flora en peligro de extinción presente en la zona del Proyecto, igualmente se establecerá la forma y el equipo que será utilizado

para la ejecución de las actividades de apertura de brecha forestal. En las zonas de bajas ó escasa vegetación, sólo se deberá efectuar brecha en los lugares necesarios para no entorpecer las actividades de montado y tendidos de cables.

### 2.3. CONSTRUCCION DE CAMINOS DE ACCESO.

Al igual que la apertura de brecha forestal se requiere la Resolución aprobatoria del Instituto Nacional de Ecología que definen las condicionantes ecológicas que limiten la construcción de los caminos de acceso, además de cumplir con lo establecido en dicha resolución se deberán seleccionar los métodos y procesos constructivos que aseguren el menor daño posible a los ecosistemas y su ancho mínimo de corona será de 3.00 metros, y dentro de lo posible será a "pelo de tierra".

La finalidad de ejecutar estos caminos de acceso es para poder transportar al personal, material y equipo necesario con la seguridad requerida, para la realización de las actividades en que se dividen la construcción de las líneas de transmisión.

Los caminos se deberán mantener en buen estado durante la construcción de la obra, ya sean los existentes, como los nuevos que serán construidos.

### 2.4. CIMENTACIONES

De acuerdo a las características del terreno CFE tiene definido los siguientes tipo de cimentaciones: Zapatas aisladas, Pilas, Ancladas en roca, Pilotes y Especiales.

CFE tiene establecido la ejecución del Estudio Geotécnico del Proyecto a través de la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control, y en otros casos mediante las Empresas ejecutores de la construcción, En ambos casos, dicho estudio servirá para definir los Diseños de cimentaciones que serán empleados.

#### 2.4.1. NORMALIZADAS.

CFE tiene determinado los diseños de zapatas aisladas en Torres para las diferentes capacidades de carga de suelos, así como los diseños de pilas de cimentación para Postes Truncocónicos.

El proceso de fabricación de éstas cimentaciones se realiza en forma secuencial, efectuando primeramente las excavaciones con el dimensionamiento de proyecto para el tipo y nivel de las torres a instalar, trazándolo con las consideraciones de que el eje de la línea en tangente y en caso de deflexión, el eje transversal debe coincidir con la bisectriz del ángulo de la deflexión..

En dicho trazo también debe tomarse en cuenta el desnivel propio del terreno para la determinación de la extensión que se colocará.

En la ejecución de la excavación se deberá utilizar el equipo adecuado para los diferentes tipos de subsuelo que nos podemos encontrar al realizar este trabajo.

Concluidas las excavaciones de la estructura, se deberá proceder a colocar la plantilla de concreto respectiva, a fin de dar el nivel de desplante de la cimentación, inmediatamente después se armará el bottom panel para continuar con su nivelación cuidando que éste quede en la distancia media diagonal respectiva de cada una de las patas de la torre.

La colocación del acero de refuerzo deberá estar acorde al proyecto de dicha cimentación sobre la plantilla de concreto previamente realizada y de tener nivelado el bottom panel.

Al realizar el colado de las zapatas y dados, se tendrá que estar verificando que el bottom panel, no se desnivele, ni sufra deslizamientos laterales que ocasione perder la distancia media diagonal de las patas, auxiliándose con equipo de topografía.

Para el caso de las cimentaciones para postes troncocónicos, debemos de cuidar también todos los aspectos antes mencionados, considerando en lugar del nivelado de bottom panel la adecuada ubicación del anclaje requerido.

En varias ocasiones se ha tratado de prefabricar las cimentaciones de las torres normales pero por su dimensionamiento y peso principalmente, no ha sido posible lograr este objetivo. Lo que si se ha logrado es construir las cimentaciones de las torres en su sitio, aún sin tener el bottom panel completo, esto se llega a realizar mediante el uso de "gabaritos" para nivelación y posición en su sitio de los stubs de cimentación, lo cual ayuda mucho en las siguientes actividades del montaje de la torre.

#### 2.4.2. ESPECIALES.

Dentro del tipo de cimentaciones especiales podemos considerar el correspondiente a pilones de concreto anclados, cimentaciones piloteadas y toda cimentación que requiera de elementos auxiliares para garantizar la estabilidad de la cimentación.

En el caso de las cimentaciones a base de pilón anclado, su proceso constructivo inicia, despalmando el material intemperizado ó de tierra vegetal hasta encontrar la roca sana, procediendo a continuación con la perforación de los barrenos de diámetro de 2" ó 3" y longitud de 3 metros, que alojarán las anclas de varilla corrugada de 1" .

Concluidas las barrenaciones que deben tener cada cimentación, se deberá saturar la perforación con agua a fin de evitar que el mortero sufra pérdida de ésta.

La colocación del mortero debe introducirse dentro de la perforación por medio de una manguera para depositarlo en el fondo e ir avanzando hacia arriba, desplazando el agua previamente introducida.

Concluida esta actividad, inmediatamente se introducirá el ancla, checando que quede perfectamente centrada dentro de la perforación.

#### 2.4.3. PREFABRICADAS

El tipo de cimentaciones prefabricadas que se utilizan en la construcción de líneas de transmisión, son para las torres tipo retenida (ARS) las cuales nos sirven para autosoportar la estructura, auxiliadas por otras cimentaciones colocadas sobre el eje de línea para la instalación de las retenidas. Su fabricación no es del nada complicada, ya que es como si se construyeran cimientos para una edificación, lo importante es su colocación, ya que debe contar con una cierta pendiente que la ponga en posición requerida para que coincidan con la pendiente que tiene al armarse las torres tipo ARS y su carga sea axial sobre esta cimentación y trabajará como una rotula, esta pendiente se logra en construir una plantilla de concreto con la misma inclinación que se requiera.

#### 2.4.4. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Paralelamente al estar construyendo las cimentaciones para las torres, se tiene que realizar el sistema de tierra de cada una de estas a fin de contar con un elemento que nos permita efectuar un aterrizaje adecuado en cada estructura para poder disipar una descarga eléctrica por efecto atmosférico ó de corto circuito en la misma línea.

### 3 CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA ELECTROMECAÁNICA

#### 3.1. MONTAJE DE ESTRUCTURAS

Las condiciones del diseño para la fabricación de cada torre ha originado establecer diferentes formas para poder realizar el montaje de estas, dentro de las cuales se tiene la aplicación del uso de pluma flotante, grúa hidráulica, helicóptero y pieza por pieza. La determinación de la utilización de estos métodos está asociada a las condiciones de accesibilidad y topografía de la zona donde se construirá la línea de transmisión.

La actividad del montaje de las torres requiere de un proceso bien definido por parte del ejecutor acorde con el tipo de estructura para evitar causarse daños de resultados fatales, tanto al personal como a la propia estructura.

#### 3.2. NIVELADO DE BOTTOM PANEL

Esta actividad requiere de una especial atención ya que de ella depende que el montaje del cuerpo superior de la torre se realice sin ningún problema en cuanto a la instalación de los elementos de cierre, por que de no estar bien nivelado no se pueden ensamblar estos elementos.

Su proceso de nivelación se realiza a partir de tener armado los elementos estructurales de la cimentación y de las extensiones respectivas de cada una de las patas de la torre, las cuales se deben suspender mediante tensores colocados con sus estribos respectivos a los montantes propios del bottom panel por un extremo y del otro a los tubos ó montenes que se colocan para el soporte respectivo, esto nos facilita el movimiento de caíza y alineación de la pata correspondiente, cuando ésta lo requiere para colocarla en su posición tanto de nivel como de distancia media diagonal del centro de la torre a la muesca.

Esta verificación de alineamiento de cada pata de la torre se obtiene topográficamente al girar el tránsito ó teodolito, primeramente 45° con referencia al eje longitudinal de la línea a cualquiera de las patas, cuando la torre esté en tangente a dicho eje y en deflexión a partir de la media de la bisectriz, checando que además esté a la distancia de la media diagonal cada una de las patas, así como al mismo nivel, referenciándolo con la pata más crítica en cuanto a profundidad.

Al lograr que cada una de las patas estén al mismo nivel a la distancia de la media diagonal y en alineación correspondiente se dará por nivelado el bottom panel. En el momento de estar realizando el colado de la zapata y dado, es necesario estar checando topográficamente estas mismas condiciones para garantizar que en el armado del cuerpo superior de la torre no se tendrá problema alguno en su acoplamiento de todas y cada una de sus partes.

#### 3.3 TIPOS DE MONTAJE

Para realizar el montaje del cuerpo superior de las torres, ha sido necesario idear métodos específicos para tal fin, en virtud de las condiciones de diseño de la propia torre ó para lograr una forma más rápida de efectuar la actividad, siendo alguna de estas las siguientes:

##### 3.3.1. PIEZA POR PIEZA CON PLUMA MANUAL

Como su nombre lo dice, el montaje del cuerpo superior se realiza colocando perfil por perfil de cada sección que conforma el cuerpo piramidal y recto hasta completarse estos, ya que para el montaje de la trabe es necesario prearmarla en piso, en dos secciones para realizar su izaje, auxiliándose con dos plumas pequeñas formadas de tubos de 3", 4" ó 6" de Ø, dependiendo del peso a levantar y la utilización del winch, las crucetas de hilo de guarda y del conductor de igual forma se prearman en piso y se montan con las plumas y el winch (malacate), y se utiliza cuando la topografía del lugar donde se colocará la torre no permite la utilización de equipo auxiliar hidráulico ó mecánico.

### 3.3.2. POR CUERPOS Y CON PLUMA FLOTANTE

Para el montaje de las torres a través de pluma flotante es necesario realizar primeramente el prearmado de todos los elementos que conforman el cuerpo superior de la estructura de tal forma que permita el izaje de éstos sin que interfieran al realizarse su armado, por lo general el cuerpo piramidal se prearman en dos partes simétricas de cada sección de acuerdo al nivel de la torre a montar, así también cuando es para doble circuito se arma de antemano el cuerpo recto en la misma forma las crucetas y trabe ó puente se arman en forma completa, el procedimiento para ejecutar el montaje inicia al colocar en el piso la pluma flotante de una longitud aproximada de 15 mts. y al centro de la torre, evitando que ésta se pueda caer por su propio peso al estar colocada verticalmente, instalándole en la parte superior 4 (cuatro) retenidas denominadas vientos, los cuales se aflojan ó tensan para poderla colocar en la posición deseada.

### 3.3.3 CON GRUA

Con este tipo de montaje es necesario que se armen los cuerpos completamente para que mediante la grúa se vayan colocando estos elementos en su posición correspondiente.

Este método de montaje es aplicable para las torres del tipo de retenidas ARS y FRS, ya que solamente de esta forma se puede realizar su izaje.

Existe una limitante para la utilización de esta forma de realizar el montaje de la torre que solo se puede aplicar si tenemos un terreno plano y firme para poder colocar la grúa al pie del lugar donde quedará instalada la torre. En terreno accidentado no es posible realizarlo por la dificultad que se tiene para accederse con ella.

La forma de realizar el montaje mediante el uso de grúa al estar ya prearmada la estructura y ubicada en su sitio se estroba el cuerpo a izar de sus cuatro montantes, buscando no causar esfuerzos diferentes de trabajo normal protegiendo estos con un trozo de madera. Además se deberá buscar que el peso del cuerpo a colocar se equilibre de tal forma que permita la colocación del elemento lo más pronto posible y así hasta concluir el montaje de cada uno de los elementos que conforman la estructura.

En los lugares en donde el acceso a la obra lo permite se podrá utilizar Grúas hidráulicas con capacidades de carga de 20,30 y 50 toneladas provistas de plumas telescópicas que permiten en algunos casos izar torres completas o partes de la torre. Para el montaje de Postes Truncocónicos que regularmente se localizan en zonas urbanas el montaje se efectuará mediante el uso de éstos equipos de montaje.

### 3.3.4 CON HELICOPTERO

Más que un método de montaje es un recurso para ejecutar el izaje de la torre en una forma más rápida, siempre y cuando la propia torre este adecuada para su montaje con este tipo de equipo.

El Montaje de cuerpo superior de torres mediante el uso de helicóptero estará en función de su capacidad de carga, de los tipos de las estructuras a montar y de las condiciones en la localización de las estructuras. Regularmente el uso de helicóptero se limita al montaje de estructuras de emergencia tipo LINDSEY y para apoyo en el montaje de torres en líneas de extremada urgencia. Para el segundo caso el montaje se efectúa por partes de las torres.

### 3.4 VESTIDO DE ESTRUCTURA

Con esta actividad se da inicio a los trabajos preliminares para poder realizar el tendido de los cables de guarda y conductor ya que con la colocación de los herrajes propios de la torre y complementarios para la instalación de los aisladores nos proporciona un elemento de apoyo para poder ejecutar el tendido respectivo sin causarle daño a los cables conductores, esto por la propia altura a la que quedan colocados los aisladores, punto donde se sujetarán las poleas que permitirán el paso libre del conductor al estar efectuando el jalón del mismo. Además con la instalación de estos aisladores que nos brindan un auxilio para dichos tendidos, éstos nos servirán para poder dar la distancia de fase a tierra requerida dependiendo del voltaje que se manejará. Primeramente es necesario conocer la cantidad y tipo de aisladores a instalar; lo cual se define con el cálculo de la coordinación de aislamiento, dato que deberá proporcionar el Departamento de Diseño de Líneas de Transmisión de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación.

### 3.5. TENDIDO Y TENSIONADO DE HILO DE GUARDA.

El objetivo principal de contar con la instalación de un cable de acero hilo de guarda a lo largo de toda la línea soportado en cada una de las estructuras de acero, es con la finalidad de darle la protección necesaria a los cables conductores de las descargas atmosféricas que se pudieran presentar en éstos, evitando con ello posibles sobretensiones que provocarían ruptura en los cables u otro tipo de desperfectos.

#### 3.5.1 CONSIDERACIONES PARA EL TENDIDO.

Para proceder a colocar el cable de acero en el sitio definitivo en la torre, se deberá proceder a definir el programa de tendido de dicho cable, tomándose en cuenta la distancia del propio cable contenido en el carrete correspondiente, a fin de poder determinar de qué torre a qué torre se puede efectuar este trabajo, además se debe prever lo que por efecto de catenaria se requiera de longitud adicional de cable, así como la distancia a la que quedará empalmado para así poder dar cumplimiento a que estos empalmes no queden a menos de 15 metros de la clema (grapa) correspondiente ó que vaya a quedar en el claro del cruce con cualquier vía de comunicación ó en los claros adyacentes de este cruce.

Se debe también prever la utilización de poleas de fierro si se instala cable de acero y el de poleas de aluminio para el caso de colocar cable de acero con alumoweld con la finalidad de no maltratarlo.

En cualquier método que se utilice para tender el cable de guarda, se cuidará que el cable no forme cocas.

#### 3.5.2 TENDIDO Y TENSIONADO DEL CABLE.

El equipo principal para el tendido del cable estará constituido por una unidad de tensión, otra de frenado ó desenredo, así como de accesorios auxiliares (tensores, poleas, calcetines, etc.). Este equipo se deberá colocar en los sitios determinados desde el programa de tendido, a fin de poder efectuar este trabajo se tiene primeramente un cable guía, que para este tipo de cable se utiliza cable polipropileno, tendiéndolo en sentido contrario a donde se realizará el jalón del cable de acero, esto con la finalidad de que sirva de piloto para dicho tendido, el cual se irá recuperando con la maquina de tensión instalado en uno de los extremos, que por el otro se encuentra el cable de acero montado en un portacarrete para facilitar su devanado.



Una vez concluido el jalón programado se realiza el cambio de la maquina que le corresponda trasladarse al sitio determinado para el siguiente programa de tendido anclando previamente el cable en algún elemento predestinado para tal fin (pilón de concreto).

Al contar con un tramo representativo ya tendido el cable de guarda se procede a realizar el tensionado del mismo hasta alcanzar la flecha y tensión calculada para este tramo, concluyendo esto se inicia el enclumado respectivo en cada una de las estructuras, verificando que éstas queden debidamente enclumadas y con su conexión a tierra (cola de rata) en la propia estructura, esto para ambos extremos de la estructura donde está instalado el cable de acero.

### 3.5.3 VERIFICACION DE CATENARIAS.

Con la finalidad de verificar que el cable de guarda esté instalado de acuerdo con lo programado en cuanto a su flecha y tensión, se debe comprobar por lo menos en 3 (tres) claros la flecha correspondiente, éstos serán uno al centro y los otros dos al más próximo del claro regla, procurando que no sean cercanos entre sí.

### 3.6 TENDIDO Y TENSIONADO DE CABLE CONDUCTOR.

El objetivo principal de contar con la instalación del cable conductor a lo largo de la línea sujetado a cada una de las estructuras de acero, lo anterior, para cumplir con el propósito de transmisión de la energía desde una fuente de generación ó de distribución a otra instalación para su transformación y distribución.

#### 3.6.1 CONSIDERACIONES PARA EL TENDIDO.

Previo a los trabajos del tendido del cable conductor, se deberá verificar en cada una de las estructuras de acero (torres) que éstas estén completamente armadas, actividad que denominamos "revisado de estructuras" ; que cada torre no presente faltante de piezas ó elementos, tornillos, palnuts, etc., a fin de evitar que la estructura trabaje con solicitaciones de carga fuera de las previstas en su diseño ya que se pudiera ocasionar un colapso de éstas.

Las poleas que se utilicen para realizar el tendido y tensionado de los conductores deberán tener un diámetro mínimo, medido al fondo de la garganta de 12 veces el diámetro del cable conductor. La garganta deberá estar recubierta de hule ó neopreno y será del ancho necesario para que pueda deslizarse el cable conductor sin sufrir desgaste ó se maltrate.

El equipo principal para poder realizar el tendido debe estar constituido por:

- Maquina devanadora de cable.
- Maquina traccionadora.
- Malacate hidráulico para reembobinar cable de acero.
- Malacate hidráulico de 3 tambores para reembobinar cable uniline y prepiloto.
- Grúas hidráulicas sobre camión.

Los accesorios a utilizar en el tendido son :

- Tensor tipo calcetín.
- Destorcedor de 1/2", 5/8" y 3/4".
- Tensor tipo quijada.
- Radios comunicación de transmisión FM.
- Radios portátiles.
- Flejes.

Las unidades de frenado ó desenredo del cable (devanadoras) deberá ser de doble tambor recubierto con neopreno en las superficies donde el cable conductor quede en contacto con la máquina.

### 3.6.2 PROGRAMA DE TENDIDO.

El programa de tendido se realiza para determinar el tramo de línea en el cual se puede efectuar la instalación del cable conductor tomando en cuenta la cantidad de cable que contienen cada uno de los carretes donde viene éste, a fin de darle el aprovechamiento óptimo al mismo y considerar cuántos carretes son necesarios para la distancia a tender, tomando en base también la capacidad del equipo por utilizar.

Otros de los detalles que se deben cuidar al realizar el programa de tendido del cable conductor son todos los cruzamientos con vías de comunicación como con líneas de transmisión que existen en el tramo por tender, a fin de evitar que los empalmes del conductor queden precisamente en estos cruces. Así mismo se deberá prever que estos empalmes no queden instalados a una distancia menor de 25 metros de los apoyos, ni se deberá permitir su paso por las poleas.

En el programa de tendido se cuidará que la distancia entre empalmes no sea menor de 450 metros y no se permitirá más de un empalme en el mismo conductor por claro. Se indicará simbólicamente los cruces que se tengan con vías de comunicación y líneas de transmisión para que sean instaladas las protecciones respectivas (perchas) para poder realizar el cruce ; así como indicar el orden en que se deberán ir devanando cada bobina para cada fase, las bobinas se identificarán por el número que se le dio en almacén desde su arribo a éste.

También, si por circunstancias de distancia entre la última torre considerada dentro del programa de tendido a la torre siguiente, el cable quedaría empalmado fuera de lo establecido, es necesario indicar el corte que deberá realizar al conductor procurando que la distancia que se corte pueda utilizarse para los puentes en las torres de remate, de igual forma se deberá estipular el sitio de los empalmes requeridos.

### 3.6.3 METODO DE TENDIDO.

Más que un método de tendido es una forma de realizar esta actividad ya que existen ocasiones en que es necesario adicionar o reducir pasos para dicho fin, casos específicos son cuando se nos presentan condiciones topográficas que nos permitirán omitir alguna actividad y realizar el jalón más rápidamente ó al contrario que nos provoquen aumentar otras actividades para completar el tendido.

La forma normal de realizar el tendido del cable conductor se ejecuta de la manera siguiente :

- 1.- Definido la ubicación de la posición de las máquinas tanto la devanadora como la traccionadora, se procede a tender un cable de polipropileno que nos servirá para jalar el cable de unilínea situado en la misma posición de la devanadora, hacia donde se encuentra ubicada la máquina traccionadora, sitio donde debemos de ubicar la máquina de reembobinado del cable piloto (acero), el cual es jalado de esta posición hasta donde se encuentra el banco de bobinas de cable conductor para que con este cable piloto se realice el jalón del cable conductor hasta donde se encuentra colocada la traccionadora, equipo que realiza dicha tracción del conductor hacia este sitio, esta misma operación se va repitiendo tantas veces como número de conductores se deban tender.

2.- El tendido del cable conductor se deberá efectuar bajo el procedimiento de tensión mecánica controlada ; entendiéndose como tal procedimiento : aquel en el cual el cable conductor no tenga contacto con el suelo.

El cable guía de acero (piloto) con el que se le dará la tensión deberá ser adecuado, para evitar la aplicación de esfuerzos indeseables en las cadenas de aisladores y estructuras (torres) y deberá conectarse al cable conductor por medio de eslabones giratorios (tensor) tipo calcetín sencillo. El extremo de las mordazas (calcetines) deberá ser flejado y encintado al conductor para facilitar su paso sobre las poleas y tener seguridad en las maniobras.

El cable conductor deberá dar 4 1/2 vueltas como mínimo en cada uno de los tambores de la devanadora, lo cual nos evitará que se formen cocas en el conductor por efecto del desenredo del mismo al momento de estar efectuando el jalón de éste.

#### 3.6.4 VERIFICACION DE CATENARIAS.

Una vez concluido el tendido de cable conductor en el tramo respectivo, éste no deberá permanecer más de 72 horas sin tensionar y enciemar, dejándose 24 horas de reposo para poder iniciar el tensionado.

Previo a tensionar el cable conductor se deberán empalmar con la maquinaria y accesorios propuesto por el fabricante del empalme para garantizar que éste quedará correctamente, paralelo a esta actividad también debe realizarse la marca a catenaria en la propia estructura donde se dará ó verificará que el conductor tenga la flecha calculada para su tensionado respectivo.

De igual manera al ejecutar el tensionado en el extremo correspondiente se debe colocar un dinamometro para que se verifique la tensión determinada para la flecha ó catenaria calculada en ese tramo.

Los tramos a tensionar no serán mayores a 3,000 metros, en cada tramo de tensionado se deberá comprobar las flechas cuando menos en 3 claros, procurando hacer esta verificación en los claros que más se aproximen al claro regla.

Verificando que el conductor se encuentra a la tensión como a la flecha y con el libramiento a tierra de proyecto, se procederá a fijarlo en la estructura utilizando los herrajes correspondientes tanto de suspensión como de tensión.

Al estar realizando la colocación de las grapas en cada una de las estructuras en las de tensión se deberán dejar colocados los puentes respectivos con las distancias de fase a tierra mínimas indicadas para el voltaje a la que operará la línea de transmisión, así también en cada una de las estructuras se instalarán los amortiguadores correspondientes.

Cuando se instale doble conductor por fase, se deberá colocar adicional a todos los herrajes antes descritos los separadores respectivos, cuya cantidad de éstos va en función de la distancia del claro entre torre y torre.



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

**DIPLOMADO EN "GERENCIA DE PROYECTOS"  
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo IV "Construcción"  
Del 22 al 24 de Julio

**"SELECCIÓN DE TRAYECTORIAS PARA LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN"**

Ing. Victor Daniel Ramírez Rivera

Palacio de Minería, México 1999

# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD



**SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN**

**COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE  
TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN**

**SISTEMA DE CALIDAD**

**SELECCIÓN DE TRAYECTORIAS  
PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**SEPTIEMBRE DE 1997.**

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>1</u> DE <u>8</u>
	G. T. P. T. T.		
DEPTO. SELEC. DE SITIOS			

## SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION

### I N D I C E

- 1.0      INTRODUCCION Y OBJETIVOS
  
- 2.0      CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION DE LA  
          TRAYECTORIA
  - 2.01    CRITERIOS BASICOS
  - 2.02    PRECEPTOS RECOMENDABLES
  
- 3.0      PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES PRINCIPALES QUE  
          SE DESARROLLAN
  - 3.01    ACTIVIDADES DE GABINETE
  - 3.02    ACTIVIDADES DE CAMPO
  - 3.03    EVALUACION DE ALTERNATIVAS Y SELECCION DE LA  
          TRAYECTORIA DEFINITIVA.

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>2</u> DE <u>8</u>
	S. T. P.-T. T.		
	DEPTO. SELEC DE SITIOS		

## 1.0 INTRODUCCION Y OBJETIVOS

ENTRE LAS MULTIPLES ACTIVIDADES QUE TIENE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, ESTA LA DE CONSTRUIR LINEAS DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA, FUNCIONABLES, AL MENOR COSTO POSIBLE Y CON EL MINIMO IMPACTO AMBIENTAL.

ES PROPOSITO DE LA SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION, A TRAVES DE LA COORDINACION Y GERENCIAS DE PROYECTOS DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION, DAR A CONOCER A PROYECTISTAS Y CONSTRUCTORES, LOS PRINCIPALES CRITERIOS PARA ANALIZAR, EVALUAR Y SELECCIONAR LA TRAYECTORIA DE LINEAS DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA, ENTENDIENDOSE COMO TALES, AQUELLAS QUE SEAN PARA TENSIONES DE 115 KV O MAYORES. LAS DE MENOR TENSION, ES DECIR, LAS LINEAS DE DISTRIBUCION, GENERALMENTE NO SIGUEN LA MAYORIA DE LOS LINEAMIENTOS Y CRITERIOS QUE SE EXPRESAN MAS ADELANTE.

EL ESTUDIO, LA EVALUACION Y LA DEFINICION DE LA RUTA ES DE SUMA IMPORTANCIA, PUESTO QUE ES LA BASE DE UN BUEN DISEÑO, DE UNA ECONOMICA CONSTRUCCION Y POR ENDE, DE UNA OPERACION SIN CONTRATIEMPOS; SI A ESTO LE AGREGAMOS LA PREVISION DE LOS PROBLEMAS DE TIPO SOCIAL E INDEMNIZACIONES, EVIDENTES Y POTENCIALES, ASÍ COMO LA CONSIDERACION DE DIVERSAS MEDIDAS ENCAMINADAS A LA MINIMIZACION DEL IMPACTO AMBIENTAL, PODEMOS CONCLUIR QUE: DE UNA ADECUADA SELECCION DE TRAYECTORIA, DEPENDE LA ECONOMIA FUNDAMENTAL DEL PROYECTO Y CONSTRUCCION; ASI COMO LA OPERACION CONFIABLE Y EL MINIMO IMPACTO AMBIENTAL DE UNA LINEA DE TRANSMISION.

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA 3 DE 8
	G. T. P. T.-T.		
DEPTO. SELEC. DE SITIOS			

2.0 CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION DE LA TRAYECTORIA

2.01 CRITERIOS BASICOS

EL CRITERIO QUE SE ADOPTA PARA CADA UNO DE LOS CONCEPTOS QUE SE TOMAN EN CUENTA PARA LA EVALUACION DE LA RUTA, DEPENDE Y VARIA DE ACUERDO CON LOS SIGUIENTES FACTORES:

2.01.01 TENSION DE LA LINEA; MENORES DE 230, 230 Y 400 KV.

2.01.02 TOPOGRAFIA PREDOMINANTE, CONSIDERANDO EL TIPO DE TERRENO: PLANO, LOMERIO O MONTAÑOSO.

2.01.03 CONDICIONES METEOROLOGICAS, PRECIPITACIONES, DESCARGAS ATMOSFERICAS, TORMENTAS, TORNADOS, MASAS DE AIRE, - - CICLONES.

2.01.04 USO DEL SUELO.-AGRICOLA, PECUARIO, FORESTAL, INDUSTRIAL, URBANO Y EN CASOS TURISTICO.

2.01.05 VIALIDAD DE APOYO.- AUTOPISTAS, CARRETERAS PAVIMENTADAS, TERRACERIAS, BRECHAS.

2.01.06 TIPO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y SU PROBABLE EXPANSION, CIUDADES, POBLADOS, RANCHERIAS, CASERIO AISLADO Y - - ASENTAMIENTOS IRREGULARES.

2.01.07 TIPO DE VEGETACION.- ARIDA, CULTIVOS, HUERTOS, PASTIZALES, PALMARES, BOSQUE, SELVA, MANGLAR.

2.01.08 FACTIBILIDAD Y FACILIDAD PARA ADQUIRIR EL PERMISO DE PASO.



C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>4</u> DE <u>8</u>
	G. T. P. T. T.		
DEPTO. SELEC. DE SITIOS			

2.01.09 PROTECCION ECOLOGICA,- APEGANDOSE A LA LEY GENERAL -  
DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE,  
ASIMISMO A SU REGLAMENTO.

2.02 PRECEPTOS RECOMENDABLES

PARA CONSTRUIR UNA LINEA DE TRANSMISION LO MAS ECONO-  
MICA POSIBLE, QUE OPERE DE UNA MANERA CONFIABLE Y CON  
EL MINIMO IMPACTO AMBIENTAL; EN TODOS LOS CASOS, EN -  
EL ESTUDIO, EN LA EVALUACION Y EN LA SELECCION DE LA  
RUTA, DEBERAN CONSIDERARSE LOS PRECEPTOS SIGUIENTES:

2.02.01 LA MENOR LONGITUD POSIBLE, BASANDONOS EN EL PRINCIPIO.  
GEOMETRICO QUE LA DISTANCIA MAS CERCANA ENTRE 2 PUNTOS  
ES LA LINEA RECTA.

2.02.02 EL MENOR NUMERO DE PUNTOS DE INFLEXION

2.02.03 EL MENOR NUMERO DE CRUZAMIENTOS CON LINEAS DE TRANSMI  
SION, VIAS DE F.C., CARRETERAS Y RIOS.

2.02.04 FACILIDAD DE CONSTRUCCION.

2.02.05 CERCANIA A CARRETERAS Y CAMINOS DE TERRACERIA PARA --  
FACILIDAD DE CONSTRUCCION, REVISION Y MANTENIMIENTO,-  
EVITANDO CON ESTO LA CREACION DE NUEVOS ACCESOS QUE -  
PUDIERAN AFECTAR LA ESTABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS.

2.02.06 EVITAR BOSQUES, HUERTAS, SEMBRADOS DE ALTO VALOR Y -  
PREFERENTEMENTE NO CRUZAR POR ZONAS SELVATICAS Y AGRICOLAS.

C F E	DIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>5</u> DE <u>8</u>
	G. T. P. T. T.		
	DEPTO. SELEC DE SITIOS		
2.02.07	EVITAR LAGUNAS, ESTEROS, PANTANOS, RIOS, ZONAS INUNDABLES Y PLAYAS.		
2.02.08	ALEJARSE DE LA CONTAMINACION MARINA E INDUSTRIAL ASI COMO DE TERRENOS EROSIONADOS O AGRESIVOS.		
2.02.09	EVITAR PASAR CERCA DE ZONAS TURISTICAS, EN FUNCIONES O EVIDENTEMENTE POTENCIALES, ASI COMO POR ZONAS ARQUEOLOGICAS O DE VALOR HISTORICO Y AREAS NATURALES PROTEGIDAS.		
2.02.10	PASAR LO MAS RAZONABLEMENTE ALEJADO DE NUCLEOS DE POBLACION.		
2.02.11	CONSIDERAR EL USO DE POSTES TUBULARES, DE MEJOR ESTETICA Y POR RAZONES DE ESPACIO, CUANDO POR LA FUNCION PROPIA DE LA LINEA DE TRANSMISION SE TENGA QUE PASAR POR POBLACIONES O ZONAS TURISTICAS. ESTO MINIMIZARA EL IMPACTO VISUAL Y EL DERECHO DE VIA RESPECTIVO.		
2.02.12	CUMPLIR CON TODAS LAS LEYES, REGLAMENTOS Y RECOMENDACIONES DE LA SECRETARIA ( SEMARNAP ) EN MATERIA DE PROTECCION AMBIENTAL, ASI COMO LAS DE LOS DEMAS ORGANISMOS PUBLICOS FEDERALES, ESTATALES O MUNICIPALES; DEL MISMO MODO CON EL ACUERDO POR EL QUE SE ESTABLECEN LOS CRITERIOS ECOLOGICOS CE-OESE, 003/89, PARA LA SELECCION Y PREPARACION DE SITIOS Y TRAYECTORIAS, CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LINEAS DE TRANSMISION Y SUBESTACIONES ELECTRICAS DE POTENCIA.		

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>6</u> DE <u>8</u>
	G. T. P. T. T.		
	DEPTO. SELEC. DE SITIOS		

3.0 PROCEDIMIENTO Y PRINCIPALES ACTIVIDADES QUE SE DESARROLLAN

3.01 ACTIVIDADES DE GABINETE

ALGUNAS SE LLEVAN A CABO ANTES DEL RECONOCIMIENTO DE CAMPO Y OTRAS DESPUES.

3.01.01 PROGRAMACION SIMPLIFICADA DE LA OBRA, SEGUN FECHA DE ENTRADA EN OPERACION Y CARACTERISTICAS INDICADAS EN EL PROGRAMA DE OBRAS E INVERSIONES DEL SECTOR ELECTRICICO ( POISE ).

3.01.02 CON BASE A ESTE PROGRAMA, SE ELABORA EL DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE LA ZONA DONDE QUEDE COMPRENDIDA LA LINEA POR ESTUDIAR, INCLUYENDO, TANTO LAS OBRAS EN OPERACION, COMO LAS FUTURAS SEÑALADAS EN EL POISE ACTIVIDAD QUE SE LLEVA A CABO EN COORDINACION CON LA GERENCIA DE PROGRAMACION DE SISTEMAS ELECTRICOS.

3.01.03 RECOPIACION DE INFORMACION GENERAL, TAL COMO:

- CARTAS TOPOGRAFICAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA ( INEGI ),
- POSICION FISICA DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN OPERACION Y FUTURAS,
- CARRETERAS, VIAS DE F.C., AEROPUERTOS, PRESAS, ETC. OPERANDO Y EN PROYECTO,
- DESARROLLOS INDUSTRIALES, HABITACIONALES Y TURISTICOS

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>7</u> DE <u>8</u>
	G. T. P. T. T.		
	DEPTO. SELEC. DE SITIOS		

- ZONAS DE BOSQUES, SELVAS, HUERTAS, CAÑA, SEMBRADIOS DE ALTO VALOR, ETC.
- AREAS NATURALES PROTEGIDAS, COMO PARQUES NACIONALES, RESERVAS DE LA BIOSFERA, ZONAS ARQUEOLOGICAS-ETC.
- ZONAS DE CONTAMINACION MARINA, INDUSTRIAL O AGRICOLA COMO LA QUEMA DE CAÑA.
- ZONAS INUNDABLES O PROPENSAS A INUNDACION.
- VIENTOS DOMINANTES Y ALGUNOS DATOS METEOROLOGICOS.

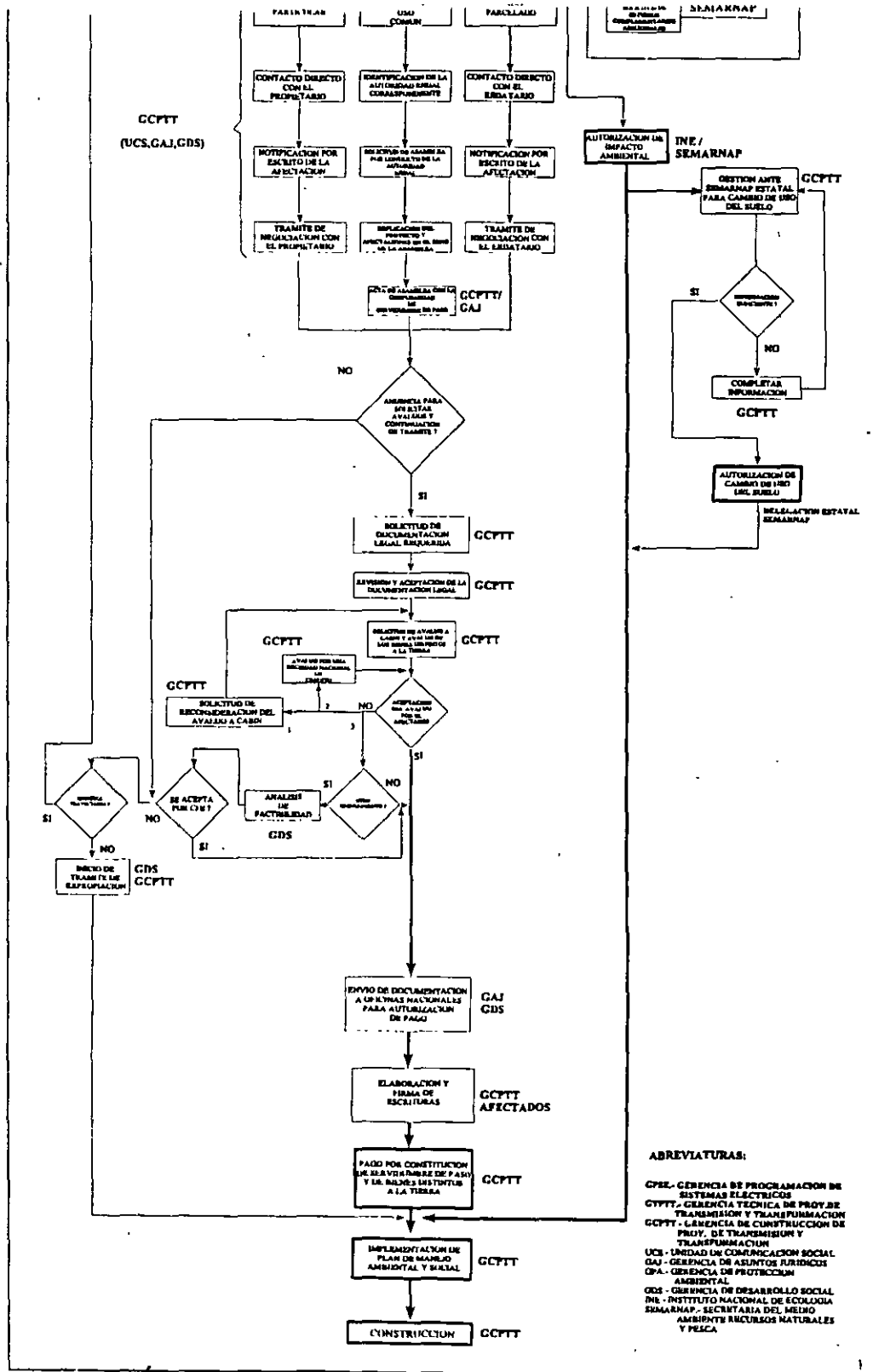
3.01.04 FORMACION DEL "PLANO GENERAL DE TRABAJO" Y TRAZO DE RUTAS OPCIONALES, CON BASE A LA INFORMACION OBTENIDA, ESTA ES LA ULTIMA ACTIVIDAD ANTES DEL RECORRIDO EN CAMPO.

3.02 ACTIVIDADES DE CAMPO

3.02.01 ACTUALIZACION EN CAMPO DEL PLANO DE TRABAJO, REGISTRANDO EN EL TODAS LAS NUEVAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y ASENTAMIENTOS HUMANOS E INDUSTRIALES, ASIMISMO LAS INSTALACIONES ELECTRICAS MAS IMPORTANTES, REALIZANDO UN LEVANTAMIENTO DE TODAS LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS DE LA ZONA.

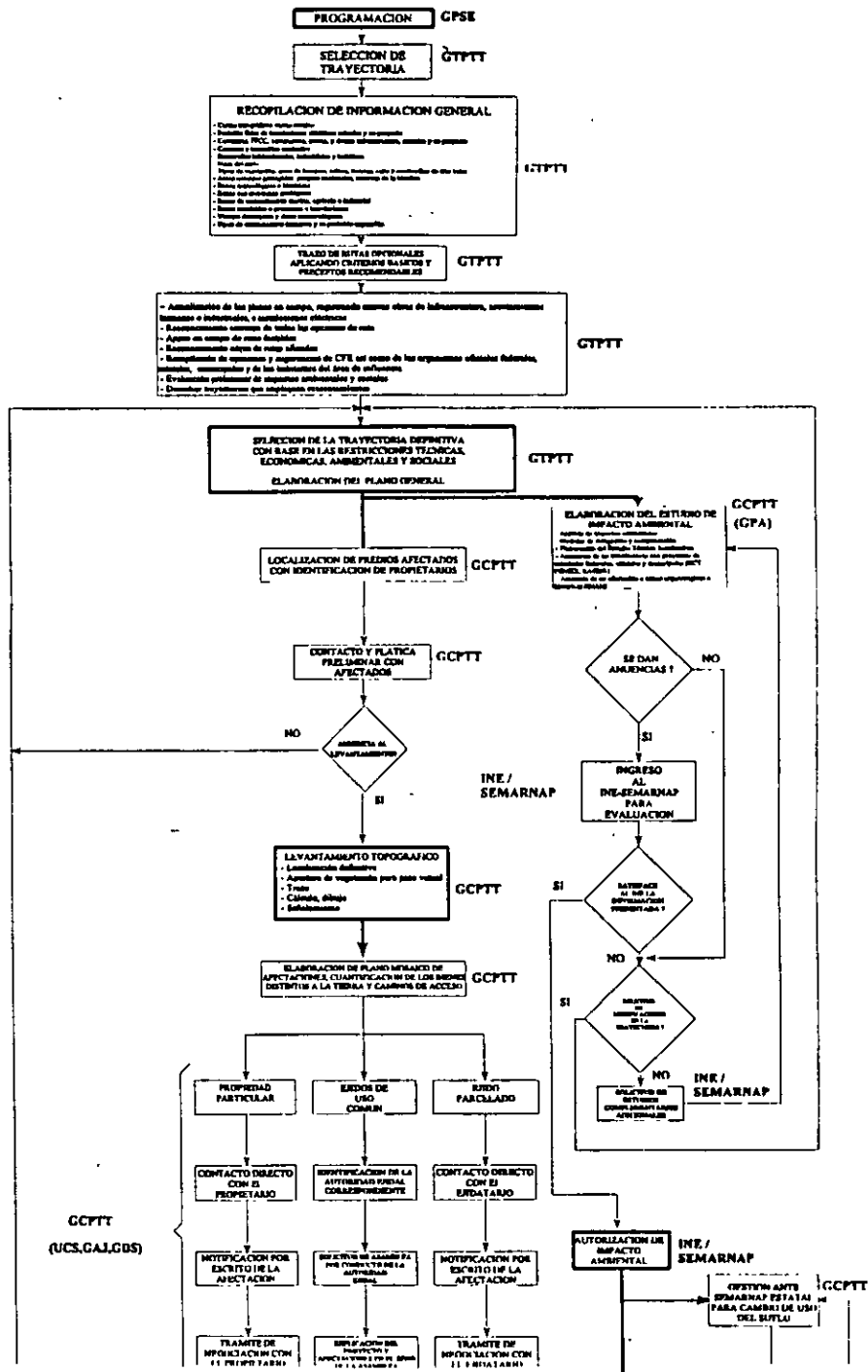
3.02.02 RECONOCIMIENTO TERRESTRE, EN FORMA DETALLADA, DE TODAS LAS OPCIONES DE RUTA CONSIDERADAS Y DE LAS QUE SURJAN COMO FACTIBLES DURANTE ESTA FASE DEL ESTUDIO.

C F E	SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION	SELECCION DE TRAYECTORIAS DE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA <u>8</u> DE <u>8</u>
	B. T. P. T. T.		
DEPTO. SELEC DE SITIOS			
3.02.03	RECONOCIMIENTO AEREO DE LAS OPCIONES DE RUTA, YA AFINADAS DESPUES DEL RECORRIDO TERRESTRE, PRINCIPALMENTE CUANDO POR LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL TERRENO NO ES POSIBLE EL ACCESO TERRESTRE.		
3.02.04	RECOPLIACION DE OPINIONES Y SUGERENCIAS RELATIVAS A LAS OPCIONES DE RUTA, DE LAS DIVERSAS AREAS DE OPERACION Y CONSTRUCCION DE CFE, ASI COMO DE LOS ORGANISMOS FEDERALES, ESTATALES Y MUNICIPALES.		
3.02.05	EVALUACION PRELIMINAR DE OPCIONES, EN DONDE SE CONSIDERA PRINCIPALMENTE LOS ASPECTOS TECNICOS Y ECOLOGICOS ANALIZADOS EN CAMPO.		
3.03	EVALUACION DE ALTERNATIVAS Y SELECCION DE LA TRAYECTORIA DEFINITIVA.		
3.03.01	ANALISIS COMPARATIVO TECNICO-ECONOMICO Y ECOLOGICO DE LAS TRAYECTORIAS CONSIDERADAS, TOMANDO EN CUENTA LOS FACTORES YA DESCRITOS.		
3.03.02	SELECCION DE LA TRAYECTORIA DEFINITIVA		
3.03.03	ELABORACION DEL "PLANO GENERAL", YA ACTUALIZADO CON LA INFORMACION DE CAMPO Y LA TRAYECTORIA DEFINITIVA, ASIMISMO OFICIALIZADO CON FIRMAS DE LOS FUNCIONARIOS AUTORIZADOS.		
3.03.04	DISTRIBUCION DEL "PLANO GENERAL" A DIVERSAS AREAS DE LA CFE, EN EL QUE SE CONTEMPLA LA RUTA O TRAYECTORIA POR DONDE SE CONSTRUIRA LA LINEA DE TRANSMISION.		



**COORDINACION DE PROYECTOS DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION**

**FLUJOGRAMA PARA OBTENER EL DERECHO DE VIA Y LAS AUTORIZACIONES EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL DE LINEAS DE TRANSMISION**





# CRITERIOS DE PROTECCION EN ZONAS ARQUEOLOGICAS

## OBJETIVO

Cumplir como mínimo, en los proyectos de transmisión y transformación, con las restricciones enunciadas en la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas y su Reglamento, para preservar el patrimonio Cultural de nuestro país.

## INTRODUCCION

Es propósito de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación el construir líneas de transmisión funcionales, con el menor costo posible, mínimo impacto ambiental y social y con la preservación de los Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas





## **CRITERIOS**

- 1.- En la etapa del estudio para la localización de la trayectoria de las líneas de transmisión, se investiga la ubicación de zonas o Monumentos Arqueológicos, Artísticos e Históricos, con el fin de no contraponer lo indicado en los artículos 42 y 44 del Reglamento de la Ley Federal en la Materia.
- 2.- En la fase del levantamiento topográfico y de recopilación de información ambiental y social, se solicita a los centros Estatales del Instituto Nacional de Antropología e Historia la verificación de que la ruta seleccionada no cruce ninguna zona o colinde con los predios correspondientes, para obtener la aprobación de la trayectoria.
- 3.- Cuando los centros Estatales del INAH no cuentan con los elementos documentados y atlas Arqueológicos suficientes para evaluar y se presume que pudieran existir vestigios, como acción inmediata se procede a modificar la trayectoria y salirse de la zona probable de afectación.
- 4.- Si el Instituto no puede definir con precisión la zona probable de afectación, lo recomendable es realizar una investigación y prospección Arqueológica, para contar con elementos y hacer los ajustes necesarios al trazo.

# **AUTORIZACION EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL**

Documento mediante el que la SEMARNAP establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente.

**ART. 28 LGEEPA**

**DOF 12-DIC-96**

# ATRIBUCIONES DE LA SEMARNAP

- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

- DELEGACIONES DE LA SEMARNAP.



REGULACIÓN

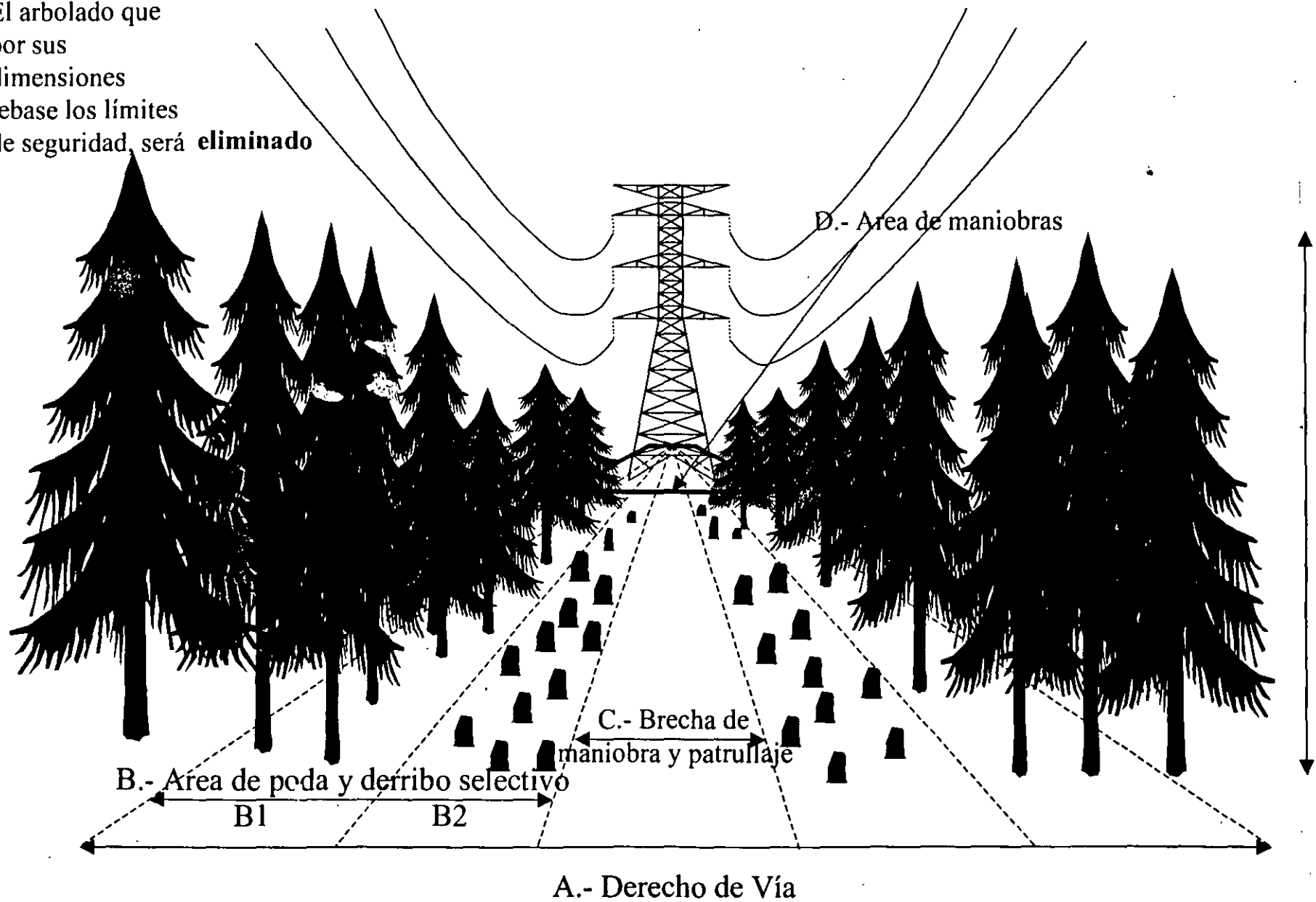
- PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE



VERIFICACION

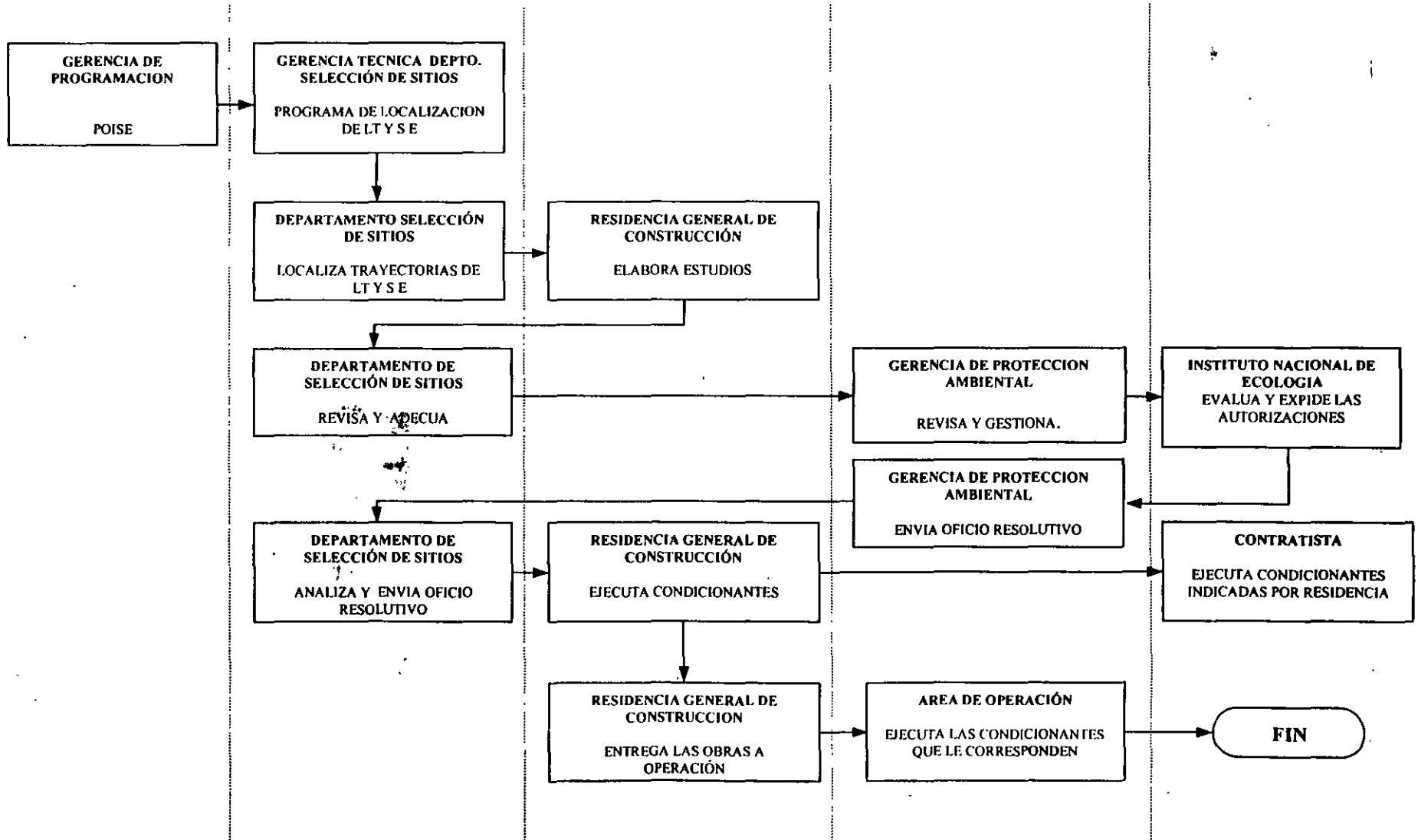
# ESQUEMA DE MANEJO DE VEGETACION DENTRO DEL DERECHO DE VIA

El arbolado que por sus dimensiones rebase los límites de seguridad, será **eliminado**



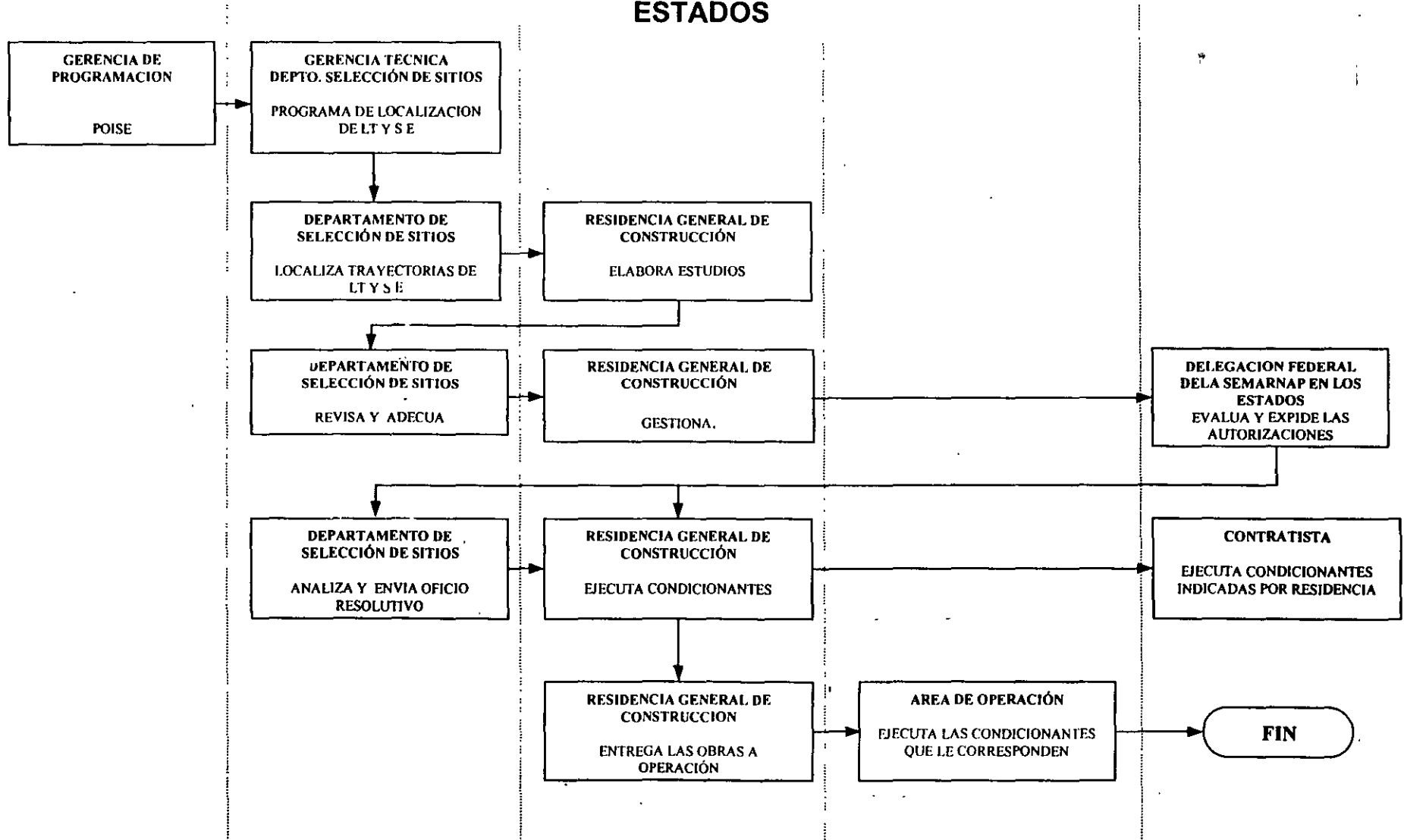
# GESTION AMBIENTAL

## ANTE EL INE-SEMARNAP



# GESTION AMBIENTAL

## ANTE LA DELEGACIÓN FEDERAL DE LA SEMARNAP EN LOS ESTADOS



## **LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE A PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.**

### **OBJETIVO:**

a).- Presentar el marco jurídico ambiental que deben aplicar y regular los proyectos de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas en todas sus fases.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

#### **ALCANCE:**

Dar a conocer el marco legal aplicable al personal involucrado en Protección Ambiental de las Residencias Generales de Construcción.

#### **LEYES**

- 1).- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- 1).- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).
- 2).- Ley Forestal.
- 3).- Ley de Aguas Nacionales.
- 4).- Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticos e Históricas.
- 5).- Ley General de Asentamientos Humanos.
- 6).- Ley General de Bienes Nacionales. (Indemnizaciones?;)
- 7).- Ley Federal de Procedimiento Administrativo.
- 8).- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.
- 9).- Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.
- 10).- Ley Agraria.
- 11).- Ley Federal de Caza. Art.3. Todas las especies de animales silvestres son propiedad de la Nación y corresponde a la Secretaría autorizar el ejercicio de la caza y la apropiación de sus productos.  
Art. 10. Se requiere la autorización de la Secretaría para la importación de fauna silvestre exótica.  
Art.24. El transporte de animales silvestres o sus productos y despojos se deberán amparar con el permiso correspondiente.
- 12).- Código Penal: Delitos Ambientales.

#### **REGLAMENTOS**

- \* Reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental.
- \* Reglamento de la Ley Forestal.
- \* Reglamento de la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticos e Históricas.
- \* Reglamento para el uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre.
- \* Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- \* Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.
- \* Reglamento de la Ley Agraria.

#### **NORMAS OFICIALES MEXICANAS.**

**NOM-059-ECOL-1994.** Que determina las especies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección.

**NOM-008-SCFI-1993.** Sistema general de unidades de medida.

**NOM-041-ECOL-1996.** Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes, provenientes del escape de vehículos automotores en circulación, que utilizan gasolina como combustible.

**NOM-045-ECOL-1994.** Que establece los niveles máximos permisibles de capacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación, que usan diesel como combustible. Se exige de su cumplimiento en la NOM-045-ECOL-1996 a la maquinaria pesada que utiliza como combustible diesel, empleada en la industria de la construcción.

**NOM-080-ECOL-1994.** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.

**NOM-081-ECOL-1994.** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de fuentes fijas y su método de medición.

**NOM-060-ECOL-1994.** Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

**NOM-061-ECOL-1994.** Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal.

**NOM-062-ECOL-1994.** Que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la Biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso de suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

**NOM-EM-003-SEMARNAP-SAGAR-1996.** Regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, así como la participación social y del gobierno en la detección y combate de incendios forestales.

**NOM-113-ECOL-1998.** - Establece especificaciones de protección ambiental para SE's que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios turísticos.

**NOM-114-ECOL-1998.** - Establece especificaciones de protección ambiental para LT's que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios turísticos.

#### **NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE APOYAN A LA LEY FORESTAL.**

**NOM-001-RECNAT-1995.** Que establece las características que deben tener los medios de marqueo en rollo, así como los lineamientos para uso y control.

**NOM-002-RECNAT-1996.** Resina de pino.

**NOM-003-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de tierra de monte.

**NOM-004-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de raíces y rizomas de vegetación forestal.

**NOM-008-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de cogollos.

**NOM-009-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de látex y otros exudados de vegetación forestal.

**NOM-10-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de hongos.



**NOM-011-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de musgo, heno y doradilla.

**NOM-012-RECNAT-1996.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de leña para uso doméstico.

**NOM-EM-002-SEMARNAP-SAGAR-1996.** Que define las características de los terrenos que serán considerados como de aptitud preferentemente forestal para el establecimiento de plantaciones forestales y que determina los requisitos, criterios y procedimientos para su operación y aprovechamiento.

**NOM-EM-006-SAGR3-1994.** Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas o pencas, flores, frutos y semillas de vegetación forestal.

## LINEAS Km

TENSION kV	1996	1997	1998	98/97
400	11,337	11,908	12,249	2.9
230	18,878	19,375	20,292	4.7
161	456	456	456	0.0
150	445	66	66	0.0
138	1,171	1,171	1,176	0.4
115	31,423	32,003	33,405	4.4
85	219	185	185	0.0
69	3,566	3,487	3,459	-0.8
34.5	54,897	55,638	57,135	2.7
23	20,505	22,056	22,785	3.2
13.8	211,533	219,254	226,922	3.5
6.6	425	429	428	-0.2
4.16	156	157	69	-56.1
2.4	102	102	103	1.0
Lineas Subterranas	6,393	6,800	7,306	7.4
C.F.E.	361,508	373,087	386,016	3.6
L.F.C.	26,972	27,533	28,003	1.7
<b>TOTAL</b>	<b>388,478</b>	<b>400,620</b>	<b>414,019</b>	<b>3.3</b>

\* Incluye lineas subterranas

## SUBESTACIONES MVA

	1996	1997	1998	98/97
SUBESTACIONES DE TRANSMISION	90,478	94,520	96,679	2.3
SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION	26,220	27,117	28,241	4.1
SUBESTACIONES L.F.C.	** 19,342	** 19,572	** 19,173	-7.0

\*\* Pagina 21, desglose de líneas por tensión y subestaciones por entidad federativa

## TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION MVA

	1996	1997	1998	98/97
CAPACIDAD INSTALADA	20,814	21,668	22,869	5.5

Página siguiente, desglose de transformadores por entidad federativa

FUENTE: INFORMACION BASICA CFE-1998



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

**DIPLOMADO EN “GERENCIA DE PROYECTOS”  
ICA – DECFI, UNAM**

Módulo IV “Construcción”  
Del 22 al 24 de Julio

**“DISEÑO ESTRUCTURAL DE TORRES PARA LINEAS DE  
TRANSMISION”**

Ing. Carlos Villegas Villagrán

Palacio de Minería, México 1999

C. F. E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 1
	C.P.T.T.		DE 8

**TEMA: 65**

**DISEÑO ESTRUCTURAL APLICADO  
A TORRES PARA LINEAS DE  
TRANSMISION**

**INTRODUCCION Y OBJETIVOS**

El uso del acero dentro de la industria de la construcción es muy variado, lo podemos encontrar en puentes, edificios, torres, etcétera.

Dentro de los materiales estructurales posiblemente éste sea uno de los más versátiles si consideramos: su resistencia, fabricación y la facilidad para obtenerse en el mercado.

Las estructuras para las líneas de transmisión de alta tensión que construye la Comisión Federal de Electricidad están formadas basicamente por elementos estructurales de acero galvanizado unidos por tornillos, aun cuando existen algunas formadas con postes o pórticos de madera y concreto.

Cabe señalar que en países productores de aluminio, como son Canadá y Rusia utilizan este material como otra alternativa para el diseño de estructuras en Líneas de Transmisión.

El diseño de las torres de transmisión como soportes de cables conductores tiene una gran importancia, ya que el costo de las mismas representa un porcentaje muy alto en la construcción de una línea.

El objetivo principal del Diseño Estructural para torres en Líneas de Transmisión es el de distribuir y dimensionar los elementos que conforman la estructura cumpliendo con una serie de Especificaciones para resistir los esfuerzos a que estará sujeta durante su vida útil de operación dentro de los parámetros de seguridad y economía.

**Ing. Carlos Villegas Villagrán.**

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 2
	C.P.T.T.		DE 8

**DISEÑO ESTRUCTURAL**

**1.- ACERO ESTRUCTURAL**

El acero es una aleación del hierro con el carbono y otros elementos de aleación como son: Manganeso, Silicio, Cromo, Níquel, etc.

El contenido de carbono en el acero es variable y su presencia tiene gran influencia en ciertas características mecánicas del acero, como son: la dureza, resistencia a la tensión y ductilidad.

El diseño de estructuras que soportan cargas calculadas a esfuerzos especificados, se basa en la suposición de que se puede depender de ciertas propiedades mecánicas de los materiales estructurales para cumplir con los requerimientos definidos.

Las normas que nosotros utilizamos para materiales estructurales son las de "American Society for Testing and Materials" (ASTM).

**2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACERO**

2a.- **MODULO DE ELASTICIDAD (E):** Se refiere a la relación del esfuerzo a la deformación en la región elástica de la curva esfuerzo-deformación. Este valor se determina por medio de la pendiente de la porción elástica del diagrama. El módulo de elasticidad es diferente para cada material.

Para el acero :  $E = 2.039 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

2b.- **RESISTENCIA AL LIMITE DE FLEUENCIA (F<sub>y</sub>).**

Para un acero:

A.36 = 36.000 lb/pulg<sup>2</sup>= 2530 kg/cm<sup>2</sup>  
(VER ANEXO 1)

2c.- **RESISTENCIA ULTIMA A TENSION (F<sub>u</sub>)**

Para un acero:

A.36 F<sub>u</sub> = 5.800 lb/pulg<sup>2</sup>= 4080 kg/cm<sup>2</sup>

(VER ANEXO 1)

2d.- **DUCTILIDAD**

Es la capacidad de deformación que tiene el acero antes de llegar a la falla (lo contrario de la fragilidad). Se mide normalmente por el alargamiento medido en por ciento, de una longitud especificada llamada longitud de calibración.

Otras propiedades importantes del acero estructural es su resistencia a la fatiga, su resistencia a la fractura frágil y su dureza.

La fatiga es un daño permanente y progresivo provocado por las fluctuaciones de esfuerzos que generan grietas que eventualmente pueden conducir a la fractura total. Las fracturas frágiles son generalmente muy perjudiciales, son fracturas de baja ductibilidad que se propagan rápidamente a esfuerzos relativamente bajos.

La dureza es la capacidad del acero para resistir la fractura bajo cargas de impacto.

La industria siderúrgica produce una gran variedad de aceros para la construcción, clasificandolos de diferentes maneras, pero comunmente se les conoce como aceros al carbón, de alta resistencia y baja aleación, aceros templados por inmersión y recalentamiento.

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 3
	G.P.T.T.		DE 8

Todos los aceros contienen carbón pero por lo general se conocen como aceros al carbón, aquellos en los que sus propiedades se controlan limitando el contenido de carbono.

La mayoría de los aceros que comúnmente conocemos como de alta resistencia son en realidad de resistencia intermedia, comparados con los aceros templados por inmersión y recalentamiento.

A continuación se tabulan algunos tipos de acero para propósitos estructurales cubiertos por las especificaciones ASTM indicando sus propiedades mecánicas.

(VER ANEXOS 2 y 3)

El acero estructural se produce en forma de perfiles y elementos planos laminados (placas, soleras, lámina) y dependiendo de las características geométricas de cada perfil se hace la selección correspondiente, considerando su función ó trabajo cómo parte de la estructura.

(VER ANEXOS 4 y 5)

## 2.- DISEÑO ESTRUCTURAL

### 2a.- ¿Qué es el diseño estructural?

Es la acción que tiene por objeto proporcionar una estructura que cumpla con determinada función dentro de los límites de seguridad requeridos, y que bajo condiciones de trabajo o de servicio tenga un comportamiento adecuado, considerando adicionalmente otros parámetros como economía y estética.

### 2b.- Métodos de diseño

#### 2b1.- Método de los esfuerzos de trabajo

Un miembro estructural sometido a diversas combinaciones de cargas

servicio (cargas que actúan sobre la estructura durante su vida útil) se selecciona de tal manera que el máximo esfuerzo calculado no exceda de un valor permisible especificado. Los esfuerzos se determinan mediante un análisis elástico.

**Cargas de diseño = Cargas de servicio**  
**Esfuerzos calculados  $\leq$  Esfuerzo permisible**

### 2b2.- METODO PLASTICO O DE FACTOR DE CARGA

Un miembro estructural sometido a diversas combinaciones de carga de servicio multiplicadas por un factor de carga se selecciona de tal manera que las fuerzas en el miembro no excedan la resistencia última de éste previamente especificada.

**Cargas de diseño = Cargas de serv. x F.C.**  
**P. Calculada = Resistencia última**

Existen otros métodos como son:

Métodos probabilísticos.

Diseño por modelos (experimental).

Para el objetivo de este curso nos referiremos al método plástico.

## 3.- ESPECIFICACIONES

El proporcionamiento de un elemento ó miembro estructural está delimitado por un conjunto de reglas ó normas de diseño llamadas ESPECIFICACIONES, las cuales incluyen una serie de formulas de diseño que orientan al diseñador en la verificación de la resistencia, rigidez, proporciones, y una serie de criterios que determinan la aceptación del elemento estructural.

Estas especificaciones están basadas en la experiencia obtenida por la observación del comportamiento

**C.****SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN****CURSO INTEGRAL****HOJA 4****F.****SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN****E.****C.P.T.T.****DE 8**

estructuras reales, así como por estudios teóricos de laboratorio llevados a la práctica sobre prototipos. Como ejemplo de algunas especificaciones tenemos:

A.C.I.: American Concrete Institute  
 A.S.C.E.: American Society of Civil Engineers  
 A.S.T.M.: American society of Testing Materials  
 A.W.S.: American Welding Society  
 A.I.S.C.: American Iron and Steel Institute

Para nuestro caso nos apegamos básicamente al A.S.C.E. y otras especificaciones adicionales como:

CPE J1000 - 50  
 Manual de Obras Civiles de CPE

#### 4. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

"La filosofía del diseño de un elemento estructural está basada fundamentalmente en el mecanismo de falla propiciado por el elemento mecánico que le solicita".

De esta forma:

a.- Dependiendo del tipo de elemento mecánico, puede diseñarse bajo efecto de tensión, compresión, flexión, torsión ó una combinación de ellos como puede ser: flexocompresión, flexotensión, etcétera; de tal forma que dichos elementos mecánicos no rebasen ciertos valores límite.

b.- Adicionalmente a estos requerimientos de resistencia, el diseño puede involucrar otros diferentes tales como: fenómenos de inestabilidad (pandeo), fatiga y vibraciones en donde los esfuerzos no determinan directamente el diseño.

#### 5. CAPACIDAD DE MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESION AXIAL

Como se mencionó anteriormente, para el dimensionamiento de los elementos estructurales resistentes, se adoptan las recomendaciones dadas en "The Guide for Design of Steel Transmission Towers" del A.S.C.E. (American Society of Civil Engineers), el cual hace algunas adecuaciones a las formulas de capacidades de columnas sujetas a carga axial de compresión del A.I.S.C. en su capítulo correspondiente a las Especificaciones para Diseño, Fabricación y montaje de edificios con estructura de acero, las cuales han sido dirigidas principalmente a los perfiles estructurales que se utilizan comúnmente en edificios ó estructuras similares, de acuerdo a las investigaciones del C.R.C. (Colum Research Council).

La falla en un miembro estructural sujeto a una carga axial de compresión se puede presentar de dos maneras:

**POR PANDEO GENERAL DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL.**

**POR PANDEO LOCAL DE LOS ELEMENTOS QUE LO FORMAN.**

El concepto de columna en el caso de las torres se le puede aplicar a cualquier elemento estructural recto sujeto a una fuerza axial de compresión.

Puesto que la capacidad de carga de una columna es inversamente proporcional a su relación de esbeltez ( $KL/r$ ), es necesario mantener este valor tan bajo como sea posible con el objeto de no reducir su capacidad a compresión debido al fenómeno de pandeo.

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 5
	C.P.T.T.		DE 8

De esta forma para una longitud dada, la sección transversal deberá tener un radio de giro lo más alto posible.

En el caso de ángulos la sección óptima, sería aquella que a un momento de inercia dado correspondiera el área mínima y esto se lograría proporcionando secciones de alas grandes (b) y espesores pequeños (t), pero esto lleva a una posible falla por "pandeo local", en donde cada ala del ángulo se comporta a su vez como una columna cuya alta relación b/t propicia el colapso de la sección para cargas menores que las correspondientes para el pandeo total.

(VER ANEXO 6)

#### 5a. PANDEO

Se define como pandeo a la pérdida repentina de resistencia que acompaña a la aparición de fuertes deformaciones, independientemente de que los esfuerzos hayan ó no llegado al punto de fluencia.

Iniciado el pandeo los desplazamientos laterales provocan que los esfuerzos crezcan rápidamente y se llegue pronto al intervalo inelástico, de tal forma que la falla se presenta siempre en éste intervalo.

El fenómeno de pandeo no es un problema de esfuerzos, sino de estabilidad, por esa razón las fórmulas originales que representan este fenómeno se refieren a cargas críticas no a esfuerzos, sin embargo por razones prácticas estas cargas se traducen a esfuerzos.

#### 5a.1 PANDEO ELÁSTICO

La determinación de la carga crítica de una columna esbelta, doblemente

articulada y de sección transversal constante fue resuelta por "Leonardo Euler" con la siguiente expresión:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

dónde:

F<sub>cr</sub> = Carga crítica de "Euler"

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de inercia de la sección

L = Longitud de la pieza

Para obtener el esfuerzo crítico, es decir cuando se inicia el pandeo, expresamos el área en función del momento de inercia y el radio de giro de la sección con lo que resulta:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

dónde:

F<sub>cr</sub> = Esfuerzo crítico de "Euler"

E = Módulo de elasticidad del material

r = Radio de giro de la sección

L = Longitud de la pieza

#### 5a.2 PANDEO INELÁSTICO

"Engesser" y "Shanler", formularon la teoría inelástica comprobando que las fórmulas de "Euler" no son aplicables a columnas cortas ó de longitud intermedia en las que se alcanza el límite de proporcionalidad antes que el esfuerzo crítico del pandeo elástico.

Para ambos tipos de pandeo el C.R.C. ha afinado estas teorías y dirigiendo su investigación a la sección estructural en ángulo, ha introducido ciertas reducciones de la capacidad carga, en columnas por conceptos



G.

SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

CURSO INTEGRAL

HOJA 6

F.

SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

E.

C.P.T.T.

DE 8

como esfuerzos residuales (generados durante el proceso de laminación), condiciones de excentricidades pequeñas en la aplicación de las cargas, etcétera.

Considerando lo anterior el A.S.C.E. adopta las fórmulas del C.R.C. para el rango INELASTICO y de "Euler" para el rango ELASTICO. En la curva de capacidades de carga/m relación de esbeltez, la separación entre ambos rangos la marca el valor de  $KL/r$  llamado  $C_c$  (relación de esbeltez efectiva para la cual el esfuerzo crítico corresponde a la mitad del esfuerzo de fluencia.

(VER ANEXO 7)

A continuación se plantean las ecuaciones propuestas por el A.S.C.E. para capacidades últimas de carga de columnas sujetas a compresión axial.

(VER ANEXO 8)

**5B. RELACIONES DE ESBELTEZ**

Para el diseño de un miembro estructural sujeto a cargas de compresión, la longitud libre de pandeo estará determinada por las condiciones de apoyo de éste en el momento en que ha sido estructurada la torre.

Se pretende que el elemento sea lo suficientemente resistente para soportar las solicitaciones a que estará sujeto sin dejar de pensar en la economía de la estructura, por lo que se buscará aquél que reúne las mayores características de peso/eficiencia.

El esfuerzo disminuye para valores altos de  $L/r$  por lo que es preferible tener un valor mínimo de  $L/r$  para una sección transversal considerada,

siempre y cuando esto no afecte las condiciones económicas y de estabilidad en la torre.

Las relaciones de esbeltez máximas ( $L/r$ ) permitidas por CFE para elementos estructurales sujetos a esfuerzos de compresión son:

Para miembros principales:  
 $L/r \leq 150$

Otros elementos estructurales con esfuerzos calculados:  
 $L/r \leq 200$

Elementos redundantes:  
 $L/r$  no excederá de 250

En la determinación de las longitudes efectivas de pandeo, el Manual A.S.C.E. da una serie de recomendaciones para las diferentes condiciones de soporte que pueda tener en los extremos el elemento estructural objeto de análisis. Por ejemplo:

- a) Para patas ó montantes conectadas con tornillos en ambas caras.
- b) Para miembros con una carga concéntrica en ambos extremos del tramo sin soporte.
- c) Para miembros con carga concéntrica en un extremo y excentricidad en el otro extremo del tramo sin soporte.
- d) Para miembros con excentricidades normales en ambos extremos del tramo sin soporte.

**6. CAPACIDAD DE MIEMBROS SOMETIDOS A TENSION AXIAL**

La capacidad de carga para elementos estructurales sujetos a cargas de tensión axial esta dada por la siguiente expresión:

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 7
	C.P.T.T.		DE 8

$$F_t = F_r \times F_y \times A_n$$

dónde:

$F_r$  = Factor de reducción igual a 0.9

$F_y$  = Límite de fluencia del acero utilizado

$A_n$  = Área neta de la sección transversal del ángulo, la cuál está determinada por el área total de la sección, menos el área definida por el diámetro del barreno y el espesor del material.

El diámetro del barreno deberá tomarse 1.6 mm (1/16") mayor que la dimensión nominal del tornillo.

Cuando en la misma sección transversal se encuentran 2 tornillos alineados se deberá considerar esta reducción de área.

La relación  $L/r$  para miembros en tensión no podrá ser mayor de 375 para evitar problemas de vibración por la acción del viento incidiendo sobre estos elementos.

La capacidad al aplastamiento del ángulo debido a la acción del tornillo sobre el material esta dada por la siguiente expresión:

$$F_a = F_r \times 2.25 \times F_y \times A_n$$

dónde:

$F_r$  = Factor de reducción igual a 0.9

$F_y$  = Límite de fluencia del acero utilizado

$A_n$  = Área neta de la sección transversal del ángulo, la cuál esta determinada por el área total de la sección menos el área determinada por el diámetro del tornillo y el espesor del material.

## 7.- DISEÑO DE CONEXIONES

Las conexiones atornilladas para estructuras de Líneas de Transmisión están normalmente diseñadas para resistir y transmitir cargas de un elemento estructural a otro.

### 7a. TIPO DE TORNILLOS

**FORMA Y DIMENSIONES:** En cuanto a su forma y dimensiones, tanto del cuerpo como de la cabeza deberá usarse "Tornillo Máquina hexagonal estándar y Tuerca hexagonal estándar" galvanizado por inmersión en caliente. (ANSI B18.2.1. y B18.1.1)

### PROPIEDADES MECANICAS:

Las propiedades mecánicas de diseño requeridas para el tornillo y tuerca deben apegarse a la Norma ASTM - A 394 ó similar Acero SAE: Grado 2.

### 7b. CAPACIDAD DE CARGA

La tensión y cortante permisibles de los tornillos A-394 podrá ser obtenido de los valores tabulados en las tablas de fuerzas indicadas en las Especificaciones ASTM. (VER ANEXO 9)

### 7c. TIPOS DE CONEXIONES

Las conexiones se pueden clasificar de acuerdo con la forma de transmitir la carga, en el caso de torres para Líneas de Transmisión se consideran del tipo aplastamiento con la rosca incluida en el plano de corte. (VER ANEXO 10)

En el anexo 10 se muestran los tipos de conexión comúnmente utilizados. Las conexiones cargadas según lo indicado en las figuras (a) y (b) tienden a

<b>G.</b>	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>HOJA 8</b>
	<b>C.P.T.T.</b>		<b>DE 8</b>
<b>F.</b>			
<b>E.</b>			

"cortar" los tornillos y se denominan CONEXIONES A CORTANTE, mientras que hacen fallar los tornillos por tensión según la figura (c) se llaman CONEXIONES A TENSION.

**7d. TIPOS DE FALLAS**

La resistencia de una conexión con tornillos depende del tipo de falla que se pueda presentar:

- a) Falla por tensión en la sección estructural.
- b) Falla por cortante en el tornillo
- c) Falla por aplastamiento entre tornillo y placa.
- d) Falla por desgarramiento ó sección insuficiente al borde.

En el ANEXO 11 se ilustran las fallas antes mencionadas.

Dependiendo del tipo de falla que pueda sufrir la junta atornillada se determinará el método de diseño para revisar.

Para el caso (a) será diseñado y/o revisado el elemento estructural ó la placa de unión proponiendo un ancho y espesor.

Para el caso (b) se diseña el tornillo según recomendaciones de ASTM.

Para el caso (c) se diseña la placa ó el elemento estructural y el tornillo según recomendaciones A.S.C.E.

Para el caso (d) se diseña la placa ó la sección estructural revisandose la distancia al borde.

**7a. SELECCION DEL DIAMETRO DE TORNILLOS**

Para la selección del diámetro de los tornillos, el diseñador toma en cuenta los siguientes:

- a) Limitaciones de las Especificaciones de CFE en cuanto al diámetro mínimo y número de diámetros diferentes para ser utilizados en la estructura.
- b) La limitación del ancho de los perfiles que forma parte de la junta.
- c) La uniformidad de la junta (tornillos de un sólo diámetro) para mejorar las condiciones de fabricación y construcción.

En el ANEXO 12 se muestra una tabla con las tolerancias de fabricación, distancias a los bordes y entre centros de taladros según la Especificación de CFE.

C.

SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

CURSO INTEGRAL  
SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN

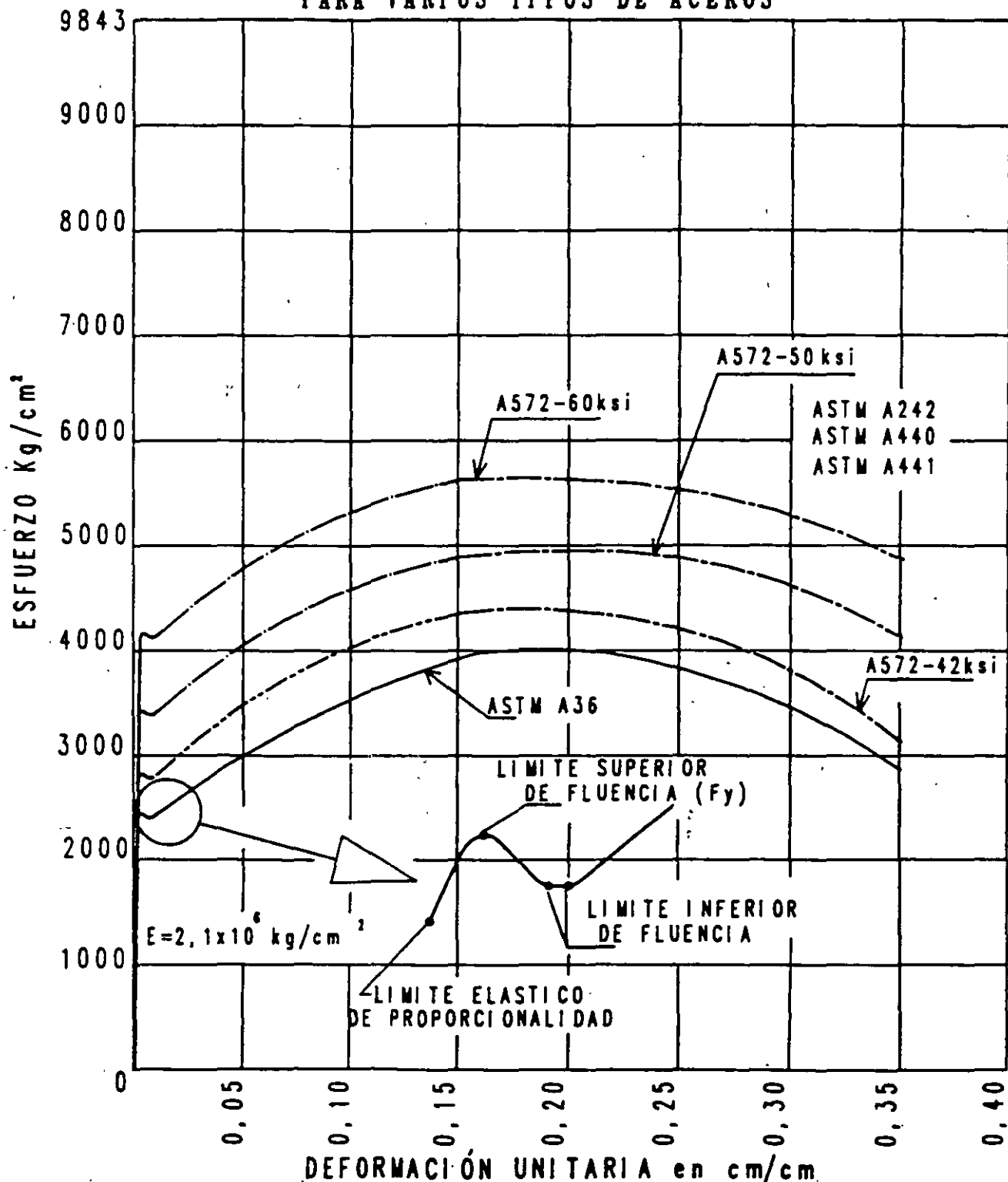
ANEXO  
No. 1

F.

E.

C. P. T. T.

### GRAFICA ESFUERZO DEFORMACIÓN PARA VARIOS TIPOS DE ACEROS



<b>C. F. E.</b>	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CURSO INTEGRAL SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>ANEXO No. 2</b>
	<b>C.P.T.T.</b>		

**PROPIEDADES MÍNIMAS DE ACEROS ESTRUCTURALES**

<b>Designación ASTM</b>	<b>Fluencia kg/cm (fy)</b>	<b>Resistencia última (fu) kg/cm</b>	<b>Alargamiento % en 203 mm (8")</b>
<b>Aceros al carbón:</b>			
A36	2530	4080-5620	20
A529	2950	4220-5980	19
<b>Aceros Alta Resistencia:</b>			
<b>A242, A440, A441:</b>			
hasta de 19mm de espesor.	3520	4920	18
más de 19mm, y hasta 38mm.	3230	4710	19
más de 38mm y hasta 102mm	2950	4430	16
<b>A572</b>			
Grado 42 hasta 102mm	2950	4220	20
Grado 45 hasta 38mm	3160	4220	19
Grado 50 hasta 38mm	3520	4570	18
Grado 55 hasta 38mm	3870	4920	17
Grado 60 hasta 25mm	4220	5270	16
Grado 65 hasta 13mm	4570	5620	15
<b>Aceros Templados y Recalentados:</b>			
<b>A514</b>			
Hasta 63mm	7030	8080-9490	18*
Más de 63 y hasta 102mm	6330	7380-9490	17*

\* % en 51mm

<b>C.</b>	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>ANEXO No. 3</b>
	<b>C.P.T.T.</b>		
<b>F.</b>			
<b>E.</b>			

**ACERO PARA PROPÓSITOS ESTRUCTURALES**

Designación ASTM	Producto	Uso
A36	Perfiles, placas y soleras de acero al carbón	Construcciones soldadas remachadas y atornilladas puentes, edificios, torres y proys. estructurales en general.
A53	Tubería soldada o sin costura; negra o galvanizada.	Construcciones soldadas, remachadas y atornilladas principalmente en edificios, particularmente en columnas y miembros de armaduras.
A242	Perfiles, placas y soleras de baja aleación, alta resistencia.	Construcciones soldadas, remachadas y atornilladas, puentes, edificios y proys. estructurales generales, resistencia a corrosión atmosférica cuatro veces mayor que la del acero al carbón. Es un acero intemperizado.
A440	Perfiles, placas y soleras de acero de alta resistencia.	Construcciones remachadas o atornilladas, puentes, edificios, torres y otras estructuras; resistencia a la corrosión atmosférica doble que la del acero al carbón.
A441	Perfiles, placas y soleras de acero de alta resistencia y baja aleación de manganeso-vanadio.	Construcciones soldadas, remachadas o atornilladas pero principalmente enfocadas a la construcción soldada; puentes, edificios y otras estructuras, resistencia a la corrosión atmosférica doble que la del acero al carbón.
A572	Perfiles, placas, tabla estacados y soleras de acero de alta resistencia y baja aleación columbio-vanadio	Costrucción de edificios soldados, remachados o atornillados en todos los grados; puentes soldados en grados 42, 45 y 50 únicamente.

C.

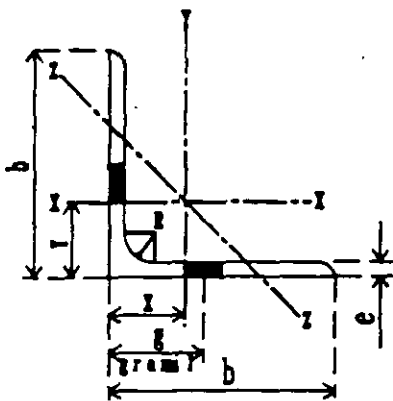
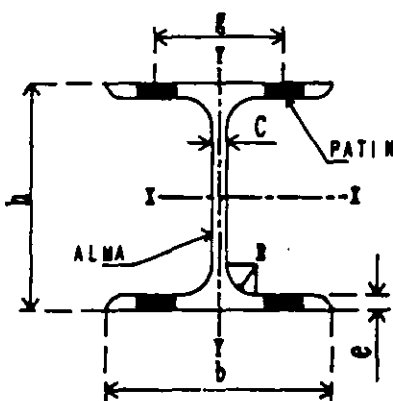
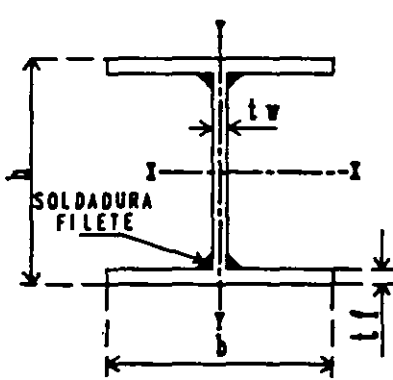
F.

E.

SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

CURSO INTEGRAL  
SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓNANE  
No. 4

PERFIL	FUNCIÓN ESTRUCTURAL	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	NOMENCLATURA
	CARGA AXIAL	Area (cm <sup>2</sup> ) $I_x$ - Momento de Inercia $\bar{X} = \bar{Y}$ - Posición del centroide $r_x$ = radio de giro en x-x $r_z$ = radio de giro en z-z $e$ = espesor del patin $b$ = ala ó patin $g$ = gramil $R$ = radio de curvatura interior $S$ = Modulo de Sección	APS Angulo Perfil Stander
	FLEXION	Area (cm <sup>2</sup> ) $I_x$ $I_y$ } = Momentos de Inercia $S_x$ $S_y$ } = Modulo de Sección $r_x$ $r_y$ } = radios de giro $C$ = espesor del alma $e$ = espesor del patin $b$ = ala ó patin $g$ = gramil $h$ = peralte	VIGA I Perfil Stander
	FLEXION	Area (cm <sup>2</sup> ) $I_x$ $I_y$ } = Momentos de Inercia $S_x$ $S_y$ } = Modulo de Sección $r_x$ $r_y$ } = radios de giro $t_w$ = espesor del alma $t_f$ = espesor del patin $b$ = ala ó patin $g$ = gramil $h$ = peralte	VIGA I Perfil Compuesto

C.

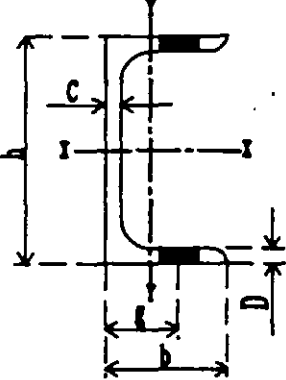
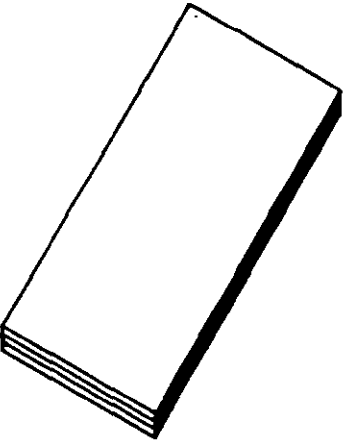
F.

E.

SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

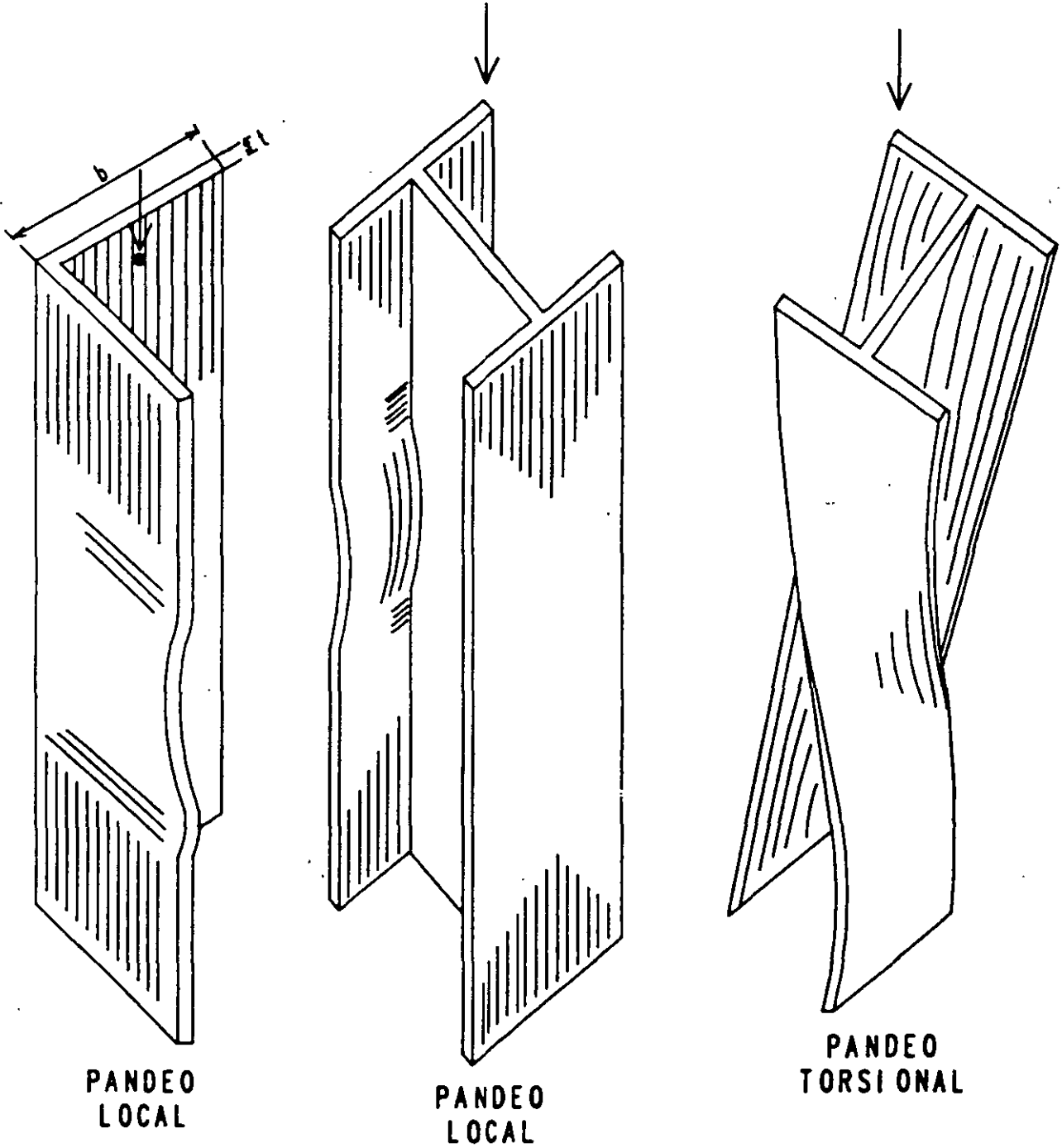
CURSO INTEGRAL  
SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓNANEXO  
No. 5

PERFIL	FUNCION ESTRUCTURAL	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	NOMENCLATURA
	<p>FLEXION</p>	<p>Area (cm<sup>2</sup>)  <math>I_x</math> } = Momentos de Inercia  <math>I_y</math> }  <math>S_x</math> } = Modulo de Sección  <math>S_y</math> }  <math>r_x</math> } = radios de giro  <math>r_y</math> }  C = espesor del alma  D = espesor del patia  b = ala ó patin  g = gramil  h = peralte</p>	<p>CANAL LIVIANA ó CANAL PESADA</p>
	<p>PLACAS:</p>	<p>Función Estructural; pueden trabajar a esfuerzo cortante, flexión, tensión y compresión; como elementos de conexión de elementos estructurales. Se utilizan para formar perfiles en diversas modalidades y para secciones compuestas.</p>	



C. F. E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN	ANEX No. 6
	C. P. T. T.		

PANDEO LOCAL Y PANDEO TORSIONAL



C.

SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

CURSO INTEGRAL  
SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN

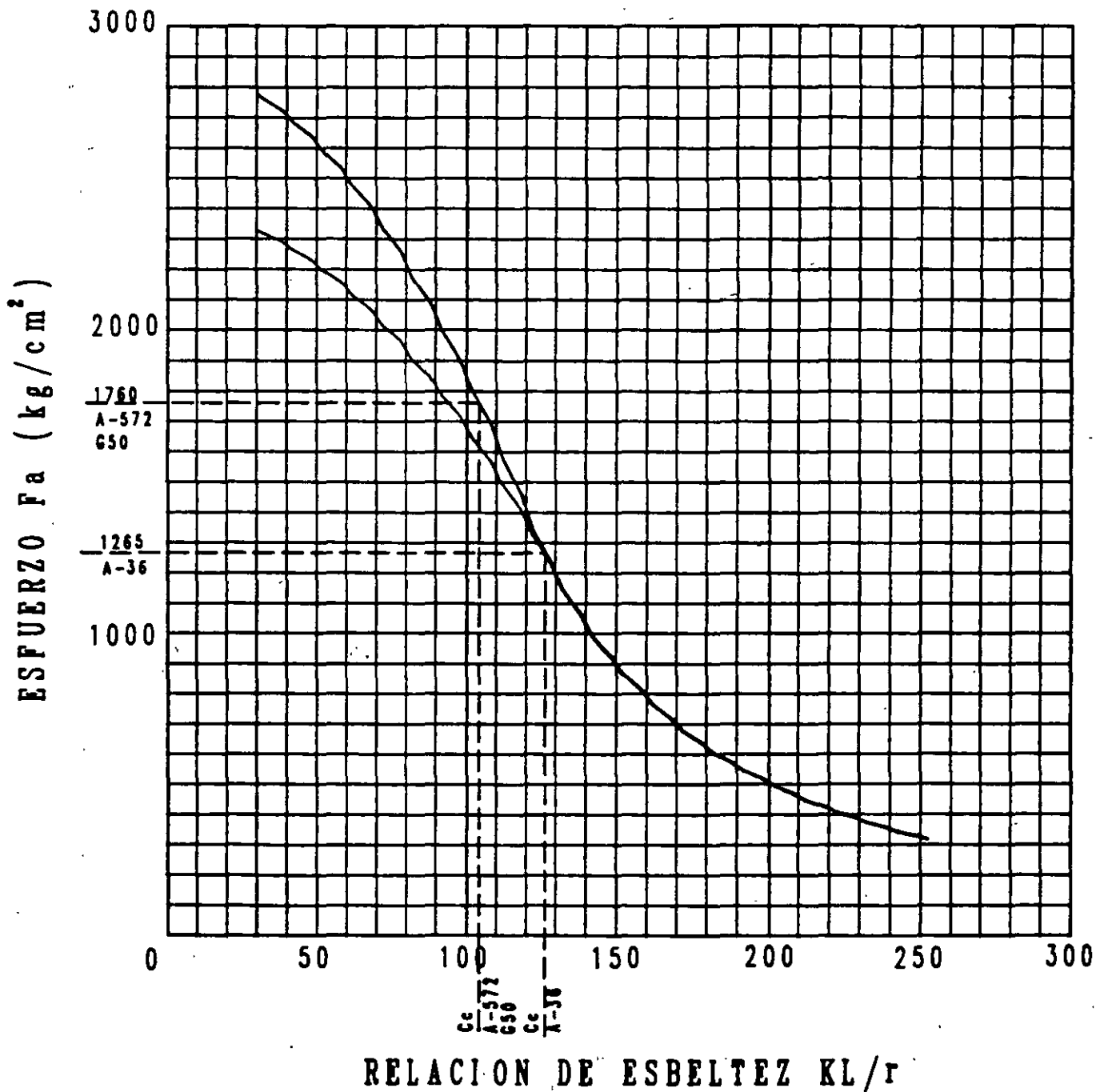
ANEXO  
No. 7

F.

E.

C. P. T. T.

CURVAS DE ESFUERZO  $F_a$ /RELACION DE ESBELTEZ  
PARA ANGULOS DE 102 x 6 A-36 Y A-572



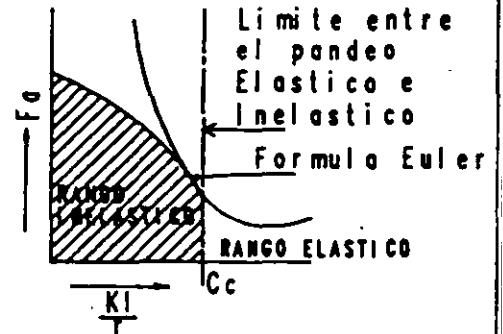
C. F. E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN	ANEXO No. 8
	C. P. T. T.		

**CALCULO DE CAPACIDADES DE ANGULOS  
A COMPRESIÓN S/A.S.C.E. (MANUAL 52) 1988**

**COMPRESIÓN**

$$\textcircled{A} \quad F_a = \left[ 1 - \frac{\left(\frac{kl}{r}\right)^2}{2Cc^2} \right] F_y$$

PARA  $\frac{kl}{r} \leq C_c$



$$\textcircled{B} \quad F_a = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kl}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{(3,1416)^2 \times 2039000}{\left(\frac{kl}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{20124123}{\left(\frac{kl}{r}\right)^2}$$

PARA  $\frac{kl}{r} > C_c$

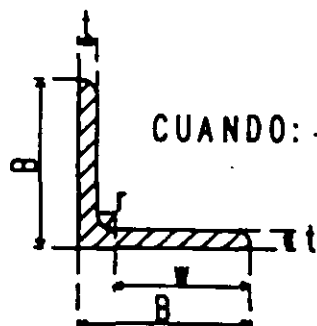
DONDE: 
$$\textcircled{C} \quad C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

SUSTITUIR  $F_y$  POR  $F_{cr}$  EN  $\textcircled{A}$  Y  $\textcircled{C}$  DE ACUERDO A LO SIGUIENTE:

$$F_{cr} = \left[ 1,677 - 0,677 \frac{\frac{w}{t}}{670,81} \right] F_y$$

CUANDO:  $\frac{670,81}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{w}{t} \leq \frac{1207,46}{\sqrt{F_y}}$

$$F_{cr} = \frac{667945}{\left(\frac{w}{t}\right)^2}$$



CUANDO:  $\frac{w}{t} > \frac{1207,46}{\sqrt{F_y}}$

$$W = B - t - r$$

C.

F.

E.

**SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN**

**C.P.T.T.**

**CURSO INTEGRAL**

**SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**ANEXO**

**Nº. 9**

**A 394**

**TABLE 3 Tensile Strength<sup>a</sup>**

Nominal Size, in.	Minimum Load, lb	
	Type 0, Tensile Strength, lb <sup>b</sup>	Types 1, 2, and 3, Tensile Strength, lb <sup>c</sup>
1/8	10 500	17 050
1/4	16 700	27 100
3/8	24 700	40 100
1/2	34 200	55 450
3/4	44 850	72 700

<sup>a</sup> Tensile strength based on the thread stress area,  $A_s$ , is calculated as follows:

$$A_s = 0.7854 (D - (0.9743/N))^2$$

where:

$D$  = nominal diameter, and

$N$  = threads per inch.

<sup>b</sup> Based on 74 000 psi unit tensile strength.

<sup>c</sup> Based on 120 000 psi unit tensile strength.

**TABLE 4 Shear Strengths**

Nominal Size, in.	Minimum Load, lb			
	Type 0		Types 1, 2, and 3	
	Single Shear Strength Through Threads, lb <sup>a</sup>	Single Shear Strength Through Body, lb <sup>b</sup>	Single Shear Strength Through Threads, lb <sup>c</sup>	Single Shear Strength Through Body, lb <sup>d</sup>
1/8	6 950	9 000	9 350	14 800
1/4	11 150	14 100	15 050	22 850
3/8	16 650	20 250	22 450	32 850
1/2	23 150	27 600	31 150	44 750
3/4	30 400	38 050	41 000	58 450

<sup>a</sup> Based on 55 200 psi unit shear strength across the area at root of threads.

<sup>b</sup> Based on 45 880 psi unit shear strength across the nominal area.

<sup>c</sup> Based on 74 400 psi unit shear strength across the area at root of threads.

<sup>d</sup> Based on 74 400 psi unit shear strength across the nominal area.

**TABLE 5 Length of Full Body for Bolts**

NOTE—Full body is the distance from the underside of the head to the first scratch of thread for bolts with machine-cut threads or to top of the extrusion angle for bolts with rolled threads with a tolerance of  $\pm 1/16$  in. for sizes 1/8 in. through 1/2 in., inclusive, and  $\pm 1/8$  in. for size 3/4 in. and 1 in.

Length of Bolt, L, in.	Bolt Diameter, in.				
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4
1	3/8	1/2	5/8	3/4	1
1 1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1
1 1/2	3/8	1/2	5/8	3/4	1
1 3/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1
2 and longer in 1/4-in. increments	L minus 1 1/2	L minus 1 1/4	L minus 1 1/2	L minus 1 1/4	L minus 1 1/2

**TABLE 6 Sample Sizes and Acceptance Numbers for Inspection of Zinc-Coated Threads**

Lot Size	Sample Size <sup>a,b</sup>	Acceptance Number <sup>a</sup>	Rejection Number
2 to 80	13	1	2
91 to 150	20	2	3
151 to 280	32	3	4
281 to 500	50	5	6
501 to 1 200	80	7	8
1 201 to 3 200	125	10	11
3 201 to 10 000	200	14	15
10 001 and over	315	21	22

<sup>a</sup> Sample sizes and acceptance numbers are extracted from "Single Sampling Plan for Normal Inspection," Table 9A, MIL-STD-105.

<sup>b</sup> Inspect all bolts in the lot if the lot size is less than the sample size.

16.1.1 Unless otherwise specified, packaging shall be in accordance with Practice D 3951.

16.1.2 When hot dip zinc-coated nuts and bolts are ordered together, they shall be shipped assembled unless otherwise specified.

16.1.3 When nuts and bolts are ordered together, they shall be shipped in the same container.

**TABLE 7 Sample Sizes and Acceptance Numbers for Mechanical and Coating-Thickness Tests**

Number of Pieces in Lot	Mechanical Tests	Coating Tests	Acceptance Number	Rejection Number
800 and under	1	3	0	1
801 to 8 000	2	3	0	1
8 001 to 35 000	3	3	0	1
35 001 to 150 000	8	8	0	1
150 001 and over	13	8	0	1

16.1.4 When special packaging requirements are required, they shall be defined at the time of the inquiry and order.

**16.2 Package Marking:**

16.2.1 Each shipping unit shall include or be plainly marked with the following information:

16.2.1.1 ASTM designation and type,

16.2.1.2 Size,

16.2.1.3 Name and brand or trademark of the manufacturer.

16.2.1.4 Number of pieces,

16.2.1.5 Purchase order number, and

16.2.1.6 Country of origin.

C.

F.

E.

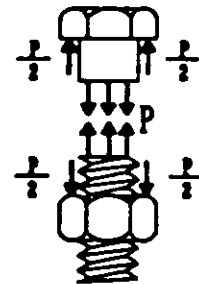
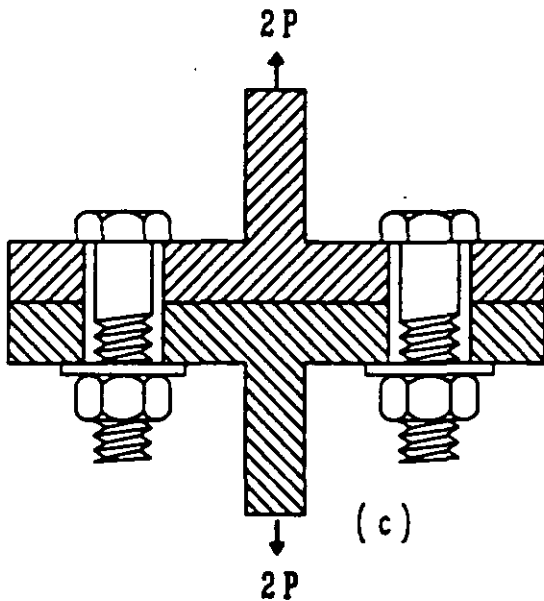
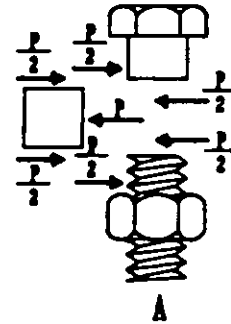
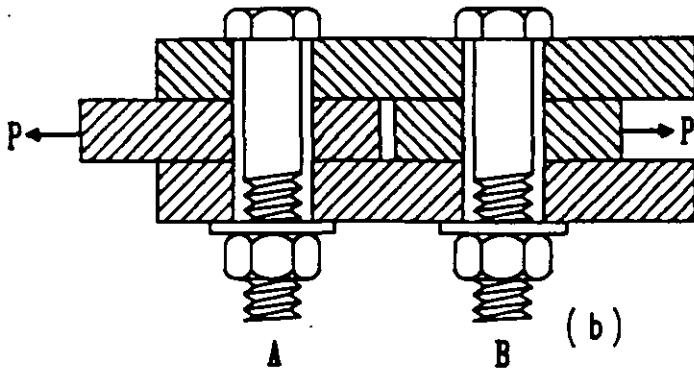
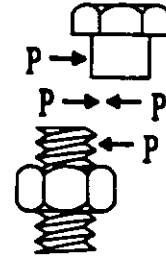
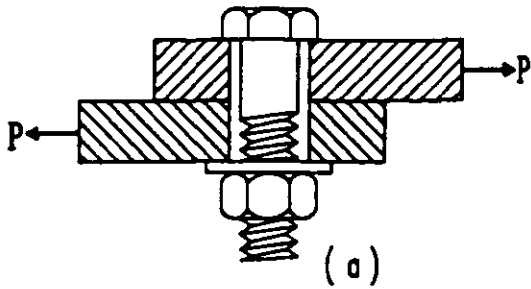
SUBDIRECCIÓN  
DE  
CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

CURSO INTEGRAL  
SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN

ANEXO  
No. 10

TIPOS DE CONEXIONES



(a) JUNTA DE TRASLAPE, TORNILLO EN CORTANTE SIMPLE.

(b) JUNTA A TOPE, TORNILLO EN CORTANTE DOBLE

(c) TORNILLO EN TENSION.

C.

F.

E.

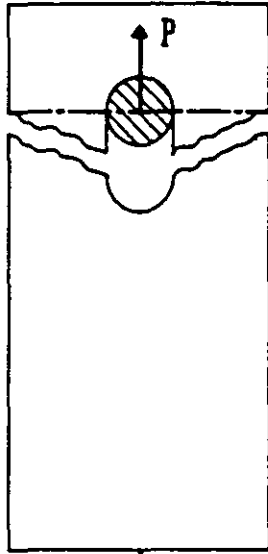
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

C. P. T. T.

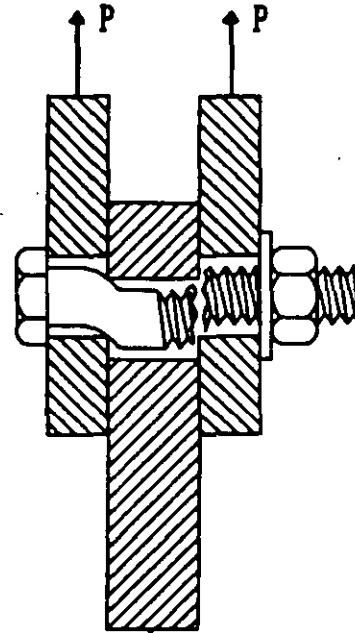
CURSO INTEGRAL SOBRE LINEAS DE TRANSMISIÓN

ANEXO No. 11

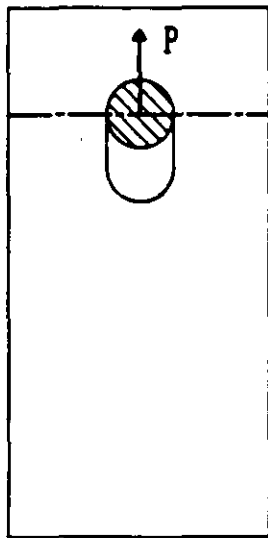
TIPOS DE FALLA EN CONEXIONES



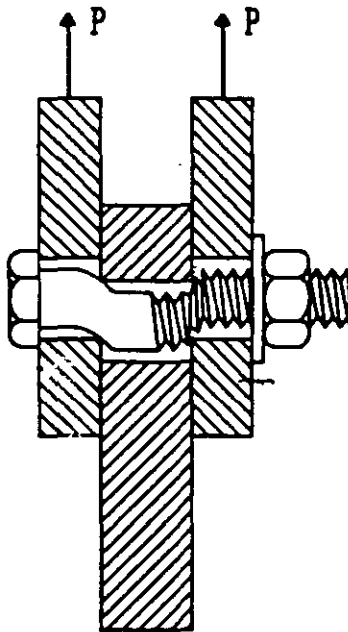
(a) ↓ P



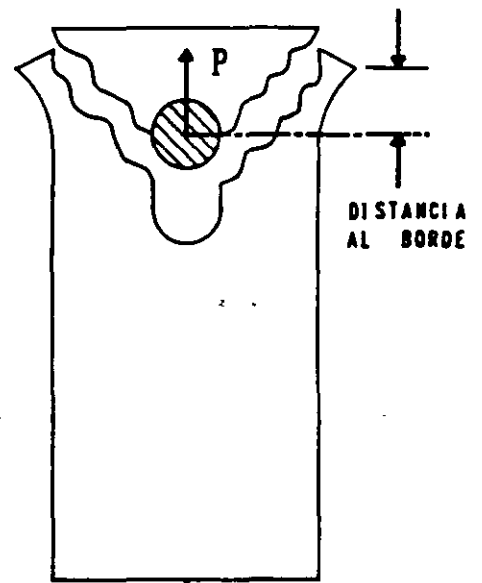
(b) ↓ 2P



FALLA DE LA PLACA



(c) FALLA DEL TORNILLO



DI STANCIA AL BORDE

(d) ↓ P

{ (a) FALLA POR TENSION EN SECC. ESTRUCTURAL (b) FALLA POR CORTANTE EN EL TORNILLO  
 (c) FALLA POR APLASTAMIENTO (d) FALLA POR DESCARRAMIENTO DE PLACA ó SECC. ESTRUCTURAL

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOPRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	ANEXO  No. 12
	C.P.T.T.		

**Taladros**

- a) El diámetro de los taladros debe ser de 1.8 mm (1/16 pg) mayor que el diámetro del tornillo respectivo. Para espesores mayores de 15.9 mm. (5/8 pg) podrá ser de 3.2 mm (1/8 pg).
- b) La conicidad de los taladros punzonados no debe exceder de 1.2 mm (3/64 pg) entre diámetros máximo y mínimo.
- c) Las tolerancias son, entre:
  - Gramiles = 0.4 mm (1/64 pg)
  - Centro de taladros = 0.8 mm (1/32 pg)
  - Centros de grupos de taladros = 1.6 mm (1/16 pg)
- d) Las distancias a los bordes y espaciamentos mínimos entre centros de tornillos se muestra en la tabla 4

**TABLA 4 Distancia a los bordes y entre centros de taladros**

Diámetro del tornillo (mm)	Espaciamento (mínimo) (mm)	Espesor del material (mm)	Distancia mínima a los bordes de taladros	
			Laminado (mm)	Recortado (mm)
12.7	36	hasta 4.8	18	19
		mayor de 4.8	19	22
15.9	40	hasta 4.8	19	22
		mayor de 4.8	22	25
19.1	50	hasta 4.8	22	25
		mayor de 4.8	25	29
22.2	58	hasta 4.8	25	29
		mayor de 4.8	29	32

**Doblado**

Los dobleces mayores de 5 grados se deben hacer en caliente, a temperatura de 600 a 650 grados celsius en materiales hasta 12.7 mm y de 850 a 950 grados celsius cuando son mayores. Los dobleces de materiales con espesor mayor de 9.5 mm también deben hacerse en caliente.

**TEMA: 7.0 DISEÑO DE LINEAS DE TRANSMISION****7.1 CRITERIO DE LOCALIZACION  
DE ESTRUCTURAS Y DISEÑO**

En el diseño de líneas de transmisión la información inicial que se toma en consideración es la que proporciona el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POSE), esta información es la siguiente:

- 1.- Entre qué Subestaciones se requiere la L.T.
- 2.- Tensión de operación
- 3.- Número de circuitos
- 4.- Longitud aproximada
- 5.- Cable conductor
- 6.- Tipo de estructura

Con esta información, al plane de trayectoria general y la estadística meteorológica de la República Mexicana se obtienen los siguientes datos necesarios para el diseño:

**1 ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR**

- a) máxima
- b) mínima
- c) media

**2.- TEMPERATURAS ANUALES**

- a) máxima
- b) mínima
- c) media

**3.- VELOCIDAD DEL VIENTO**

- a) máxima para un periodo de recurrencia de 10 años
- b) máxima para un periodo de recurrencia de 50 años

**4.- NEVELES Y TIPOS DE CONTAMINACION****5.- AGRESIVIDAD DEL TIERRERO Y DEL AMBIENTE (Corrosión)****6.- DENSIDAD DE RAYOS**

La información obtenida se emplea para efectuar los trabajos iniciales de diseño:

- 1.- Selección de estructuras a utilizar.



C.  F.  E.	INSUBRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 2
	G.P.T.T.		DE 7

2.- Determinación de la cantidad y tipo de aisladores que se instalarán en las cadenas.

3.- Protección anticorrosiva en cables, estructuras y herrajes.

4.- Tensiones mecánicas en cables conductores y de guarda.

grados centígrados del cable; la segunda representa el abramiento mínimo de seguridad que debe respetarse y las demás curvas representan distintas alturas de estructuras.

La curva de la parte superior representa el comportamiento del cable bajo la tensión mecánica que se tendrá bajo las condiciones más críticas de trabajo y se utiliza durante el diseño para comprobar que no se presente el fenómeno de "levantamiento" en alguna estructura y comprobación de claros verticales.

#### II PLANTILLA PARA LOCALIZACION DE ESTRUCTURAS

Se denomina "Plantilla" al instrumento que utiliza el ingeniero proyectista para localizar las estructuras en el levantamiento topográfico de la línea de transmisión.

En la figura 1 se puede observar que la plantilla está formada por una serie de curvas que obedecen a la ecuación de la catenaria. Los factores que intervienen en el cálculo de estas curvas son:

- 1.- Distancia longitudinal (Claros interpostales)
- 2.- Tensión mecánica del cable
- 3.- Peso del cable

Las curvas de la parte inferior de la figura 1, son una serie de parábolas calculadas considerando la tensión mecánica a 50

#### III LOCALIZACION Y SELECCION DE ESTRUCTURAS

Esta es la etapa del diseño que más influye en el costo de la línea de transmisión. Al realizar esta actividad es necesario lograr la ubicación óptima de las estructuras en el levantamiento topográfico, teniendo presente siempre factores:

- 1.- Lograr las mayores distancias interpostales con las estructuras más ligeras.
- 2.- Evitar accidentes del terreno que dificulten la construcción.

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 3
	C.P.T.T.		DE <u>7</u>

3. En las zonas de cultivo y bosques instalar las menos estructuras posibles y dejar el abrigo suficiente para evitar dañar los cultivos, la figura 2 es un ejemplo de localización de estructuras en el levantamiento topográfico, se obtiene para cada una de ellas la siguiente información:

1. Altura de la estructura
2. Clase del viento
3. Clase de peso
4. Angulo de deflexión

Con la información obtenida se procede al llenado de las hojas de distribución de estructuras, las cuales forman un documento de consulta rápida tanto para el ingeniero proyectista como para el constructor.

En la figura 3 se muestra una hoja de distribución de estructuras, en la cual se puede observar toda la información que contiene.

#### IV LISTA DE MATERIALES Y EQUIPOS

Conociendo la longitud real de la línea de transmisión y la relación de todas las estructuras que se obtuvieron de los trabajos de localización, es posible determinar la cantidad de materiales y equipos de instalación permanente que se requieren para la construcción.

Las cantidades obtenidas se les adiciona un porcentaje que permite prever desperdicios y pérdidas durante la construcción. En términos generales los porcentajes son los siguientes:

Cable conductor	3%
Cable de guarda	3%
Aisladores	3%
Terros de acero	0%
Herrajes	0%
Amortiguadores	3%
Tornillos	3%

En la figura 4 se muestra el formato de lista de materiales.

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 4
	C.P.T.T.		DE 7

## V LISTADO DE FLECHAS Y TENSIONES

Con los datos de las tensiones en cables utilizados en la determinación de las plantillas de localización de estructuras y las características de los cables conductor y de guarda se calculan las flechas (punto mas bajo de la catenaria) y tensiones mecánicas de cable conductor y de guarda para cada claro interpostal y para cada temperatura que pueda presentarse en el proceso de tendido y tensionado de cables durante la construcción:

Los factores que intervienen en este cálculo son los siguientes:

- 1) Claro interpostal
- 2) Desnivel entre apoyos de cables en estructuras adyacentes
- 3) Número de claros entre dos estructuras de anclaje
- 4) Peso del cable
- 5) Tensión mecánica del cable a las condiciones de diseño
- 6) Velocidad del viento
- 7) Temperatura máxima y mínima
- 8) Posibilidad de formación de hielo
- 9) Módulo de elasticidad del cable
- 10) Coeficiente de dilatación térmica del cable

En la figura 5 se muestra un ejemplo de un listado de flechas y tensiones.

## VI DETERMINACION DE EXTENSIONES

Cuando el proyecto de la línea de transmisión determina que ésta se construirá con estructuras de acero es necesario, para observar desniveles del terreno, instalar módulos de distinta longitud en cada una de las patas de la estructura.

Estos módulos llamados extensiones permiten lograr el empotramiento necesario en cada una de las cimentaciones, sin afectar la altura de la estructura.

Para determinar las extensiones de cada estructura es necesario que sobre el terreno, topógrafos las ubiquen según se indicó en los planes de localización y obtengan y levantamientos de perfiles en cruz. En la figura 6 se muestra un plano de perfiles en

G.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SORRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 5
	C.P.T.T.		DE 7

Con este plano y una plantilla de la pendiente de las diagonales de la estructura, elaborada a la misma escala se obtienen las extensiones que deben instalarse.

En la figura 7 se muestra una plantilla para determinación de extensiones.

El dato de las extensiones de cada estructura se registra en las hojas de distribución de estructuras.

#### VII CRUZAMIENTOS

Por ley debe solicitarse autorización a la Dependencia correspondiente para poder llevar a cabo el cruzamiento de una línea de transmisión de energía eléctrica con vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles, canales navegables, etc).

El trámite es sencillo, pero requiere de la elaboración de un plano a escala ampliada que indique las dos estructuras adyacentes al cruzamiento, la catenaria del cable conductor a temperatura máxima, así como datos básicos de cables y estructuras y condiciones meteorológicas de la zona. En la figura 8 se muestra un plano de cruzamiento.

#### VIII SISTEMAS DE TIERRAS Y PROTECCIÓN CATÓDICA

El estudio del sistema de tierras y la protección catódica se efectúa a partir del levantamiento de la resistividad del terreno y se lleva a cabo para lograr que todas las estructuras sean un camino fácil para drenar en el terreno las corrientes anormales e extraordinarias, producto de sobretensiones en la línea de transmisión.

Por otro lado en terrenos potencialmente agresivos al acero es posible determinar la instalación de ánodos de sacrificio que protejan las cimentaciones contra la corrosión.

C. F. E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 6
	C.P.T.T.		DE 7

## IX GLOSARIO

En este documento se han descrito las actividades que forman el diseño electromecánico de las líneas de transmisión, no se ha tocado más que ligeramente el aspecto matemático de las distintas actividades involucradas por considerar que correspondería a un análisis más profundo.

Sin embargo conviene resaltar el porque de cada una de las actividades involucradas:

### 1).- Determinación de parámetros básicos.

Una buena selección de las condiciones ambientales y técnicas que se utilizarán en el diseño son la base de una línea de transmisión que tendrá un comportamiento confiable.

### 2).- Plantilla para localización.

Este instrumento debe elaborarse con la mayor precisión posible, ya que por las escalas que se utilizan en los planos de localización, cualquier error puede ocasionar problemas en la localización de estructuras.

### 3).- Localización de estructuras y hojas de distribución.

Esta actividad es la base de una línea de transmisión que sea económica sin afectar su confiabilidad.

Las hojas de distribución son un documento manejable de consulta tanto para el diseñador como para el constructor.

### 4).- Lista de materiales y equipos.

Este documento proporciona las cantidades necesarias de materiales y equipos que deben ser asignados a las obras.

### 5).- Lista de flechas y tensiones.

Es un documento fundamental para el tendido de cables y el constructor debe registrar por él, su observancia puede ocasionar sobretensiones en los cables ó herramientas escasas.

<b>C.</b>	<b>SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>CURSO INTEGRAL SORRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>HOJA 7</b>
	<b>C.P.T.T.</b>		<b>DE 7</b>
<b>F.</b>			
<b>E.</b>			

**6.- Determinación de extensiones.**

Esta actividad garantiza que las cimentaciones estén a la profundidad de diseño sin afectar la altura de los cables.

**8.- Sistema de tierras y protección catódica.**

Esta actividad ayuda a que la línea tenga un buen comportamiento eléctrico y prolonga su vida útil en zonas de ambiente agresiva.

**7.- Cruzamientos.**

Actividad necesaria para cumplir los trámites burocráticos que marca la ley.

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 1
	G.P.T.T.		DE <u>5</u>

**ESTRUCTURAS Y MATERIALES DE INSTALACION PERMANENTE**

La confiabilidad de las líneas de transmisión, al igual que la de cualquier otro sistema bien diseñado depende en gran medida de la calidad de los materiales y equipos empleados en su construcción. La calidad de los materiales y equipos depende de una buena Especificación.

En la Comisión Federal de Electricidad se ha trabajado en lograr Especificaciones para prácticamente todos los materiales de uso normalizado en líneas de Transmisión.

Así, hablando de líneas de transmisión de alta tensión, se tienen grupos de Especificaciones por familias de productos.

Para Estructuras se tienen las siguientes Especificaciones:

CPEJ1000-50 DISEÑO FABRICACION Y SUMINISTRO DE TORRES PARA LINEAS

DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.

CPEJ6100-54 POSTES METALICOS AUTOSOPORTADOS PARA LINEAS DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION.

También se tiene la especificación para estructuras "E" fabricadas con postes de concreto de sección "I" para líneas de transmisión de hasta 115 kv. Especificación CFE J6301-53.

Se tienen dos Especificaciones para cables conductores:

CPE E0000-12 CABLES DE ALUMINIO CON CABLEADO CONCENTRICO Y ALMA DE ACERO (ACER).

CPE E0000-18 CABLES DE ALUMINIO CON CABLEADO CONCENTRICO Y NUCLEO DE ACERO CON RECUBRIMIENTO DE ALUMINIO SOLDADO (ACERIAS)

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LINEAS DE TRANSMISION	HOJA 2
	C.P.T.T.		DE 5

Existen Especificaciones para Cable de guarda de acero galvanizado: CFE E0000-22 y para cable de guarda de acero con recubrimiento de aluminio soldado (A AS) Especificación CFE A0000-01 y actualmente se tiene en proceso una Especificación para cable de guarda con fibra óptica.

Se tiene la Especificación CFE 52200-02 PARA AISLADORES DE SUSPENSION DE PORCELANA Y VIDRIO TEMPLADO.

Las Especificaciones: CFE 2H1LT-01 HERRAJES PARA LINEAS DE TRANSMISION. CFE 20000-01 HERRAJES Y ACCESORIOS, son la base para la Especificación: CFE 2H1LT-41 CONJUNTOS DE HERRAJES PARA LINEAS DE TRANSMISION.

La Especificación para amortiguadores de vibración es la CFE 511B0-36.

Para señalización de las líneas de transmisión se cuenta con las siguientes Especificaciones:

CFE HA100-34 AVISO PREVENTIVO, PELIGRO ALTA TENSION.

CFE B0000-35 AVISO PREVENTIVO, NUMERO PARA SECCION AEREA

CFE GSLE2-61 SEÑALIZACION DE LINEAS DE TRANSMISION PARA INSPECCION AEREA, TRAFICO AEREO Y NAVEGACION

Las Especificaciones de estructuras están integradas de tal manera que cubren los capítulos de diseño, fabricación, pruebas de prototipo y suministro; así pueden utilizarse para especificar el ciclo completo o únicamente fabricación y suministro; o en su momento fabricación y refacciones.

Las Especificaciones de Cable Conductor indican cuales son las características principales que deben respetarse en el suministro de este tipo de producto altamente normalizado para Comisión Federal de Electricidad.

En las líneas de transmisión de alta tensión básicamente se utilizan cuatro conductores:

- 477 y 795 para líneas de 115 kV.

- 900 y 1113 para líneas de 230 kV

- 1113 en haces de 2 y 3 conductores para líneas de 400 kV

En la actualidad se tiene la tendencia de usar los calibres 477 y 795. Por ahora se ha restringido la adquisición



C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 3
	C.P.T.T.		DE 5

de estos cables y unicamente se están utilizando las existencias de los almacenes de CFE. Al terminarse éstas únicamente se usarán en líneas de transmisión de alta tensión cables 795 y 1113 en sus dos versiones:

Con núcleo de acero para zonas de baja contaminación

Con núcleos de acero con recubrimiento de aluminio soldado para zonas de contaminaciones media y alta, donde pueden estar expuestos a procesos corrosivos intensos.

El cable de guarda normalizado en líneas de transmisión de alta tensión es el de 9.5 mm de diámetro de acero galvanizado para zonas de baja contaminación y el denominado 7 # 8 de acero con aluminio soldado, conocido como *aluminoweld*, que se utiliza como cable de guarda que se usa en zonas de contaminación media y alta.

Actualmente por diseño de comunicaciones y protección se está instalando cable de guarda con fibra óptica en su núcleo y las estructuras ya están siendo diseñadas y revisadas para soportar las nuevas condiciones de uso de este cable.

En las líneas se instalan dos cables de guarda tradicionalmente, de los cuales, en uno se instala el de fibras ópticas que en términos generales siempre es de acero con recubrimiento de aluminio soldado, el otro es cable de guarda convencional.

Tradicionalmente en las líneas de transmisión de alta tensión se han utilizado aisladores tipo suspensión de porcelana y vidrio templado, generalmente de 254 mm de diámetro y 146 mm de paso.

Existen en la Especificación aisladores de 112 kN de resistencia combinada, mecánica y eléctrica que se emplean en conjuntos de suspensión y tensión de 115 y 230 kV. Estos aisladores pueden ser:

Tipo normal que se usan en zonas de contaminación baja tanto en cadenas de suspensión como en cadenas de tensión.

Tipo niebla que se usan exclusivamente en cadenas de suspensión en zonas de contaminación media y alta.

Existen dos tipos de aisladores niebla:

1.- Niebla Normal con una distancia  
fuga de

C.  F.  E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SOBRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 4
	C.P.T.T.		DE 5

2. "Super niebla", con una distancia de fuga ampliada. Este es siempre de porcelana y hasta ahora únicamente es fabricado por una empresa Japonesa.

En las líneas de transmisión de 400 kV, en las cadenas de tensión se utilizan aisladores de suspensión de 160 kN de resistencia combinada mecánica y eléctrica en cadenas dobles y triples dependiendo de si el haz está formado por dos o tres conductores.

Cabe mencionar que los aisladores de 160 kN que aparecen en la Especificación hasta ahora son del tipo normal porque únicamente se utilizan en cadenas de tensión, sin embargo al emplearse actualmente hacen de 3 conductores por fase, éstos por su mayor masa requieren la utilización de este tipo de aisladores también en las cadenas de suspensión, por lo que se ha hecho necesario especificar aisladores de 160 kN tipo "Niebla" para zonas de contaminación media y alta, de acuerdo con los requerimientos de los proyectos de las líneas de transmisión.

Actualmente se tiene en proceso la adecuación de la Especificación para incluir los nuevos tipos de aisladores.

Existen Especificaciones que contienen la información necesaria, y los requerimientos que deben cubrir los fabricantes de herrajes y de conjuntos de herrajes para líneas de transmisión de alta tensión.

Los requerimientos en este caso varían de los que normalmente usan otras áreas de CFE, por ejemplo la Subdirección de Distribución, ya que estos herrajes están sometidos a condiciones de uso más severas, y por otro lado, su costo es bajo en comparación con los trastornos que puede ocasionar una falla de ellos.

Se ha restringido el uso de fierros y aceros fundidos en la manufactura de estos herrajes, se precisa la fabricación de herrajes forjados e con procedimientos que garanticen la alta confiabilidad que se requiere de ellos.

Se solicita siempre que sean libres de efecto corona, que sean adecuados para el mantenimiento de líneas energizadas, por lo que deben ser diseñados con las características necesarias para cumplir con estos requerimientos en líneas de transmisión de alta tensión.

La Especificación de Amortiguadores de Vibración tipo Stockbridge, contiene

G. F. E.	SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN	CURSO INTEGRAL  SORRE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	HOJA 5
	C.P.T.T.		DE <u>5</u>

tanto los requisitos de diseños de características de amortiguamiento como de fabricación y suministro de

estos dispositivos que juegan un papel verdaderamente importante en la confiabilidad y durabilidad de las líneas de transmisión.

Existen Especificaciones de Señalización de las Líneas de Transmisión, las cuales contienen tanto características de señalización como materiales y procedimientos de instalación, que indican cuando y donde instalar estos dispositivos.

Hay otras Especificaciones auxiliares, algunas solo de producto que se emplean como auxiliares en el suministro y proceso constructivo de la línea de transmisión.

Estas Especificaciones han sido elaboradas a lo largo de los años y en términos generales son anteriores al proceso actualmente vigente en la empresa, con gran apertura a los mercados internacionales.

Fueron elaboradas en su gran mayoría pensando e en combinación con los proveedores locales de los equipos y materiales, por lo que algunas de ellas aún adolecen de las restricciones

precisas necesarias para recibir materiales de productores externos al ambiente nacional, por lo que si hay cierta urgencia de someter todas ellas a un proceso estricto de revisión y adecuación a lo que las normas internacionales establecen y evitar caer en alguno de los dos extremos, (uno que ya se ha presentado) en que es tan rígida que no existe producto en el mundo que satisfaga sus requerimientos.

En otros casos se puede presentar que por omisiones de la Especificación no sea capaz CFE de rechazar un producto que no cumple con requisitos mínimos

de calidad que se requieren para un proyecto confiable de una línea de transmisión de alta tensión.



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

**DIPLOMADO EN "GERENCIA DE PROYECTOS"  
ICA - DECFI, UNAM**

Módulo IV "Construcción"  
Del 22 al 24 de Julio

**"CONSTRUCCION DE SUBESTACIONES"**

Ing. Heliodoro Serna Ramírez

Palacio de Minería, México 1999

## 1.- INTRODUCCIÓN.

Para atender la demanda de energía en el territorio nacional, la Comisión Federal de Electricidad planea, programa, proyecta y construye Centrales Generadoras, Subestaciones y Líneas de Transmisión:

Los aprovechamientos hidroeléctricos se localizan generalmente lejanos a los grandes centros de consumo. En cambio, las centrales termoelectricas pueden predeterminarse su localización lo mas cercano a los polos de desarrollo, sin embargo, ambos requieren su interconexión con otras centrales, por medio de subestaciones y líneas de transmisión que permita proporcionar cumplir con un servicio de energía de calidad.

Las subestaciones son instalaciones que permiten manejar y transformar la energía que va desde los puntos de generación hasta los grandes centros de consumo, durante este trayecto, la energía sufre varias transformaciones, en lo que a niveles de tensión se refiere.

## 2.- CLASIFICACIÓN DE SUBESTACIONES.

- Atendiendo la ubicación dentro de un sistema eléctrico las subestaciones se clasifican:
- **Subestaciones elevadoras:** las que se encuentran en las centrales generadoras, y aumentan el nivel de tensión por medio de un transformador.
- **Subestaciones de maniobra o switcheo:** que permiten formar nodos eléctricos, y operaciones de conexión y desconexión
- **Subestaciones reductoras:** que permiten reducir el nivel de tensión de la energía para su utilización industrial y domestica.
- **Subestaciones de enlace:** Cuando interconecte a una o varias subestaciones que sirven como respaldo, aumentando en conjunto sus Indices de confiabilidad
- **Subestación radial:** Cuando la alimentación proviene de una sola fuente.
- **Subestación en anillo:** Cuando su interconectado con otra subestación que a su vez están interconectadas entre sí.
- En función de los niveles de tensión la subestación se puede clasificar en:
- Subestaciones de extra alta tensión, 400 y 760 kV.
- Subestaciones de alta tensión, 230 kV.
- Subestaciones de mediana tensión, 115 kV y menores

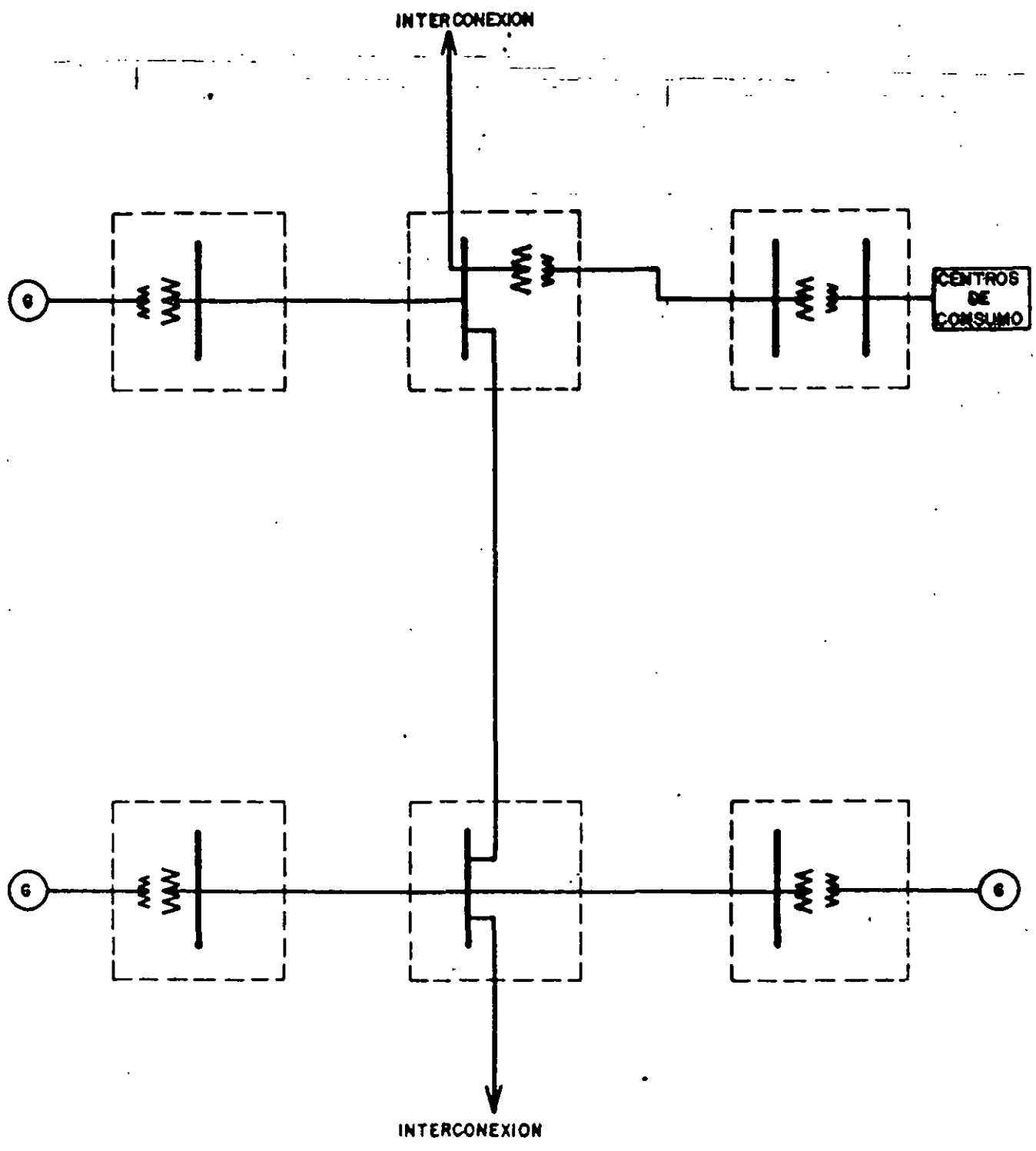


DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SISTEMA ELECTRICO

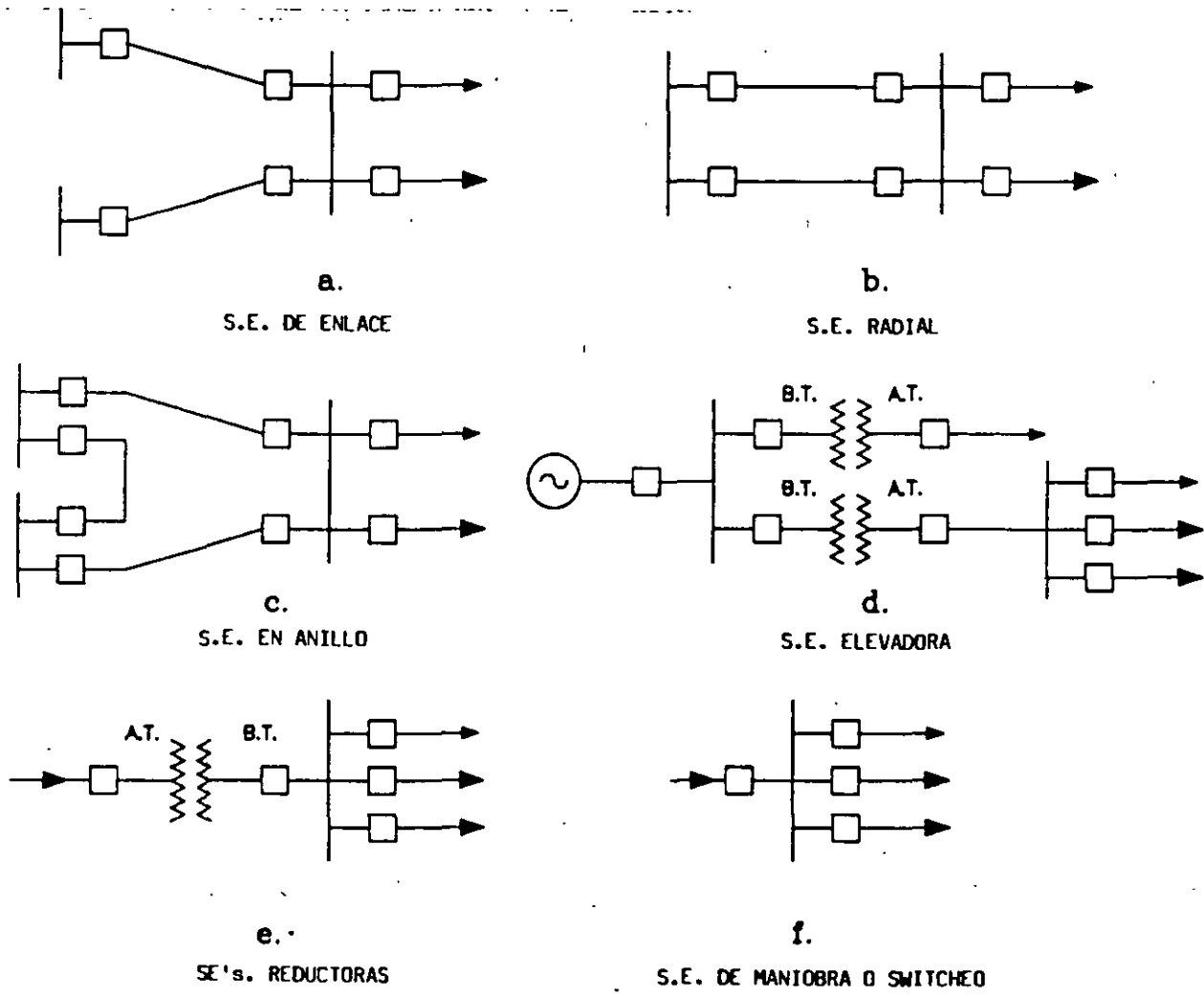


FIG.1 CLASIFICACION DE LAS SUBESTACIONES

### 3.- DISEÑO DE SUBESTACIONES.

Básicamente el diseño de subestaciones eléctricas consiste de la selección adecuada de cada uno de los elementos que la integran y su interconexión de varias maneras dependientes de los requerimientos funcionales y considera los siguientes factores:

- **Confiability.**
- **Continuidad de servicio,**
- **Flexibilidad en la operación.**
- Importancia de la instalación, tensión, potencia instalada.
- Cantidad de equipo eléctrico necesario.
- Facilidad para el mantenimiento.
- Posibilidad para ampliaciones. Selección de protecciones en distintas situaciones de operación.
- Costos de inversión.
- **Confiability.-** Es el índice de confianza que debe tenerse en la instalación y se relaciona con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y la manufactura de los equipos que la integran, los cuales deben desarrollarse con alto grado de control de calidad.
- **Continuidad de Servicio.-** Se refiere a la seguridad que puede tener el usuario de que el servicio contratado se proporcione con el menor número de interrupciones y cuya duración, cuando ocurra sea lo más corta posible.
- Para asegurar la continuidad del servicio deben seleccionarse disposiciones que logren crear alternativas de solución a las posibles fallas de algún elemento (equipo o conexión) de la subestación. Las disposiciones empleadas deben:
  - Tener capacidad de reserva en los bancos de transformación y en las barras, para hacer frente a la posible salida de servicio de cualquier alimentador de línea o banco.
  - Tener un sistema de protección automático que permita aislar con suficiente rapidez cualquier elemento fallado de la subestación y de las líneas.
  - Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto de la subestación.
  - Disponer de fuentes alternas para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
  - Tener los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones.
- **Flexibilidad.-** Es el factor que indica hasta donde puede una instalación cambiar sus condiciones normales de operación, ya sea por fallas, por mantenimiento, por modificación o por ampliación, sin afectar, o afectando lo menos posible, la continuidad del servicio.



- **Análisis de costos.**- La selección de arreglos de alta confiabilidad, continuidad y flexibilidad significa mayor costo e inversión inicial. El análisis de costos debe contemplar los siguientes aspectos fundamentales:
- Costo de equipos, costo del terreno, costo del proyecto, costo de obra, costo de operación, costo de mantenimiento, urgencia de la instalación y vida útil de los equipos (factores de depreciación)

#### 4.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO PRINCIPAL.

##### a) Transformadores de Potencia.

Se puede decir que el transformador de potencia es el aparato mas importante en una subestación y sirve para transformar o cambiar el nivel de tensión de la potencia instalada: 430/115, 230/115, 115/13.8 kilovolts y 13.800/220-127 Volts, es el valor de tensión de utilización doméstica y comercial.

La energía eléctrica se genera en 13800 Volts, por razones técnica-económicas para su transmisión se eleva de 13800 a 115, 230 ó 400 000 Volts, para recorrer grandes distancias y poder transmitir grandes bloques de energía, sin embargo a este nivel de tensión la energía no se puede comercializar, cuando llega a los centros de consumo la energía o potencia eléctrica se debe nuevamente transformada a niveles menores requeridos por los clientes.

##### b) Interruptores de Potencia.

Estos aparatos sirven para desconectar en forma inmediata y automática circuitos bajo condiciones de falla o bien accionados por un operador cuando así se desea, es decir, interrumpen la continuidad de los circuitos. Esto es importante porque asilan circuitos fallados, para que no contaminen a la parte sana de la instalación.

##### c) Cuchillas desconectoras.

Al igual que los interruptores sirven para conectar y desconectar circuitos pero sin carga y no deben operar en casos de falla. Sirven también para aislar circuitos del resto de la instalación ya sea para revisión o mantenimiento.

##### d) Transformadores de Instrumentos.

Los transformadores de instrumentos, sirven para reducir la tensión primaria de la instalación a tensiones o corrientes manejables en su lado secundario. Se utilizan para conectar a ellos aparatos de medición y protección. La medición sirve para detectar cuanto energía se recibe y cuanta se consume; los aparatos de protección reciben señales que utilizan a su vez para vigilar que los parámetros de corriente y tensión se mantengan en rangos previamente establecidos y de no ser así mandan la desconexión de los circuitos que fallan.

**e) Apartarrayos:**

Las instalaciones eléctricas, como cualquier tipo de instalación a la intemperie esta sujeta a descargar atmosféricas o rayos, sin embargo en las subestaciones por estar interconectadas por grandes líneas de transmisión, existe mayor probabilidad de que lleguen a ellas descargas originadas en otros puntos diferentes a su ubicación, es por eso que estas instalaciones se protegen a la entrada de las líneas contra descargas atmosféricas por medio de apartarrayos. Estos aparatos, sirven para drenar a tierra las sobretensiones y altas corrientes que acompañan a estos fenómenos.

**DEFINICIONES****PLAN MAESTRO DE PROYECTO**

- Es un documento que muestra un diagrama de flujo que indica la secuencia de actividades necesarias para la realización de un proyecto de LT o SE.
- Este plan comprende las actividades del proyecto a partir de su aprobación por el comité de programación de la CPTT hasta su entrega al Cliente.

**PLAN DE CALIDAD ESPECIFICO DEL PROYECTO TIPO OBRA O PAQUETE.**

Es un documento que establece la secuencia de actividades relacionadas con las prácticas relevantes de calidad para la realización de conjunto de obras o proyecto específico de LT y/o SE; en las actividades se señalan los responsables, los documentos del sistema de calidad que aplican y los recursos necesarios para establecer el plan.

- Plan de calidad específico de diseño y adquisiciones.
- Plan de calidad específico de construcción.
- Plan de calidad específico de pruebas y puesta en servicio.

**PROYECTO.**

Proceso único que consiste de un conjunto de actividades coordinadas y controladas con flechas de inicio y terminación para alcanzar un objetivo conforme a los requisitos especificados incluyendo las restricciones de tiempo y recursos. En la CPTT el proyecto incluye Diseño, Adquisiciones, Construcción y Puesta en Servicio.

**TIPOS DE PROYECTOS.**

- Líneas de Transmisión y/o Subestaciones por paquete.
- Líneas de Transmisión y/o Subestaciones por obra.

POISE

LISTADO DE OBRAS,  
PAQUETES Y ASIGNACION  
DE CLAVES  
NC7028

N7000

N7914

ACUERDOS  
CON EL CLIENTE

N7908

REVISION Y FIRMA  
DEL CONTRATO CON  
EL CLIENTE  
NC7003

VISITA  
TECNICA  
AL SITIO DE  
LA S.E.

N7910

### SELECCION DEL SITIO

SI

NO

REQUIERE  
SITIO O  
TIERRA  
ADICIONAL?

SELECCION DEL SITIO  
NC7025

N7650

GESTORIA PARA  
ADQUISICION O EXPROPIACION  
DEL TIERRA

LEVANTAMIENTO  
TOPOGRAFICO  
DE S.E.

N68305

N7851

ADQUISICION/  
EXPROPIACION DEL  
TIERRA S.E.

ANUENCIAS Y  
PERMISOS PARA  
CONSTRUCCION

OBTENCION DE LA  
AUTORIZACION  
AMBIENTAL  
DE SE

OBTENCION DE  
AUTORIZACION DE  
CAMBIO DE USO  
DE SUELO DE S.E.

ESTUDIOS DE  
REDENADA PARA  
SUBESTACIONES

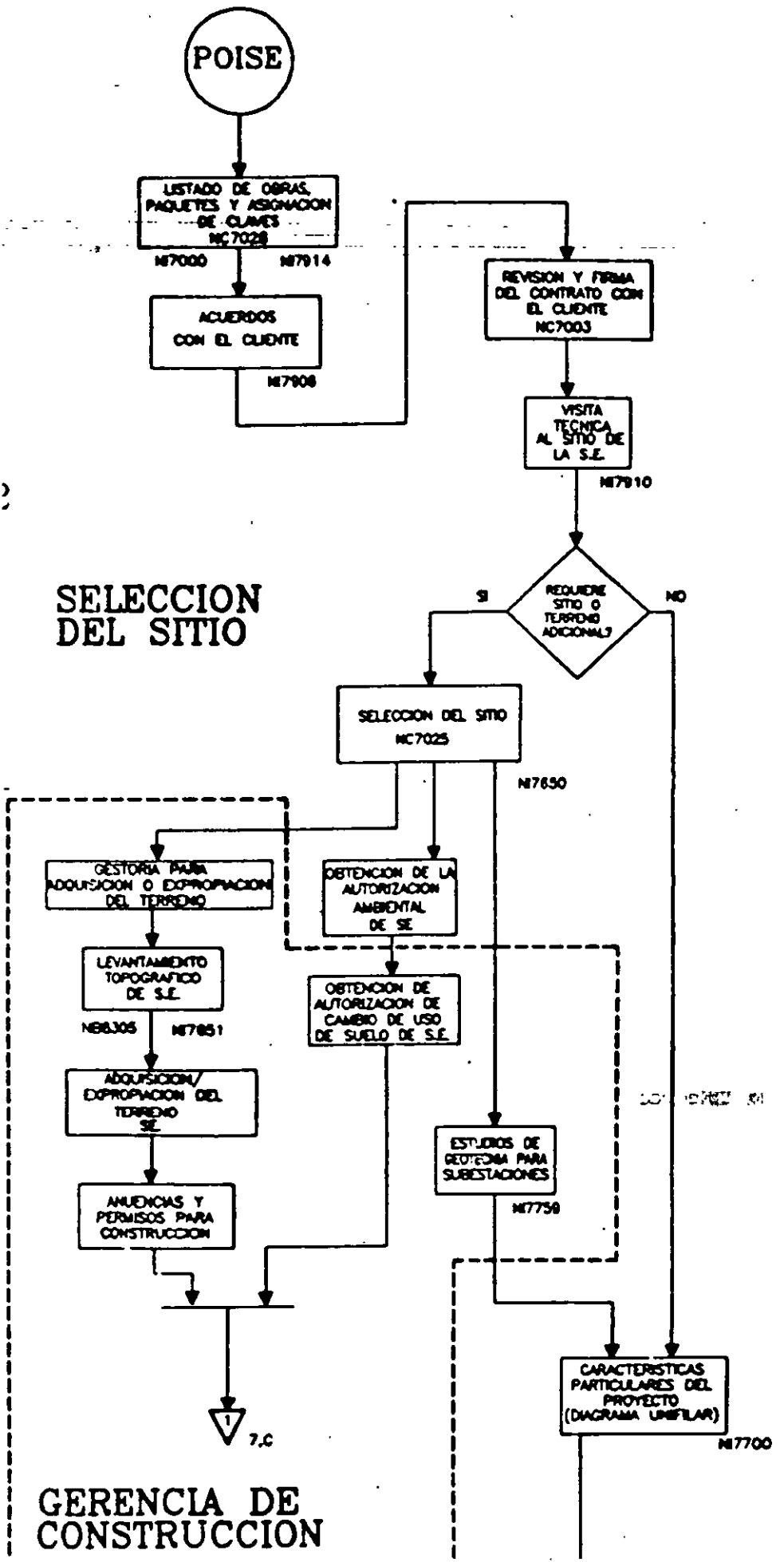
N7758

CARACTERISTICAS  
PARTICULARES DEL  
PROYECTO  
(DIAGRAMA UNIFILAR)

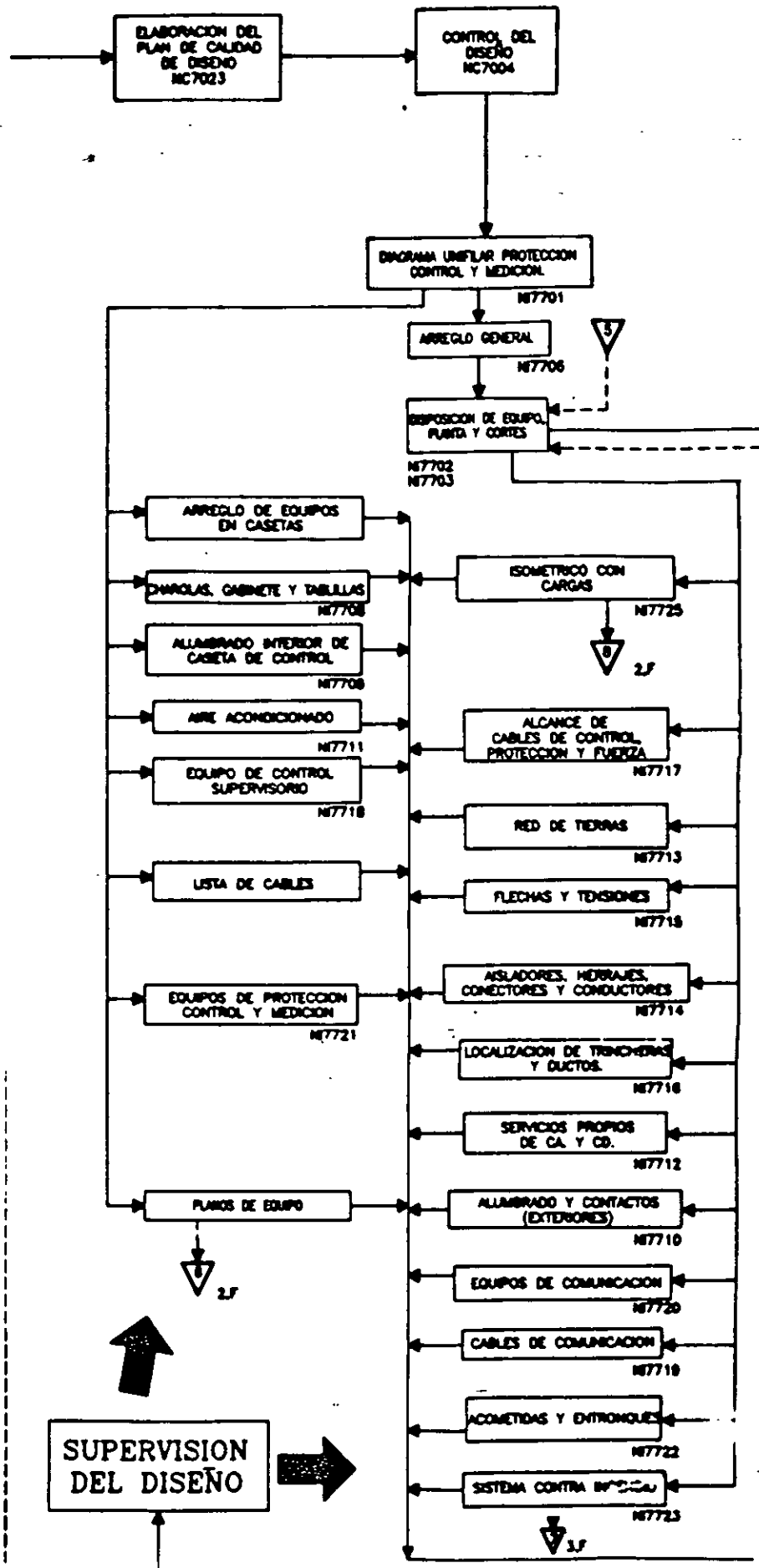
N7700

7.C

### GERENCIA DE CONSTRUCCION

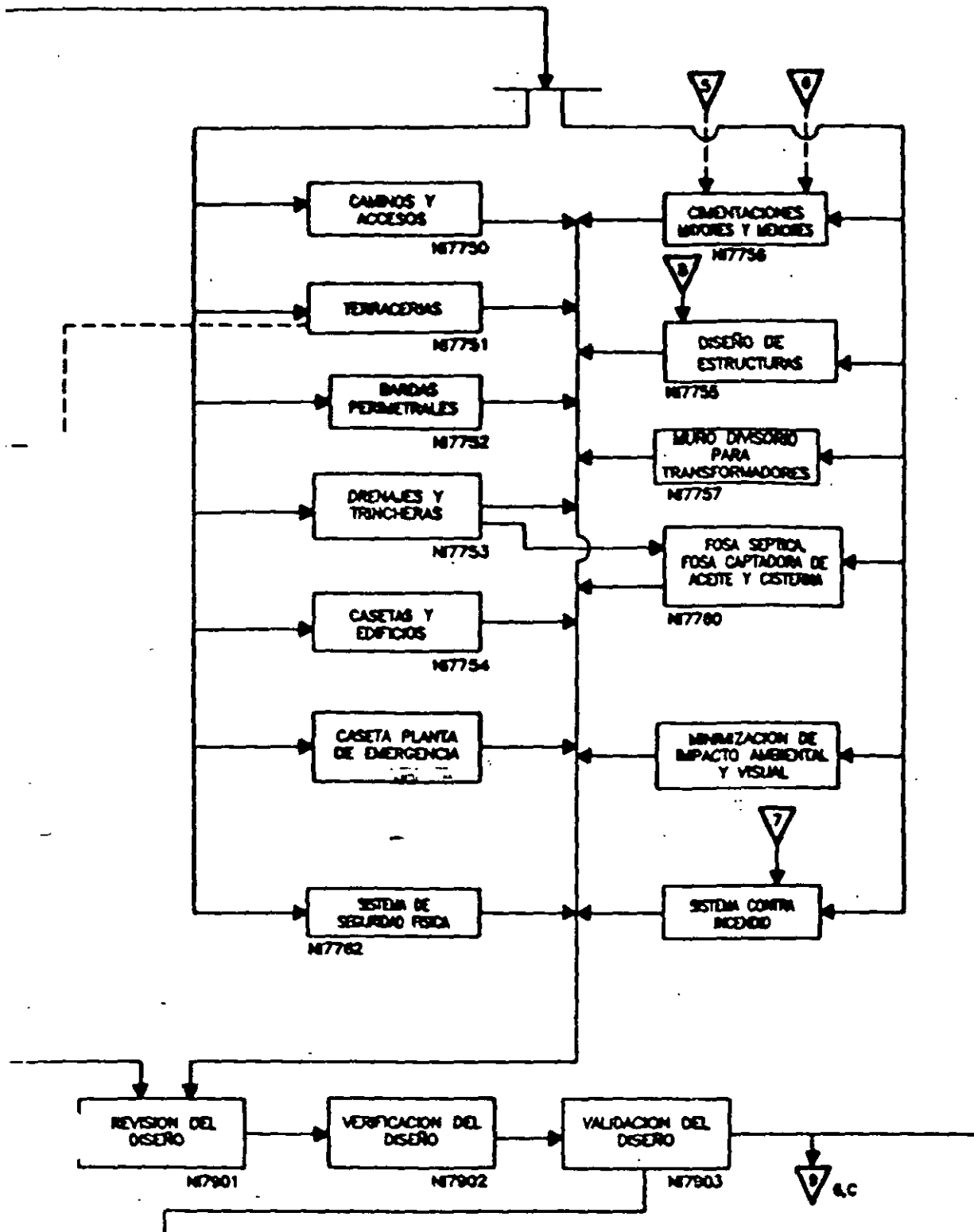


# REALIZACION DEL DISEÑO ELECTROMECHANICO

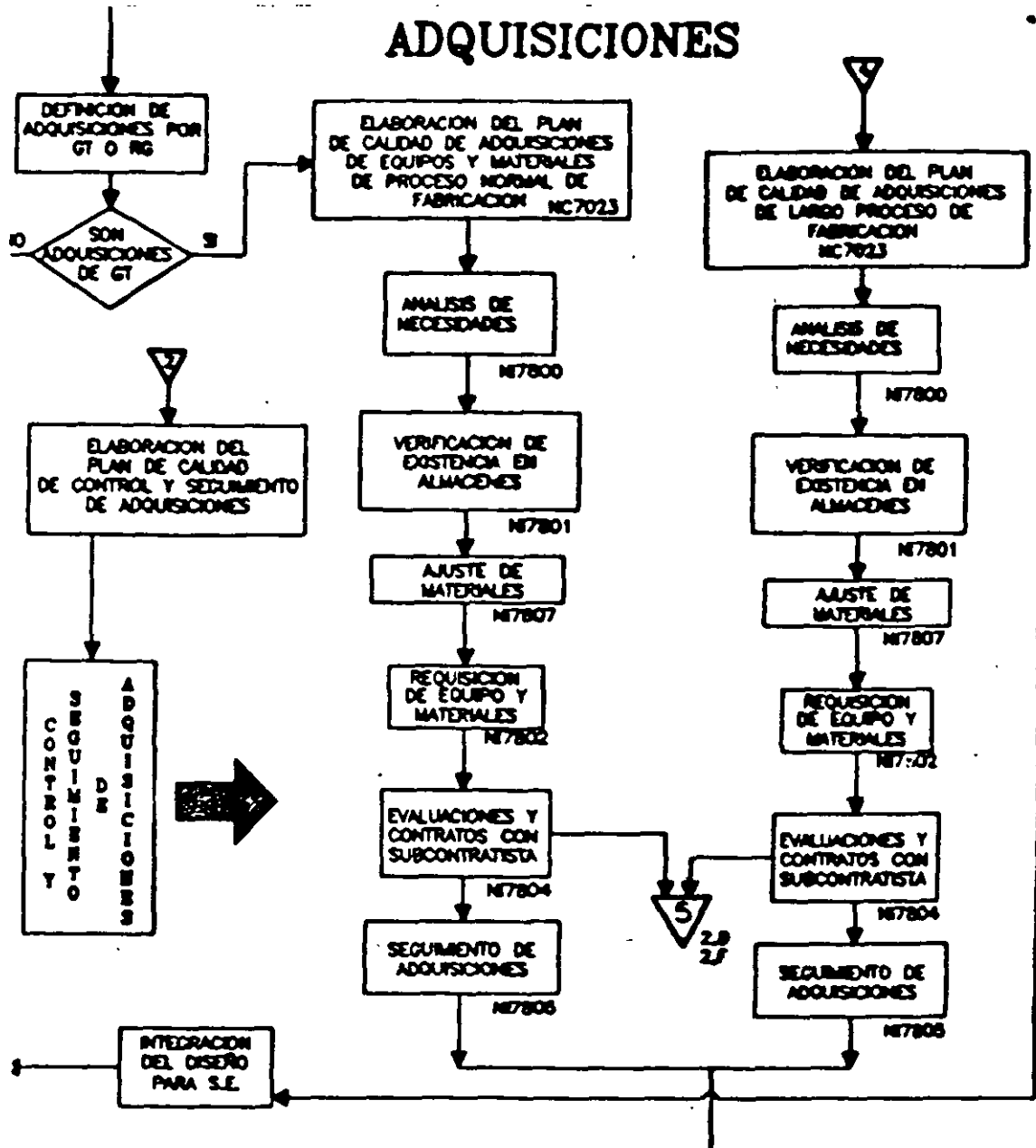


# GERENCIA TECNICA

## REALIZACION DEL DISEÑO CIVIL



# ADQUISICIONES



**SE's. ENCAPSULADAS EN SF<sub>6</sub>.**

- TECNOLOGIA MAS AVANZADA A NIVEL MUNDIAL.
- DISEÑO SUMAMENTE COMPACTO Y MODULAR
- ALTA CONFIABILIDAD.
- BAJO MANTENIMIENTO
- RAPIDA INSTALACIÓN
- INMUNIDAD A AGENTES EXTERNOS
- SEGURIDAD PARA EL PERSONAL

**CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SE's EN SF<sub>6</sub> EN ORDEN DE IMPORTANCIA.**

- ESPACIO
- CONTAMINACION
- COSTO



# **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES**

**ESPECIFICACIÓN PROVISIONAL  
CPTT-GT-002-95**

**ABRIL 1998**

**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN**



# CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1.	OBJETIVO.....	1
1.2.	LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS.....	1
1.3.	ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	1
1.4.	OBLIGACIONES.....	1
1.5.	DEFINICIONES.....	2
1.6.	MATERIALES Y EQUIPOS DE INSTALACIÓN PERMANENTE.....	2
1.7.	NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	2
1.8.	ABREVIATURAS.....	4
<b>2.</b>	<b>OBRA CIVIL.....</b>	<b>4</b>
2.1.	DESMONTE Y DESPALME.....	4
2.2.	TERRACERÍAS.....	5
2.3.	EXCAVACIONES PARA CIMIENTOS.....	7
2.4.	ANCLAJES PARA CIMENTACIONES EN ROCA.....	9
2.5.	CIMENTACIÓN CON PILOTES.....	10
2.6.	ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO.....	12
2.7.	CONCRETO EN CIMENTACIONES.....	13
2.8.	TRINCHERAS Y DUCTOS PARA CABLES.....	16
2.9.	SISTEMA DE DRENAJE.....	18
2.10.	RELLENO Y COMPACTADO.....	20
2.11.	CASSETAS Y EDIFICIOS.....	21
2.12.	BARDA PERIMETRAL.....	32
2.13.	PISOS TERMINADOS.....	34
2.14.	CAMINOS DE ACCESO EXTERIORES E INTERIORES.....	35
<b>3.</b>	<b>OBRA ELECTROMECÁNICA.....</b>	<b>36</b>
3.1.	MONTAJE DE ESTRUCTURAS MAYORES.....	36
3.2.	MONTAJE, TENDIDO Y CONECTADO DE BUSES.....	37
3.3.	MONTAJE DE TRANSFORMADORES Y REACTORES DE POTENCIA.....	38
3.4.	MONTAJE DE INTERRUPTORES DE POTENCIA.....	44
3.5.	MONTAJE DE CUCHILLAS DE POTENCIA.....	46
3.6.	MONTAJE DE EQUIPO MENOR.....	48
3.7.	MONTAJE DE TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN.....	49
3.8.	MONTAJE DE TABLEROS DE SERVICIOS PROPIOS.....	50
3.9.	MONTAJE DE BANCOS Y CARGADORES DE BATERÍAS.....	51
3.10.	TENDIDO Y CONECTADO DE CABLE DE CONTROL.....	54
3.11.	INSTALACIÓN DE FUERZA Y ALUMBRADO EXTERIOR.....	56
3.12.	COLOCACIÓN DEL SISTEMA DE TIERRAS.....	57



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 1 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**1. GENERALIDADES.**

**1.1. OBJETIVO.**

Estas especificaciones tienen por objeto establecer los requerimientos generales que deben satisfacerse en la construcción de Subestaciones de Potencia, en la Comisión Federal de Electricidad.

**1.2. LOCALIZACIÓN DE LAS OBRAS.**

Las construcciones de Subestaciones estarán localizadas dentro del Territorio Nacional y su ubicación se define de acuerdo al plano de localización que se anexa dentro de la información general.

**1.3. ALCANCE DE LOS TRABAJOS.**

Estas especificaciones establecen los lineamientos necesarios para construir y cuantificar los trabajos que será necesario ejecutar en las Subestaciones Eléctricas, con base en el proyecto específico de cada obra y a los planos de diseño generados.

**1.4. OBLIGACIONES.**

El Contratista ejecutará las obras de acuerdo con lo estipulado en las Especificaciones particulares, Normas de Construcción, en el plazo establecido y ajustándose al programa de trabajo autorizado y a lo establecido en el Contrato o Acuerdo de Obra.

Para la determinación de los precios unitarios, el Constructor aplicará como mínimo el tabulador del SUTERM y utilizará los precios vigentes de materiales, equipo y maquinaria de acuerdo a lo indicado en el Artículo 34 párrafo IV del Reglamento de la Ley de Obras Públicas.

El Contratista debe conocer los conceptos en que se divide la obra y las eventualidades que implica su realización; teniendo cuidado en observar lo siguiente:

- a) La topografía del terreno y su influencia en el proyecto y construcción de la obra.
- b) Condiciones climatológicas de la región y su influencia durante la construcción y vida de la obra.
- c) Sondeos hechos para ayudarse a determinar el tipo de material en las excavaciones y problemas potenciales de construcción por condiciones de acceso y del subsuelo.
- d) Los niveles freáticos, su influencia en la construcción y en el comportamiento de la obra.
- e) Mano de obra de la región, costo de los materiales y equipo que se empleará para construcción.
- f) Acceso al sitio de la Subestación, construcción o mejora, conservación durante la construcción y operación garantizada durante la vida de la obra.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 2 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

El Contratista construirá o habilitará por su cuenta bodegas, campamentos, oficinas adecuadas, etc., y será el único responsable ante las autoridades y terceros del incumplimiento de las disposiciones Federales, Estatales Municipales y de los daños que su personal cauce a terceros.

El Constructor proporcionará todos los elementos y materiales de construcción y de consumo necesarios para la ejecución de la obra, incluyendo su almacenaje y movimientos locales hasta los sitios de utilización.

El Contratista es el responsable de tramitar y cubrir los gastos necesarios ante las autoridades municipales, estatales o federales correspondientes, para la disposición de los materiales de desperdicio o excedentes.

En la determinación de los precios unitarios de los conceptos de obra, se debe considerar el transporte de materiales, almacenamiento, costo directo, indirecto, financiamiento y utilidades en su caso.

Una vez terminada la construcción de la obra, se efectuará una revisión final realizando pruebas al material y equipo instalado; el Constructor está obligado a efectuar las reparaciones necesarias cuando se requieran, sin costo adicional para Comisión Federal de Electricidad.

### 1.5. DEFINICIONES.

Para fines de estas Especificaciones, el término "SUPERVISOR" corresponde al organismo de supervisión que el Contratista designe para la vigilancia y control de calidad de los trabajos, la observación de las normas y especificaciones. El "SUPERVISOR" debe entregar un reporte técnico a Comisión Federal de Electricidad de cada una de las actividades realizadas en la construcción de las obras del alcance del Contrato.

### 1.6. MATERIALES Y EQUIPOS DE INSTALACIÓN PERMANENTE.

En lo referente a cementos, agregados, acero de refuerzo, tabiques, piedras o cualquier otro material que se emplee en la construcción de la Subestación, serán proporcionados por el Constructor; apegándose a las Normas de Calidad establecidas.

Una vez terminada la construcción de estas obras, deben hacerse pruebas a los equipos instalados para su puesta en operación, apegándose a los lineamientos establecidos en el Manual de Puesta en Servicio de Subestaciones de Potencia, obligándose el Constructor a hacer las correcciones necesarias hasta la aprobación total por parte de la Comisión.

Este cuadro formará parte de la Acta de Recepción de la Obra.

### 1.7. NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

La construcción de estas obras se ajustará a las recomendaciones establecidas en las Normas y Especificaciones siguientes:

#### *Especificaciones C.F.E.*

CFE L0000-11

Empaque, embarque, recepción, manejo y almacenamiento de bienes adquiridos por CFE.

CFE 00JL0-20

Protección catódica

CFE D8500-01

Anticorrosivos



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 3 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

CFE D8500-02	Recubrimientos
CFE.CPTT-CON01	Fabricación y colocación de concretos en estructuras de subestaciones y líneas de transmisión.
CPTT-SISF01	Lineamientos y Especificaciones Generales de Sistemas Integrales de Seguridad Física para Subestaciones

**Normas**

ASTM-C 150	Cemento Portland de cualquier tipo
ASTM-C 595	Cemento Portland puzolánico
ASTM-C 33	Especificaciones para agregados de concreto
ASTM-C 31	Fabricación y curado de especímenes de concreto en campo
ASTM-C 39	Ensayo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto en campo
ASTM-C 143	Revenimiento del concreto
ASTM-C 309	Membrana de curado
ASTM-C 494	Aditivos químicos para concreto
ASTM A615/A615M Rev.B-1992	Standard Specifications for Deformed and plain Billet Steel Bars for Concrete Reinforcement
NOM-B-6	Especificaciones para varillas lisas y corrugadas de lingote o panquilla para refuerzo de concreto. Norma Oficial Mexicana
ASTM A36/A36M-1991	Standard Specification for Structure Steel

**Reglamentos**

ACI-318	Reglamento de Construcciones de Concreto Reforzado
ACI-347	Práctica recomendada para cimbras
RECOMENDACIONES	Fabricante de Transformadores de potencia, Interruptores, Cuchillas, Tableros, Transformadores de corriente, Trampas de Onda, etc.
PROCEDIMIENTOS SGP-A006-S GERENCIA DE GENERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Procedimiento para secado de Transformadores de potencia
PROCEDIMIENTOS SGP-A008-5 GERENCIA DE GENERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Procedimiento para pruebas de baterías tipo plomo ácido
Puesta en Servicio	Manual de Puesta en Servicio de Subestaciones de Potencia

**Nota:**

En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados, debe tomarse en cuenta la última edición en vigor o la última edición en la fecha de la apertura de las ofertas de la Licitación, salvo que la CFE indique otra cosa.

El Licitante puede sugerir la utilización de otras normas cuando sean equivalentes o mejores que las señaladas, debiendo adjuntar una tabla comparativa entre la norma propuesta y las mencionadas, y demostrar que el cambio no afecta la seguridad y la calidad del trabajo. CFE se reserva el derecho de aprobar la propuesta.

El Contratista debe cumplir con lo establecido en el Manual de Seguridad para la construcción de Subestaciones Eléctricas y Líneas de Transmisión de Comisión Federal de Electricidad.

La Comisión Federal de Electricidad se reserva el derecho de especificar los volúmenes o tomos que no correspondan a las Normas, Recomendaciones y Especificaciones citadas.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 4 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

### 1.8 ABREVIATURAS.

Las abreviaturas empleadas en estas especificaciones son:

CFE	Comisión Federal de Electricidad
CPTT	Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación.
NOM	Norma Oficial Mexicana
ACI	American Concrete Institute
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials

### 2. OBRA CIVIL.

#### 2.1. DESMONTE Y DESPALME.

##### 2.1.1. DESCRIPCIÓN.

El desmonte y despálme consiste principalmente en limpiar de maleza y retirar la capa vegetal en el espesor total, el cual debe indicarse en el plano de proyecto de terracerías, abarcando una área igual a la que presente el arreglo general de la subestación más la necesaria para los accesos perimetrales, y tiene como objetivos principales:

- Facilitar los trabajos durante el proceso de construcción, y asegurar la estabilidad de las terracerías.
- Evitar en lo posible el desarrollo de maleza en todo el predio.

##### 2.1.2. DISPOSICIONES.

Las dimensiones del terreno estarán delimitadas por mojoneras.

El Contratista debe verificar la posición de las mojoneras con los planos de deslinde que se le entregarán; si existe alguna diferencia, deberá reportarla a la Comisión.

El Contratista podrá hacer el desmonte a mano o empleando maquinaria; el despálme se ejecutará con maquinaria, removiendo la capa vegetal del terreno.

Los materiales de desperdicio producto del desmonte y despálme se concentrarán fuera del predio de la Subestación, en los bancos de desperdicios autorizados por las dependencias municipales correspondientes, y será responsabilidad del Contratista su manejo y disposición final.

El Contratista está obligado a conservar libre de maleza y razonablemente limpio todo el predio, hasta la recepción final de la obra.

##### 2.1.3. TOLERANCIAS.

Entre los centros de la mojoneras que delimiten el terreno de la Subestación, se aceptará una variación máxima de 5 mm, en distancia horizontal. Cualquier variación será reportada a la Comisión, quien indicará lo procedente.



## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

### **2.1.4. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será el m<sup>2</sup> de acuerdo a las dimensiones del proyecto, con aproximación al centésimo.

### **2.1.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

- a) Deslinde del terreno.
- b) Desmante con maquinaria ó a mano.
- c) Despalme con maquinaria.
- d) Remoción y disposición final en los bancos de desperdicio de los productos del desmante.
- e) Reparación de todos los daños ocasionados a terceros imputables al Contratista.
- f) Actividades de conservación del predio durante la construcción.

## **2.2. TERRACERÍAS.**

### **2.2.1. DESCRIPCIÓN.**

Las terracerías consisten en hacer cortes y rellenos, conformación y revestimiento de taludes, cunetas, contracunetas, que eviten riesgos de inundación al terreno donde se construye la Subestación, formando plataformas y terraplenes compactados de acuerdo a cotas de nivel y dimensiones establecidas en los planos de proyecto. Su construcción podrá ser en cualquier tipo de material, el cual depende de la topografía y de las condiciones ambientales de cada sitio en particular.

### **2.2.2. DISPOSICIONES.**

Los materiales sobrantes de terracerías deberán retirarse del predio hasta los bancos de desperdicio aprobados por las autoridades municipales correspondientes.

Una vez que las terracerías hayan alcanzado las líneas, niveles y perfiles establecidos, el Constructor notificará al "SUPERVISOR" para su revisión.

### **2.2.3. EJECUCIÓN.**

Antes de iniciar las terracerías se removerán todos los materiales inestables, frágiles o inadecuados que existan en la zona y sanear el terreno mediante drenaje o estabilización de suelos.

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán siguiendo un sistema de ataque que facilite el drenaje del corte y garantice la estabilidad de la excavación. Especial cuidado debe tenerse en terrenos de baja resistencia y en zonas con alta precipitación pluvial o de alta concentración de agua.

El Contratista basado en estudios de mecánica de suelos, proporcionará al Supervisor una secuencia de compactación para los materiales que se utilizarán como relleno.

- Establecerá una cota de piso terminado.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 6 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

- Los terraplenes se construirán por capas horizontales, con espesor de 20 cm de material suelto que se compactará hasta alcanzar el grado de compactación fijado por el proyecto y especificado en el informe de mecánica de suelos, y que en ningún caso debe dar un peso volumétrico seco menor a  $15,7\text{kN/m}^3$  (1,6 Ton/m<sup>3</sup>).
- En lo más que sea posible, los materiales obtenidos de los cortes se emplearán en la formación de los terraplenes; cuando la calidad del material excavado no sea el adecuado o exista material excavado en exceso al de los terraplenes, se colocará en los bancos de desperdicio aprobados por las autoridades municipales correspondientes.
- Todo material de relleno para terraplenes que se pretenda usar, ya sea del propio material de excavación o de bancos de préstamo; serán aprobados por el "SUPERVISOR", así como la ruta que tomará para su acarreo.
- En la construcción de terraplenes, el Constructor debe tener en cuenta tanto la deformación propia del terraplén como los asentamientos del terreno de cimentación hasta el término del período de construcción y de operación de la obra según lo señalen los planos de proyecto aprobados para construcción.

#### 2.2.4. TOLERANCIAS.

Para dar por terminada la construcción de las terracerías, incluyendo su afine, se verificarán líneas y niveles, los cuales deben quedar comprendidos dentro de las tolerancias siguientes:

- Al colocar sobre el piso terminado una regla de 5 m de longitud, las depresiones observadas no deberán sobrepasar de 2.5 cm.
- Las longitudes no deberán ser mayores o menores de 5 cm a las indicadas en el proyecto.

#### 2.2.5. MEDICIÓN.

Este concepto se medirá tomando como unidad el metro cúbico con aproximación al décimo de acuerdo a los volúmenes obtenidos en las secciones transversales del terreno, sin considerar abundamientos.

#### 2.2.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

Los precios unitarios incluyen las operaciones y cargos siguientes:

- a) Trazo de líneas, niveles y estacados.
- b) Saneamiento del terreno de desplante mediante drenaje, remoción y/o estabilización de suelos.
- c) Cortes en terreno a la profundidad indicada en los planos de proyecto, incluyendo explosivos, maquinaria, herramienta, materiales, afine de taludes y bombeo en su caso.
- d) Formación de terraplenes compactados integrados con materiales procedentes de la excavación o de bancos de préstamo, incluyendo exploración, muestreo, estudio, explotación y acarreo de material.
- e) Suministro y aplicación de agua para lograr la humedad óptima.
- f) Colocación, extendido y compactación en capas del material.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 7 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

- g) Acarreo de material sobrante o inadecuado hasta los bancos de desperdicio definidos y aprobados por el Contratista.
- h) Conservación de la ruta para la transportación de materiales de préstamo.
- i) En el caso de que los cortes se encuentre material tipo III se debe considerar en el precio el uso de explosivos y equipo necesarios; el precio de excavación de este material debe ser igual al considerado para el mismo material en el concepto excavaciones para cimientos.

### 2.3. EXCAVACIONES PARA CIMIENTOS.

#### 2.3.1. DESCRIPCIÓN.

Las excavaciones a cielo abierto son las que se efectúan para formar la sección de desplante de las cimentaciones de las estructuras y equipos y se ubican de acuerdo a los planos del proyecto.

#### 2.3.2. DISPOSICIONES.

Dentro del concepto se considera el trazo y realización de las excavaciones de acuerdo con los planos de proyecto para las cimentaciones de Estructuras metálicas, Aisladores soporte, Transformadores o Reactores de Potencia, muros divisorios, Interruptores y Cuchillas de Potencia, equipo menor (T.C., T.P., D.P., Pararrayos etc Bancos de Capacitores, casetas y edificios.

Se deben colocar mojoneras en los ejes longitudinales y transversales al terreno de la Subestación, así como un banco de nivel que servirá de base para el trazo de los cimientos.

#### 2.3.3. EJECUCIÓN.

El Constructor debe verificar los trazos, líneas, niveles y estacados que sean necesarios para ejecutar correctamente los trabajos proyectados.

El Constructor es responsable de la conservación y reposición de las mojoneras, referencias y bancos de nivel.

Cuando las características del terreno al nivel del desplante fijado sean diferentes a las previstas en el proyecto y a juicio de el "SUPERVISOR" convenga profundizar la excavación, ésta debe incrementarse lo necesario sin variar el precio unitario indicado en el catálogo.

Para determinar el costo de las excavaciones, se considerarán los siguientes tipos de materiales:

- MATERIAL TIPO I: Se entenderá por tal, al producto de las excavaciones que se pueda extraer con pala de mano.
- MATERIAL TIPO II: Se entenderá por tal, al producto de las excavaciones que para su extracción se requiera el uso de pico y pala de mano.
- MATERIAL TIPO IIA: Se entenderá por tal, al producto de las excavaciones, que contenga boleo y material compactado y que para su extracción se requiera el uso de barretas o rompedoras.
- MATERIAL TIPO III: Se entenderá por tal, al producto de excavación que para su extracción se requiera uso de explosivos.





## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 8 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

Los porcentajes en el tipo de material (Tipo I, II, IIA y III) que utilice el Constructor para determinar el precio unitario único en las excavaciones, será bajo su responsabilidad por lo que no será motivo de ajustes posteriores.

El fondo y las paredes de las excavaciones deberán quedar formando una superficie limpia de material suelto y/o inestable.

Durante el proceso de excavación, el material producto de la misma se podrá depositar alrededor dejando cuando menos 1.00 m libre entre los límites de excavación y el pie de talud del borde formado, con el fin de evitar derrumbe del material al interior de la excavación.

Cuando se autorice el uso de explosivos para ejecutar estas excavaciones, su empleo estará condicionado a evitar el fracturamiento y alteración del terreno más allá de la sección teórica fijada. El uso y método de empleo de explosivos deberán someterse a la aprobación del "SUPERVISOR".

En ningún caso la profundidad de las excavaciones serán menores que las indicadas en los planos del proyecto.

Cuando para ejecutar las excavaciones se requieran explosivos, ademe, ataguía y/o bombeo, el Contratista suministrará los materiales, equipo y mano de obra necesarios.

En todos los casos en que se haga necesario el uso de explosivos, debe el Contratista tomar todas las precauciones necesarias para la protección del público, de los trabajadores, de las obras mismas y de las propiedades públicas y privadas. Cualquier daño ocasionado por el uso de explosivos será de la responsabilidad del Constructor.

Los permisos para la obtención de explosivos serán tramitados por el Constructor y debe acatar las disposiciones de la Secretaría de la Defensa Nacional, en cuanto a la obtención, almacenamiento y uso de explosivos.

El Contratista deberá tomar las medidas necesarias para evitar que las excavaciones puedan originar daños a personas, poniendo señales adecuadas.

#### 2.3.4. TOLERANCIAS.

La profundidad de las excavaciones no sobrepasará en más de 5 cm en terrenos suaves y medios, y en terreno rocoso en más de 20 cm.

En caso de que la profundidad de la excavación sobrepase la tolerancia indicada, debe rellenarse hasta el nivel teórico, garantizando un apoyo seguro para la cimentación.

Se aceptará una tolerancia de 10 cm en exceso por lado para facilitar los trabajos, sin que el volumen cubierto por esta franja sea motivo de estimación.

Para dar por terminada la excavación que haya sido necesaria ejecutar, se verificarán trazos, niveles y acabados.

#### 2.3.5. MEDICIÓN.

La unidad de medida es el metro cúbico con aproximación al centésimo y los volúmenes se cuantifican a partir de las dimensiones indicadas en los planos de proyecto.



**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

**2.3.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

- a) Trazos de líneas, niveles y estacados.
- b) La excavación en cualquier tipo de material (Tipo I, II, IIA ó III), incluyendo explosivos, materiales, afine, ademes, taludes, bombeo y sobre excavaciones.
- c) Limpieza general del sitio de excavación y zonas adyacentes.
- d) Tramitación y obtención de permisos para adquisición, transporte y uso de explosivos, cuando se requiera.
- e) Acarreos de material sobrante de las excavaciones hasta los bancos de desperdicios aprobados por las autoridades municipales correspondientes.

**2.4. ANCLAJES PARA CIMENTACIONES EN ROCA.**

**2.4.1. DESCRIPCIÓN.**

Son los elementos que se construirán donde lo marque el proyecto aprobado, con objeto de dar a las cimentaciones de concreto reforzado, la debida fijación que requieren al suelo rocoso.

**2.4.2. EJECUCIÓN.**

El Contratista deberá someter a la aprobación de CFE el equipo, herramientas y método constructivo que pretenda aplicar en la ejecución de este concepto.

Nivelación de la superficie de desplante mediante cortes y colado de una plantilla de concreto simple; una vez que la plantilla haya alcanzado la resistencia necesaria, se procederá a efectuar la perforación de los barrenos para anclaje hasta la profundidad que marque el proyecto. En caso de encontrarse roca con características de menor calidad a las consideradas en el diseño, deberá reportarse al "SUPERVISOR", quien debe tomar las acciones convenientes.

Posteriormente a la barrenación, debe saturarse la perforación a fin de evitar pérdida de agua del mortero y retirar al mismo tiempo las partículas de material suelto.

El mortero deberá diseñarse para una resistencia de  $f'c = 19,6 \text{ MPa}$  ( $200 \text{ kg/cm}^2$ ) con aditivo expansor. En la tabla siguiente se presenta un proporcionamiento tentativo para la elaboración del mortero. La calidad de éste dependerá de los materiales usados, por lo que el Constructor deberá comprobar su resistencia y presentar sus resultados y el proporcionamiento adecuado.

**2.4.3. MATERIALES.**

PROPORCIONAMIENTO TENTATIVO PARA MORTERO		
MATERIALES	PROPORCIÓN UNITARIA EN VOLUMEN	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PARA 50 KGS DE CEMENTO
Arena fina pasada por malla No. 16 (1.19 mm)	1.5 partes	50.0 litros
Agua	0.9 partes	30.0 litros
Cemento	1.0 partes	50.0 kilogramos
Aditivo expansor	1% del cemento en peso	



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 10 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

El mortero debe colocarse dentro de la perforación por medio de una manguera para depositarlo en el fondo e ir avanzando hacia arriba desplazando el agua previamente introducida.

Se procederá a introducir el ancla dentro de la perforación procurando que quede perfectamente centrada dentro de la misma. Las varillas deben encontrarse protegidas con pintura anticorrosiva a la altura del contacto concreto-roca.

#### 2.4.4. MEDICIÓN.

La unidad de medida será el metro lineal de ancla terminada a satisfacción de CFE, tomando como base la longitud de empotramiento en roca.

#### 2.4.5. TOLERANCIAS.

Variaciones en la verticalidad: no mayor de 6 mm.

Variaciones del alineamiento entre ejes de proyecto: no mayor de 6 mm.

#### 2.4.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

- a) Acarreo, carga y descarga de todos los materiales que intervengan.
- b) Regulación y nivelado del terreno con plantilla de concreto simple.
- c) Perforación de la roca.
- d) Limpieza y saturación de la perforación.
- e) Suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo para anclas, incluyendo gancho y longitud de anclaje.
- f) Suministro, preparación y colocación de mortero incluye: proporcionamiento y pruebas.
- g) Mano de obra, materiales y equipo requerido.
- h) Prueba de anclas.
- i) Tiempo de los vehículos, maquinaria y herramienta empleada en la ejecución.

### 2.5. CIMENTACIÓN CON PILOTES.

#### 2.5.1. DESCRIPCIÓN.

Se refiere al conjunto de elementos dotados de punta, que se deberán hincar en los puntos que indique el proyecto, con objeto de transmitir el peso del edificio hacia un estrato de suelo más resistente.

#### 2.5.2. EJECUCIÓN.

Los pilotes serán de concreto reforzado o tubo de acero galvanizado de pared gruesa con su extremo inferior cerrado adaptándole una zapata de hincado, rellenando el tubo con concreto una vez hincado. En caso de



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 11 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

requerirse el hincado por tramos para alcanzar el estrato resistente, éstos deberán empalmarse axialmente de acuerdo a las recomendaciones señaladas por el diseño o proyecto.

El Contratista someterá a revisión y aprobación en su caso por parte del "SUPERVISOR" el procedimiento de hincado que se proponga seguir, ilustrando además, las características técnicas del equipo y/o maquinaria propuestas, así como la disposición de ésta durante las maniobras. Cualquier aprobación que el "SUPERVISOR" emita, no releva al Contratista de su responsabilidad por la seguridad o practicabilidad de los métodos, equipos y/o maquinaria de su proposición y tampoco por la ejecución de los trabajos de conformidad con los planos, especificaciones, acuerdos de obra y programa de trabajo autorizado.

Los pilotes de tubo deberán protegerse por fuera con algún recubrimiento anticorrosivo antes de hincarlos, o con protección catódica, especificando el contenido de cobre en la aleación del acero, de conformidad en todo caso con lo que establezca el proyecto.

Todos los pilotes deberán marcarse con señales distantes a cada metro, a partir de la punta, con objeto de registrar la resistencia del terreno a la penetración durante el hincado. Estas marcas deberán ser perfectamente visibles para poder contar el número de golpes requeridos para penetrar cada metro, anotándolo en las formas de registro correspondientes.

La localización en el terreno se definirá cuando el pilote se coloque en su posición de hincado. El alineamiento se controlará observando si el pilote está realmente vertical al iniciar el hincado. Durante el hincado, los pilotes deberán cubrirse con un casco o gorro que permita distribuir uniformemente el golpe del martillo en la cabeza del pilote, estando dicho casco axialmente al hincado con el martillo y con el pilote.

El concreto para pilotes precolados debe ser por lo menos de 29,4 MPa (300 kg/cm<sup>2</sup>), en tanto que el concreto para rellenar pilotes de tubo debe ser 19,6 MPa (200 kg/cm<sup>2</sup>).

#### 2.5.3. MEDICIÓN.

La unidad de medida será el METRO LINEAL de pilote con su recubrimiento anticorrosivo y relleno de concreto, hincado a satisfacción del "SUPERVISOR".

#### 2.5.4. TOLERANCIAS.

- Se usarán preferentemente pilotes de una sola longitud, evitando demasiado empalmes.
- Variación centro a centro de pilotes: 0.03 metros en cualquier dirección.
- Variación en la elevación de la cabeza del pilote con respecto a la indicada en el proyecto  $\leq$  0.10 metros.
- Desviación máxima del pilote respecto a la vertical: 2 %.
- No se permitirá corregir la localización y/o el alineamiento una vez iniciado el hincado, en tal caso deberá extraerse. Las correcciones que se requieran incluyendo los trabajos que de ellas se deriven, correrán por cuenta del "Constructor" sin cargo alguno para la Comisión.

#### 2.5.5. CARGOS Y OPERACIONES INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

- a) Fabricación de pilotes de concreto precolados.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 12 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

- b) Suministro, carga, acarreo, descarga y manejo de todos los materiales que intervienen (tubos, anticorrosivos en su caso, zapata de hincado, camisa de empalme, soldadura, concreto, etc.).
- c) Transporte de pilotes precolados o de tubo al sitio de hincado.
- d) Aplicación de recubrimiento anticorrosivo (pintura o protección catódica en su caso).
- e) Localización en el terreno del centro de hincado.
- f) Ajustes y alineamientos requeridos antes del hincado.
- g) Maniobras de izaje e hincado, incluyendo colocación de zapata de hincado para el caso de pilotes de tubo.
- h) Empalmes de tubería o de pilote que se requieran.
- i) Colado de concreto mediante método tremie cuando así lo considere el diseño.
- j) Descabece y preparaciones necesarias en la cabeza del pilote para su anclaje con la cimentación de concreto.
- k) Tiempo de vehículos, equipo, maquinaria y herramienta utilizada.

**2.6. ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO.**

**2.6.1. DESCRIPCIÓN.**

Son las varillas de acero que se colocan dentro del concreto para que tomen o ayuden a tomar cualquier clase de esfuerzo.

**2.6.2. EJECUCIÓN.**

La marca y características de las varillas de refuerzo deben cumplir con las especificaciones y normas establecidas y con lo indicado en el proyecto y/o lo ordenado por el "SUPERVISOR".

En general las varillas de refuerzo estarán sujetas a normas de calidad y cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-B-6 y la ASTM A615 vigentes.

Al colocar la varilla debe estar libre de óxido, si contiene alguna oxidación se le dará el tratamiento adecuado mediante cepillado.

El Constructor debe tener cuidado en el momento de estar colocando el Diesel en la cimbra para no impregnar a la varilla.

El Constructor podrá cambiar el diámetro de varilla en la obra, siempre y cuando se respete el área transversal de acero especificado en los planos, y que cumpla con las especificaciones del ACI.

Los ganchos, dobleces, traslapes, limpieza de refuerzos, colocación, espaciamiento de las varillas y soldadura, juntas en el refuerzo, refuerzo lateral, refuerzo por construcción y temperatura; asimismo la protección de



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 13 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

concreto para el refuerzo deberá cumplir con las normas de publicación más reciente del ACI a menos que se indique otra cosa.

**2.6.3. MEDICIÓN.**

Se medirá por peso y la unidad de medida será la tonelada con aproximación al centésimo; se considerará únicamente la cantidad neta de varilla que indiquen los planos de proyecto.

No se cuantificará ninguna cantidad de acero de refuerzo hasta que se encuentre totalmente colocada y esté aprobada su ubicación definitiva en los moldes, previamente al vaciado del concreto.

**2.6.4. CARGOS INCLUIDOS PARA INTEGRAR EL PRECIO UNITARIO.**

Se estimará por unidad de obra terminada incluyendo los siguientes cargos y operaciones:

- a) Suministro, manejo, acarreo, desperdicios y maniobras.
- b) Enderezado, limpieza, corte y doblado de acero.
- c) Colocación, fijación, incluyendo alambre recocido, silletas, dobleces, traslapes, ganchos y bastones en su caso.

**2.7. CONCRETO EN CIMENTACIONES.**

**2.7.1. DESCRIPCIÓN.**

Es la mezcla de materiales pétreos inertes, cemento, agua y aditivos que se especifiquen en las proporciones adecuadas que al endurecerse adquieren la resistencia mecánica y características necesarias para la función estructural de los cimientos.

**2.7.2. MATERIALES.**

El manejo y almacenaje del cemento estará sujeto a lo indicado en especificación CFE CPTT-CON01.

El programa de entregas mensuales de cemento en la obra será puesta a consideración del "SUPERVISOR" y aprobado por el mismo con el objeto de evitar su almacenamiento por lapsos mayores de un mes.

Los agregados se cribarán adecuadamente y se lavarán debidamente antes de efectuar su entrega en la obra. Todos los agregados serán de la misma calidad que las muestras aprobadas por el "SUPERVISOR"; los agregados se almacenarán separadamente por tamaños sobre superficies impermeables, limpias y duras.

El Constructor debe muestrear los bancos de agregados, cemento y agua que se utilizará, realizando las pruebas de laboratorio necesarias y presentar a CFE los resultados correspondientes, así como los proporcionamientos propuestos para la elaboración de los concretos, incluyendo los resultados de resistencia obtenidos.

En los lugares de almacenamiento, los 0.50 m, inferiores se mantendrán continuamente como una capa de drenaje. Los agregados gruesos se cribarán de conformidad con la tabla II de las Normas ASTM-C33.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 14 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

El agua que se utilice en la elaboración del concreto debe ser clara y carecer de cualquier impureza orgánica o mineral. El Constructor no podrá usar ninguna agua sin la aprobación correspondiente del Supervisor.

Cuando se utilice el concreto premezclado, los métodos y equipos utilizados para transportarlos serán tales que no causen segregaciones o pérdida de ingredientes y de revenimiento, con respecto al especificado.

Cuando se usen camiones revolovedores, el transporte no debe exceder de 1.5 horas para cemento normal y 1 hora para cemento de resistencia rápida. Cuando estos tiempos se excedan ó no se cumpla con lo indicado en el párrafo anterior, el concreto se desechará.

El control de calidad en la fabricación de concretos será responsabilidad del Contratista para lo cual debe demostrar mediante resultados de pruebas el cumplimiento cabal de las especificaciones y normas. El "SUPERVISOR" debe exigir la reposición del colado si los resultados no cumplen con la proporción y revenimiento aprobado. No se continuará el colado hasta que el Constructor haga las correcciones correspondientes cuando se detecten procedimientos erróneos o resultados adversos a los especificados.

#### 2.7.3. EJECUCIÓN.

Antes de colocar el concreto en su posición definitiva se deberán preparar adecuadamente los moldes, fierro de refuerzo y piezas especiales que quedarán en el mismo. Los moldes deberán estar limpios y contruidos de material que garantice acabado de textura deseable del concreto ya endurecido.

El Constructor deberá dar aviso con una anticipación de 24 horas como mínimo de que está listo para efectuar cualquier colado y así permitir al "SUPERVISOR" dar autorización por escrito. Si se cuele en otras condiciones o en ausencia del supervisor, el colado será demolido y reemplazado.

Todas las superficies que vayan a quedar en contacto con el concreto fresco deberán quedar libres de polvo, basura o cualquier otro material; debiendo humedecerse ligeramente evitando en cualquier circunstancia la formación de charcos.

El Constructor debe usar procedimientos de transporte y colocación de concreto que garanticen no segregación de los materiales. El concreto se depositará en capas horizontales de 60 cm de espesor máximo.

No se colocará concreto durante lluvias fuertes o prolongadas para evitar el arrastre del mortero o lechada.

No se vaciará concreto en lugares que contengan agua, tampoco se permitirá que escurra agua sobre superficies de concreto con velocidades que puedan dañarlo.

El concreto deberá vaciarse lo más cercano posible a su posición definitiva. No debe colocarse en grandes cantidades en determinado lugar y permitir que se corra. Se vaciará en capas sensiblemente horizontales y de espesor uniforme; consolidando adecuadamente cada capa antes de colocar otra. "No se permitirá que el concreto caiga libremente a más de un metro de altura".

Cuando el molde sea alto y estrecho se harán aberturas en los costados del mismo, por donde se debe introducir el concreto.

El vibrador se usará para consolidar verticalmente el concreto colocado en capas sensiblemente horizontales y de espesor uniforme hasta que quede práctica y totalmente compactado antes de colocar la siguiente. El vibrador deberá limitarse para evitar segregaciones de la mezcla.



## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

Cuando se vacía concreto fresco sobre concreto ya endurecido, se precisa una adherencia adecuada y una junta hermética para lo cual se deben observar las siguientes prácticas: Picado de concreto ya endurecido devastándolo para quitar las capas superficiales y dejar expuesta una superficie de concreto inalterado. Antes de iniciar el colado se limpiará el concreto endurecido, colocando posteriormente una capa de mortero bien restregada por la superficie de la junta con un espesor de 1 cm aproximadamente. El proporcionamiento de este mortero debe ser igual al del concreto, quitando el agregado grueso y debe ser lo suficientemente blando para que pueda extenderse fácilmente en la superficie de la junta, agregando además un aditivo recomendado para juntas frías.

No se permitirá el descimbrado hasta que el concreto tenga suficiente resistencia estructural y pueda soportar su peso propio y las cargas normales de construcción. No se deberá emplear barretas de uña, patas de cabra o herramientas de metal contra el concreto para remover la cimbra. Si es necesario, deben emplearse pedazos de madera para hacer palanca.

Invariablemente una vez realizado el descimbrado, debe efectuarse el curado del concreto en la totalidad de las superficies de la cimentación aplicando el aditivo apropiado para evitar daños por falta de agua y lograr un buen curado. Con el mismo fin se deberán humedecer los moldes ó cimbras, siguiendo las recomendaciones de las normas del ACI.

El cemento y agregados que se utilicen serán del tipo señaladas en las normas enunciadas en estas especificaciones y/o en las CFE CPTT-CON01.

En el caso de cimientos para estructuras, se aceptarán cimientos precolados siempre y cuando se ajusten a los planos, normas y especificaciones de diseño y construcción de estructuras de concreto.

El Constructor suministrará las anclas que se especifique ahogadas en los concretos para sujetar los cimientos de las estructuras, las cuales serán galvanizadas.

Todos los cimientos llevarán una plantilla de concreto simple debidamente compactado, de un espesor mínimo de 5 cm o el indicado en los planos del proyecto y una resistencia de 9,8 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>); esta plantilla debe considerarse dentro del precio unitario de los concretos.

### **2.7.4. TOLERANCIAS.**

Las tolerancias serán como se indican a continuación:

- a) Variación de dimensiones de cimientos en planta: 13 mm.
- b) Variación entre ejes 2 mm.
- c) Excentricidad en la base de columnas, vigas, muros y lazos mm.
- d) Variación del nivel o de las pendientes indicadas en losas, vigas, ranuras de junta horizontal y esquinas visibles en 9 m o más, 13 mm (en construcciones enterradas se tolerará el doble de las variaciones a nivel o de las pendientes indicadas).
- e) Variación de verticalidad en columnas, muros, pilas, ranuras de juntas verticales y esquina visibles:
  - En 3,00 m: 3 mm
  - En 6,00 m: 6 mm
  - En 12,00 m: 12 mm





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 16 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.7.5. MEDICIÓN.**

La medición del concreto simple colado será con volumen teórico en metro cúbico con aproximación al centésimo, de acuerdo con los planos de proyecto.

No se medirá el concreto hasta que no esté totalmente terminada, curada, descimbrada y acabada la cimentación completa.

**2.7.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

En el precio unitario del concreto incluye los suministros de todos los materiales necesarios para su fabricación.

- a) El suministro del cemento, aditivos, agregados y agua, así como el manejo, maniobras y acarrees de estos materiales.
- b) La preparación del colado.
- c) Suministro, fabricación y colocación de los moldes.
- d) Los acarrees, muestreo y vaciados del concreto.
- e) El descimbrado y acabado de superficies expuestas y curado con membrana.
- f) Colocación de anclas que quedarán ahogadas en el concreto de cimientos de estructuras, incluyendo el suministro.
- g) Bombeo y ademe en su caso.
- h) Pruebas de laboratorio para verificación del cumplimiento de las especificaciones y control de calidad.

**2.8. TRINCHERAS Y DUCTOS PARA CABLES.**

**2.8.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entenderá por trinchera y ductos a las canalizaciones a base de muros de concreto o tabique y tuberías que servirán para colocar los cables de control.

Las trincheras podrán ser prefabricadas.

Estas canalizaciones serán construidas de acuerdo a como se indique en los planos de proyecto.

**2.8.2. MATERIALES.**

El cemento, agregados, cimbras, agua y aditivos usados se deben sujetar a lo indicado en el punto 2.7.2. de estas especificaciones.

El ángulo empleado será de acero galvanizado.



## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

### **2.8.3. EJECUCIÓN.**

El trazo y excavación para las trincheras se debe hacer de acuerdo a lo establecido en el punto 2.3.3 de estas especificaciones.

El suministro y habilitación de fierro de refuerzo se debe ajustar a lo establecido en el punto 2.6.2 de estas especificaciones.

La tubería de PVC dieléctrica se debe ajustar a los diámetros y longitudes indicadas en los planos de proyecto, y deben quedar ahogados en concreto de  $f'c = 9,8 \text{ MPa}$  ( $100 \text{ kg/cm}^2$ ).

Los ángulos de acero galvanizado utilizados en tapas y en muros laterales, se deben ajustar a lo establecido en los planos de proyecto.

La base y los muros laterales de las trincheras se deben construir con concreto armado, ajustándose a lo establecido en el inciso 2.7 de estas especificaciones.

Para el drenaje de las trincheras se deben dejar pendientes adecuadas en el piso, orientadas a los registros, los cuales se conectarán al drenaje general.

Para el relleno de los espacios dejados entre los muros exteriores y los límites laterales, se utilizará el material excavado. Todo el material sobrante se colocará en los bancos de desperdicios.

Para evitar en lo posible que se introduzca el agua de lluvia, las trincheras deberán sobresalir del piso terminado 10 cm mínimo.

Las tapas serán de concreto armado, con las dimensiones adecuadas; llevarán un marco de ángulo de acero galvanizado el cual debe estar indicado y detallado en el plano de proyecto.

El acabado de las trincheras serán de tipo natural y las formas pueden construirse de madera o acero, de tal modo que se obtengan las dimensiones y alineamientos especificados, sin pandeos ni salientes notables.

### **2.8.4. TOLERANCIAS.**

Las tolerancias para la ejecución y recepción serán las aplicadas a los puntos 2.3.4 y 2.7.4 de estas especificaciones.

### **2.8.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será el metro lineal con aproximación al centésimo.

Para la determinación del precio unitario de este concepto, se deberán analizar los distintos tipos de trincheras que indiquen los planos de proyecto.

### **2.8.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Incluye todos los cargos por mano de obra, equipo, herramientas y materiales para:

- a) Localización y trazo.
- b) Excavación en cualquier tipo de material (inciso 2.3), incluyendo demoliciones de concreto armado.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 18 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

- c) Construcción de plantilla.
- d) Construcción de la base y muros de concreto reforzado y, donde se requiera, material igual al existente incluyendo el suministro de acero de refuerzo, cimbra, ángulo, alambrcn de 1/4"  $\phi$  y tabique recocido en su caso.
- e) Construcción de tapas de concreto reforzado, incluyendo ángulo galvanizado.
- f) Suministro y colocación de soporte con tubo galvanizado cédula 40, en caso de que así se marque en los planos.
- g) Registros para interconexión de equipos.
- h) Suministro y colocación de tubo PVC dieléctrico en los diámetros y longitudes marcados en los planos de proyecto para las canalizaciones de las trincheras a los registros de los equipos incluyendo el concreto.
- i) Relleno y Compactado.
- j) Retiro de material sobrante a los bancos de desperdicios aprobados.

**2.9. SISTEMA DE DRENAJE.**

**2.9.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entenderá por sistema de drenaje a todas las líneas de asbesto, PVC y/o concreto simple o reforzado de diferentes diámetros y los registros, alcantarillas, cunetas y contracunetas que se indiquen en los planos del proyecto, que servirán para canalizar por gravedad el agua de lluvias que cae en el predio de la Subestación.

**2.9.2. MATERIALES.**

La tubería se ajustará a lo siguiente:

Podrán ser tuberías de asbesto ó PVC de diferentes diámetros según se indique en los planos del proyecto; también podrán ser de concreto, en tal caso se ajustarán a lo siguiente:

- Para diámetro nominal de 0.10 m y hasta 0.61 m serán de concreto simple, exentos de defectos y grietas, ajustándose a la norma de calidad S.I.C.C. 9-1967; para diámetros superiores a 0.61 m y hasta 1.83 m serán de concreto reforzado tipo macho y campana o bien tipo caja y espiga y deben estar exentos de defectos y grietas, ajustándose a la norma de calidad S.I.C.C. 20-1967.
- Para la construcción de registros se utilizará concreto reforzado. Las cunetas, contracunetas y cabezales, serán de mampostería de tercera ó concreto, salvo que se indique otra cosa en los planos de proyecto.

**2.9.3. EJECUCIÓN.**

Para tubos de concreto:

Las excavaciones deben hacerse a las profundidades indicadas en los planos de proyecto; el fondo de las cepas deberán tener apoyo firme y uniforme, además de estar exentos de roca, piedras, calzas y soportes de cualquier



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 19 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

indole bajo la tubería en contacto con ella. Se excavará una ranura donde se alojen las campanas y el resto de los tubos deberán quedar perfectamente apoyados sobre el fondo de la cepa.

Las tuberías se colocarán con la campana o la caja de la espiga hacia aguas arriba y se iniciará su colocación de aguas abajo hacia agua arriba.

Las juntas de macho y campana o de caja a espiga deberán juntarse con mortero de cemento-arena en proporción 1:3.

Inmediatamente después de colocar un tramo de tubería entre registro y registro, se debe verificar línea y nivel, se debe comprobar la impermeabilidad de los tubos y juntas ejecutando pruebas con agua, las cuales consistirán en tapar un extremo de la línea (aguas abajo) y llenarlo con agua, dejándolo reposar un tiempo razonable.

El relleno de la cepa se hará teniendo cuidado de colocarlo abajo y alrededor del tubo, ajustándose a lo previsto en el concepto "RELLENO Y COMPACTADO".

Los registros y coladeras de rejillas deberán cumplir con las indicaciones de los planos de proyecto, de tal forma que capten total y en forma eficiente las aguas superficiales en el área de la Subestación.

En seguida se presentan los anchos recomendables para las zanjas según su profundidad y diámetro de las tuberías que alojan:

DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA		PROFUNDIDADES DE LAS ZANJAS				
		DE 0.00 m A 1.25 m	DE 1.25 m A 1.75 m	DE 1.75 m A 2.25 m	DE 2.25 m A 2.75 m	DE 2.75 m A 3.25 m
cm	pulgadas	ANCHO DE LAS ZANJAS EN METROS				
15	6	0.70	0.90	1.10		
20	8	0.70	0.90	1.10		
25	10	0.70	0.90	1.10		
30	12	0.70	0.90	1.10		
38	15	0.90	1.10			
45	18	1.10	1.10	1.10	1.10	
61	24	1.35	1.35	1.35	1.35	
76	30	1.55	1.55	1.55	1.55	
91	36		1.75	1.75	1.75	
107	42		1.00	2.00	2.00	
122	48				2.10	2.10
152	60				2.45	2.45
183	72					2.80
213	84					3.20

**2.9.4. DESCRIPCIÓN.**

La colocación de la tubería de concreto se debe hacer de tal manera que en ningún caso se presente un desviación mayor de 10 mm en alineación o nivel de proyecto.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 20 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.9.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será el metro con aproximación al centésimo; tomándose las longitudes de centro a centro de registro terminado.

**2.9.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

- a) Suministro de tubería, tabique, piedra, cemento y arena, incluyendo almacenaje y todas las demás maniobras.
- b) Excavación a cielo abierto en cualquier tipo de material incluyendo explosivos, materiales, afine, ademe, bombeo y sobreexcavaciones.
- c) Trazos de líneas, niveles y estacados.
- d) Limpieza general del sitio y zonas adyacentes.
- e) La colocación de las tuberías, el junteo de las mismas con mortero de cemento-arena, la verificación de las líneas, niveles y las correcciones y ajustes.
- f) La construcción de registros, cunetas, contracunetas y cabezales, según estén indicados en los planos de proyecto.
- g) Excavación y fabricación de pozos de absorción para drenaje, si así lo indican los planos de proyecto.
- h) El relleno y compactado de las zanjas para tuberías y registros, así como retiro del material sobrante al banco de desperdicio.
- i) Prueba hidrostática al drenaje para verificar que no tenga fugas.

**2.10. RELLENO Y COMPACTADO.**

**2.10.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entenderá por relleno y compactado, el cubrir con materiales producto de las excavaciones o de banco de préstamo, a las oquedades hechas en los cimientos para: Apartarrayos, Transformadores de Corriente, Trampas de Onda, Transformadores de Potencial, Dispositivos de Potencial, Cuchillas, Interruptores, Transformadores de Potencia, muros divisorios, Vías, Reactores, Estructuras metálicas y Aisladores de Soporte.

El relleno de depresiones abajo del nivel de proyecto o de sobreexcavaciones en general, se ejecutará de acuerdo con lo estipulado en estas especificaciones.

**2.10.2. EJECUCIÓN.**

La primera parte del relleno se hará invariablemente empleando material compactable, libre de piedras y deberá ser cuidadosamente colocado y compactado a los lados de los cimientos.

La compactación de los rellenos sobre los cimientos se deberá ejecutar con pisón manual "DE GOLPE", o bien con pisón mecánico, pero deberán de cumplir en cualquier caso el grado de compactación indicado en el proyecto y/o lo que señale el estudio de Geotecnia.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 21 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES:

---

El material de relleno deberá hacerse en capas de 20 cm, medidas antes de compactarse y se llevará un control de humedad por cada capa y tipo de material que se utilice.

El material sobrante después de efectuar el relleno de las excavaciones, debe ser cargado y acarreado hasta los bancos de depósito o desperdicio aprobados.

### 2.10.3. TOLERANCIAS.

Para dar por terminado un relleno y compactado incluyendo su afine, se deben verificar líneas y niveles.

### 2.10.4. MEDICIÓN.

La unidad de medida para estimación y/o pago, será el metro cúbico con aprobación al centésimo.

Para determinar los volúmenes se tomarán como base las líneas o niveles de proyecto.

No se tomarán en cuenta para estimación los volúmenes que provengan de sobreexcavaciones y derrumbes.

### 2.10.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

- a) El suministro y aplicación de agua para lograr la humedad óptima.
- b) La colocación y extendido de materiales en capas de espesores indicados.
- c) Pruebas de verificación del grado de compactación del material de relleno indicado por el proyecto.
- d) El acarreo del material sobrante hasta el banco de desperdicio.

## 2.11. CASETAS Y EDIFICIOS.

### 2.11.1. DESCRIPCIÓN.

Las casetas y edificios, son las edificaciones donde se alojan las subestaciones Metal Clad, SF6, Tableros de control, protección y medición, y de servicios propios, baterías, cargadores, carrier, oficina, comedor, vestíbulo, bodega y sanitarios. Los materiales que se utilizarán deben ser los indicados en el proyecto.

### 2.11.2. EXCAVACIONES.

#### 2.11.2.1. Descripción.

Son las cepas necesarias para alojar los cimientos que servirán para desplantar los soportes de los equipos. Estas cepas se ajustarán a las dimensiones indicadas en los planos de proyecto.

El fondo de las cepas deberá mostrar un suelo firme y uniforme.

#### 2.11.2.2. Medición.

La unidad de medida será el metro cúbico con aproximación al centésimo, partiendo de las dimensiones indicadas en los planos de proyecto con las modificaciones en  $\times$  por cambios ordenados por el "SUPERVISOR".



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 22 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

### 2.11.2.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Trazos de líneas, niveles y estacados.
- b) La excavación en cualquier tipo de material (inciso 2.3) incluyendo explosivos, materiales, afine, ademes, taludes y bombeo de agua según sea el caso.
- c) Limpieza general del sitio de excavación y zonas adyacentes.
- d) Tramitación de permisos y obtención de los mismos para adquisición, transporte y uso de explosivos.
- e) Acarreo de material sobrante de las excavaciones hasta los bancos de desperdicio.

### 2.11.3. CONCRETO.

#### 2.11.3.1. Descripción.

Es la mezcla de materiales inertes (grava y arena), agua y cemento que entran en cantidades determinadas por un laboratorio cumpliendo un proporcionamiento que garantice la obtención de una resistencia especificada para cada elemento estructural, debiendo emplearse para pisos, columnas, trabes, contratraves, castillos, dalas, losas de cimentación y losas de entrepisos o de azotea.

#### 2.11.3.2. Materiales.

Los materiales deberán cumplir con lo indicado en el punto 2.7.2 de estas especificaciones.

#### 2.11.3.3. Medición.

La unidad de medida debe ser el metro cúbico con aproximación al centésimo.

#### 2.11.3.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, transporte, almacenamiento mezclado, colocado de los materiales necesarios para la elaboración del concreto.
- b) Formación y colocación de los moldes y su obra falsa.
- c) Colocación del concreto de acuerdo a procedimientos ya especificados.
- d) Toma de muestras para comprobación de la resistencia del concreto.
- e) Bombeo y ademe en su caso.
- f) Descimbrado, curado y acabado de las superficies expuestas.
- g) Suministro y colocación de plantilla de concreto pobre.
- h) Retiro de desperdicios a los bancos aprobados por la Comisión.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 23 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.11.4. ACERO DE REFUERZO.**

**2.11.4.1. Descripción.**

Son las varillas lisas o corrugadas que se colocan dentro del concreto y que tiene como función tomar o ayudar a tomar esfuerzos en losas de piso, dalas de desplante y cerramiento, castillos, columnas y losas de techo o de cimentación.

**2.11.4.2. Materiales.**

Los materiales deberán cumplir con lo indicado en el punto 2.6 de estas especificaciones.

**2.11.4.3. Medición.**

La unidad de medida será la tonelada con aproximación al centésimo tomando como base las longitudes y cantidades que señalen los planos de proyecto.

**2.11.4.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.**

- a) Suministro, manejo, acarreos, desperdicios y maniobras.
- b) El enderezado, limpieza, corte y doblado de acero.
- c) La colocación, fijación, incluyendo el alambre reçoído en amarres, silletas, ganchos y traslapes.

**2.11.5. RELLENO COMPACTADO.**

**2.11.5.1. Descripción.**

Es el material necesario para cubrir las oquedades que quedan entre el cimientó y la excavación cumpliendo con procedimientos y especificaciones del proyecto.

**2.11.5.2. Materiales.**

Se podrá usar el material producto de la excavación siempre y cuando no sea con material expansivo y sea compactable, en caso contrario se usará material de banco aprobado por el "SUPERVISOR".

**2.11.5.3. Ejecución.**

La forma de proceder consiste en ir colocando capas de material de 20 cm sueltos en forma horizontal y con una cantidad de agua suficiente para lograr el grado de compactación especificado en los planos de proyecto y/ó el estudio de Geotecnia.

Para lograr su compactación deberá emplearse pisón de golpe o placa vibratoria.

**2.11.5.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.**

- a) Suministro, acarreo, homogenización y colocación del material necesario para el relleno.
- b) Bombeo en caso necesario.





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 24 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

c) Pruebas de compactación.

2.11.5.5. Medición.

La unidad de medida será el metro cúbico con aproximación al centésimo.

2.11.6. PISOS.

2.11.6.1. Descripción.

Son las superficies horizontales o inclinadas construidas con un determinado material y que sirven para transitar.

2.11.6.2. Materiales.

Los materiales a emplear en pisos para casetas de control en las salas de servicios propios y Metal Clad, así como en los edificios SF6 serán por lo general losas de concreto con un acabado de cemento pulido con terminado a base de sellador y recubrimiento epóxico y acabado de poliuretano, pudiendo también ser de loseta; en todo caso debe estar especificado en los planos de proyecto. Para las zonas de tableros de control, oficinas y baños se debe utilizar loseta antiderrapante, en tanto que en la zona de baterías debe colocarse loseta antiácida con pegamento especial compatible con dichas características.

Siempre se emplearán materiales de la mejor calidad respetando el color y dimensiones indicadas en los planos de proyecto.

2.11.6.3. Ejecución.

En la construcción de pisos, éstos invariablemente se ajustarán a los niveles que estipule el proyecto; haciendo las pruebas necesarias que garanticen su cumplimiento.

Los pisos se construirán cuando ya se hayan colocado todos los ductos y tuberías que indique el proyecto incluyendo el sistema de tierras.

2.11.6.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, acarreo y colocación de los materiales necesarios.
- b) Suministro y colocación de los separadores necesarios que indiquen los planos.
- c) Pruebas de laboratorio en caso de concreto.

2.11.6.5. Medición.

La unidad de medida para pisos será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.7. MUROS.

2.11.7.1. Definición.

Son los elementos constructivos verticales en una edificación que sirven para dividir espacios.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 25 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

2.11.7.2. Materiales.

En las casetas de control los muros podrán construirse con tabique rojo recocido o block de concreto ligados con castillos y dalas de cerramiento con las dimensiones que indiquen los planos de proyecto y con resistencia a la compresión que se especifique en los mismos.

2.11.7.3. Ejecución.

Los muros se construirán sobre la dala de desplante, la cual podrá ser parte del cimiento. Se construirán por hiladas horizontales y a nivel, junteándose con mortero cemento-arena 1:3 con espesor de 1 a 1.5 cm.

2.11.7.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, transporte y colocación de todos los materiales necesarios.
- b) Andamios y maniobras para su construcción.
- c) Agua para humedecer el tabique.
- d) Pruebas a la compresión del tabique o block.
- e) Construcción de castillos y dalas de cerramiento.
- f) Retiro de material sobrante y limpieza de las áreas afectadas.

2.11.7.5. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.8. APLANADOS CON MEZCLA.

2.11.8.1. Definición.

El aplanado es la protección necesaria para dar uniformidad al muro y el acabado que se especifique en los planos.

2.11.8.2. Ejecución.

Donde lo indiquen los planos de proyecto, los muros se deberán recubrir con mezcla de mortero cemento-arena 1:3 y tener un espesor de 1 cm con el acabado que marque el proyecto humedeciendo de antemano el muro para evitar agrietamientos por pérdida de humedad del mortero.

2.11.8.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y acarreo de todos los materiales necesarios y su aplicación.
- b) Andamiaje necesario para su construcción.
- c) Pruebas o certificados de calidad de los materiales.



**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

d) Agua necesaria para humedecer el muro.

e) Retiro del material sobrante.

2.11.8.4. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.9. APLANADOS DE YESO.

2.11.9.1. Definición.

Los aplanados de yeso es la aplicación de este material para dar un acabado en los muros interiores.

2.11.9.2. Ejecución.

Donde lo indiquen los planos de proyecto los muros se recubrirán con yeso el cual debe tener un espesor de 1 cm. Siempre que se aplique la pasta de yeso al muro, éste deberá estar húmedo para evitar agrietamiento en el aplanado por pérdida de humedad.

2.11.9.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

a) Suministro y transporte de todos los materiales necesarios.

b) Andamiaje necesario para su aplicación.

c) Pruebas de calidad de los materiales.

d) Agua necesaria para la mezcla y humedecimiento de los muros.

e) Limpieza y retiro del material sobrante.

2.11.9.4. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado en aproximación al centésimo.

2.11.10. RECUBRIMIENTOS DE AZULEJO.

2.11.10.1. Definición.

Este recubrimiento generalmente se aplica en lugares expuestos a la celda de agua para que impermeabilice y proteja los muros.

2.11.10.2. Ejecución.

En las partes que lo indique el proyecto se colocará el azulejo con el color que se indique en los planos, empleando cemento "CREST" y acabado con lechada de cemento blanco en las juntas. Para su colocación deben humedecerse tanto los muros y como los azulejos.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 27 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

2.11.10.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y transporte de todos los materiales necesarios.
- b) Andamiaje necesario en su caso.
- c) Pruebas o certificados de calidad de los materiales.
- d) Agua necesaria para humedecer el muro y el azulejo.
- e) Limpieza y retiro del material sobrante.

2.11.10.4. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.11. PLAFONES.

2.11.11.1. Definición.

Cuando lo indiquen los planos de proyecto y para dar una mejor apariencia, será necesario construir falsos plafones en las losas de techo que consisten en la colocación de metal desplegado el cual se cubre con yeso para dar una apariencia tersa; deberá ser perfecto su alineamiento y nivelación.

2.11.11.2. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, transporte y colocación de los materiales necesarios.
- b) Andamiaje necesario.
- c) Agua necesaria para humedecer el muro y el azulejo.
- d) Limpieza y retiro del material sobrante.

2.11.11.3. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.12. PLAFÓN DE MEZCLA SOBRE LOSA DE CONCRETO.

2.11.12.1. Definición.

Es un recubrimiento que tiene como objeto mejorar el aspecto de la losa. Tendrá un espesor de 6 mm y se hará un mortero cemento-arena en proporción 1:3 ó como indiquen los planos de proyecto.

2.11.12.2. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, transporte y colocación de los materiales necesarios.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 28 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

- b) Andamios para su colocación.
- c) Limpieza y retiro del material sobrante.

#### 2.11.12.3. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

#### 2.11.13. PINTURA.

##### 2.11.13.1. Definición.

Es el material que se aplica sobre los aplanados mediante el uso de brocha o rodillo, en los colores y calidades que fijen los planos de proyecto.

##### 2.11.13.2. Ejecución.

Una vez seco el aplanado en los muros se aplicarán como mínimo 2 manos de pintura vinílica o lo que indiquen los planos de proyecto, sin defectos en esta superficie de modo que se logre un acabado terso y uniforme.

##### 2.11.13.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y transporte de los materiales necesarios.
- b) Andamiaje necesario.
- c) Limpieza y retiro de materiales sobrantes.

##### 2.11.13.4. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado.

#### 2.11.14. PUERTAS DE MADERA.

##### 2.11.14.1. Definición.

Son accesos de intercomunicación que se construirán con bastidores y marcos de madera de pino de primera; las tapas serán de triplay de pino con el espesor y acabado que indiquen los planos de proyecto.

##### 2.11.14.2. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y transporte de los materiales necesarios.
- b) Cerrajería que se indique en los planos de proyecto.
- c) Chambranas en el material que se pida.
- d) Acabado que se especifique.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 29 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

2.11.14.3. Medición.

La unidad de medida será la pieza.

2.11.15. HERRERÍA.

2.11.15.1. Definición.

Las puertas y ventanas exteriores se construirán con el material que los planos de proyecto indiquen incluyendo materiales y accesorios necesarios a utilizar. En toda la ventanería se colocarán protección a base de fierro tubular.

2.11.15.2. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y transporte de todos los materiales necesarios.
- b) La cerrajería necesaria que deberán indicarse en los planos de proyecto.
- c) Instalación y acabado que se indique en planos de proyecto.
- d) Protecciones que se indiquen en planos de proyecto.
- e) Cristales y accesorios necesarios.
- f) Retiro de material sobrante.

2.11.15.3. Medición.

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.16. INSTALACIÓN SANITARIA.

2.11.16.1. Definición.

Es la instalación necesaria para los servicios sanitarios con que contará la caseta.

2.11.16.2. Materiales.

Los materiales a usar serán en la calidad y color que se indique en los planos de proyecto para los muebles sanitarios (WC, mingitorios, lavabos y accesorios).

El tinaco y la fosa séptica serán en la calidad y capacidad que se indique en los planos de proyecto.

La tubería para alimentación de agua será de cobre en el diámetro que se marque en el plano.

La tubería para drenaje de aguas jabonosas será de concreto y en el diámetro que se indique en el proyecto.

La tubería para drenaje en cuarto de baterías será de P.V.C. y en el diámetro que se indique en el proyecto.



**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

2.11.16.3. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro, transporte y colocación de todos los materiales y muebles sanitarios.
- b) Limpieza y retiro de materiales sobrantes.

2.11.16.4. Medición.

La unidad de medida para los muebles será la pieza; para las tuberías de cobre, concreto y P.V.C. será el metro lineal incluyendo los accesorios necesarios.

2.11.17. IMPERMEABILIDAD.

2.11.17.1. Definición.

Es la protección que se coloca a las losas de azotea para impedir que el agua de lluvia se filtre al interior de la caseta de control, se indica en los planos de proyecto.

2.11.17.2. Materiales.

Generalmente se utilizan productos asfálticos y membranas que se especifican en los planos de proyecto.

Estos productos entre otros, pueden ser capa impermeable de microseal 3A ó similar, reforzada con una membrana fester flex o similar.

2.11.17.3. Ejecución.

Una vez limpia la superficie por impermeabilidad se aplicarán 2 capas de microseal 3A ó similar que se cubrirán con una membrana fester flex ó similar y se dará una tercer capa de microseal 3A que se cubrirá con tezontle rojo triturado con grano máximo de 5 mm.

2.11.17.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.

- a) Suministro y transporte de todos los materiales necesarios.
- b) Maniobras y andamios necesarios para su colocación.
- c) Pruebas o certificados de calidad de los materiales.

2.11.17.5. Medición.

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al centésimo.

2.11.18. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

2.11.18.1. Definición.

Es la instalación necesaria para contar con el alumbrado exterior e interior del edificio y caseta de control, con los contactos y salidas que indiquen los planos de proyecto.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 31 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.11.18.2. Ejecución.**

Antes de proceder al colado de la losa de piso, de la losa de azotea o al colocar el aplanado en los muros, deberá colocarse la tubería de PVC o poliducto para el cableado así como los accesorios indispensables como son: chalupas, contactos, apagadores, registros, etc.

**2.11.18.3. Medición.**

La unidad de medida será la "Salida", entendiéndose por tal el cableado necesario desde el tablero de distribución o de servicios propios a cada una de las lámparas incluyendo en ello el cableado al apagador y el contacto según se indique en el plano respectivo, incluyendo la unidad de alumbrado.

**2.11.18.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.**

- a) Transporte, suministro y colocación del material y equipo necesario para la instalación eléctrica (centro de carga para servicios propios, interruptores termomagnéticos, contactos, lámparas, tuberías de PVC; poliducto, cable y accesorios) que indiquen los planos de proyecto.
- b) Limpieza y retiro de sobrantes.
- c) Pruebas necesarias para comprobación.

**2.11.19. CHAROLAS Y GABINETES DE CONEXIONES.**

**2.11.19.1. Definición.**

Dentro de la caseta de control, a la llegada de las trincheras de la Subestación, se requiere un gabinete autoportado color gris, ANSI 61, servicio interior, fabricado en lámina de acero calibre 12, con una altura de 170 cm, ancho de 110 cm y espesor de 30 cm, con puertas embisagradas, sin cubierta inferior y superior, dos huecos de 35 x 15 cm en la parte posterior, cuatro tablillas terminales de 60 Bornes para 600 volts, ocho ductos cuadrados y ranurados de 6.25 cm con cubierta removible (PANDUIT) y largo de acuerdo a la longitud de la tablilla instalada, y una barra de cobre de 3/16" x 1 1/4" x 31" en la parte inferior para conectarse al sistema de tierras o según indiquen los planos de proyecto.

Los cables de los equipos de Subestación se conectarán a estas tablillas y de éstas se conducirán mediante charolas de aluminio a los tableros de control en la caseta.

Las charolas de aluminio son conductos de sección variable, según el número de cables o lo especificado en el proyecto, que soportan los cables de control de acuerdo a trayectorias fijadas por el proyecto.

Estas charolas se fijan a la losa de techo mediante soportes.

**2.11.19.2. Cargos incluidos en el precio unitario integral.**

- a) Transporte, suministro y colocación de las charolas y gabinetes de tablillas, accesorios de soporte y fijación según indiquen los planos de proyecto.
- b) Pruebas o certificado de calidad de los materiales.





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 32 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.11.19.3. Medición.**

La unidad de medida para el gabinete será la pieza y para las charolas el metro lineal.

**2.11.20. MAMPOSTERÍA.**

**2.11.20.1. Descripción.**

Se entenderá por mampostería la obra formada por fragmentos de roca unidos con mortero cemento-arena en proporción 1:6, éste debe colocarse de tal modo que garantice un asiento adecuado de las piedras sin dejar oquedades; la piedra debe ser de buena calidad, homogénea, durable y resistente a los esfuerzos internos y la acción del intemperismo, sin grietas ni partes alteradas.

**2.11.20.2. Ejecución.**

La mayor dimensión de las piedras deberá ir colocada en sentido transversal al eje del cimiento, procurando que toda piedra grande quede en la parte inferior y la pequeña en la superior, las superficies deberán ser uniformes y se apegarán a las secciones de proyecto.

**2.11.20.3. Medición.**

Se medirá tomando como unidad el metro cúbico con aproximación al décimo, las cantidades se determinarán de acuerdo a las dimensiones indicadas en los planos de proyecto.

**2.11.20.4. Cargos incluidos en el precio unitario integral.**

- a) Colocación de piedra, suministro de cemento, agregados y agua, así como el manejo y maniobras de la materiales hasta el sitio de su colocación.
- b) Fabricación del mortero.
- c) Construcción de mampostería.
- d) Retiro del material sobrante a los bancos de desperdicio aprobados por Comisión.

**2.12. BÁRDA PERIMETRAL.**

**2.12.1. DESCRIPCIÓN.**

La barda perimetral es la estructura que tiene como finalidad delimitar el predio y proteger la Subestación, debe ser localizada en los puntos indicados por las mojoneras que colocará la CFE.

**2.12.2. MATERIALES Y EJECUCIÓN.**

La barda se construirá a base de block macizo.

La cimentación podrá ser de mampostería o concreto, aislada o corrida; si es de mampostería se coronará con una dala de 20 x 20 cm armada con un mínimo de 4 varillas #3 (3/8") con estribos de 3/8" cada 25 cm; se deben colocar castillos con una sección de 20 x 20 cm ó 30 x 20 cm (según el tipo de barda especificado en cada



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 33 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

caso), espaciados cada 300 cm y desplantados al mismo nivel inferior de la mampostería. Para el caso de zapatas aisladas de concreto, el desplante del muro se debe hacer sobre una trabe de desplante diseñada para tal fin, la cual debe estar registrada en los planos de diseño.

El concreto para trabes (contratrabe), dala y castillos será de  $f'c = 19,6 \text{ MPa}$  ( $200 \text{ kg/cm}^2$ ).

Sobre la dala o contratrabe, según sea el caso, se desplantará el muro de block macizo de  $15 \times 20 \times 40 \text{ cm}$  que deberá tener una resistencia mínima a la compresión de  $3,9 \text{ MPa}$  ( $40 \text{ kg/cm}^2$ ).

Este block se juntará con mortero cemento-arena 1:5 colocándose en hiladas horizontales cuatrapeadas debiendo quedar las juntas horizontales a nivel y las verticales a plomo.

Se deben rematar las hiladas horizontales de manera que se forme una superficie dentada en contacto con el concreto de los castillos.

El exceso de revoltura debe eliminarse cuando el acabado del muro sea aparente, ó aplanado como lo indique el plano del proyecto.

La altura de este muro será de 2.60 m, 3,20 m ó 5,00 m, según se indique en cada caso, debiendo coronarse con una dala de cerramiento de  $20 \times 20 \text{ cm}$  armada con 4 varillas #3 ( $3/8"$ ) y estribos de alambón de  $3/8"$  a cada 25 cm.

Toda la barda deberá rematar en su parte superior con los elementos de protección que se señalan en los Lineamientos y Especificaciones Generales de Sistemas Integrales de Seguridad Física para Subestaciones (CPTT-SISF01).

Las puertas de acceso a la Subestación se apegarán a lo indicado en los Lineamientos y Especificaciones Generales de Sistemas Integrales de Seguridad Física para Subestaciones (CPTT-SISF01) y, a las características particulares de cada proyecto.

#### 2.12.3. TOLERANCIAS.

Para las excavaciones, rellenos, mamposterías, concretos, etc., se aplicarán las tolerancias estipuladas en estas especificaciones.

#### 2.12.4. MEDICIÓN.

La unidad de medición será el metro lineal con aproximación al centésimo.

#### 2.12.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

El precio unitario de las cercas deberán incluir el suministro de los materiales y mano de obra requeridas para: Trazo de cimentaciones, excavaciones, rellenos, mampostería, zapatas de concreto, dala de concreto (cadena) o contratrabe, castillos, dala de cerramiento, muro de tabique, protección superior según planos de proyecto, retiro de material sobrante y limpieza del área de trabajo.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 34 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**2.13. PISOS TERMINADOS.**

**2.13.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entenderá por área de pisos terminados a la zona donde se localizará el equipo de la Subestación. En esta zona, se hará una preparación final después de haber nivelado el piso firme, asegurando un adecuado drenaje superficial.

**2.13.2. EJECUCIÓN.**

El acondicionamiento para recibir el piso terminado y el recubrimiento, deberá hacerse en la última etapa de construcción de la Subestación, para evitar en lo posible escurrimientos de agua superficial, el tránsito de vehículos o cualquier otra causa nociva que dañe el piso acondicionado.

Para evitar al máximo que se desarrolle la hierba en los pisos terminados; se debe aplicar un tratamiento al suelo que no altere sus condiciones naturales, el cual consistirá en la aplicación de cualquiera de las dos mezclas siguientes homogeneizadas con agua:

- Mezcla de mortero - arena en proporción de 1:8, con un espesor de 5 cm.
- Mezcla de cal - arena en proporción de 1:5, con un espesor de 5 cm.

En ambos casos consolidar y nivelar el piso.

Una vez que se tenga acondicionada la superficie del terreno que recibirá el piso terminado, se aplicará la terminación especificada en el proyecto y que podrá ser como sigue:

- **CARPETA ASFÁLTICA:** Se usará grava triturada o de canto rodado. Este material será cribado y lavado, con tamaño máximo de 38 mm (1.5") que se extenderá para formar una capa de 10 cm de espesor, terminada con carpeta asfáltica de dos riegos. Como sello, se aplicará un riego de gravilla fina razón de 10 lts./m<sup>2</sup>.
- **CONCRETO:** Los pisos terminados también podrán ser de concreto armado con mallas electrosoldadas o el refuerzo que marque el diseño; su construcción se debe apegar a las especificaciones que señalen los planos de proyecto.

**2.13.3. TOLERANCIAS.**

Se aplicarán las tolerancias indicadas en las terracerías, indicando el requisito de que las pendientes serán uniforme y orientadas hacia los registros para drenaje.

No se permitirá ninguna depresión que ocasione encharcamientos de agua.

**2.13.4. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será el metro cuadrado con aproximación al décimo, partiendo de las dimensiones indicadas en los planos de proyecto.

**2.13.5. CARGOS Y OPERACIONES INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Incluye todos los cargos por mano de obra, equipo herramienta, materiales etc., requeridos para:



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 35 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

- a) Acondicionamiento de terreno (compactación y nivelado).
- b) Tratamiento de piso para evitar el desarrollo de la hierba.
- c) Suministro y extendido de grava o tezontle.
- d) Construcción de carpeta asfáltica mínimo de dos riegos.
- e) Riego de sello con gravilla fina.
- f) Colocación de concreto armado, cuando así lo señale el diseño.
- g) Construcción de guarniciones de concreto armado según se especifique en planos de proyecto.
- h) Lavado y cribado del material.
- i) Retiro de material sobrante y limpieza de las áreas de trabajo.

**2.14. CAMINOS DE ACCESO EXTERIORES E INTERIORES.**

Normalmente las Subestaciones de Potencia se localizan en lugares próximos a caminos ya existentes, pero los casos que sea necesario construir camino exterior, será de acuerdo a lo que indique el proyecto. Los accesos interiores siempre deben construirse de acuerdo a las características y especificaciones que marquen los planos de proyecto.

**2.14.1. DESCRIPCIÓN.**

Los caminos de acceso deberán construirse de acuerdo al diseño elaborado para el mismo, garantizando la seguridad de acceso de equipo pesado en cualquier época del año.

**2.14.2. EJECUCIÓN.**

El Constructor se apegará a las normas establecidas por la SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, correspondiente a la construcción de caminos secundarios.

La Comisión indicará al Constructor la trayectoria del camino exterior; los interiores los definirá el proyecto de distribución de equipo y estructuras de la subestación y deben quedar definidos en los planos de diseño respectivos.

El Constructor deberá mantener un buen estado tanto el camino de acceso exterior como los accesos interiores durante la construcción de la Subestación y garantizar su funcionamiento posterior.

**2.14.3. TOLERANCIAS.**

El ancho mínimo de corona será de 5.50 m.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 36 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

#### 2.14.4. MEDICIÓN.

La unidad de medida será el kilómetro, debiéndose considerar dentro del precio unitario las obras de arte, acarreo de material y accesos provisionales necesarios y carriles de cambio de velocidad (aceleración y desaceleración).

#### 2.14.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

El precio unitario incluye la operación y cargos siguientes:

- a) Trazo de líneas, niveles y estacados.
- b) Desmante.
- c) Cortes en terrenos a la profundidad indicada en los planos de proyecto, incluyendo explosivos y afine de taludes.
- d) Formación de terraplenes compactados con materiales procedentes de cortes ó de préstamos.
- e) Construcción de base, riego de impregnación, y colocación de carpeta asfáltica
- f) Suministro y aplicación de agua para lograr la humedad óptima.
- g) Extendido y compactado en capas del espesor indicado.
- h) Construcción de obras de arte que se indiquen.
- i) Reparación de daños causados durante la construcción.
- j) Acarreo de material sobrante o inadecuado hasta los bancos de desperdicio.

### 3. OBRA ELECTROMECÁNICA.

#### 3.1. MONTAJE DE ESTRUCTURAS MAYORES Y MENORES.

##### 3.1.1. DESCRIPCIÓN.

Se entenderá por estructuras mayores a las columnas y traveses que soportan los buses aéreos para su conexión con los diferentes equipos. Se entenderá por estructuras menores a aquellas que soportan interruptores de potencia, cuchillas desconectadoras, transformadores de instrumento (TC's, TPI's y TPC's), apartarrayos, trampas de onda, aisladores soporte, así como buses de terciario y otros.

##### 3.1.2. EJECUCIÓN.

Recibidos y clasificados todos los elementos y terminadas las cimentaciones, se procederá al armado y montaje de las mismas, con el equipo y métodos adecuados que garanticen la correcta ejecución del trabajo.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 37 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

Si CFE observa defectos en el prearmado o montaje de alguna parte de las estructuras, el Contratista deberá realizar las correcciones necesarias hasta dejar las instaladas a satisfacción. En ningún caso se admitirá la instalación de elementos forzados o deformados.

Quando se detecten daños en los elementos, ya sean en su maquinado o galvanizado y no sea posible su corrección, el Constructor deberá adquirir a su costo los nuevos elementos.

#### 3.1.3. MEDICIÓN.

La unidad de medida será la tonelada con aproximación al centésimo, incluyendo el peso del galvanizado.

#### 3.1.4. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

Comprenderán los cargos y operaciones siguientes:

- a) La recepción, carga, almacenaje y acarreo al sitio de montaje.
- b) El prearmado e instalación definitiva de todos los elementos estructurales de acuerdo con los planos de montaje.
- c) Conexión de la estructura al sistema de tierras, en cada una de las columnas y capiteles metálicos.

### 3.2. MONTAJE, TENDIDO Y CONECTADO DE BUSES.

#### 3.2.1. DESCRIPCIÓN.

Se entenderá por montaje, tendido y conectado de buses a los trabajos para instalar los aisladores de suspensión y tipo poste, herrajes, accesorios, cables conductores, guarda, tubos conductores que formen las canalizaciones de las distintas áreas de voltaje que componen la Subestación.

#### 3.2.2. DISPOSICIONES.

En la presentación del presupuesto se analizarán por separado las siguientes actividades por área de voltaje: Montaje de cadena de aisladores de suspensión y tipo poste, tendido y tensado de cable conductor y guarda, tendido de tubo conductor y colocación de herrajes y puentes para determinar el precio unitario único por metro lineal de cable y/o tubo conductor instalado debiéndose incluir en este precio las bajadas a equipo y las conexiones de cable y/o tubo entre equipo eléctrico primario (puente entre equipo). La medición se considerará entre centros de trabes.

El Constructor deberá cuidar que el cable conductor no permanezca tendido sin enclenar más de 72 horas.

#### 3.2.3. EJECUCIÓN.

En la instalación de puentes se vigilará que guarde la distancia a tierra y a fase indicados en los planos de proyecto.

El Constructor deberá contar con equipo apropiado para este tipo de trabajo.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 38 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

Durante el transporte y tendido de cable conductor y tubos, el Constructor debe tener cuidado de no provocar deterioros, evitando se tenga contacto con el suelo.

No se permitirán empalmes en cables conductores y en el caso de tubos se distribuirá en tal forma que el empalme no quede en el centro del claro.

El constructor deberá tensionar usando el método de medición directa de flechas; verificando con dinamómetros comprobados de acuerdo a tablas de flechas y tensiones calculadas por él.

Las cadenas y columnas de aisladores tendrán la disposición y número de piezas que indiquen los planos de proyecto.

En la tornillería de los conectores y accesorios, deberán comprobarse su ajuste con torquímetro o herramienta similar para evitar que queden flojos.

Se vigilará que los herrajes y aisladores que lleven chavetas estén bien colocadas y se evite su desprendimiento por los efectos de vibraciones.

**3.2.4. TOLERANCIAS.**

En la instalación de herrajes, aisladores y accesorios de elementos, se deberán ajustar rigurosamente a las indicaciones de los planos de proyecto o a instrucciones del fabricante.

Los conductores de la misma bahía que tengan igual nivel y calibre, deben conservar la misma flecha, aceptando una tolerancia máxima de 3 cm, entre fase; conservando las distancias mínimas a tierra.

En conductores múltiples la tolerancia entre flecha será de 2 cm, conservando siempre la distancia mínima a tierra.

**3.2.5. CARGOS Y OPERACIONES INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

- a) La recepción, carga y acarreo al sitio, almacenamiento y montaje de todos los materiales.
- b) Montaje de cadenas de aisladores de suspensión y tipo poste, tendido y tensado de cables conductores y guarda, tendido y conectado de tubos conductores, colocación de herrajes, conectores, accesorios, puentes etc.
- c) En caso de que el proyecto indique bus terciario para bancos de transformación, la ejecución del mismo quedará integrada en este concepto.

**3.3. MONTAJE DE TRANSFORMADORES Y REACTORES DE POTENCIA.**

**3.3.1. DESCRIPCIÓN.**

Esta especificación de montaje se aplicará a transformadores, autotransformadores y reactores sumergidos en aceite, servicio interperie, autoenfriado y/o enfriamiento forzado para 60 Hz, 55 °C - 60 °C de elevación de temperatura, monofásicos y trifásicos desde 9 MVA y mayores para operarse en tensiones de 69 kV y mayores.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 39 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.3.2. DISPOSICIONES.**

El equipo y material que se montará en este concepto y que será suministrado por la Comisión en sus almacenes de acopio, será recibido por el Contratista, el cual será responsable de su manejo y montaje, obligándose a reponer a entera satisfacción de la Comisión, todos los daños o pérdida. En la presentación del presupuesto se analizará por separado las siguientes actividades por cada banco de Transformadores, autotransformadores o reactores que tenga la Subestación y se integrará a un sólo precio unitario por banco.

- Revisión interior.
- Maniobras para su colocación en sitio.
- Montaje de boquillas, radiadores, tanque, gabinetes de control y accesorios.
- Tratamiento preliminar de alto vacío.
- Tratamiento de secado del aislamiento.
- Llenado de aceite.
- Aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado.
- Fijación de los gabinetes centralizadores de control y de cambiador de derivaciones.
- Conexión del transformador al gabinete de control local y conexión a buses (la conexión de cables de control y fuerza de los gabinetes locales a los gabinetes centralizadores se considerará dentro del concepto "Tendido y Conectado de Cable de Control").

**3.3.3. EJECUCIÓN.**

Los Transformadores de Potencia de alta tensión y grandes capacidades son empacados en fábrica para facilitar su transporte sin aceite aislante, accesorios separados y en algunos casos en secciones modulares. Para preservación de los aislamientos y evitar la entrada de humedad de los mismos, durante su transporte el tanque se llena con nitrógeno o aire seco a presión positiva.

El Contratista al recibir el transformador para su instalación, deberá efectuar una minuciosa inspección exterior con el objeto de verificar que no haya signos de daños externos; se revisarán las condiciones de presión, contenido de oxígeno y punto de rocío del nitrógeno o aire seco según el caso.

Al iniciar el armado del transformador se revisará internamente para verificar y/o confirmar si no tiene daños; esta revisión consistirá en lo siguiente:

- Antes de iniciar la revisión interna se tomarán precauciones para evitar riesgos de sofocación o contaminación por gas, para lo cual se deberá evacuar con bomba de vacío y substituir con aire seco; si la presión del gas es "CERO" o "NEGATIVO", y el contenido de oxígeno y punto de rocío son mayores que los esperados, existe la posibilidad de que los aislamientos del transformador estén contaminados con aire y humedad de la atmósfera, por lo cual será necesario someter el transformador a un riguroso proceso de secado después de su armado.





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 40 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

- El transformador no se deberá abrir en circunstancias que permitan la entrada de humedad (días lluviosos); no se dejará abierto por tiempo prolongado, sino el tiempo estrictamente necesario, para lo cual se considera suficientes dos horas como máximo.
- Para prevenir la entrada de humedad al abrir el transformador, se debe realizar un llenado que cubra las bobinas con aceite aislante desgasificado y deshidratado a una temperatura de 30 °C, calentando núcleo y bobinas para reducir la posibilidad de condensación de humedad. Para mayor seguridad de este llenado preliminar, puede hacerse utilizando el método de alto vacío.
- Se debe evitar que objetos extraños caigan o queden dentro del transformador, las herramientas que se usen deberán ser amarradas al tanque con cintas de algodón mientras se estén montando o checando las conexiones.

Las actividades más relevantes que se realizarán en la revisión interna serán las siguientes:

- Verificación minuciosa sobre la sujeción del núcleo y bobinas, así como posible desplazamiento.
- Checar el número de conexiones a tierra del núcleo; revisando su conexión y probando su resistencia a tierra.
- Inspección visual de terminales, barreras entre fases, estructuras y soportes aislantes, conexiones y conectores.
- Revisar los cambiadores de derivaciones, verificando contactos y presión de los mismos en cada posición.
- Checar los transformadores de corriente y terminales de boquillas, verificando sus partes y conexiones.
- Revisar que no haya vestigios de humedad, polvo, partículas metálicas o cualquier material extraño y ajeno al transformador.

Cualquier daño detectado durante la revisión interna, será reportado al "SUPERVISOR" quien ordenará lo procedente.

Las partes que vienen separadas del transformador deben estar selladas con tapas provisionales las que se irán quitando paulatinamente durante el proceso de armado. El montaje se realizará con base en las instrucciones de cada fabricante, tomando en cuenta las precauciones indicadas en estas especificaciones sobre el contenido de oxígeno y llenado preliminar. Si los trabajos internos se prolongan más de un día, el transformador debe sellarse y presurizarse al terminar la jornada.

El manejo e instalación de boquillas se debe hacer siempre en posición vertical y deben estar limpias y secas; se deben tomar precauciones especiales durante su montaje para evitar roturas o daños de la porcelana; asimismo, se someterán a pruebas de aislamiento antes de montarse.

Antes de instalar los radiadores, deben lavarse perfectamente con aceite limpio y caliente (25-35 °C), lo mismo se hará con el tanque conservador, tuberías y válvulas de aceite, debiendo aplicar exteriormente una mano de pintura para acabado altos sólidos, color verde listón claro (Ver Normas de CFE A5).

Los empaques de corchoneopreno que se usan para el montaje de los accesorios deben estar limpios, así como las superficies y alojamiento; su montaje se hará con precaución, comprimiéndolos uniformemente para garantizar un sello perfecto.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 41 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

Todas las conexiones eléctricas deben limpiarse cuidadosamente antes de soldarse o unirse a conectores mecánicos; se deben confirmar las operaciones de nivel, flujo y temperatura antes de sellar el tanque.

Una vez terminado el armado del transformador y sellado perfectamente, se debe probar su hermeticidad, presurizándolo con aire o nitrógeno seco a una presión de  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ , verificando que no existan fugas; se debe explorar con aplicación de jabonadura en todas las uniones con soldadura, juntas y empaques; si existen fugas, se deben corregir antes de proceder a su secado o llenado definitivo.

Antes del llenado definitivo con su aceite aislante, el transformador se someterá a un tratamiento preliminar con alto vacío para eliminar la humedad que pudiera haber absorbido durante las maniobras de revisión interna y armado; para efectuar el alto vacío deben aislarse y sellarse el tanque conservador, radiadores, tuberías y accesorios.

El alto vacío debe alcanzar una presión absoluta de 1 mm Hg; en estas condiciones se mantendrá durante 12 horas, más 1 hora adicional por cada 8 horas que el transformador haya permanecido abierto y expuesto durante su inspección y armado.

La terminación del alto vacío se romperá introduciendo aire o nitrógeno ultraseco hasta lograr una presión de  $5 \text{ lb/plg}^2$  dentro del transformador, manteniéndolo en estas condiciones durante 24 horas para alcanzar un equilibrio entre el gas y los aislantes. A continuación se efectuarán mediciones de punto de rocío del gas, determinando la humedad residual de los aislantes, utilizando para ello los procedimientos adecuados (Ver Procedimiento de Operación SGP - A005 - 5).

Con el fin de eliminar en los aislamientos la humedad y los gases, el transformador se debe someter a un tratamiento de secado el cual permita restaurar sus características óptimas de rigidez dieléctrica y vida térmica en sus aislamientos; para tal fin, se podrán aplicar cualquiera de los siguientes procedimientos de secado, dependiendo del tipo de transformador, del tamaño, del contenido de humedad y de los medios que se dispongan para efectuar el secado.

**Tipos de Secado:**

- Secado con alto vacío y calor continuo.
- Secado con alto vacío y calor cíclicos.
- Secado con alto vacío y continuo.
- Secado con aire caliente.
- Secado con aceite caliente.

El equipo para secado de los transformadores al alto vacío debe ser proporcionado por el Contratista incluyendo las válvulas, bolsa para aceite y accesorios para su conexión. Una vez seco el transformador y terminado su armado, se procederá al llenado con aceite aislante para cubrir núcleo y devanados.

El aceite que se use para el llenado definitivo del transformador, debe ser un aceite deshidratado y desgasificado, con un contenido de agua de 10 p.p.m. (un contenido de 0.25 %) para transformadores de 230 kV y 400 kV; el resto de las pruebas del agente, tanto químicas como eléctricas estarán dentro de los límites de especificaciones de un aceite nuevo, ver Tabla No. 1.

Para el llenado de aceite el transformador tiene que ser previamente evacuado hasta lograr el máximo vacío posible dentro del mismo y mantener este vacío del orden de 1 a 2 mm Hg., durante todo el proceso de llenado.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 42 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

Para prevenir descargas electroestáticas debidas a la circulación del aceite aislante, todas las terminales externas del transformador, su tanque, tuberías y equipo de tratamiento, se conectarán sólidamente a tierra durante el llenado.

TABLA No.1 ESPECIFICACIONES DE ACEITE AISLANTE NUEVO NO INHIBIDO		
1.	APARIENCIA VISUAL	BRILLANTE SIN SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y TRANSPARENTE
2.	DENSIDAD RELATIVA 20/4 °C	0.84 a 0.88
3.	VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40 °C	MAX 10.4 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
4.	TENSIÓN INTERFACIAL A 25 X 1 °C	MIN 0.04 N/m
5.	TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN A 101.3 kPa	MIN 145 °C
6.	COLOR	MÁXIMO 1
7.	TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO	MÁX -26 °C
8.	NUMERO DE NEUTRALIZACIÓN	MÁX 0.03 mg KOH/g ACEITE
9.	CLORUROS Y SULFATOS	NEGATIVO
10.	AZUFRE CORROSIVO	NO CORROSIVO
11.	AZUFRE TOTAL	MÁX 0.10% EN MASA
12.	CARBONOS AROMÁTICOS	8-12% EN MASA
13.	CONTENIDO DE INHIBIDOR	NEGATIVO
14.	CONTENIDO BIFENILOS POLICLORADOS (ASKAREL)	NO DETECTABLE
15.	ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN (PARA 72 HORAS): LODOS NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN	MAX 0.15% EN MASA MAX 0.5 mg KOH/g ACEITE
16.	ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN (PARA 164 HORAS): LODOS NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN	MAX 0.3% EN MASA MAX 0.6 mg KOH/g ACEITE
17.	TENSIÓN DE RUPTURA DIELECTRICA. ELECTRODOS PLANOS (2.54 mm): ELECTRODOS SEMIESFÉRICOS (1.02 mm):	MIN 30 kV MIN 20 kV
18.	FACTOR DE POTENCIA A 60 Hz A 25 °C: A 100 °C:	MAX 0.05% MAX 0.3%

El aceite debe ser calentado a 20 °C y preferentemente a temperatura mayor a la del ambiente, y se introducirá en el tanque a una altura sobre el núcleo y bobinas por un punto opuesto a la toma de succión de la bomba de vacío, de tal manera que el chorro del aceite no pegue directamente sobre aislamientos de papel. La admisión debe ser controlada por medio de válvulas para controlar su flujo y conservar una presión positiva; la velocidad de llenado debe ser controlada para evitar burbujas atrapadas en los aislamientos, permitiéndose una velocidad de 100 litros por minuto o aumento de presión de 10 mm Hg, dentro del tanque.

En una sola operación del llenado se debe alcanzar a cubrir el núcleo y devanado; si por alguna razón se interrumpe el proceso, se deberá vaciar el transformador y reiniciar el llenado. Para transformadores con sistemas de previsión de aceite con nitrógeno, el llenado se continuará hasta el nivel indicado como norma y para sistema de tanque conservador tan arriba como sea posible.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 43 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

Una vez terminado el llenado del transformador sobre el espacio libre, se mantendrán las condiciones de vacío durante 3 ó 4 horas más antes de romper el vacío con aire o nitrógeno seco, hasta tener una presión de 5 lb/pulg<sup>2</sup>, con objeto de expulsar al exterior, a través de la bomba de vacío, las burbujas de agua o gas provocadas por el propio vacío obtenido durante el llenado.

Finalmente el aceite se debe recircular a través de la planta de tratamiento durante 8 horas continuas, o un equivalente a dos veces el volumen total del aceite del transformador, con objeto de eliminar la humedad residual y gases sueltos; durante este proceso se deben mantener operando las bombas de aceite; al terminar esta operación, se dejará el transformador en reposo por un mínimo de 24 horas para efectuar las pruebas y verificaciones.

Las pruebas y verificaciones deben ser ejecutadas por el Contratista, y son las siguientes:

- Prueba de resistencia de aislamiento de cada uno de los devanados a tierra y entre devanados.
- Prueba de factor de Potencia de cada devanado a tierra y entre devanados.
- Prueba de factor de Potencia a todas las boquillas equipadas con TAP de pruebas o TAP capacitivo.
- Prueba de relación de transformación en todas las derivaciones.
- Medición de resistencia óhmica en todos los devanados, utilizando un puente doble de KELVIN.
- Pruebas de rigidez dieléctrica, factor de Potencia, resistividad, tensión interfaseal y acidez del aceite aislante.
- Pruebas de contenido de agua y contenido total de gases de aceite aislante.
- Verificación de operación de los dispositivos, indicadores y de control de temperatura del aceite y punto caliente.
- Verificación de operación de los equipos auxiliares, como son bombas de aceite, ventiladores e indicadores de flujo.
- Verificación de alarmas y dispositivos por protecciones propias del transformador, así como los esquemas de protección diferencial y de respaldo.
- Antes de montar los radiadores y accesorios a la superficie exterior del tanque, se aplicará una mano de pintura para el acabado altos sólidos, color verde listón claro (Ver Especificaciones CFE A5).

### 3.3.4. TOLERANCIAS.

Para las tolerancias en montaje se deben aplicar las indicadas en los instructivos del fabricante; por lo que respecta a las tolerancias en tratamiento de aceite, se deben ajustar a lo indicado en estas especificaciones.

No se admitirán pérdidas en herrajes, accesorios y conectores; si existen daños no imputables al Constructor se comprobarán con las piezas dañadas y las actas respectivas.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 44 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.3.5. MEDICIÓN.**

Para fines de estimación y pago, la unidad de medida será el banco, entendiéndose por tal al juego de transformadores o reactores monofásicos o transformadores o reactores trifásicos totalmente armados y conectados.

**3.3.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprenden los siguientes cargos y operaciones:

- Traslado a la obra del equipo y accesorios.
- Maniobras y montaje de los equipos e instalación de accesorios y materiales de acuerdo a los planos e instructivos.
- Revisión interna y externa de los Transformadores.
- Tratamiento del transformador para secado.
- Tratamiento de aceite aislante.
- Fijación de los gabinetes centralizadores de control y de cambiador de derivaciones.
- Conexión del transformador a los buses, al gabinete local y al sistema de tierras.
- Aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado, según Especificación CFE D8500-01 "Recubrimientos Anticorrosivos", incluyendo gabinetes centrales y partes vivas.
- Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas del transformador.
- Retiro y limpieza del material sobrante a los bancos de desperdicio.

**3.4. MONTAJE DE INTERRUPTORES DE POTENCIA.**

**3.4.1. DESCRIPCIÓN.**

Esta especificación de montaje se aplicará a interruptores de potencia para servicio intemperie, autocontenidos, trifásicos para tensiones nominales de sistemas desde 13.8 kV hasta 400 kV, para una frecuencia nominal de 60 Hz, con medio de extinción en gas, aceite o vacío.

Se entenderá por interruptor trifásico al conjunto de tres unidades de interrupción que podrán estar integrados en una sola estructura, o bien estar constituido por tres Interruptores monofásicos que operarán en un sistema trifásico.

**3.4.2. DISPOSICIONES.**

En la presentación del presupuesto se analizarán por separado las siguientes actividades, por juego de interruptor trifásico, por voltaje y se integrarán a un solo precio unitario por juego de interruptor trifásico.

- Maniobras y traslado al sitio de montaje.



## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

- Montaje y nivelación de bancadas y bases.
- Montaje de aisladores y accesorios.
- Tratamiento y llenado de aceite e introducción de gas con la utilización de la maquinaria y accesorios especializados para tal efecto.
- Colocación e interconexión entre gabinetes del interruptor.
- Aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en tanques, bases y gabinetes locales.

### **3.4.3. EJECUCIÓN.**

El Contratista al recibir los interruptores los revisará minuciosamente para verificar que no haya señas de daños externos.

Los niveles de almacenamiento para los Interruptores son: Nivel "B" para los gabinetes de control, Nivel "C" para los herrajes, conectores y accesorios, y Nivel "D" para los aisladores y bancadas.

Los Interruptores se deben recibir de fábrica empacados de tal forma que facilite su transporte y su identificación, para hacer el montaje en obra con rapidez.

Normalmente los interruptores se empacan con las siguientes partes:

- Bases o bancadas, armario de mando, tanques o cámaras, interruptores de arco eléctrico, boquillas o columnas de aisladores y accesorios.
- Las cajas en que vienen empacados los interruptores se abrirán ordenadamente en función al proceso de montaje.

Para el montaje de las piezas es imprescindible contar con un aparato de elevación adecuado a los pesos y características de las piezas por montar, operación que se debe apegar a las indicaciones del fabricante.

Se tendrá cuidado en el manejo y transporte de las columnas de aisladores, en tal forma que la porcelana y los accesorios no se dañen.

En el caso de los gabinetes de control, si el montaje se prolonga por mucho tiempo y las condiciones climáticas sean desfavorables, se deben almacenar adecuadamente, conectando la calefacción del armario de mando.

El montaje se debe ajustar a lo indicado en los planos e instructivos y el personal encargado de ejecutar los ensambles debe ser especializado.

Los empaques de corcho neopreno y en general todos los sellos que se utilicen en el montaje de los accesorios, deben estar limpios, así como las superficies en donde se asienten; su colocación se hará con mucha precaución comprimiéndolos uniformemente para garantizar su hermeticidad.

Las conexiones eléctricas deben limpiarse perfectamente antes de soldarse o unirse a los conectores.

Las pruebas y verificaciones del funcionamiento en los planos e instructivos de montaje, deben ser ejecutadas por el Contratista y verificados por el "SUPERVISOR" de CFE.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 46 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.4.4. TOLERANCIAS.**

Las tolerancias en el montaje se aplicarán conforme a lo indicado en los planos e instructivos de montaje. No se admiten pérdidas o daños de ninguna pieza.

**3.4.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será el "JUEGO" entendiéndose por tal, a las piezas que formen el interruptor trifásico.

Se considera como unidad terminada el montaje del interruptor e interconexión entre gabinetes locales.

**3.4.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprenderán los cargos y operaciones siguientes:

- a) Maniobras de transportes y almacenajes, necesarios para llevar el equipo del almacén al sitio definitivo de su instalación.
- b) Montaje y nivelación de bancadas, bases, aisladores, equipos e instalación de accesorios y material de acuerdo a los planos e instructivos.
- c) Tratamiento y llenado de aceite e introducción de gas efectuando el vacío y secado del interruptor, mediante la utilización de maquinaria y accesorios especiales.
- d) Colocación e interconexiones entre los gabinetes locales.
- e) Suministro de charolas necesarias para alojar las mangueras de interconexión.
- f) Suministro y aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en tanques, buses y gabinetes de control y partes vivas.
- g) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas de los Interruptores.
- h) Retiro y limpieza del material sobrante a los bancos de desperdicio.
- i) Las pruebas necesarias para verificación del correcto montaje del equipo (operación, cierre y apertura manual).

**3.5. MONTAJE DE CUCHILLAS DE POTENCIA.**

**3.5.1. DESCRIPCIÓN.**

Estas especificaciones se aplicarán a cuchillas de apertura vertical u horizontal para servicio intertemperie, autosoportadas, trifásicas, con y sin puesta a tierra, para tensiones nominales de sistemas desde 13.8 kV hasta 400 kV, para frecuencia nominal de 60 Hz.

Se entenderá por cuchillas trifásicas al conjunto de tres unidades monopolaes (con y sin puesta a tierra) que operarán simultáneamente en un sistema trifásico.



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 47 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.5.2. DISPOSICIONES.**

Se analizarán por separado las siguientes actividades: por juego de cuchillas trifásicas, por voltaje, y se integrarán a un solo precio unitario por juego de cuchillas.

- Almacenaje y control de piezas.
- Maniobras y traslado al sitio de montaje.
- Adaptaciones necesarias para fijar los equipos a la estructura o base (barrenos, soldadura y cortes).
- Montaje y nivelación de bancadas o bases.
- Montaje de aisladores y accesorios.
- Calibración y ajuste de navajas.
- Colocación de los gabinetes locales.
- Aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en bases y gabinete local.
- Ajustes para la operación de las Cuchillas según manual.

**3.5.3. EJECUCIÓN.**

Las cuchillas deben llegar empacadas de fábrica en tal forma que se facilite su identificación, transporte y montaje; el Constructor al recibirlas revisará minuciosamente su contenido y verificará que no tengan daños externos.

Para el montaje de las piezas se debe disponer de equipo adecuado a los pesos y características de las piezas por montar; se apegarán estrictamente a los planos e instructivos.

Se debe tener especial cuidado en el manejo y transporte de las columnas de aisladores, de tal forma que la porcelana y los accionamientos no se dañen.

Cuando el montaje se prolongue y las condiciones climatológicas sean desfavorables, los gabinetes de control se deben almacenar adecuadamente, protegiéndolos contra la humedad o contra cualquier otra causa que provoque su deterioro.

El personal del montaje debe estar especializado en este tipo de trabajo.

Las conexiones eléctricas se limpiarán antes de soldarse o unirse a los conectores.

Las pruebas y verificaciones del funcionamiento indicado en los planos e instructivos deben ser ejecutados por el Contratista.

**3.5.4. TOLERANCIAS.**

Las tolerancias en el montaje son las indicadas en los planos e instructivos de montaje. No se admiten pérdidas o daños de ninguna pieza.





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 48 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.5.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida es el JUEGO entendiéndose por tal a las piezas que formen a la cuchilla trifásica.

Se considera como unidad terminada al montaje total de cuchilla (con y sin puesta a tierra), gabinetes y accesorios según planos e instructivos de proyecto.

**3.5.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprende los cargos y operaciones siguientes:

- a) Almacenaje y control de piezas.
- b) Maniobras y transporte necesarios para llevar el equipo al sitio definitivo de su instalación.
- c) Adaptaciones necesarias en la estructura metálica o base para fijar los equipos (barrenos, soldadura y cortes).
- d) Montaje de equipos y aisladores, así como instalación de accesorios y materiales de acuerdo a los planos e instructivos.
- e) Colocación de los gabinetes locales.
- f) Suministro y aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado en bases, gabinetes y partes vivas.
- g) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas de las cuchillas.
- h) Retiro y limpieza del material sobrante a los bancos de desperdicio.
- i) Calibración y ajustes necesarios para la operación de las cuchillas según manual.

**3.6. MONTAJE DE EQUIPO MENOR.**

**3.6.1. DESCRIPCIÓN.**

Dentro de este concepto se considera la colocación y conexión de los apartarrayos, aisladores soporte tipo columna, transformadores de corriente, trampas de onda, dispositivos de potencial y transformadores de potencial; monofásicos tipo pedestal para servicios intemperie y tensiones nominales desde 13.8 kV hasta 400 kV, para frecuencia nominal de 60 Hz.

**3.6.2. DISPOSICIONES.**

Los niveles de almacenaje que se aplicarán serán: Nivel "C" para herrajes, accesorios y conectores, y nivel "D" para los aisladores, teniendo cuidado que el lugar de almacenamiento esté perfectamente nivelado.

En el caso de que no se instalen de inmediato, el Contratista los mantendrá en su empaque original y los debe proteger para evitar daños a la porcelana.

En la presentación del presupuesto debe analizarse un precio unitario promedio por pieza en cada tipo de voltaje, para aplicarse a todo el equipo menor de esta área debiendo considerar el Contratista el suministro del gabinete



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 49 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

centralizador de interconexión de transformadores de potencial y transformadores de corriente, cuya especificación deberá solicitar a CFE.

**3.6.3. EJECUCIÓN.**

El Contratista al recibir el equipo lo debe revisar inmediatamente, para verificar que no presente daños externos.

Para el montaje de las piezas se requiere contar con equipo adecuado, tomando en cuenta el peso y las características de las piezas por montar.

Al conectar el equipo con los buses y demás equipos, se debe vigilar que los conectores estén limpios y se aprieten uniformemente para garantizar un buen contacto.

Las pruebas y verificaciones primarias indicadas en los planos e instructivos deben ser ejecutadas por el Contratista.

**3.6.4. TOLERANCIAS.**

Las tolerancias en el montaje deben ser las indicadas en los planos e instructivos de montaje. No se admiten pérdidas y daños de ninguna pieza.

**3.6.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será la pieza montada y conectada a los buses, gabinete local y al sistema de tierras.

**3.6.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprende los cargos y operaciones siguientes:

- a) Almacenaje y control de piezas.
- b) Maniobras y transporte de los equipos para llevarlos al sitio de instalación.
- c) Montaje y conexión de los equipos a sus gabinetes locales.
- d) Suministro de Gabinetes centralizadores de interconexión de transformadores de potencial y transformadores de corriente.
- e) Pintura de partes vivas.
- f) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas.
- g) Retiro y limpieza del material sobrante a los bancos de desperdicio.

**3.7. MONTAJE DE TABLEROS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN.**

**3.7.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entiende por "TABLERO DE CONTROL", al gabinete que contiene todos los aparatos que registran, miden controlan las funciones eléctricas de todos los equipos instalados en la Subestación.



**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES:**

---

**3.7.2. EJECUCIÓN.**

El nivel de almacén será el "C".

El tablero debe llegar ensamblado y alambrado de fábrica; el Contratista lo montará y nivelará en el sitio indicado, fijándolo a las anclas de acuerdo a los planos de proyecto.

**3.7.3. TOLERANCIAS.**

No se admite ninguna desviación adversa para la calidad de los trabajos en este concepto, ni se aceptan daños o pérdidas de los instrumentos propios del tablero.

**3.7.4. MEDICIÓN.**

La unidad de medida para fines de estimación y pago es "LA SECCIÓN", ya sea para medición y control (mímicos) como para protección, comunicación o secciones para control remoto de la Subestación.

**3.7.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprende los cargos y operaciones siguientes:

- a) Almacenaje y control de piezas incluyendo su transporte.
- b) Retiro y limpieza del material sobrante a los bancos de desperdicio.
- c) Maniobras y movimientos necesarios para su colocación, nivelación y fijación en el sitio definitivo, así como las uniones de secciones.
- d) Pintura de acabado si se trata de aplicación o retoques.

**3.8. MONTAJE DE TABLEROS DE SERVICIOS PROPIOS.**

**3.8.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entenderá por "TABLERO DE SERVICIOS PROPIOS", a los centros de carga para corriente alterna y corriente directa, que se montarán en la caseta de control.

Estos centros de carga controlarán y distribuirán los circuitos que requiera a la Subestación, para el alumbrado y servicio de emergencia eléctrica en general, en sistemas de 440/220/127 VCA, 250/125/48/12 VCD.

**3.8.2. DISPOSICIONES.**

El Nivel de almacenaje será el "C".

**3.8.3. EJECUCIÓN.**

El Contratista los debe montar en el sitio indicado, fijando los anclajes; asimismo efectuará las interconexiones entre el tablero de corriente directa, tablero corriente alterna y tablero de control. Debe identificar y conectar los circuitos de los tableros de corriente directa y alterna de acuerdo a las indicaciones en los planos de proyecto.



## **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

### **3.8.4. TOLERANCIAS.**

No se admite ninguna desviación adversa para obtener la calidad de los trabajos descritos en este concepto, no se aceptan pérdidas o daños de material o equipo.

### **3.8.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida es la "SECCIÓN", entendiéndose por tal, al conjunto de aparatos e instrumentos que controlan la alimentación de corriente alterna o corriente directa a los equipos de la subestación.

### **3.8.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprende los cargos y operaciones siguientes:

- a) Almacenaje y control de piezas incluyendo su transportación al sitio de la obra.
- b) Maniobras y movimientos para su colocación en el sitio definitivo.
- c) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas.
- d) Pintura de acabado en ampliación o secciones nuevas.
- e) Retiro y limpieza del material sobrante.

### **3.9. MONTAJE DE BANCOS Y CARGADORES DE BATERÍAS.**

#### **3.9.1. DESCRIPCIÓN.**

En las Subestaciones de Potencia se requieren fuentes de corriente directa para satisfacer las necesidades de protección, medición y alumbrado de emergencia.

De acuerdo con la capacidad y características de la Subestación se diseñan los bancos de baterías, que pueden ser del tipo plomo-ácido o alcalino, y según las capacidades de los bancos de baterías, se determinan los cargadores para mantener un voltaje adecuado.

#### **3.9.2. EJECUCIÓN.**

El Contratista debe armar y colocar en su sitio los elementos que formen la estructura para soportar el banco, de acuerdo con la disposición mostrada en los planos. Una vez terminado el montaje de la estructura que soportará al banco de baterías, se sujetará con sus pernos de anclaje y se aplicarán 3 manos de pintura anticorrosiva. Posteriormente, se colocan las baterías sobre la estructura y se conectan sus terminales como lo indiquen los planos.

El equipo cargador de baterías se montará en los soportes, fijándolo con sus pernos de anclaje.

Una vez terminado el montaje del banco y del equipo cargador de baterías, se alambrarán entre sí.

A continuación se describen las pruebas que CFE ejecutará a los bancos de baterías plomo-ácido, para su puesta en servicio una vez terminado el montaje y conectado del banco al cargador de baterías:



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 52 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

- Llenar las pilas con el electrolito hasta el nivel indicado.
- Revisar todas las conexiones, asegurándose que los agujeros de ventilación para el escape de gas y los tapones de las celdas no se encuentren obstruidos.
- Se aplicará al banco una carga de igualación y se tomarán lecturas de voltaje durante la carga.
- Se inicia la carga de igualación con un voltaje de 2.33 V.P.C. (VOLT POR CELDA); si la corriente suministrada por el cargador es mayor de su capacidad o mayor a la del régimen de carga a 8 horas, se baja el voltaje de la igualación para controlar la corriente aumentando el voltaje de acuerdo a como disminuya la corriente.
- Después de las primeras tres horas de igualación, se debe asegurar que las celdas gasifiquen libremente y en igual proporción; si alguna de ellas gasifica, significa que puede tener un corto circuito interno; en este tiempo, se checan y registran las densidades a 25 °C.
- Cuando dos lecturas de densidad y voltaje sucesivas no cambien, se continuará la carga por 8 horas más, para que el banco tome su carga de refresco.
- Como valores por celda se consideran los siguientes: Voltaje de igualación 2.33 V y densidad 1200-1220 puntos. Se entiende que estos valores de voltaje por celda son leídos en los extremos del banco; la temperatura de las celdas será entre 15 °C y 26 °C y no tener una diferencia mayor de 2 °C entre celda.
- Poco antes de terminar la carga de igualación se registran los voltajes de cada una de las celdas del banco, así como el voltaje en terminales, la suma de voltajes por celda no debe ser diferente al voltaje en terminales por más de 0.05 Volts en banco de 60 celdas.
- A continuación se pone el banco en carga de flotación y 20 minutos después, se toman lecturas de densidad corregidas por temperatura en cada una de las celdas y se registra en el control correspondiente.
- La corriente de carga para el banco en flotación debe ser entre 50 a 100 miliamperes por cada 100 Amperes-hora de capacidad del banco.

**Precauciones que se deben tomar durante la carga de igualación:**

- Durante la carga igualadora, las celdas no pueden absorber toda la energía que se les proporciona, de tal forma que esta energía sobrante disocia el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno. Con carga completa, la cantidad de hidrógeno liberado es aproximadamente de 28 decímetros cúbicos por celda, por cada .63 Ampere-horas de carga.
- Dado que un contenido de 4% de hidrógeno en el aire es explosivo, no se permite en el cuarto de baterías llamas abiertas de cualquier clase, además se deben tomar precauciones de tener la ventilación adecuada para impedir la acumulación de hidrógeno.
- En caso de baterías plomo-ácido se llenarán con el electrolito en el momento de que se ejecuten las pruebas de "Puesta en Servicio".
- Los registros de lecturas de densidad deben siempre corregirse a 150 °C; restar un punto de densidad por cada 1.50 °C abajo de 25 °C.



COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 53 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

- Las lecturas de los voltajes por celda al final de la carga de igualación, deben hacerse con un voltímetro de precisión y registrar hasta la centésima de Volt.
- Las lecturas de voltaje al final de la carga de igualación, deben compararse con las de referencia; la diferencia entre la celda de voltaje mayor y menor debe ser igual a la referencia; si no es así, debe verificarse el voltaje de igualación para observar si es el mismo que el de referencia, o bien, las celdas no han completado su carga.
- Una semana después de haberse hecho la carga de igualación completa, se ejecutan las pruebas de capacidad. Para efectuar esta prueba se requiere de resistencias variables adecuadas, para descargar las celdas al régimen de corriente y voltaje del banco, y así verificar realmente su capacidad en Ampere-horas; por lo que se aplicará una prueba de capacidad total que consiste en: Aplicar una descarga a régimen de 3 horas hasta su mínima tensión permitida de 1.75 Volts por celda. La corriente de descarga se fija al valor de la gráfica del fabricante a un régimen de 3 horas.

**Descripción de la Prueba:**

- Instalar un dispositivo de resistencia variable con un voltímetro y un amperímetro, en previsión de que la carga debe ser variada para mantener una corriente constante igual a la de régimen de descarga seleccionada; en caso de que la corriente no pueda ser ajustada a un valor constante, regístrese los valores de corriente cada 10 minutos y grafíquese para determinar el valor medio de corriente; si este valor es diferente al seleccionado, debe considerarse para corregir la capacidad calculada. Conviene que la desviación no sea más de 10 %.
- Desconectar el cargador de baterías.
- Conecte la carga al banco de baterías, empiece a contar el tiempo y mantenga la corriente al valor correcto.
- Mantenga la carga del banco de baterías hasta obtener un valor de voltaje en terminales de 1.75, por el número de celdas (anotar el tiempo transcurrido "TA").
- Registre los voltajes individuales de cada celda en sus postes y el voltaje total en terminales del banco. Estas lecturas se tomarán al principio de la prueba entre intervalos durante la prueba y al final de la misma.
- Si alguna celda llegara a invertir su polaridad, pero el voltaje en terminales no se llega a alcanzar todavía al límite de voltaje inferior del banco, se pondrá en corto circuito la celda invertida y se continuará la prueba. El nuevo voltaje mínimo en terminales se determinará por el número de celdas que queden trabajando multiplicado por 1.5.
- Finalmente se determina la capacidad del banco de baterías de acuerdo a lo siguiente:

$$\frac{TA}{Ts \times K} = \% \text{ de capacidad a } 25^{\circ}C$$

donde:

- |    |   |  |
|----|---|--|
| TA | ↖ | tiempo real de duración de la prueba.                                  |
| Ts | ↖ | tiempo de régimen de descarga.   |
| K  | ↖ | factor de corrección de capacidad por temperatura (ver gráfica No. 1). |



**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 54 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

La capacidad del banco deberá estar arriba del 80 % para considerarse confiable. Si el banco resulta satisfactorio se llevará a sus condiciones iniciales, aplicándole el procedimiento de carga de igualación y se dejará en flotación de servicio.

**3.9.4. TOLERANCIA.**

Las tolerancias en el montaje se deben ajustar a las indicadas en los instructivos del fabricante; por lo que respecta a las tolerancias en densidades y voltaje, se ajustarán a lo indicado en estas especificaciones.

**3.9.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida es el "BANCO", entendiéndose por tal al conjunto de celdas que al conectarse entre sí, de acuerdo a lo indicado en los planos de proyecto, se obtenga el voltaje y capacidad indicada.

**3.9.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

Comprenden los cargos y operaciones siguientes:

- a) Maniobras y transporte necesarios para llevar el equipo al sitio definitivo de su instalación.
- b) Montaje de los equipos e instalación de accesorios y materiales, de acuerdo a los planos e instructivos.
- c) Llenado de celdas.
- d) Colocación y conexión de los cargadores de baterías.
- e) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas del banco de baterías.
- f) Retiro y limpieza del material sobrante.

**3.10. TENDIDO Y CONECTADO DE CABLE DE CONTROL.**

**3.10.1. DESCRIPCIÓN.**

Se entiende por "CABLE DE CONTROL", a los conductores que unen los gabinetes de los equipos que se montarán en la parte exterior de la Subestación, con los instrumentos y aparatos que se localicen en los tableros de control, ubicados en las "CASETAS DE CONTROL".

Los conductores vienen integrados en cables y se componen de 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 y 12 conductores por cable, están aislados con polietileno y a su vez el cable está protegido exteriormente con neopreno para un aislamiento de 600 Volts.

**3.10.2. EJECUCIÓN.**

El Contratista colocará los cables sobre los soportes localizados en las trincheras, siguiendo la trayectoria indicada en los planos de proyecto. Durante el tendido se formarán capas de cables uniéndolos a los soportes de las trincheras con cáñamo para evitar su caída.



## COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 55 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

### ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

Una vez tendido al cable, el Constructor lo debe conectar en gabinetes de tablillas de interconexión a las tablillas de los Tableros de control y/o Servicios Propios y gabinetes de control de los equipos de acuerdo a las listas de cables.

El Contratista debe tener el cuidado de no dañar el neopreno de los cables durante su tendido.

Todos los cables después de tendidos se identificarán con los listones o placas colocadas en los extremos de cada cable, de acuerdo a la lista de cableado.

Los cables deben ser de una sola pieza y en el caso de que se requieran empalmar, se solicitará la autorización del "SUPERVISOR".

El Contratista debe prestar la asistencia necesaria para efectuar las pruebas en las instalaciones hasta su puesta en servicio.

#### 3.10.3. TOLERANCIAS.

No se admiten tolerancias en cuanto a conexiones se refiere, lo cual indica que se deben apegar a lo indicado en los planos y listas de cables o instructivos.

#### 3.10.4. MEDICIÓN.

La unidad de medida es el metro lineal de cable tendido y fijado, enclomado y conectado a los gabinete tableros de control y tableros de servicios propios, de acuerdo con la lista de cableado.

#### 3.10.5. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

Comprenderán los cargos y operaciones siguientes:

- a) Almacenaje y control.
- b) Maniobras y transporte necesario para llevar los carretes de cables de control, desde el almacén al sitio de su instalación.
- c) Tendido y flejado sobre los soportes por capas y en charolas.
- d) Suministro y colocación de zapatas y listones de identificación de los cables de control.
- e) Conexión a Tableros y gabinetes de equipos.
- f) Suministro y conexión de gabinetes de tablillas de interconexión.
- g) Suministro y colocación de tubo Conduit y/o P.V.C. y/o charola para unir los gabinetes de control de los equipos con los registros y/o trincheras de acuerdo a los planos de proyecto e instructivos de montaje.
- h) Encofrado de tubería conduit y/o PVC con concreto  $f'c = 98 \text{ MPa}$  ( $100 \text{ kg/cm}^2$ ), con recubrimientos libres de 5 cm hasta el nivel de piso terminado.
- i) Suministro de material de instalación (cinta aislante, cáñamo y soldadura).
- j) Devolución de cable de control sobrante al almacén.





**COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 56 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

k) Auxiliar con personal y herramientas en las pruebas de instrumentos.

**3.11. INSTALACIÓN DE FUERZA Y ALUMBRADO EXTERIOR.**

**3.11.1. DESCRIPCIÓN.**

Las Subestaciones de Potencia son de tipo intemperie por lo que se requieren instalaciones para alumbrado exterior.

En este concepto se ejecutarán todos los trabajos necesarios par instalar los equipos y materiales que requieran estos servicios, ajustándose a los planos de proyecto correspondiente.

**3.11.2. DISPOSICIONES.**

Queda dentro del suministro del Contratista las unidades de iluminación, el cable de fuerza para el tablero de alumbrado y/o de Servicios Propios, así como el cable para el alumbrado. También proporcionará los postes, pedestales, tubos conduit, condulets, interruptores de seguridad, contactos, tableros de alumbrado y accesorios necesarios para la instalación del alumbrado exterior y su adecuado funcionamiento, incluyendo el dirigido hacia el exterior de las instalaciones.

El nivel de almacén será: Nivel "C" para luminarias y cables, y Nivel "D" para los postes.

**3.11.3. EJECUCIÓN.**

Las instalaciones serán visibles, tipo industrial a prueba de intemperie; los ductos para los conductores deben ser de tubería Conduit galvanizado con diámetro mínimo de 19 mm con protección en todas las uniones de rosca; la tubería se instalará sólidamente por medio de abrazaderas, siguiendo las trayectorias indicadas en los planos de proyecto.

Los conductores serán de los calibres y características indicadas en los planos y las uniones entre conductores serán soldadas.

Las unidades de iluminación se instalarán en la disposición y orientación indicadas en los planos. Los postes y pedestales se montarán previendo los agentes atmosféricos que puedan destruir o dañar las unidades de iluminación.

**3.11.4. TOLERANCIAS.**

Las instrucciones se ajustarán a la Norma Oficial Mexicana Relativa a las Instalaciones destinadas al Suministro y Uso de la Energía Eléctrica (NOM-001-SEMP-1994).

Se respetarán las trayectorias, ubicaciones y tipo de accesorios indicados en los planos de proyecto.

**3.11.5. MEDICIÓN.**

La unidad de medida será la luminaria o SALIDA incluyendo en este precio todos los materiales y accesorios requeridos para la operación segura y confiable de las instalaciones referidas.



**ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.**

---

**3.11.6. CARGOS Y OPERACIONES INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.**

- a) Incluyen el suministro, transporte, la recepción, almacenaje, manejo, montaje y pruebas de los materiales suministrados por el Contratista según planos de proyecto.
- b) El suministro de tubería conduit, abrazaderas, condulets, contactos, conectores, glándula, tubo flexible, postes, pedestales, lámparas principales, interruptores de seguridad, tableros de alumbrado y accesorios necesarios para la instalación del alumbrado exterior.
- c) La mano de obra para cableado, ductos, contactos y conexiones al tablero de servicios propios y al tablero de alumbrado.
- d) Fabricación de registros y encofrado de tubo conduit a nivel de piso terminado.

**3.12. COLOCACIÓN DEL SISTEMA DE TIERRAS.**

**3.12.1. DESCRIPCIÓN.**

Los sistemas de Potencia están expuestos a fenómenos que provocan fallas en los aislamientos y daños al equipo.

La forma más eficaz para reducir estas causas, es un sistema adecuado de conexión a tierra, al que se conectarán las estructuras y equipos de la Subestación.

El sistema de tierras consiste en una cuadrícula de conductores de cobre enterrados y conectados entre sí y a varillas Copper Weld, así como a electrodos localizados en la periferia de la cuadrícula. En algunos puntos de la cuadrícula, las varillas Copper Weld irán alojadas en registros que permitan hacer lecturas al sistema de tierras.

Al ocurrir un disturbio atmosférico, un buen sistema de tierras reduce los voltajes peligrosos, limita las elevaciones de potencial a tierra, permite operar satisfactoriamente los relevadores, facilita la localización de fallas, ahorra costos de equipos y mantiene niveles adecuados de aislamiento.

**3.12.2. DISPOSICIONES.**

Cada Subestación puede presentar características diferentes que determinarán sistemas de tierras particulares.

El Contratista debe suministrar e instalar el cable de cobre, varillas Copper Weld, conectores, fundentes, moldes, soluciones y materiales (bentonita, carbón, etc.) para los electrodos de acuerdo a lo indicado en los planos de proyecto. Los materiales y mano de obra deben incluirse en el precio unitario.

El Nivel de almacenamiento será el "C".

**3.12.3. EJECUCIÓN.**

Para el tendido del conductor se debe trazar la cuadrícula efectuando una excavación de 50 cm de profundidad y el ancho que permita colocar el cable. Posteriormente, se debe iniciar el tendido de cable, instalación de conectores e hincado de varillas Copper Weld.

Las uniones de los conductores con las varillas deberán garantizar la firmeza en su contacto, como se indica en los planos de proyecto.



# COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN

HOJA 58 DE 58  
ESPECIFICACIÓN  
CPTT-GT-02-95  
REV. ABRIL/1998

## ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES.

---

La fabricación de los registros y sus tapas se deben ajustar a lo indicado en los planos de proyecto.

El hincado de varillas se ejecutará a golpeo en terreno blando y por medio de perforación en terreno semiduro o duro; la varilla debe quedar firmemente enterrada para evitar falsos contactos.

La colocación de electrodos prefabricados para la formación de la red de tierras, se procederá de acuerdo al orden siguiente:

- Se hincan las varillas en los sitios indicados.
- Se excava una zanja circular a la varilla de 50 cm de profundidad por 30 cm de ancho.
- La zanja se rellena con una solución de sulfato de magnesio, de cobre o sal de roca con un espesor de 20 cm y el resto se cubrirá con material producto de excavación.

El relleno y compactado de las zanjas se debe ajustar a lo indicado en el punto 2.10 de estas especificaciones.

### 3.12.4. TOLERANCIAS.

Se sujetará a lo indicado en los planos de proyecto.

### 3.12.5. MEDICIÓN.

La unidad de medida será el "METRO LINEAL" con aproximación al centésimo.

Las longitudes serán las indicadas en los planos de proyecto.

Las derivaciones de la malla principal a los equipos forman parte del sistema de tierras e igualmente se pagarán por "METRO LINEAL", por lo cual al integrar el precio unitario para este proyecto, se debe considerar el cable de la malla principal y el de las derivaciones según proyecto.

### 3.12.6. CARGOS INCLUIDOS EN EL PRECIO UNITARIO INTEGRAL.

Comprende los cargos y operaciones siguientes:

- a) Excavación para zanjas y registros.
- b) Material y mano de obra para el tendido y conectado de cables de acuerdo con los planos de proyecto.
- c) Material y mano de obra para el hincado de varillas y colocación de conectores.
- d) Material y mano de obra para la construcción de registros y tapas.
- e) Colocación de solución en electrodos.
- f) Relleno y compactado de zanjas y registros.
- g) Conexión del sistema de tierras a los equipos y estructuras metálicas.
- h) Suministro de accesorios (abrazaderas de cobre) y ejecución de las adaptaciones (barrenos, cortes, pintura, etc.) para fijar los cables de tierras a las estructuras metálicas.



ICA

DEC

# DIPLOMADO GERENCIA DE PROYECTOS

VERSIÓN 1.000

COORDINADOR GENERAL: ING. RAFAEL ABURTO

TEMA: \_\_\_\_\_

PROFESOR(ES): \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

**PROGRAMA DEL DIPLOMADO "GERENCIA DE PROYECTOS" PARA EL GRUPO ICA  
VERSION 1999**

25 DE FEBRERO	26 DE FEBRERO	27 DE FEBRERO
CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO ING. CARLOS URIEGAS TORRES	EVALUACION DE PROYECTOS DR. GABRIEL SANCHEZ GUERRERO	ESTRUCTURA DE PROYECTOS Y CONSTRUCTABILIDAD DR. JORGE VANEGAS
ESTIMACION DE COSTOS ING. RAFAEL ABURTO VALDES		
18 DE MARZO	19 DE MARZO	20 DE MARZO
SUBCONTRATACION ING. JOHN BAUMANIS	ASPECTOS FINANCIEROS ING. GABRIEL LEAL GUERRERO	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ING. RICARDO ZAMORA LAURENT
CALIDAD Y SEGURIDAD ING. HECTOR RABADAN TAPIA	ASPECTOS LEGALES LIC. QUIRICO SERIÑA GARZA	
22 DE ABRIL	23 DE ABRIL	24 DE ABRIL
ASOCIACIONES ESTRATEGICAS ING. ENRIQUE BAENA ORDAZ	METODOS, DIAGRAMAS Y REDES M.I. OSCAR MARTINEZ JURADO	PRIMAVERA PROJECT (COMPUTADORAS) M.I. OSCAR MARTINEZ JURADO
METODOS, DIAGRAMAS Y REDES M.I. OSCAR MARTINEZ JURADO		
27 DE MAYO	28 DE MAYO	29 DE MAYO
INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN CARRETERAS ING. BULMARO CABRERA	INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN PLANTAS INDUSTRIALES ING. ARTURO ROSALES	INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN EDIFICIOS ING. SERGIO GONZALEZ KARG
24 DE JUNIO	25 DE JUNIO	26 DE JUNIO
SUMINISTROS ING. JOHN BAUMANIS	SUMINISTROS ING. JOHN BAUMANIS	INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN PRESAS ING. OSCAR VEGA ROLDAN
22 DE JULIO	23 DE JULIO	24 DE JULIO
INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN PUENTES ING. IGNACIO HERNANDEZ QUINTO	CONSTRUCCION DE PROYECTOS TERMoeLECTRICOS ING. ANTONIO PEREZ MILICUA	EVALUACION DE PROYECTOS TERMoeLECTRICOS ING. ERIKA DIAZ ALATRISTE ING. RAFAEL VAZQUEZ DEL MERCADO
	CONSTRUCCION DE LINEAS DE TRANSMISION ING. ABIMAEAL CRUZ ALVAREZ	
2 DE SEPTIEMBRE	3 DE SEPTIEMBRE	4 DE SEPTIEMBRE
INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE EN PAVIMENTOS ING. ESTEBAN AMBRIZ REYES	CONSTRUCCION (EDIFICACION) ING. SALVADOR CARMONA IRETA	CONSTRUCCION DE TUNELES ING. ADRIAN LOMBARDO

23 DE SEPTIEMBRE	24 DE SEPTIEMBRE	25 DE SEPTIEMBRE
PLANEACION, PROYECTO Y CONSTRUCCION DE CENTRALES HIDROELECTRICAS DR. HUMBERTO MARENGO	CONSTRUCCION EN ROCA ING. FEDERICO ALCARAZ	PLANEACION ESTRATEGICA LIC. ALMA ROSA MERCADO
APOYO DE LA COMPUTACION EN EL PROYECTO (VISITA AL I.M.P.) ING. ARTURO ROSALES	CONSTRUCCION DEL METRO ING. JESUS FRANCO ORTEGA	
14 DE OCTUBRE	15 DE OCTUBRE	16 DE OCTUBRE
PROCESO DE LA ADMINISTRACION DE PROYECTOS LIC. NORMA OLMEDO	PROCESO DE LA ADMINISTRACION DE PROYECTOS LIC. NORMA OLMEDO	PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y ENTREGA DE UN PROYECTO ING. MARTINIANO AGUILAR
4 DE NOVIEMBRE	5 DE NOVIEMBRE	6 DE NOVIEMBRE
LIDERAZGO Y NEGOCIACION LIC. VICTOR SILVA	LIDERAZGO Y NEGOCIACION LIC. VICTOR SILVA	REVISION DE PROYECTOS ING. RAFAEL ABURTO VALDES
2 DE DICIEMBRE	3 DE DICIEMBRE	4 DE DICIEMBRE
PRESENTACION DE LOS PROYECTOS ING. RAFAEL ABURTO VALDES		

Estos 2 ultimos si no los acepta el grupo la presentacion sera el 14 - 15 - 16 octubre



**INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V.**  
**OBRA: J811CB CENTRO MAX BAJIO**  
RELACION DE PAGOS URGENTES

FECHA: 21/JULIO/1999

PROVEEDOR O CONTRATISTA	PAGO MINIMO REQUERIDO ESTA SEMANA	CONTRATO	OBSERVACIONES	AREA QUE AFECTA
ALBESA DEL BAJIO SA DE CV	43.00	SI	ENVIO A MEXICO MAYO 99	PARO ACTIVIDADES TERRACERIA
ACEROS Y PERFILES DE LEON SA DE CV	39.00	— o —	PROVEEDOR	
BOMBAS Y SISTEMAS HIDRONEUMATIC	90.00	SI	ENVIO A MEXICO 20/JUL/99	CISTERNA
COPRESA	300.00	— o —	PROVEEDOR	
RANGEL TREVIÑO	✓ 150.00	SI	FIRMA ING. E.A.M.	PARO ACTIVIDADES TERRACERIA
DIST. DE MATERIAL ELECTRICO SA DE C	50.00	— o —	PROVEEDOR	MATERIAL ELECTRICO (SUSPENSION DE CREDITO)
FERRELARCO	35.00	— o —	PROVEEDOR	MATERIAL ELECTRICO (SUSPENSION DE CREDITO)
MATERIALES INFANTE	✓ 150.00	PROCESO		PARO ACTIVIDADES TERRACERIA
SAN NICOLAS PREFABRICADOS	50.00	SI	ENVIO A MEXICO 6 JULIO	SUMINISTRO BLOCK
SERVICIO DELTA	22.00	— o —	PROVEEDOR	SUMNISTRO COMBUSTIBLE
NAPRESA	✓ 38.00	SI	PROVEEDOR	PROVEEDOR BLOCK
CENTRIFUGADOS MEXICANOS SA CV	✓ 30.00	— o —	PROVEEDOR	REGISTROS PREFABRICADOS
PVC CONDUIT GUADALAJARA	52.00	— o —	PROVEEDOR	MATERIAL ELECTRICO (SUSPENSION DE CREDITO)
SERVICIOS ELECTRICOS PREVENTIVOS	✓ 62.00	SI	FALTA DOCUMENTACION CERTIFICADA	CABLEADO DE MEDIA TENSION
<b>SUMAS</b>	<b>1,111.00</b>			



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

**DIPLOMADO EN “GERENCIA DE PROYECTOS”  
ICA – DECFI, UNAM**

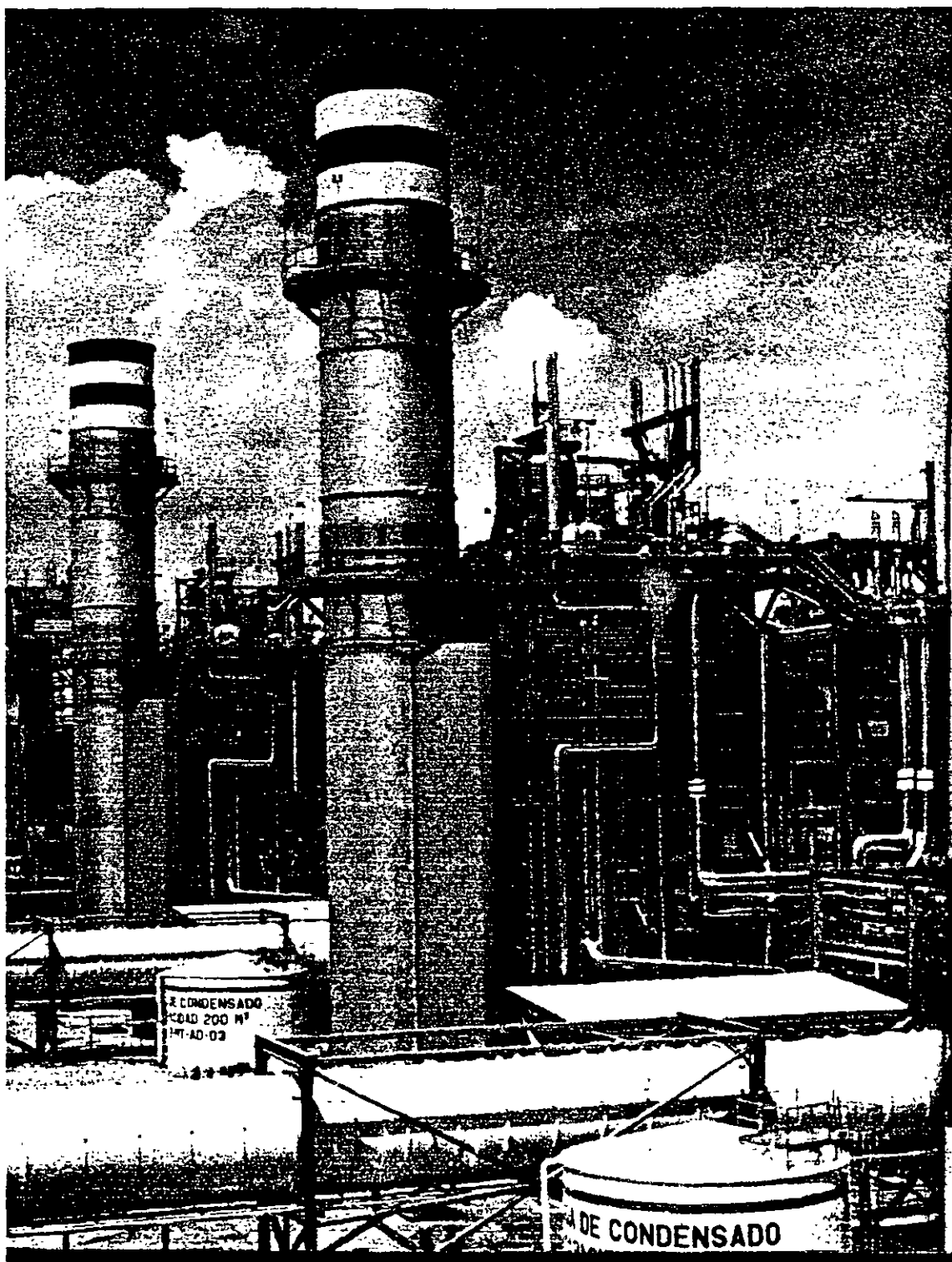
Módulo IV “Construcción”  
Del 22 al 24 de Julio

**“EVALUACION DE PROYECTOS TERMOELECTRICOS”**

Ing. Ericka Díaz Alatraste  
Ing. Rafael Vázquez del Mercado

Palacio de Minería, México 1999





# DIPLOMADO GERENCIA DE PROYECTOS

EVALUACION DE PROYECTOS TERMoeLECTRICOS

**DIPLOMADO EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**EVALUACIÓN DE PROYECTOS TERMOELÉCTRICOS**

**ING. ERICKA DÍAZ ALATRISTE  
ING. RAFAEL VÁZQUEZ DEL MERCADO VILLASEÑOR  
PALACIO DE MINERÍA  
1999**

## **I. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**

- A. Antecedentes Históricos
- B. Descripción del Sistema Eléctrico Nacional

## **II. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA**

- A. Planeación de la Infraestructura
- B. Programación de Unidades Generadoras
- C. Programa de Inversiones

## **III. OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**

- A. Objetivos Básicos de la Operación
- B. Estructura Orgánica de Control
- C. Operación

## **IV. INTERVENCIÓN DEL SECTOR PRIVADO. PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA**

- A. Marco Legal y Cambios a la Ley Existente en Materia Eléctrica
- B. Antecedentes del Financiamiento de Infraestructura Eléctrica
- C. Esquema Construir, Arrendar y Transferir (CAT)
- D. Esquema de Obra Pública Financiada
- E. Esquema de Productor Externo de Energía (PEE)
- F. Asignación de Riesgos

## V. EVALUACIÓN DE PROYECTOS.

- A. Generalidades
- B. Métodos de evaluación

## VI. LICITACIONES PÚBLICAS INTERNACIONALES

- A. Programa de Licitaciones Públicas Internacionales
- B. Evaluación de Proyectos Termoeléctricos. Licitación Pública Internacional C.C.C. Río Bravo (450 MW)

- Esquema Financiero
- Esquema Contractual
- Metodología de Evaluación
- Parámetros de Evaluación
- Criterio de Adjudicación
- Elaboración del Dictamen

## **I. EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**

### **A. Antecedentes Históricos**

El desarrollo económico y social de un país está fuertemente vinculado a su patrón de consumo energético. En México el desarrollo económico y social se debe en buena medida a los avances obtenidos por dos de sus principales industrias: el petróleo y la electricidad.

Hoy en día han surgido las economías globalizadas; el estado y el sector privado jugarán nuevos roles en la economía nacional. Pero lo que no ha cambiado es que, hoy como ayer, la evolución del país depende de un adecuado y oportuno suministro de energía eléctrica. Más aún, en este contexto la importancia relativa de la electricidad se ha incrementado.

El uso de la electricidad en la República Mexicana se inició en el año de 1879, con la instalación de una planta termoeléctrica en la ciudad de León, Guanajuato; su objetivo fundamental consistía en satisfacer las necesidades industriales de la firma textil Hayser y Portillo. En 1881 se establece en la ciudad de México la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica, primera empresa dedicada a la generación y venta de energía eléctrica para el alumbrado público, transportes urbanos y usos domésticos, con una planta de vapor de 2,240 kW. En el año 1889 funcionaban ya aproximadamente 198 plantas y para 1900 todas las ciudades importantes del país contaban al menos con una empresa que les suministraba el fluido eléctrico.

Al consolidarse el triunfo de la Revolución, y con base en la Constitución de 1917, el gobierno empezó propiamente a ocuparse de la industria eléctrica, a través de la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo. Para 1929 el total de las 98 empresas dedicadas a este ramo eran extranjeras, las cuales tenían como objetivo llevar los beneficios de la energía eléctrica solo a los centros de población con solvencia económica. Para el año de 1930, México ya contaba con una capacidad instalada de aproximadamente 360,000 kW, y ya era notorio que el progreso, el avance y la extensión de los beneficios derivados de la energía eléctrica, no podían seguir persiguiendo los fines de lucro que buscaban las empresas establecidas. El gobierno se enfrentó entonces a la necesidad de construir una industria nacional, que abastecería de energía eléctrica a la pequeña y mediana industria, al campo y en general a todos los centros de población que carecían de ella.

El 29 de diciembre de 1933, el Congreso de la Unión autorizó al Ejecutivo Federal, mediante decreto publicado en el Diario Oficial del 20 de enero de 1934, para constituir la Comisión Federal de Electricidad, entidad que tendría por objeto "organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica".

**Fue hasta el 14 de agosto de 1937, cuando el presidente Lázaro Cárdenas expidió en Mérida Yucatán, la ley que creó la Comisión Federal de Electricidad.** Desde su creación y hasta el año de 1949, los trabajos de la Comisión Federal de Electricidad, fueron de poca significación, puesto que no se contaba con los recursos económicos, técnicos y humanos, suficientes para emprender proyectos a nivel nacional, y debido a los efectos de la Segunda Guerra Mundial.

Conforme a la Ley de la Industria Eléctrica del 31 de diciembre de 1938, la capitalización del patrimonio de Comisión Federal de Electricidad, sólo se hacía mediante recursos provenientes de un impuesto del 19%, sobre el consumo de energía eléctrica del país. El 14 de enero de 1949, se publicó la ley Constitutiva de la Comisión Federal de Electricidad, que llegó a ser un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. En 1947 contaba con 23 plantas generadoras y una capacidad de 44,000 kW; para el año de 1952 el número de plantas era de 215 y la capacidad instalada de 390,000 kW. En 1960, la Comisión Federal de Electricidad, produjo 4,229 millones de kWh, que representaron el 50% de la generación total.

El 21 de abril de 1960, el Gobierno Federal compró los bienes del grupo de empresas pertenecientes a la American and Foreign Power Company, representada por Impulsora de Empresas Eléctricas, S.A. En ese mismo año, el Gobierno federal adquirió el 90% de las acciones comunes y preferentes de The Mexican Light and Power Company, y tomó posesión de la misma el 27 de septiembre del mismo año, fecha que ha quedado registrada en la historia de México, como el día de la nacionalización de la industria eléctrica.

**El proceso de nacionalización se consumó formalmente el 29 de diciembre de 1960 al hacerse una adición al Artículo 27 de la Constitución, por el cual se reserva en exclusiva al estado la generación, transmisión y distribución de la electricidad.**

En el año de 1966, la Comisión Federal de Electricidad, adquirió de Nacional Financiera, las acciones de Industrial Eléctrica Mexicana, constituyéndose como propietaria única de las mismas.

En 1967 por acuerdo del Ejecutivo Federal, se ordenó la incorporación de los bienes de las 19 empresas eléctricas filiales a la Comisión Federal de Electricidad, y se estableció su disolución y liquidación.

**En 1973 uno de los avances técnicos más importantes para la integración de la industria eléctrica, lo constituyó la decisión relativa a la unificación de frecuencia en el país a 60 ciclos, misma que se concluyó en 1976.**

En el mes de diciembre de 1974, se publicó el acuerdo presidencial que autorizó la disolución y liquidación de la Compañía de Luz y Fuerza del centro, S.A. y sus asociadas: Compañía Meridional de Fuerza S.A., la Compañía de Luz y Fuerza de Toluca, S.A., y la Compañía de Luz y Fuerza; de esta forma se logró la integración administrativa de la industria eléctrica. Dicho acuerdo tomó la fuerza de Decreto en enero de 1975 y el **10 de diciembre del mismo año, con la promulgación de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad se constituyó en la encargada de la prestación del servicio público de energía eléctrica.**

Dentro del proceso de integración del sector eléctrico, la interconexión del sistema central en 1978, representa la aportación técnica más importante, ya que permite el aprovechamiento racional de la capacidad instalada de la Comisión Federal de Electricidad, para satisfacer una demanda siempre creciente.

En atención a la política de modernización establecida por el titular del Ejecutivo Federal el día 12 de diciembre de 1989, la Dirección General de la Comisión Federal de Electricidad, propuso en Junta de Gobierno las adecuaciones a la estructura orgánica de la entidad, dictaminada en el mes de junio de 1992.

En virtud de los cambios recientes en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en materia de Productores Independientes, así como por necesidades seguidas en distintas áreas para modernizar las estructuras y otorgar niveles acordes a la responsabilidad, el 17 de marzo de 1994, se emitió un acuerdo para modificar la estructura orgánica de la Comisión Federal de Electricidad, dictaminada en el mes de julio de 1994.

Desde 1996 la Comisión Federal de Electricidad implementa acciones para contribuir a la política energética dictada por el Ejecutivo Federal en el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, y contribuyó con el cambio de horario de verano durante el período del 7 de abril de 1996 al 27 de octubre del mismo año, cuyo resultado fue un importante ahorro en el consumo.

Con el propósito y criterios para canalizar la entidad hacia la modernización de sus procesos y funcionamiento, a través de unidades estratégicas de negocios, se planteó una reorganización e integración de áreas básicas a su estructura, misma que fue dictaminada favorablemente por las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Contraloría y

Desarrollo Administrativo, con vigencia a partir de enero de 1997. Actualmente se encuentra en revisión y sujeta a aprobación la propuesta de cambio estructural del sector eléctrico.

## **B. Descripción del Sistema Eléctrico Nacional**

La Comisión Federal de Electricidad es la empresa encargada de la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en México. Para desarrollar sus tareas, cuenta con una extensa planta de trabajadores especializados, técnicos y profesionistas en las áreas más diversas: electricidad, finanzas, sistemas, comunicación, administración, etc..

La organización ha sido creada y opera buscando satisfacer siete Objetivos Estratégicos:

- ❖ Satisfacer la demanda de energía eléctrica;
- ❖ Desarrollar un sistema eléctrico altamente confiable y seguro;
- ❖ Conformar una organización eficaz y productiva, administrada con modernos criterios empresariales;
- ❖ Crear y proyectar una imagen corporativa de eficiencia y calidad en el suministro del servicio;
- ❖ Asegurar la disponibilidad de recursos humanos calificados y promover su desarrollo profesional y personal;
- ❖ Operar con criterios de rentabilidad económica y financiera;
- ❖ Proteger el ambiente y promover el bienestar social.



El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) está formado por las cuatro actividades fundamentales que realiza la CFE, que son generación, transmisión, transformación y distribución de la energía eléctrica. Los principales centros de consumo del SEN se localizan en la parte central del país, destacando las ciudades de México, Monterrey, Guadalajara, Veracruz, Puebla y Tijuana. En la ciudad de México y su zona conurbada se concentra cerca del 25% de la demanda total del país. La demanda de energía es dinámica, cambia a cada instante en forma horaria, diaria, semanal y estacionalmente.



La capacidad efectiva al 31 de diciembre de 1998 era de 35 mil MW aproximadamente, lo que representa un incremento de 1.27% respecto a la del 31 de diciembre de 1997, con la siguiente participación: 59% con base en hidrocarburos, 28% en hidroeléctricas, 7% en carboeléctricas, 2% en geotérmicas y 4% en la nucleoelectrica.

Para la producción de energía eléctrica se aprovechan las fuentes primarias de energía de que se dispone (hidrocarburos, agua, carbón, nuclear, geotérmica y vientos), coordinando su operación para la producción del KWh al más bajo costo.

El mayor desarrollo hidroeléctrico corresponde a la cuenca del Río Grijalva en el sureste del país, constituido por las centrales de Angostura (900 MW), Chicoasén (1500 MW), Malpaso (1,080 MW) y Peñitas (420 MW). La capacidad del conjunto es de 3,900 MW y representa el 40% de la capacidad hidroeléctrica en operación.

La energía proveniente de los hidrocarburos se produce en unidades de diferentes capacidades y tecnologías. El combustóleo se utiliza principalmente en unidades generadoras de carga base, excepto en las áreas metropolitanas en donde se utiliza gas. El diesel se utiliza en unidades de combustión interna que operan durante los periodos de punta y en las áreas aisladas.

El desarrollo carboeléctrico se encuentra localizado en el estado de Coahuila, con una capacidad total de 2,600 MW y corresponde a las centrales de Río Escondido (1,200 MW) y Carbón II (1,400 MW).

El desarrollo geotérmico se encuentra en la central Cerro Prieto en el estado de Baja California Norte, con una capacidad de 620 MW. El resto 130 MW se encuentra en los estados de Michoacán y Puebla.

La central nucleoelectrica de Laguna Verde puso en operación comercial la unidad 2 en abril de 1995, registrando los mejores índices de disponibilidad en su tipo.

Dado que la demanda cambia a cada instante es necesario variar continuamente la energía que producen las unidades generadoras, controlando las características de voltaje y frecuencia, además de conservar los límites de operación de cada uno de los elementos del sistema (generadores, transformadores, líneas, etc.), vigilando que se cumplan los objetivos básicos de la operación.

Debido a la gran distancia entre los centros de generación y los centros de consumo, es necesario contar con una red de transmisión que nos permita enlazarlos y a la vez dar flexibilidad de asignar la generación más conveniente para satisfacer la demanda.

El SEN está conformado por la red troncal del Sistema Interconectado (SI), que integra a las áreas de control siguientes:

- ❖ Central (CEL)
- ❖ Oriental (ORI)
- ❖ Occidental (OCC)
- ❖ Norte (NTE)
- ❖ Noreste (NES)
- ❖ Peninsular (PEN);

El Sistema del Area Noroeste (NOR) opera generalmente en forma aislada y sólo se interconecta en forma esporádica con el resto del conjunto (SIN), y la red de los sistemas aislados Norte y Sur del área de control Baja California (BCA).

$$\begin{aligned} \text{SI} &= \text{CEL} + \text{ORI} + \text{OCC} + \text{NTE} + \text{NES} + \text{PEN} \\ \text{SIN} &= \text{SI} + \text{NOR} \\ \text{SEN} &= \text{SIN} + \text{BCA} \end{aligned}$$

La interconexión de los sistemas ha permitido las siguientes ventajas:

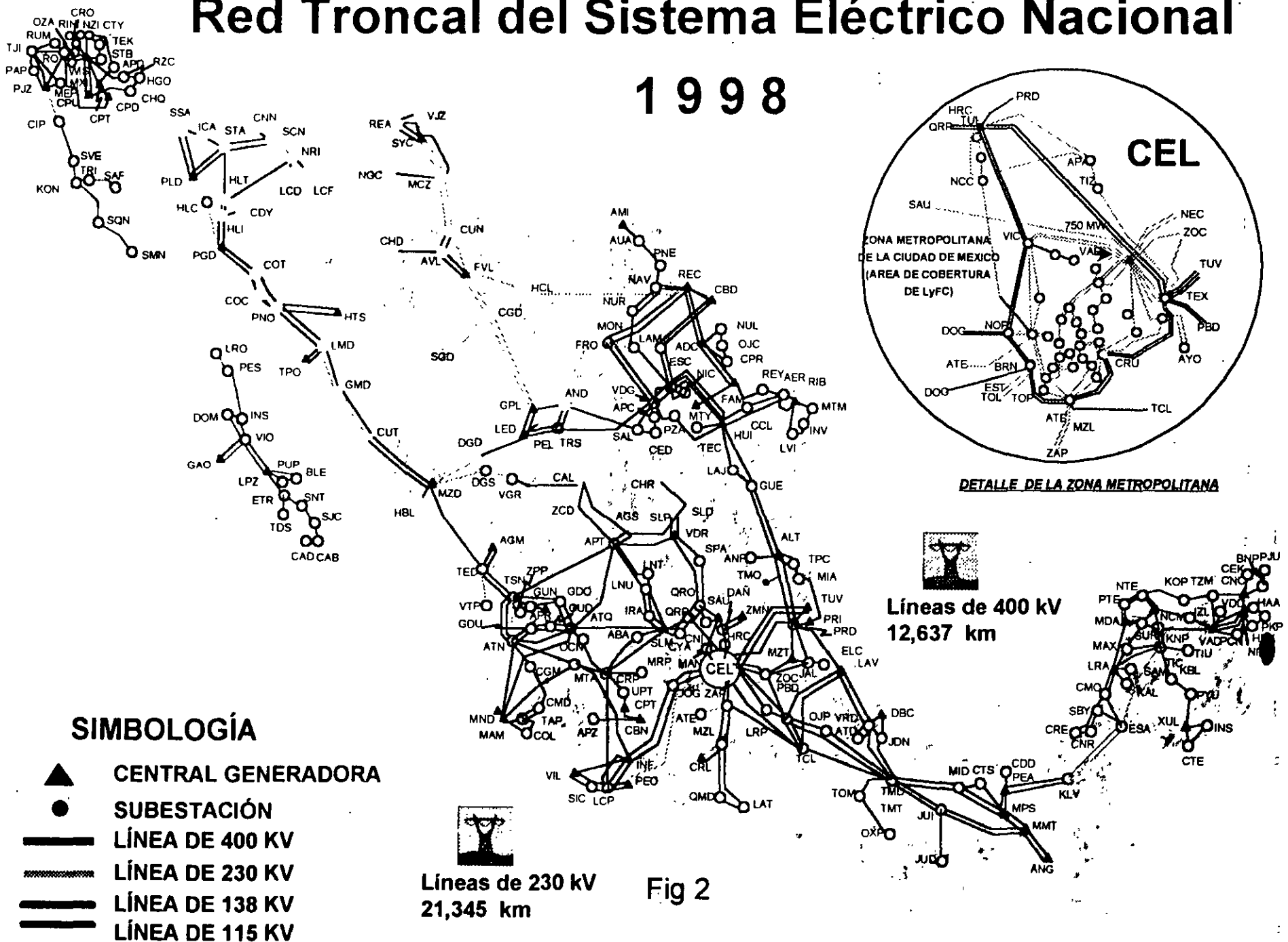
- ❖ Aprovechamiento óptimo de los recursos de generación y transmisión.
- ❖ Asistencia mutua en caso de emergencia y contingencia.
- ❖ Aprovechamiento de la diversidad de las cargas para satisfacer mejor la demanda máxima del sistema.

El despacho económico es centralizado, logrando así el más bajo costo de producción global.

**Fig 2**

# Red Troncal del Sistema Eléctrico Nacional

## 1998



Para 1998 el SEN estaba conformado por 15,483 km de líneas de transmisión de 400 kV; 6,995 km de líneas de transmisión de 230 kV y en los voltajes de 161, 150, 138 y 115 kV un total 15426 km. En total se tiene líneas de transmisión por 37,904 km y 62,686 MVA de capacidad de transformación.

La red nacional mantiene enlaces con otras redes de Estados Unidos de Norteamérica y Belice: A Estados Unidos de Norteamérica en forma permanente está interconectada la red de Baja California Norte mediante 2 líneas de 230 kV; en forma aislada el Sistema Interconectado lo hace mediante 3 líneas de 138 kV y 2 de 115 kV en las Areas Noreste y Norte respectivamente, con Belice se tiene interconexión a través de una línea de 34.5 kV.

## II. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA

### A. Planeación de la Infraestructura

Se estima que en los próximos 10 años el consumo de energía eléctrica en el país se incrementará a una tasa promedio anual de 5.8%. Para hacer frente a este crecimiento será necesario instalar en el periodo 1998-2007 una capacidad de 21,743 MW en generación, 37,904 km de líneas de transmisión (69kV) y 62,686 MVA de capacidad de transformación de alta tensión. El detalle de las instalaciones requeridas en este período se refleja en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE).

El POISE es el resultado final de los estudios de planeación y programación de CFE, los cuales se revisan y actualizan anualmente. Este documento es la fuente de información para la síntesis que anualmente publica la Secretaría de Energía, en el documento Prospectiva del Sector Eléctrico.

Los estudios principales que se requieren para la elaboración del POISE son los siguientes: (i) pronóstico de la demanda y consumo para los siguientes 10 años (es el estudio de desarrollo del mercado eléctrico), (ii) estudios de optimización para la expansión del sistema eléctrico, (iii) estudios de simulación del comportamiento del sistema eléctrico, (iv) análisis estadístico y prospectiva de las curvas de demanda para las diferentes áreas geográficas del país y (v) costos y parámetros de referencia de unidades generadoras, líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.

Cuando se establecen las fechas de entrada en operación de las instalaciones se toman en cuenta los tiempos requeridos para la realización de los proyectos en función de su modalidad financiera, desde la aprobación por las autoridades, la celebración de las licitaciones, los cierres financieros y los tiempos de construcción correspondientes.

Los aspectos que principalmente influyen en la selección del tipo de tecnología a instalar son la política energética dictada por la Secretaría de Energía, los criterios técnicos, económicos y financieros y la normatividad ambiental vigente en el país. Los criterios técnicos se refieren a las condiciones de operación asociadas a la calidad, seguridad y confiabilidad de operación. Los criterios económicos consideran que el suministro de la energía eléctrica debe efectuarse.

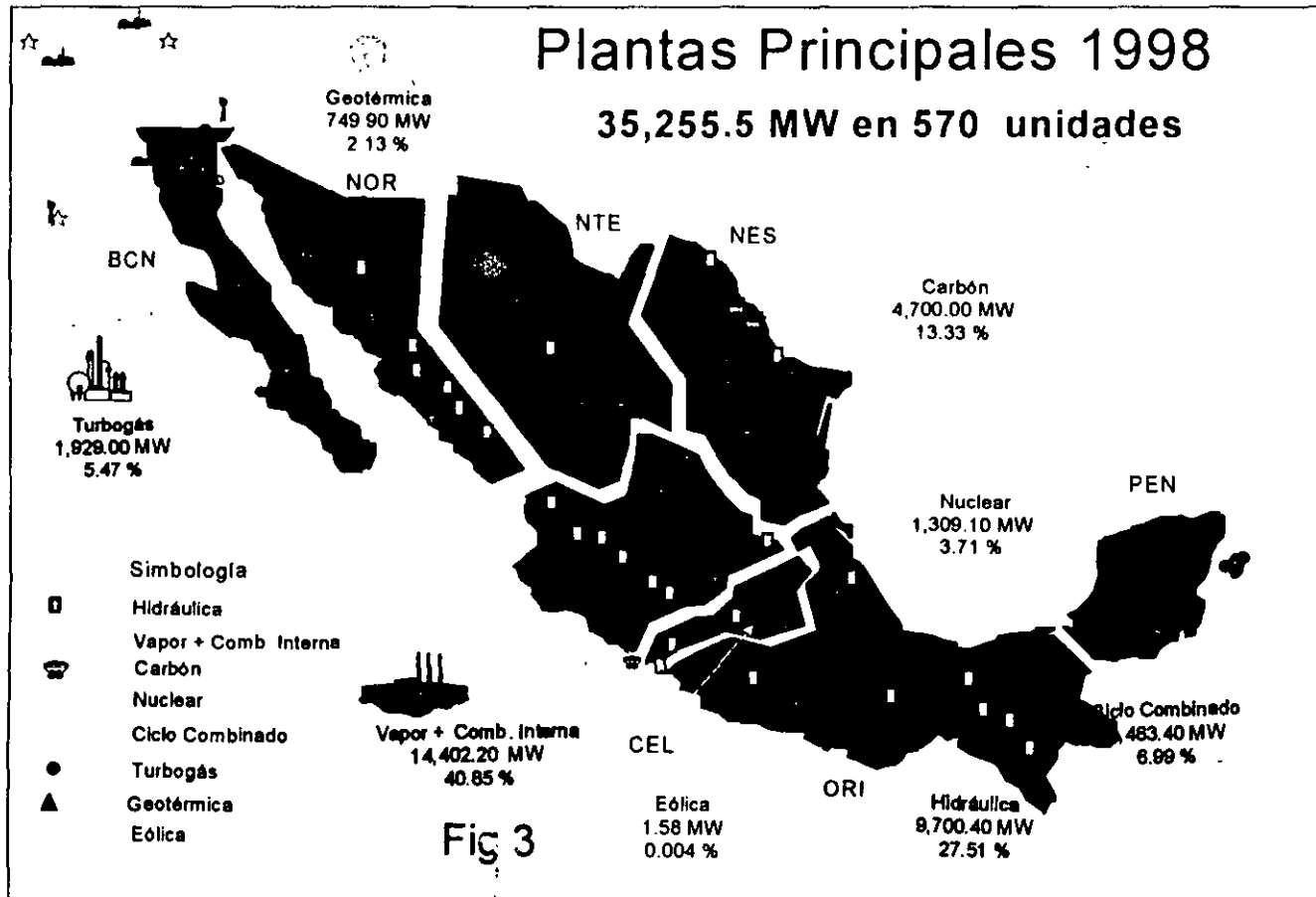
al menor costo de largo plazo, mientras que los financieros obligan a que los proyectos tengan una rentabilidad adecuada y cumplan con las reglas definidas por las autoridades competentes.

Las etapas de planeación del Sistema Eléctrico Nacional mencionadas anteriormente prácticamente siguen el siguiente ciclo anualmente:

- ❖ Estudio del Mercado Eléctrico
- ❖ Actualización de Información
  - Costos y parámetros de proyectos típicos de generación y transmisión
  - Catálogo de Proyectos factibles (hidroeléctricos, ciclos combinados, etc.)
  - Escenarios de Precios de Combustibles
  - Requerimientos Ambientales y Políticas Energéticas
  - Proyectos en proceso, tanto de CFE como de Productores Externos
- ❖ Estudios de la expansión del sistema de generación y de transmisión
- ❖ Estudios de evaluación económica y financiera de proyectos
- ❖ Estudios de factibilidad de:
  - Incorporación de Productores Externos
  - Estimación de cargos para porteo y reserva de capacidad de transmisión
- ❖ Estudio de diseño de las redes de transmisión y subtransmisión
- ❖ Estudios de interconexiones fronterizas, importación y exportación de energía eléctrica
- ❖ Definición del POISE
- ❖ Revisión del programa con las autoridades (Secretaría de Energía)

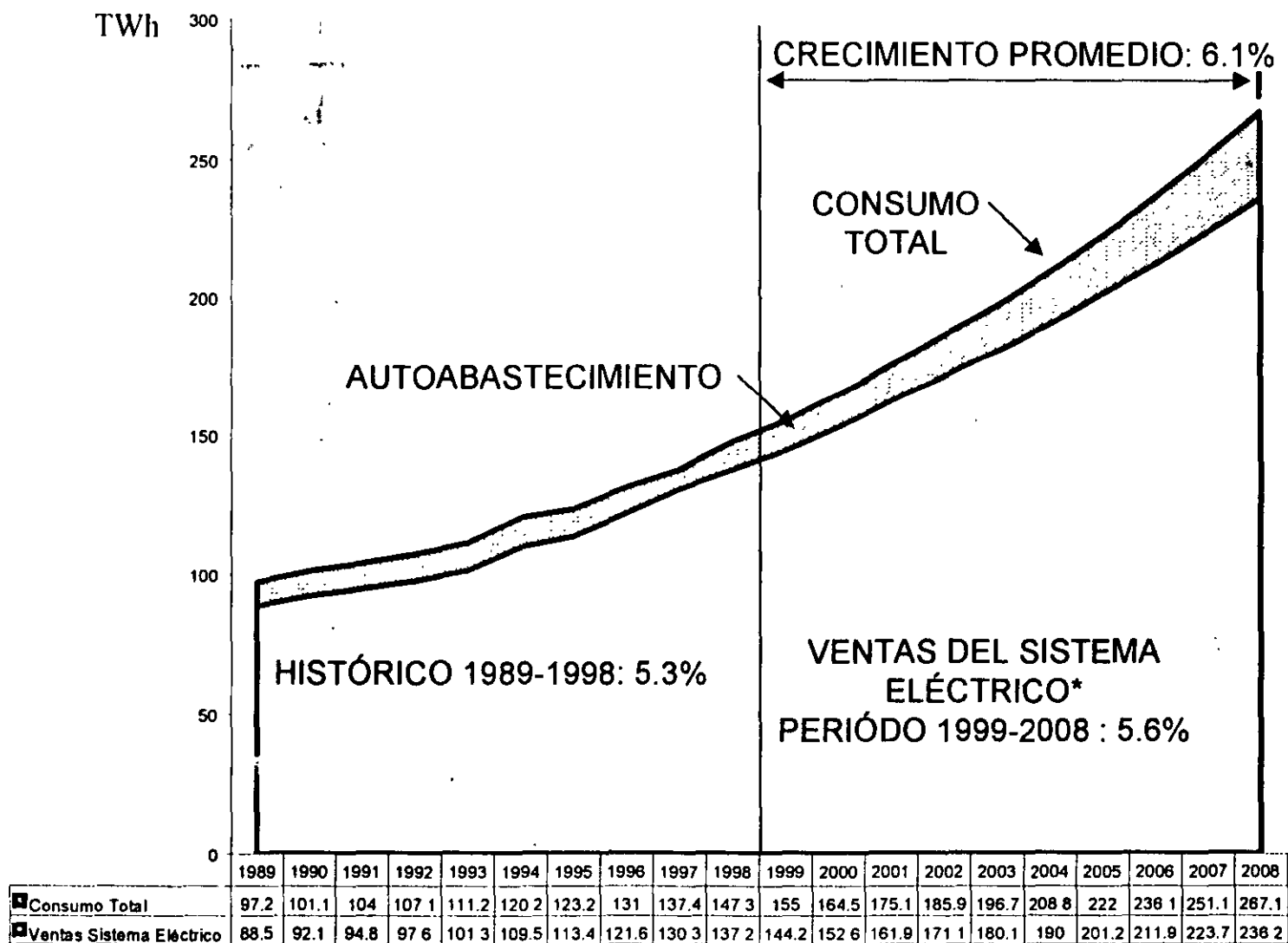
## B. Programación de Unidades Generadoras

Actualmente el país cuenta con una capacidad de generación de 35,256 MW en 570 unidades de generación. Las principales plantas son las siguientes:





# ESCENARIO ESPERADO



\*Sin exportación

Fig 5

# Centrales en Proceso de Licitación

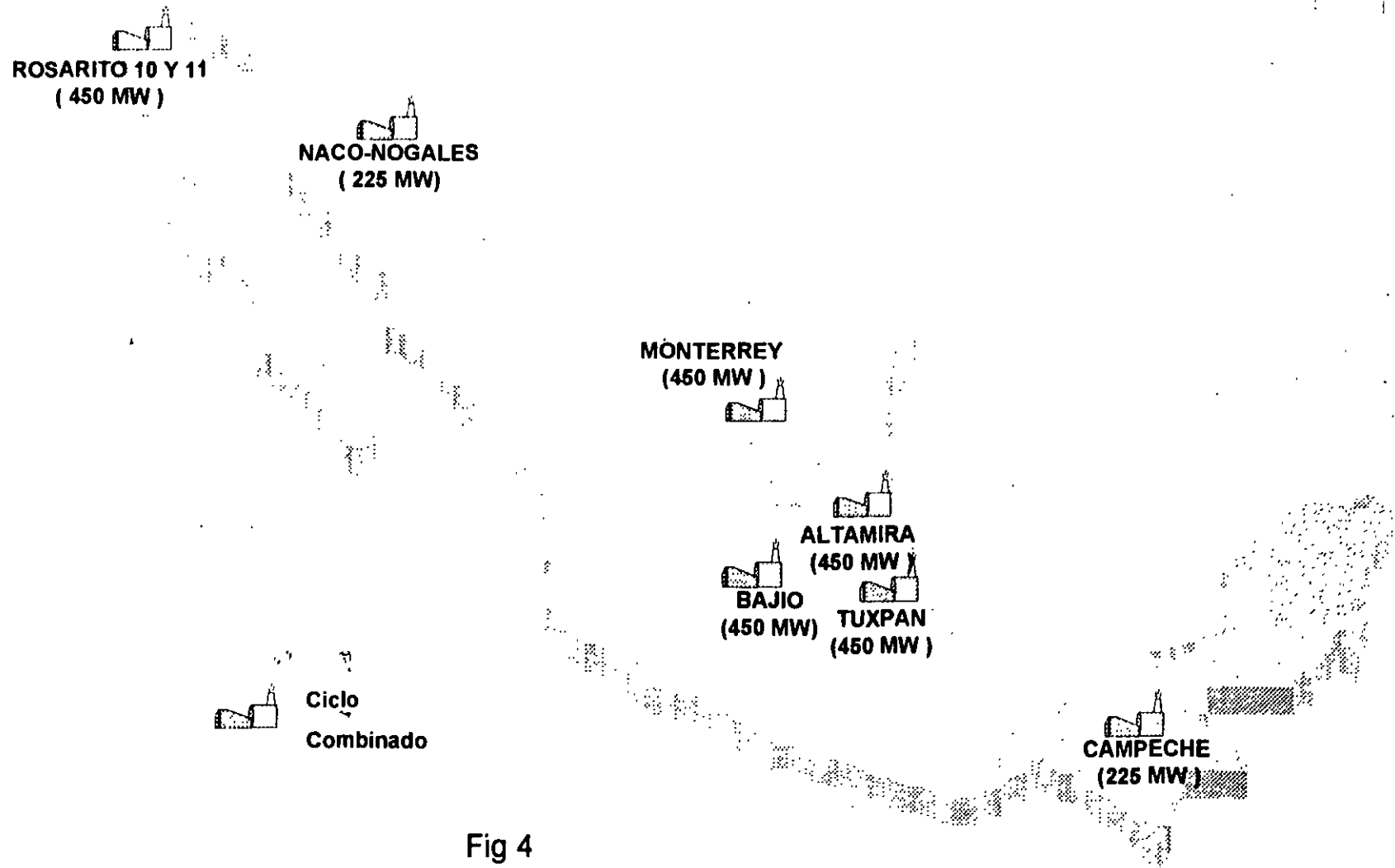


Fig 4

# Capacidad Adicional requerida para 1999

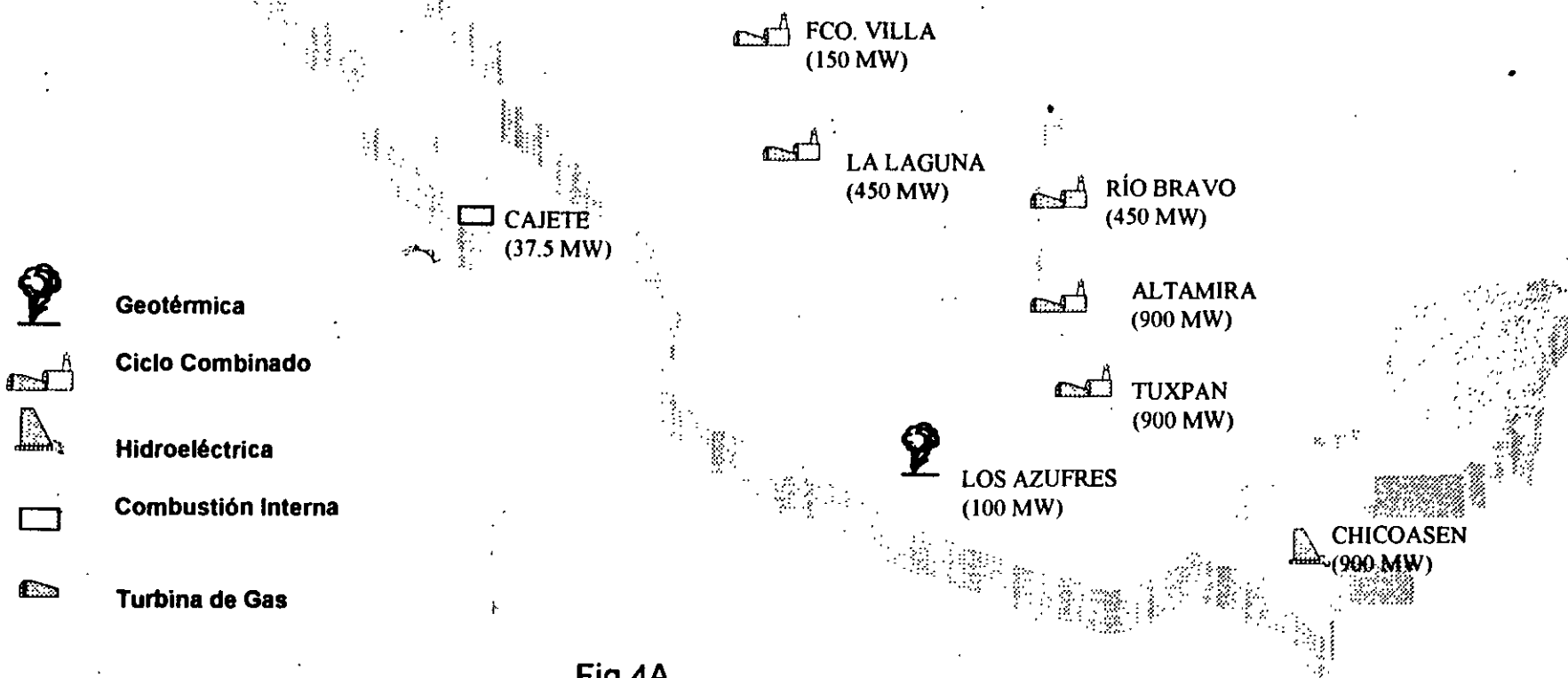
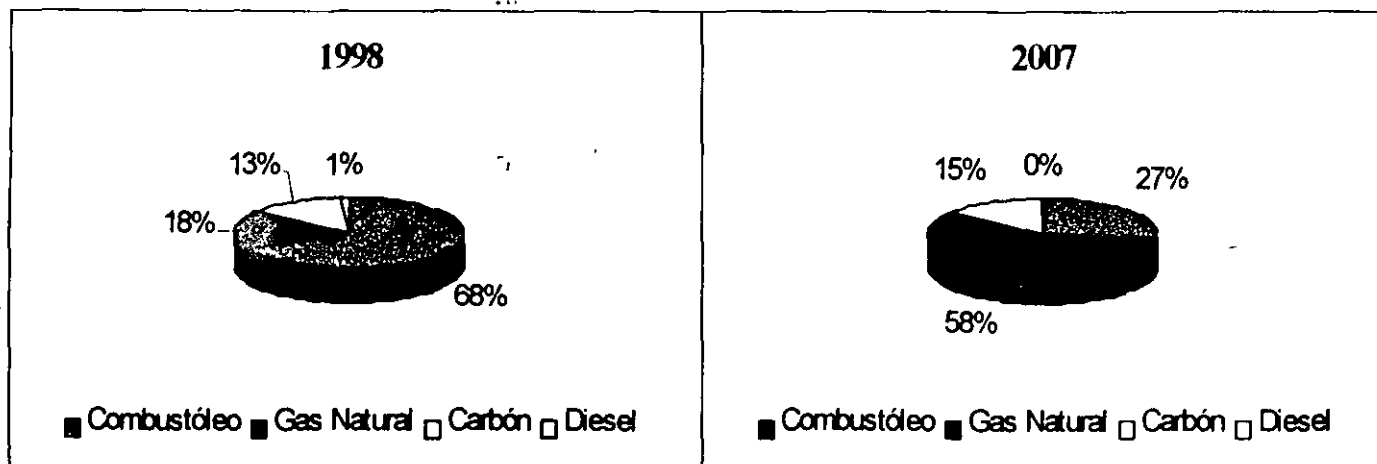


Fig 4A

## C. PROGRAMA DE INVERSIONES

**Programa de Inversiones en Centrales de Generación 1998-2007**  
(MMUSD de 1998)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
<b>GENERACIÓN</b>	1100	1389	1270	1084	1128	1413	1665	1893	1883	2000	1624
<b>PRIVADOS:</b>											
HIDROELÉCTRICAS	-	6 21	147 26	205 16	210 74	427 79	413 05	326 00	284 74	141 05	227 58
GEOTERMOELÉCTRICAS	4 53	56 53	93 05	23 58	-	-	-	8 84	8 84	-	20 57
CICLOS COMBINADOS	784 63	989 05	999 89	824 32	880 11	954 32	1,105 58	1,315 05	1,546 42	1,854 00	1,184 57
DUALES	110 74	92 95	-	-	-	-	-	-	-	-	21 44
TERMOELÉCTRICAS	6 63	41 05	9 26	11 68	23 26	15 89	21 47	30 63	12 11	-	18 11
<b>CFE</b>	193 16	182 84	20 53	18 95	14 21	15 47	14 95	12 63	10 53	5 28	51 42



### III. OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Derivado de la nacionalización de la Industria Eléctrica en 1960, de la necesidad de aprovechar los recursos hidroeléctricos del país localizados a grandes distancias de los centros de consumo, de la unificación de frecuencias y la interconexión de los sistemas, se hizo necesario crear una entidad encargada de la operación, control y coordinación de los sistemas eléctricos de ese entonces. Por lo tanto, hace 33 años se creó centralmente la Oficina de Operación Nacional de Sistemas y las oficinas de operación en varias partes del país, que es el antecedente de lo que hoy conocemos como el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

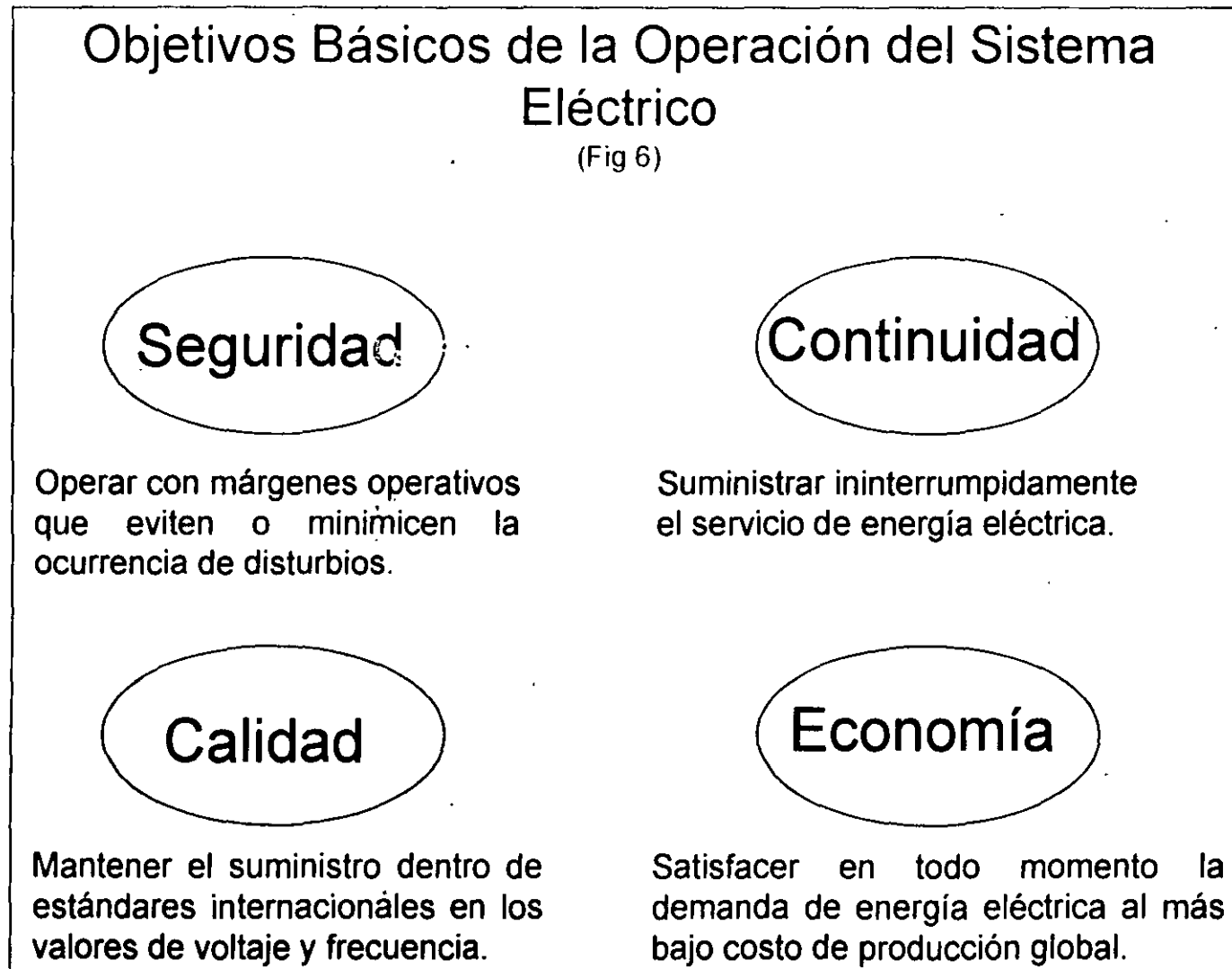
El CENACE es responsable de administrar la operación y el control del sistema eléctrico nacional; su misión es administrar la operación y el control del sistema eléctrico nacional, el despacho de generación, las transacciones con las unidades de negocio de CFE y con permisionarios externos, el acceso a la red de transmisión eléctrica y los servicios de información e investigación y desarrollo, para lograr la mejora permanente de la continuidad, seguridad, calidad y economía del servicio público de energía eléctrica.

El CENACE identifica los centros de carga, es decir los centros de consumo. La mayor concentración de carga se encuentra en el Distrito Federal con 7,000 MW. La segunda zona en importancia es el área conurbada de la zona de la ciudad de Monterrey, con 2,087 MW y la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara con 1091 MW.

La demanda no es constante, varía segundo a segundo, las 24 horas del día, los 365 días del año, y como es sabido, la energía no se puede almacenar, sino que tiene que ser generada en el momento en que el consumidor la demanda; sin embargo la demanda tiene un patrón de comportamiento predecible, de tal forma que el CENACE mediante modelos de pronósticos sabe prácticamente lo que sucederá al siguiente día, mes y año.

El CENACE opera el sistema de acuerdo con las diversas fuentes de generación disponible en cada momento, tomando en cuenta las condiciones del sistema de transmisión y transformación, así como la optimización en la calidad y economía del servicio. La economía en el despacho de energía implica el uso óptimo de los recursos, considerando las unidades generadoras más convenientes en cada momento, con la asignación de generación a cada una de ellas según su disponibilidad y sus costos de operación, así como las condiciones en la red de transmisión y el equipo de transformación de que se dispone.

### A. Objetivos Básicos de la Operación



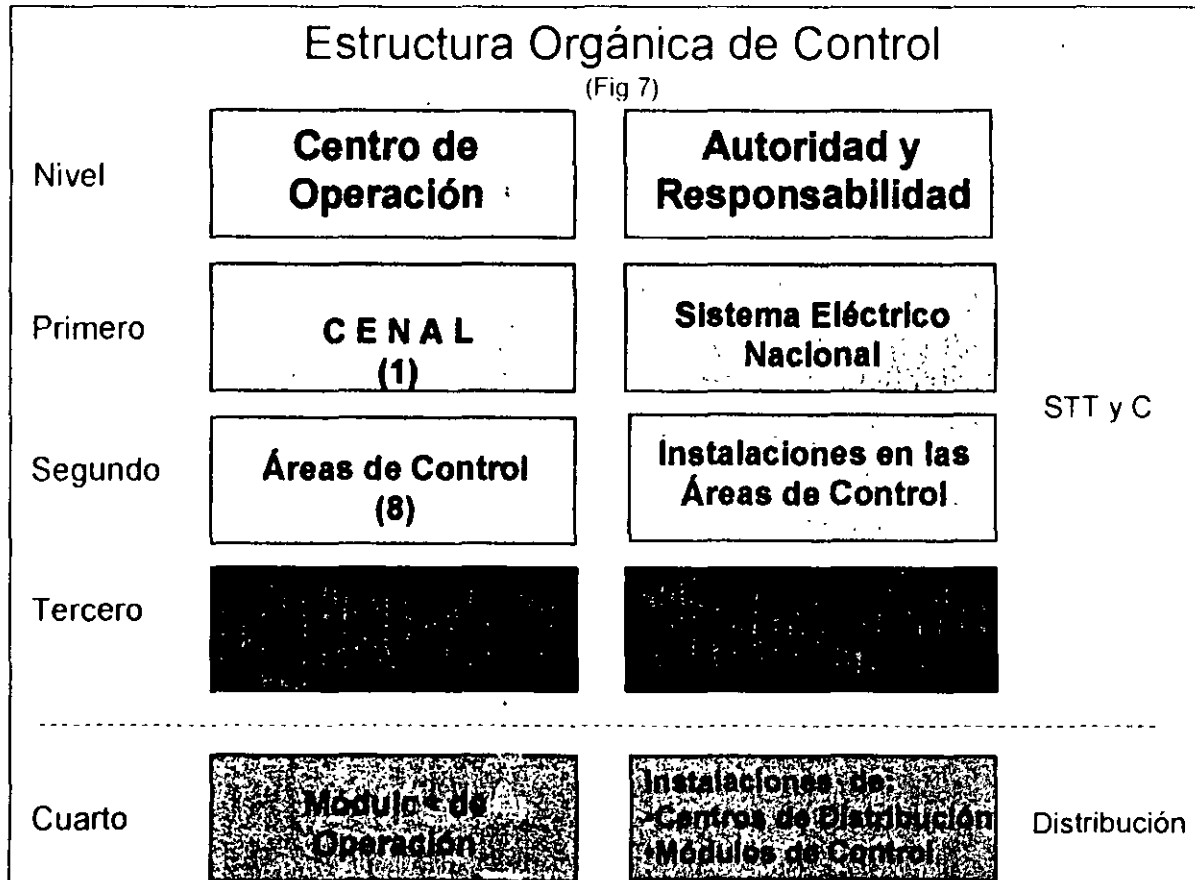
La continuidad consiste en la acción de suministrar ininterrumpidamente el servicio de energía eléctrica a los usuarios de acuerdo con la normatividad y reglamentos vigentes aplicables. La calidad implica mantener el suministro de energía eléctrica dentro de estándares internacionales en los valores de voltaje y frecuencia.

La seguridad obliga a mantener las condiciones del Sistema Eléctrico de Potencia dentro de márgenes operativos que eviten o minimicen la ocurrencia de disturbios.

La economía implica satisfacer en todo momento la demanda de energía eléctrica al más bajo costo de producción global con base a la disponibilidad de unidades generadoras, disponibilidad de energéticos primarios, escurrimientos hidráulicos y restricciones en la red de transmisión.

## **B. Estructura Orgánica de Control**

La seguridad en la operación implica prevenir y evitar contingencias o, en el caso de que ocurra alguna, continuar operando el sistema sin exceder la capacidad nominal de los equipos dentro de los rangos permitidos de voltaje y frecuencia, y sin provocar afectaciones a los usuarios. Para lograrlo es indispensable la sistematización en la operación, por lo que el CENACE se divide en cuatro niveles de control.



El Centro Nacional constituye el primer nivel y tiene autoridad técnica y administrativa sobre los demás niveles. Le corresponde dirigir y supervisar la generación de energía eléctrica y la seguridad de la red troncal del sistema eléctrico. Es responsable de despachar la generación.

El segundo nivel le corresponde a ocho áreas de control distribuidas en el territorio nacional, a las cuales les corresponde dirigir y supervisar la generación y seguridad de la red troncal del sistema dentro de su zona geográfica, bajo las políticas, lineamientos y coordinación del primer nivel.





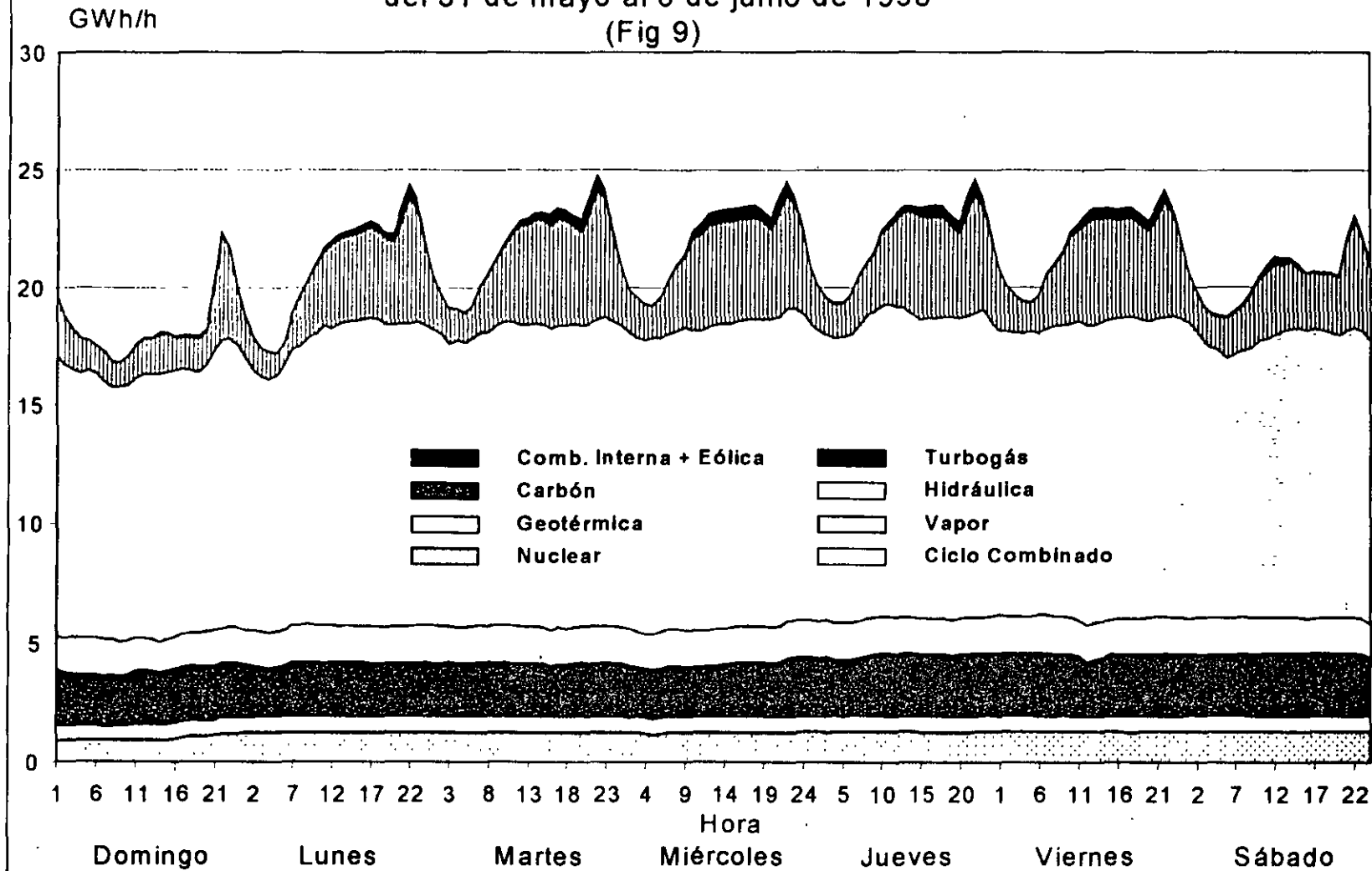
## C. OPERACIÓN

El despacho de las centrales se realiza en función del costo marginal de generación, despachándose primero las centrales de menor costo de producción hasta llegar a las más caras, con excepción hecha de las centrales hidroeléctricas, cuyo costo de generación se estima en función de la energía térmica que desplazan. La generación nuclear opera las 24 horas en forma permanente; la geotérmica se usa para satisfacer también la carga base, así como la generación con carboceléctricas. La participación mayor del despacho es de las centrales que operan con combustible fósil (termoeléctricas convencionales). Las plantas nuevas de ciclo combinado son parte de la generación base; son un poco más caras pero tienen eficiencias mayores. Las centrales de vapor menor son considerablemente más caras. Las plantas hidroeléctricas se operan para cubrir los picos del sistema, debido al costo de desplazar la energía térmica disponible; hay que señalar que sus factores de planta son muy bajos por las sequías de los últimos años. Finalmente se utilizan las turbogases que son para piquear al sistema.

# Despacho de la demanda máxima

del 31 de mayo al 6 de junio de 1998

(Fig 9)



## **IV. INTERVENCIÓN DEL SECTOR PRIVADO. PROYECTOS DE INVERSIÓN FINANCIADA**

### **A. Marco Legal y Cambios Existentes a la Ley en Materia Eléctrica**

La primera estructura jurídica formal que reguló la prestación del servicio de energía eléctrica fue el Código Nacional Eléctrico, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 11 de mayo de 1926, en el que se facultaba al Poder Ejecutivo Federal para determinar los requisitos técnicos a que se debía sujetar la construcción, manejo y conservación de las instalaciones de generación, transformación y distribución de la electricidad.

En la actualidad, la regulación jurídica de un sector considerado estratégico y prioritario por nuestra constitución, comprende una variada y creciente interrelación de ordenamientos y disposiciones legales que rigen tanto su ámbito administrativo, de organización y control, cuanto su actividad sustantiva de operación y funcionamiento.

En México, los principios básicos que regulan el sector eléctrico, se encuentran contenidos en los artículos 25, 26, 27 párrafo sexto, 28, 73 fracción X, 74, 90, 108, 123 y 134 de la Constitución General de la República, a los cuales nos referiremos brevemente.

#### **El Artículo 25**

Establece el concepto de la "rectoría económica del Estado", el cual obedece al mandato constitucional que atribuye al mismo la responsabilidad de organizar y conducir el desarrollo nacional. Esta rectoría exige que el sector público tenga a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el artículo 28, párrafo cuarto de la propia Constitución, entre las que se encuentra la electricidad, y que el Gobierno Federal mantenga siempre la propiedad y el control sobre los organismos que en su caso se establezcan para ese efecto, tal como ocurre con los organismos descentralizados CFE y Luz y Fuerza del Centro.

#### **El Artículo 26**

Establece el principio de la "planeación del desarrollo", el cual fue adoptado por los gobiernos de la República desde la expedición en 1920 de la Ley sobre Planeación General de la República. Dicho precepto constitucional dispone en la

actualidad la organización de un Sistema de Planeación Democrática del Desarrollo Nacional y la obligación de sujetar el PND y los programas de la Administración Pública Federal a su observancia. En este contexto es en el que surgen el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000 y los programas institucionales de la CFE.

### **El Artículo 27**

Constituye la cúspide normativa del sector al establecer en el párrafo sexto la exclusividad de la Nación para generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica para la prestación del servicio público, mediante entidades públicas.

### **El Artículo 28**

Dispone que no constituirán monopolio las funciones que el Estado ejerza en las áreas estratégicas, dentro de las cuales se encuentra la electricidad y por tal motivo, la prestación de este servicio se constituye como una excepción al principio general de libre concurrencia económica en el país, que garantiza el propio numeral.

## **LEGISLACIÓN SECUNDARIA**

De conformidad con el sistema jurídico mexicano, corresponde a la legislación secundaria regular de manera específica cada una de las ramas y materias del Derecho, a partir de los mandatos establecidos de manera fundamental en la Constitución, sujeta al orden jerárquico siguiente: disposiciones constitucionales y tratados internacionales ratificados por el Senado de la República; después la legislación de carácter federal; seguida de la legislación de carácter estatal; y por último la legislación de carácter municipal. Los principales ordenamientos legales derivados de la constitución que regulan la prestación del servicio público de energía eléctrica y a la CFE son los siguientes:

### **La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica**

La LSPEE, es el ordenamiento principal en esta materia. Es la ley reglamentaria del párrafo VI del Artículo 27 Constitucional, la cual regula propiamente la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como la organización y funcionamiento de la CFE, constituyéndose en su Ley Orgánica, la cual norma la participación privada en el sector.

Publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de septiembre de 1975, define la prestación del servicio público de energía eléctrica, y alude a una amplia gama de actividades como la planeación, generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica, hasta la realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, operación y mantenimiento del sistema eléctrico nacional.

El 23 de diciembre de 1991 fueron publicadas en el DOF importantes reformas a esta Ley, mediante las cuales se adicionan las figuras de producción independiente de energía eléctrica y pequeña producción; y se redefinen las figuras de autoabastecimiento y de cogeneración, ya contempladas desde el año de 1983.

En esta Ley, la inversión privada está prevista y admitida en los artículos del 36 al 39, puesto que es en esta parte donde se regula la posibilidad de que los particulares participen en los procesos de producción de energía eléctrica, con la característica de que los particulares no pueden participar directamente en el ámbito que la propia ley define como servicio público, el cual queda comprendido dentro de la reserva constitucional contenida en párrafo VI del Artículo 27 de dicha norma fundamental.

Lo anterior significa que la prestación del servicio público de energía eléctrica queda reservada al Estado Mexicano, pero éste puede permitir la concurrencia de la iniciativa privada en aquellas actividades no consideradas como servicio público, sino como servicios privados, concretamente a través del otorgamiento de permisos de autoabastecimiento, cogeneración, producción independiente, pequeña producción o de importación o exportación de energía eléctrica.

### **Ley de la Comisión Reguladora de Energía**

La Ley de la CRE, establece sus facultades, y regula su actividad y organización. Define a la CRE como un órgano desconcentrado de la SE, con autonomía técnica y operativa y entre cuyas atribuciones más importantes en materia de energía eléctrica se encuentran los siguientes:

Participa en la determinación de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica, aprueba las metodologías para el cálculo de las prestaciones por los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica, a la vez que verifica que se adquiera la energía eléctrica de menor costo para la prestación del servicio público.

Participa en la determinación de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica, aprueba las metodologías para el cálculo de las prestaciones por los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica, a la vez que verifica que se adquiera la energía eléctrica de menor costo para la prestación del servicio público.

La CRE, opina, a solicitud de la SE, sobre la factibilidad de que los particulares sean convocados para suministrar la energía eléctrica requerida y, en su caso, sobre los términos y condiciones de las convocatorias y bases de licitación correspondientes; otorga y revoca los permisos y autorizaciones que de acuerdo con la legislación son necesarias para la generación, exportación e importación de energía eléctrica; y aprueba los términos y condiciones a que deberá sujetarse la prestación de los servicios de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural.

### **Ley General de Deuda Pública**

Ley General de Deuda Pública (LGDP), regula la forma y procedimientos para la contratación de empréstitos por parte de la Administración Pública.

Los montos de endeudamiento neto, serán aprobados por el Congreso de la Unión, y la SHCP será la dependencia encargada de la aplicación de dicha Ley, destacando dentro de sus facultades la de elaborar el programa financiero del sector público, autorizar a las entidades para gestionar y contratar financiamientos externos (en los mercados de dinero y capitales), cuidando que los mismos se destinen a los proyectos prioritarios conforme al PND y vigilar que la capacidad de pago de las entidades que contraten financiamientos sea suficiente para cumplir puntualmente con las obligaciones de pago (pago de amortización e intereses).

### **Ley de Presupuesto Contabilidad y Gasto Público Federal**

El 20 de agosto de 1996, fue reformado el reglamento de la Ley que nos ocupa (mediante decreto publicado en el DOF), en el cual se reconoce en forma precisa las operaciones de financiamiento de proyectos de infraestructura que formen parte de programas prioritarios de las entidades para que el pago de los mismos, se ligue directamente al flujo de los recursos que los propios proyectos generen.

Por último, se establece que las operaciones de financiamiento sólo procederán para programas y/o proyectos relacionados con actividades prioritarias y estratégicas conforme a los artículos 25 y 28, cuarto párrafo de la Constitución y en términos de la Ley de Planeación, dentro de lo cual encuadra plenamente el caso de los proyectos promovidos por la CFE.

## **B. Antecedentes del Financiamiento de Infraestructura Eléctrica**

Es claro que el sector eléctrico ha financiado obras desde su creación; sin embargo, fue en el año de 1992 donde se reformó la Ley, lo que dió paso a la participación del sector privado. Por lo tanto, este análisis del financiamiento toma como referencia tal año, debido a que los cambios a partir de entonces han delineado el camino hacia un eventual mercado abierto de energía.

La situación inflacionaria del país que se agudizó hacia finales de los 80's, con las consecuencias ya conocidas, ocasionó que se incurriera en endeudamiento interno. Hasta principios de 1989 el financiamiento de los programas de inversión de la entidad se realizaba con recursos provenientes del gobierno federal, créditos bilaterales, préstamos de la banca internacional de desarrollo y créditos de sus propios proveedores; sin embargo, debido a la necesidad de incrementar la infraestructura, se hizo necesario adoptar mecanismos alternos de financiamiento que garantizaran el cumplimiento de las metas de crecimiento programadas para atender la demanda del servicio. En este contexto fue necesario adecuar la forma de financiar la inversión, de acuerdo con el entorno económico, oportunidades para la inversión privada y el marco legal.

De esta forma, el financiamiento para los años 1990-1994 tuvo los siguientes orígenes:

- a) Recursos propios, integrados por los recursos generados por la propia operación de la entidad, destinados a financiar componentes nacionales de inversión.
- b) Recursos de procedencia extranjera, destinados a cubrir todas aquellas compras de importación realizadas mediante licitaciones internacionales, financiadas a través de líneas de crédito a la exportación, con los países de origen de dichas adquisiciones.
- c) Agencias multilaterales. Son préstamos otorgados por la banca internacional de desarrollo destinados a financiar la expansión y modernización de la infraestructura eléctrica.



d) Financiamiento privado, destinado a financiar proyectos de generación, por medio del mercado internacional de capitales. Después de 12 años de ausencia en este tipo de financiamiento la CFE saca una emisión de eurobonos en 1992.

Hacia finales de 1994, las autoridades hacendarias y del sector energético aprobaron la aplicación de una política de ajuste tarifario para que CFE pudiera alcanzar una estabilidad financiera donde los ingresos y los egresos se encontraron en equilibrio, con un nivel de apalancamiento muy holgado (proporción deuda/ capital de 23/77) e inmersa en una etapa de finalización de proyectos de plantas de generación que fueron realizados bajo la figura de "arrendamiento en firme", con carácter extrapresupuestal.

Sin embargo, la crisis económica y financiera que enfrentó el país en el primer semestre de 1995, provocó un serio desbalance en los resultados, al no haberse ajustado proporcionalmente las tarifas a los nuevos niveles de costos, donde los pagos en moneda extranjera, los ajustes salariales y los nuevos precios de bienes y servicios para CFE, principalmente combustibles, mostraron un crecimiento sustancial. La relación producto/gasto se redujo hasta un nivel de 0.71, y la imposibilidad de acudir a fuentes de financiamiento internas y externas en condiciones y montos adecuados, le impidieron llevar a cabo una serie de obras e inversiones que resultaban indispensables (sobre todo en Transmisión) que permitiera una operación eficiente.

El financiamiento de infraestructura eléctrica en México forzosamente tuvo que evolucionar; las condiciones macroeconómicas y de apertura comercial han obligado al gobierno federal a considerar diversas opciones que se adecuen a las cambiantes condiciones de nuestra economía y de los mercados internacionales.

La forma en que CFE había estado financiando su programa de inversiones fue insuficiente para cubrir el crecimiento de la demanda. Por lo tanto se recurrió a la participación del sector privado en las actividades que no están incluidas en la definición que hacen los artículos 1ro y 4to de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, y que por tanto no forman parte del área estratégica constitucionalmente reservada al Estado. La conveniencia de que algunas actividades se complementaran con otras hizo que CFE desarrollara nuevos mecanismos para estimular la participación de los inversionistas privados en la aportación de capital, financiamiento, y construcción de infraestructura eléctrica, los cuales son desarrollados en los siguientes puntos.

La naturaleza de los proyectos de construcción de infraestructura financiados con recursos del sector privado requiere de un análisis de riesgos distinto al que se realiza cuando se otorga un crédito convencional. En un esquema de financiamiento de proyecto, una gran parte de los riesgos del propio proyecto son asumidos por las instituciones financieras en virtud de que, si la obra no es terminada o no alcanza el nivel y la calidad de funcionamiento requeridos, ya sea por fallas técnicas, deficiencias del constructor o, inclusive, por causas externas, como pueden ser eventos de fuerza mayor, los recursos necesarios para pagar el crédito no se generarían. Un principio fundamental para el manejo de este tema es el de asignar cada uno de los riesgos inherentes al proyecto a aquella parte que esté en la mejor posición para evaluar y controlar su realización.

### **C. Esquema Construir, Arrendar y Transferir**

El esquema de financiamiento Construcción, Arrendamiento y Transferencia (CAT) consta de una Sociedad de Propósito Específico (SPE) la cual actúa como fideicomitente afectando al fideicomiso la construcción de las instalaciones conforme las mismas se vayan realizando. Por requerimiento del sistema jurídico mexicano, el fiduciario siempre es una institución de crédito; la entidad actúa como fideicomisario único, recibiendo como beneficio la posesión de las instalaciones para su operación por la duración del contrato; durante este tiempo la entidad opera y mantiene las instalaciones y efectúa los pagos a la SPE en cantidades determinadas por el consorcio ganador. Estas cantidades están diseñadas para cubrir los costos de construcción y de financiamiento de las instalaciones, y el rendimiento del consorcio. Al concluirse el término estipulado en el contrato el fideicomiso transfiere la propiedad de las instalaciones a la entidad, extinguiéndose el mismo.

El esquema de financiamiento Construcción, Arrendamiento y Transferencia (CAT) otorga la responsabilidad total del proyecto a los promotores de éste, incluyendo la obtención del financiamiento, la ingeniería, los abastecimientos y la construcción; la supervisión del proyecto durante la etapa de construcción es responsabilidad de CFE, así como la operación de la misma mediante la celebración de un contrato de arrendamiento, otorgado al ser construidas las instalaciones y cumplidas las especificaciones acordadas. Al cubrirse la inversión total del proyecto, vía pago de rentas, las instalaciones son transferidas a título gratuito a la CFE.

El financiamiento para la construcción de las instalaciones, así como el financiamiento de largo plazo es de exclusiva responsabilidad del licitante ganador. Ni la entidad ni el gobierno federal otorgan ningún tipo de garantía directa a los acreedores que proporcionan financiamiento para el proyecto. Las obligaciones de la SPE no están condicionadas a la

obtención del financiamiento antes de iniciar la construcción de las instalaciones; no obstante se prevé un tiempo razonable para la obtención del mismo. Asimismo, el contrato contiene las disposiciones necesarias para asegurar al Acreedor el reembolso de la inversión, mediante mecanismos que contemplan la terminación anticipada del contrato por alguna de las partes involucradas.

La inversión de fondos propios por parte de la SPE crea un incentivo adicional para la conclusión exitosa del proyecto, ya que son los propios fondos de la SPE los que se perderían en caso de que el proyecto no se desarrolle en forma adecuada. Asimismo, la participación de capital de riesgo es un requisito que exige la mayoría de las instituciones financieras (BID, IFC, Eximbank) ya que les da un mayor margen de maniobra en virtud de que los flujos del proyecto deben ser suficientes para repagar, en primer término, la deuda contratada y, una vez que la deuda ha sido cubierta, la inversión del consorcio accionista.

#### **D. Esquema de Obra Pública Financiada**

CFE licita las obras a ejecutar definiendo con claridad los trabajos a realizar y especificándose en ellas que se liquidarán los costos incurridos (servicios y materiales) al concluirse y aceptarse las obras. La responsabilidad íntegra por la construcción de las obras descansará en el consorcio a quien se haya asignado el contrato. No habrá obligación alguna de pago o de cualquier otro género por parte de CFE durante la etapa de construcción, salvo en casos de fuerza mayor.

Lo anterior implica que el consorcio contratista sólo será responsable de la obtención del financiamiento durante la etapa de construcción, que normalmente no excederá de dos o tres años. Por tratarse de un plazo más bien corto, el financiamiento podrá obtenerse de manera relativamente fácil de bancos internacionales. Sin embargo, precisamente por ser un plazo breve, será improbable que el financiamiento provenga de los mercados de capitales, que prefieren títulos a plazos mayores. Ello evitará que los consorcios contratistas continúen emitiendo bonos basados en el riesgo crediticio de CFE, lo cual es más complicado tanto para el proyecto como para el contratista. Esto se traducirá en una mucho mayor utilización de las líneas de Eximbanks: al no haber la salida fácil de colocaciones en los mercados, se buscarán con más ahínco otras fuentes de financiamiento.

De esta forma la responsabilidad por el financiamiento permanente de las inversiones recaerá en CFE, quien se encargará de estructurarlo a partir de un vehículo que tendrá la figura de un fideicomiso privado, con un comité técnico que incluirá entre otros, a la entidad y a la Secretaría de Hacienda y Crédito público, pero no incluirá a contratista alguno.

Las decisiones de financiamiento del fideicomiso las tomará el comité técnico y su ejecución será responsabilidad de la entidad pública actuando a través del fideicomiso. Este podría contar con el aval de la entidad, en cuyo caso no sería necesario más de un vehículo. Si el fideicomiso no pudiera obtener el financiamiento antes de la fecha de pago pactada con el consorcio, éste podría reclamar a CFE el pago adeudado vía el fideicomiso.

Una vez terminadas las obras, el consorcio ganador habrá de constituir un fideicomiso privado en el que fideicomitirá los derechos de cobro que tenga sobre CFE por los trabajos realizados (pudiera ser el caso que se le indicara que fideicomitiera los recursos a un fideicomiso ya existente), mismo que liquidará las obras al consorcio al ser estas aceptadas por CFE. Ese fideicomiso privado será el vehículo al cual la entidad pública correspondiente habrá de pagar en el tiempo el importe de las obras, así como los gastos financieros asociados (dichos pagos podrán ser considerados como rentas o, de haber obstáculos legales a la propiedad de las obras efectuadas, el pago de los servicios integrales de construcción, algo similar a lo que se derivaría de la existencia de cuentas por pagar a proveedores).

Para evitar un problema financiero al momento de la recepción de las obras, CFE con compromisos financieros derivados de proyectos Pidiregas habrá de establecer, al menos un año previo al vencimiento de esos compromisos, líneas bancarias suscritas por un monto igual al valor de cada proyecto. Las líneas deberán negociarse para quedar a disponibilidad del fideicomiso una vez que éste sea creado. Estas líneas de crédito sólo podrán utilizarse para liquidar el valor de las obras a los contratistas en caso de que no pudiera efectuarse una emisión de bonos antes de la fecha en que se deben pagar las obras. De desembolsarse esas líneas, el plazo de los créditos utilizados podrá ser de 18 meses a tres años. El o los bancos responsables por la suscripción de las líneas tendrán un mandato para llevar al mercado las emisiones de bonos resultantes, sea antes de la fecha de vencimiento de los pagos (en cuyo caso no habría habido un desembolso bajo la línea) o después de este (en cuyo caso los recursos de la emisión se destinarán al pago del crédito con el que fue liquidado el monto adeudado a los contratistas).

Asimismo se establecerá que todos aquéllos financiamientos de Eximbanks que hubieren sido contratados en condiciones similares a las que rigen para las entidades públicas en general serán asumidos por el fideicomiso al momento en que la entidad reciba y acepte las obras. El importe de los mismos deberá deducirse del que habrá de pagarse a los contratistas por las obras.

Las ventajas de este tipo de financiamiento son las siguientes:

- a) agiliza la realización de los proyectos;

- b) elimina las distorsiones en los mercados de capitales derivados de la colocación por parte de los consorcios contratistas de obligaciones que el mercado percibe como de CFE y que pueden contaminar las emisiones directas de la entidad;
- c) incrementa el financiamiento proveniente de Eximbanks;
- d) diferencia los proyectos Pidiregas de los proyectos presupuestales.

## **E. Esquema de Productor Externo de Energía**

El Productor Externo de Energía es el titular de un permiso para realizar actividades de generación que no constituyen servicio público.

Bajo este esquema el Productor constituido por el licitante ganador celebra un contrato de compra-venta de capacidad y energía garantizando una capacidad mínima de generación; el Productor tiene un plazo determinado para construir las instalaciones. Estas son propiedad del Productor y es responsable del mantenimiento de las mismas, operando como un productor independiente de energía conforme al permiso referido anteriormente.

La entidad se obliga a efectuar pagos periódicos al Productor por dos conceptos: cargos por capacidad y cargos por energía. Estos conceptos constituyen las variables a licitar y deben ser suficientes para cubrir el costo de la central, el financiamiento y el rendimiento del Productor.

A diferencia de los proyectos CAT, no se contempla la transferencia de la propiedad de la central a la entidad una vez que haya terminado la vigencia del contrato. El Productor conserva en todo momento la propiedad de las instalaciones, a menos de que se disparen las cláusulas contractuales que estipulan la terminación anticipada.

El financiamiento para la construcción de las instalaciones, así como el financiamiento de largo plazo es de exclusiva responsabilidad del licitante ganador. Ni la entidad ni el gobierno federal otorgan ningún tipo de garantía directa a los acreedores que proporcionan financiamiento para el proyecto. Las obligaciones del Productor no están condicionadas a la obtención del financiamiento antes de iniciar la construcción de las instalaciones, no obstante se prevé un tiempo razonable para la obtención del mismo.

Se tienen disposiciones que contemplan movimiento en el mercado financiero durante el período de tiempo comprendido entre la firma del contrato y el cierre financiero del productor con sus Acreedores. Asimismo, el contrato contiene las disposiciones necesarias para asegurar al Acreedor el reembolso de la inversión, mediante mecanismos que contemplan la terminación anticipada del contrato por alguna de las partes involucradas. De igual forma, se tienen garantías de cumplimiento de construcción y de actuación de la planta.

El financiamiento de los proyectos de este tipo se ha inclinado hacia las agencias de exportación – importación, el Banco Mundial (IFC) y el Bid. Algunos proyectos presentan una sindicación de bancos comerciales, el IFC y capital de la empresa, con una estructura de 70 % del costo total del proyecto aportada por las instituciones financieras o de desarrollo y 30% aportado por la empresa promotora.

Se ha tenido una importante participación de bancos europeos, debido a que las empresas participantes han sido de esta región. Las condiciones han sido favorables desde el punto de vista de los mercados financieros. En general, se han tenido tasas de costo promedio ponderado de capital entre el 10 y 11% con períodos de retorno de la inversión superiores a los 15 años. Cabe mencionar que tales condiciones se han dado en momentos en que el mercado financiero internacional ha sufrido crisis consecutivas desde mediados del año 1997 a la fecha.

## F. Asignación de Riesgos

La asignación de riesgos para cada uno de los esquemas es la siguiente:

	<b>CONTRATO DE OBRA PÚBLICA</b>	<b>OBRA PÚBLICA FINANCIADA</b>	<b>CONSTRUIR, ARRENDAR Y TRANSFERIR</b>	<b>PRODUCTOR INDEPENDIENTE DE ENERGÍA</b>
<b>PROPIEDAD DE LA CENTRAL</b>	CFE	CFE	Fideicomiso, hasta que CFE efectúe el último pago trimestral.	Productor
<b>RIESGO FINANCIERO</b>	CFE obtiene todo el financiamiento en forma directa, sin participación del contratista.	El contratista obtiene todo el financiamiento y presenta una oferta no sujeta a cierre financiero.	El contratista obtiene todo el financiamiento y presenta una oferta no sujeta a cierre financiero.	El productor obtiene todo el financiamiento y presenta una oferta no sujeta a cierre financiero.
<b>MÉTODO DE PAGO</b>	CFE paga conforme al avance de las obras.	CFE efectúa pagos periódicos a partir de la aceptación provisional	CFE paga a partir de la aceptación provisional.	El Productor recibe pago a partir de la operación comercial de la Central.
<b>RIESGO DE CONSTRUCCIÓN</b>		CFE paga el valor de las obras en caso de terminación anticipada.	El contratista asume el riesgo de no recibir pago alguno si las obras no se completan.	El Productor asume el riesgo de no recibir pago alguno si las obras no se completan o si la capacidad de la Central no está disponible para CFE.
<b>RIESGO DE FUERZA MAYOR</b>	CFE debe pagar las obras realizadas en caso de terminación anticipada	CFE debe pagar por las obras realizadas en caso de terminación antes de la aceptación provisional; después	CFE no tiene obligación de comprar la Central en caso de terminación anticipada; después de la aceptación	CFE no tiene obligación de comprar la Central en caso de terminación antes o después de la operación comercial (CHECAR)

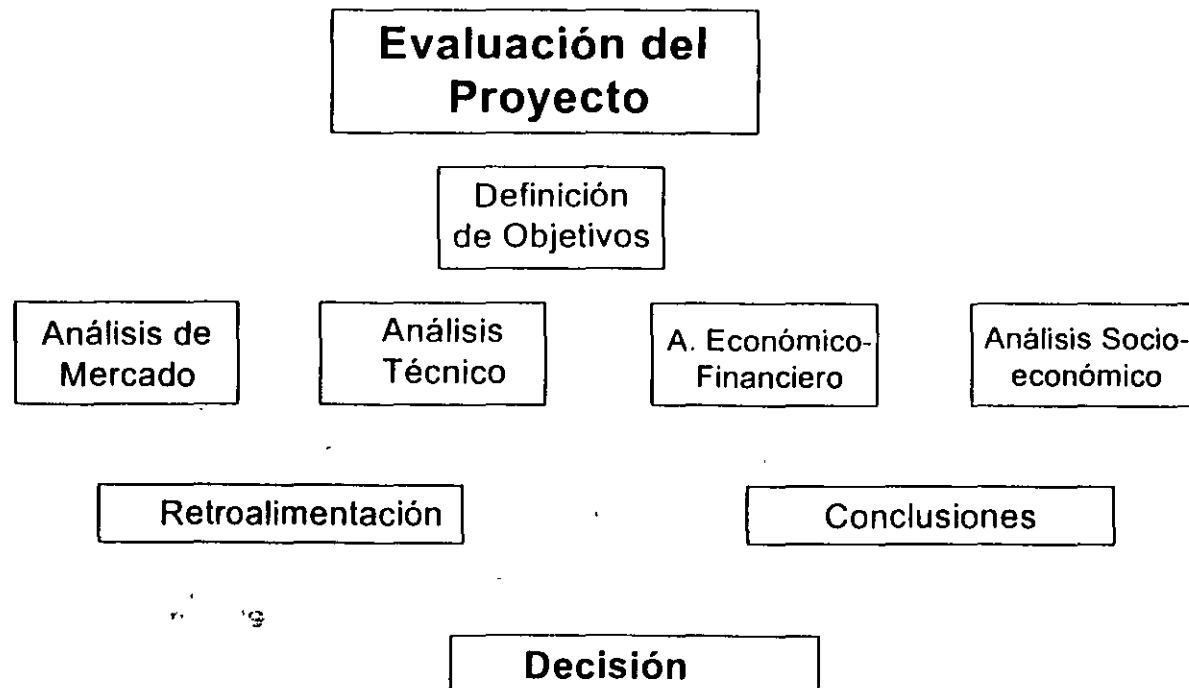
		de ésta los pagos son incondicionales	provisional los pagos son incondicionales	
<b>RIESGO TECNOLÓGICO</b>	CFE asume el riesgo de fallas e ineficiencia de los equipos después de la aceptación provisional.	CFE asume el riesgo de fallas e ineficiencia de los equipos después de la aceptación provisional	CFE asume el riesgo de fallas e ineficiencia de los equipos después de la aceptación provisional	El Productor asume el riesgo de fallas e ineficiencia de los equipos.
<b>RIESGO OPERATIVO</b>	El contratista no opera; CFE asume el riesgo de negligencia en operación y mantenimiento.	El contratista no opera; CFE asume el riesgo de negligencia en operación y mantenimiento.	El contratista no opera; CFE asume el riesgo de negligencia en operación y mantenimiento.	El Productor asume el riesgo de caídas en la capacidad debidas a negligencia en operación y mantenimiento.



## V. Evaluación de Proyectos.

### A. Generalidades

En forma general un proyecto es la búsqueda de una solución eficiente para resolver una necesidad humana; un proyecto de inversión es un plan que al asignársele determinado monto de capital e insumos de varios tipos, podrá producir un bien o servicio útil a la sociedad. Entonces, se llama Evaluación de Proyectos a toda actividad encaminada a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto. Sin existir un método absoluto, la estructuración general de la evaluación de proyectos prácticamente sigue el proceso siguiente:



Nos enfocaremos principalmente al análisis económico- financiero; cabe señalar que el proceso de evaluación de proyectos es un evento continuo, es decir, las etapas son consecutivas, por lo que no se evaluará una etapa sin la aprobación de la etapa anterior.

## **B. Métodos de Evaluación Económica**

Los métodos de evaluación de proyectos mas utilizados se describen a continuación, y la aplicación de cada uno de ellos, dependerá del tipo de proyecto, grado de exactitud y del tiempo que se disponga para la realización de la evaluación o la toma de decisiones.

- Periodo de Recuperación
- Tasa de Rendimiento Contable
- Tasa Interna de Rendimiento (TIR)
- Índice de Rentabilidad
- Valor Presente Neto (VPN)

Al analizar estos criterios, es conveniente tener en cuenta, que cada método posee sus propias particularidades (pros y contras), las cuales determinan que opción es la mejor.

### **Periodo de Recuperación**

El método del periodo de recuperación, es una de las alternativas mas conocidas, el cual consiste en determinar el número de años que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos previstos, iguallen a la inversión inicial. Para ilustrar este método consideremos el siguiente proyecto.

Consideremos un proyecto que requiere de una inversión inicial de -\$50,000.00, y el cual genera flujos de efectivo por \$30,000.00, \$20,000.00, \$10,000.00 en los primeros tres años, respectivamente. La empresa que va realizar la inversión recibirá durante los primeros dos años \$30,000.00 y \$20,000.00, los cuales suman los \$50,000.00 de la inversión inicial. Esto significa que el *periodo de recuperación* de la inversión de la empresa es de dos años.

El problema que podemos observar en este método es que no toma en cuenta los flujos que se generen después de esta fecha y no actualiza al costo de oportunidad los recursos monetarios.

### Tasa de Rendimiento Contable Media

Algunas empresas juzgan un proyecto de inversión mediante el análisis de la tasa de rendimiento contable medio. Este método consiste en dividir la utilidad media de un proyecto (después de amortizaciones e impuestos) entre el valor medio contable de la inversión. Esta razón se compara con la tasa de rendimiento de la empresa que la está adquiriendo o del sector al que pertenece la empresa que se está analizando.

En el cuadro siguiente se muestra un ejemplo de las cuentas de resultados provisionales del proyecto A a lo largo de sus tres años de vida.

Proyecto A	Flujos de Tesorería		
	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	12,000	10,000	8,000
Costos	6,000	5,000	4,000
Flujo de Tesorería	6,000	5,000	4,000
Amortización	3,000	3,000	3,000
Utilidad Neta	3,000	2,000	1,000

La utilidad neta media es de \$2,000.00 al año (no se incluyeron impuestos para simplificar el ejemplo). La inversión requerida es de \$9,000.00 en  $t=0$ . Esta cantidad es amortizada a una tasa constante de \$3,000.00 al año. De este modo, el valor contable de la inversión disminuirá de \$9,000.00 a \$0.00 en el año 3, registrando una inversión anual media de \$4,500.00.

El cociente entre el Beneficio e Inversión anual media, es la Tasa de Rendimiento Contable Media, esto es:

$$\$2,000.00/\$4,500.00=0.44 \Rightarrow 44\%$$

Por lo tanto, el proyecto A sería aceptado si la tasa de rendimiento contable deseada por la empresa fuese inferior al 44%.

El problema de utilizar este método consiste, en que considera únicamente la rentabilidad media sobre la inversión contable y no toma en cuenta el hecho de que los ingresos inmediatos valen más que los distantes, ya que no actualiza al costo de oportunidad los recursos monetarios, aunado a que las decisiones de inversión pueden estar relacionadas con la rentabilidad de los negocios presentes de la empresa, lo cual es también una decisión arbitraria.

### Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

La TIR es un método comúnmente recomendado en muchos textos financieros. Por lo tanto, si insistimos más en sus deficiencias, no se debe a que estas sean más numerosas, sino que son menos obvias.

La TIR se considera un caso particular del Valor Presente Neto, el cual consiste en aceptar oportunidades de inversión que ofrezcan tasas de rentabilidad superiores a los costos de oportunidad del capital. Adecuadamente interpretada, esta afirmación es absolutamente correcta. Sin embargo, la interpretación no siempre es sencilla en los proyectos de inversión duraderos, ya que no existe manera totalmente satisfactoria que determine la tasa de rentabilidad de un activo duradero.

La tasa interna de retorno se define como el tipo de descuento que hace el VPN=0. Para el cálculo de la TIR se emplea la siguiente expresión:

$$VPN = C_0 + \frac{C_1}{1+TIR} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+TIR)^T} = 0$$

El cálculo efectivo de la TIR implica normalmente un proceso iterativo (prueba y error), el cual puede ser simplificado, si se auxilia uno con una computadora o calculadora que este especialmente programada, y esto es lo que hacen las empresas. En caso de que no contar con la ayuda de una herramienta de estas, se puede auxiliar con dibujo en donde se grafique tres o cuatro combinaciones de VPN y tipo de descuento y uniendo los puntos con una línea uniforme, estimar el tipo de descuento al cual el VPN =0.

### Defectos del método de la TIR-

Este método dará el mismo resultado que el valor presente neto siempre y cuando los flujos del proyecto tengan la propiedad de que el VPN disminuya a medida que el tipo de descuento aumente. En caso contrario al señalado, en donde los flujos no permitan un comportamiento semejante, este método no será una medida de evaluación aceptable, siendo que se puede dar el caso de que nuestro VPN aumente a medida que aumenta el tipo de descuento, lo cual no es compatible con lo que hemos indicado anteriormente.

Otro problema que se puede enfrentar al emplear este método, es aquel que se conoce como múltiples tasas de rendimiento, las cuales se presentan si existen mas de un cambio de signo en los flujos de efectivo, lo que origina que el proyecto pueda tener varias TIR, o no tener ninguna.

Hemos simplificado nuestro análisis suponiendo que nuestro costos de capital son iguales durante la vida del proyecto, pero que pasa con la TIR cuando tenemos varios costos de oportunidad de capital. Como sería esta comparación, tendríamos que calcular un promedio ponderado bastante complicado para obtener un número comparable con la TIR.

### Indice de Rentabilidad

Este método consiste en dividir el valor actual de los flujos tesorería previstos entre la inversión inicial:

$$IR = VP / (-C_0)$$

Este criterio nos dice que se aceptaran todos los proyectos con un índice mayor de 1. Si el índice de rentabilidad es mayor de 1, el valor actual (VA) es mayor que la inversión inicial (-C<sub>0</sub>) y, por lo tanto el proyecto debe tener un valor actual neto positivo. El índice de rentabilidad conduce, por tanto, exactamente a la misma decisión que el valor presente neto.

Sin embargo al igual que la TIR, el índice de rentabilidad puede ser erróneo, cuando estamos obligados a elegir entre dos inversiones mutuamente excluyentes.

Ejemplo:

Proyecto	Flujos de Efectivo			V P al 12%	Índice de Rentabilidad	VPN al 12%
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>			
1	-20	70	10	70.5	3.53	50.5
2	-10	15	40	45.3	4.53	35.3

De los cuatro criterios, el índice de rentabilidad se asemeja muy estrechamente al VPN. Pero para la mayoría de los propósitos es más seguro trabajar con los valores presentes netos, que son aditivos, que con índices de rentabilidad, que no lo son.

### Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Este método parte del principio financiero del valor del dinero en el tiempo, esto es, una unidad monetaria hoy vale más que al día siguiente, debido a que una unidad monetaria hoy puede invertirse para comenzar a ganar intereses inmediatamente. Este principio es muy importante tanto en las áreas de presupuesto de capital, en la toma de decisiones entre arrendar o comprar, en los arreglos financieros, en las fusiones o fondos de pensiones.

El valor presente neto se define como el valor presente de los flujos de efectivo futuros menos el valor presente de los costos de inversión. La Fórmula del VPN puede expresarse como:

$$VPN = -COSTO + VP$$

donde el valor presente (VP) es igual a:

$$VP = \frac{C_1}{(1+r)^T}$$

C<sub>1</sub> es el flujo de efectivo en la fecha 1

$r$  es la tasa de interés indicada  
 $T$  es el número de periodos de análisis

El flujo de efectivo lo constituyen aquellos excedentes o faltantes de efectivo en los cuales incurre una empresa o proyecto a lo largo de un período una vez deducidos sus gastos de operación y cubiertas sus obligaciones financieras y fiscales.

- ❖ Los costos y beneficios deben ser medidos en términos de los flujos y no de las utilidades, ya que estas involucran algunos conceptos que no implican efectivo (depreciación).
- ❖ Los costos pasados son costos hundidos. Sólo deben considerarse flujos de efectivo futuros
- ❖ Los flujos de efectivo deben ser después de impuestos, para conocer el flujo disponible para otras inversiones
- ❖ Se asumen que ocurren al final de cada período.

La tasa de descuento representa el costo de oportunidad del capital. Es la tasa mínima de rendimiento que desean obtener los inversionistas por su capital; está compuesta por dos elementos:

- ❖ Tasa de inflación
- ❖ Rendimiento real sobre la inversión

El rendimiento real significa el verdadero crecimiento del dinero que se desea obtener sobre la inversión realizada. También es conocida como premio al riesgo ya que el inversionista arriesga su dinero por lo que merece una ganancia superior a la inflación.

La tasa de descuento para descontar los flujos de efectivo, estará de acuerdo con las necesidades de la empresa o persona. La tasa de interés comúnmente utilizada es la del costo de capital vigente en los mercados nacionales o extranjeros, según sea el caso.

Para el cálculo del valor presente neto, pueden emplearse tantos flujos de efectivo como se dispongan.

Ejemplo de aplicación del valor presente neto:

Supongamos que el director financiero de la empresa X se enfrenta al problema de decidir entre invertir en la empresa A y la B, para lo cual se apoya en el método del valor presente. Los flujos de efectivo, el monto de inversión y la tasa del costo de capital, se describen a continuación en la siguiente tabla:

Empresa	Año				VPN 10%
	0	1	2	3	
A	(10,000)	10,000	1,000	1,000	669
B	(10,000)	1,000	1,000	12,000	751

Como podemos observar la empresa B es la mejor opción que pudiera elegir el Director de la empresa X, ya que el VPN es alrededor de 12% mayor que la alternativa A.

#### **Ventajas del VPN sobre los criterios del Periodo de Recuperación, Tasa de Rendimiento Contable, Tasa Interna de Rendimiento Media e Índice de Rentabilidad**

- El criterio del VPN reconoce el valor del dinero en el tiempo, cualquier método que no reconozca esta regla no puede considerársele adecuada.
- El VPN es un método de selección que determina al proyecto que maximiza la riqueza.
- El VPN depende únicamente de todos y cada uno de los flujos de efectivo previstos procedentes del proyecto y del costo de oportunidad del capital.
- Debido a que todos los valores presentes se miden en dólares de hoy, es posible sumarlos.

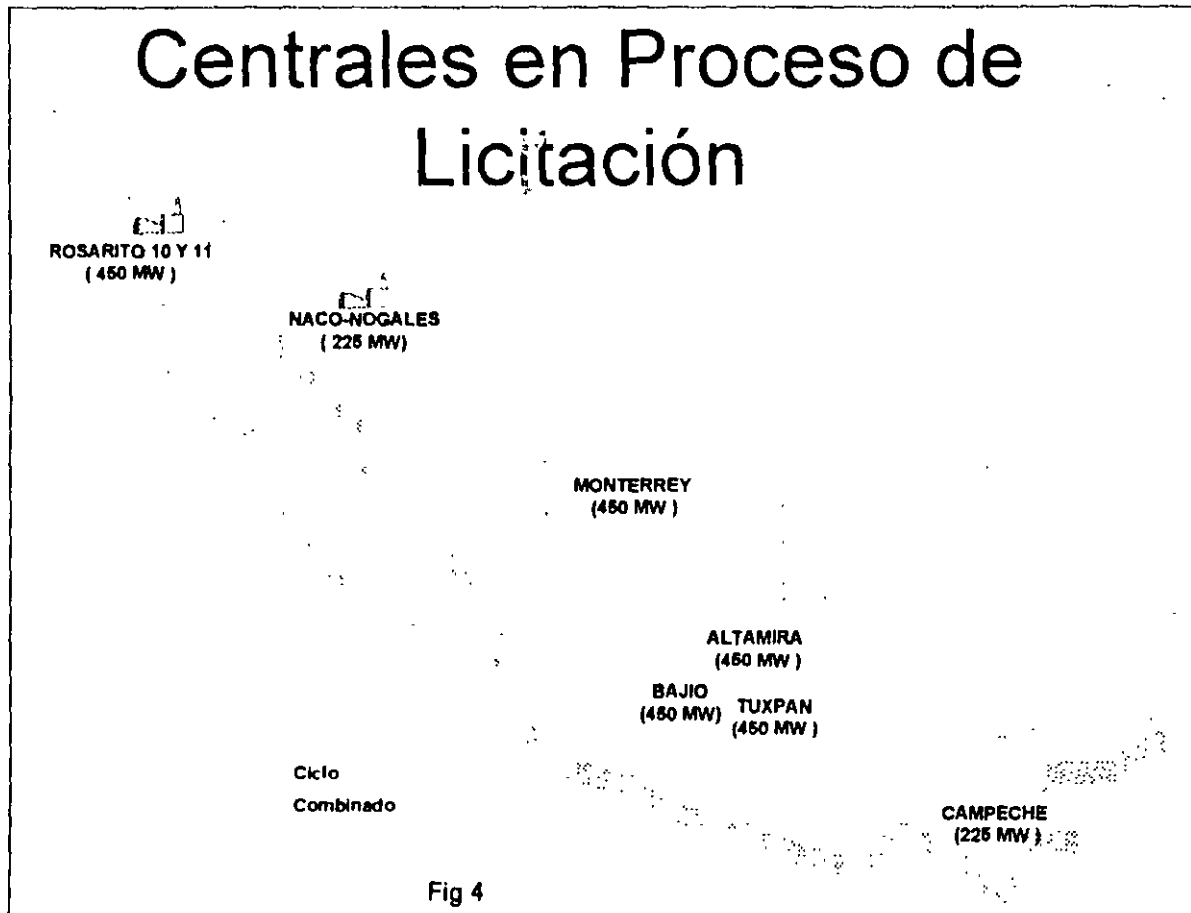


## **VI. LICITACIONES PÚBLICAS INTERNACIONALES**

### **A. Programa Actual de Licitaciones**

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad tiene un ambicioso programa de licitaciones públicas internacionales con el objeto de contar con la infraestructura necesaria para hacer frente a la demanda eléctrica en los próximos diez años.

Los esquemas descritos en capítulos anteriores han sido ampliamente aceptados por el mercado internacional. La participación en la construcción de infraestructura ha sido muy variada. Las ofertas que se han recibido han presentado precios competitivos en el mercado internacional; se han recibido propuestas de diferentes empresas tales como Siemens, Electricité de France, Abengoa Inabensa, Unión Fenosa, ABB Sistemas, Mitsubishi Corporation, Calpine Corporation, Intergen Aztec Energy, Enron, entre otras. Los resultados obtenidos han sido técnicos, tecnológicos y económicos han sido alentadores; los esquemas propuestos por CFE han sido aceptados por tecnólogos, desarrolladores, inversionistas, banqueros, agentes financieros y proveedores

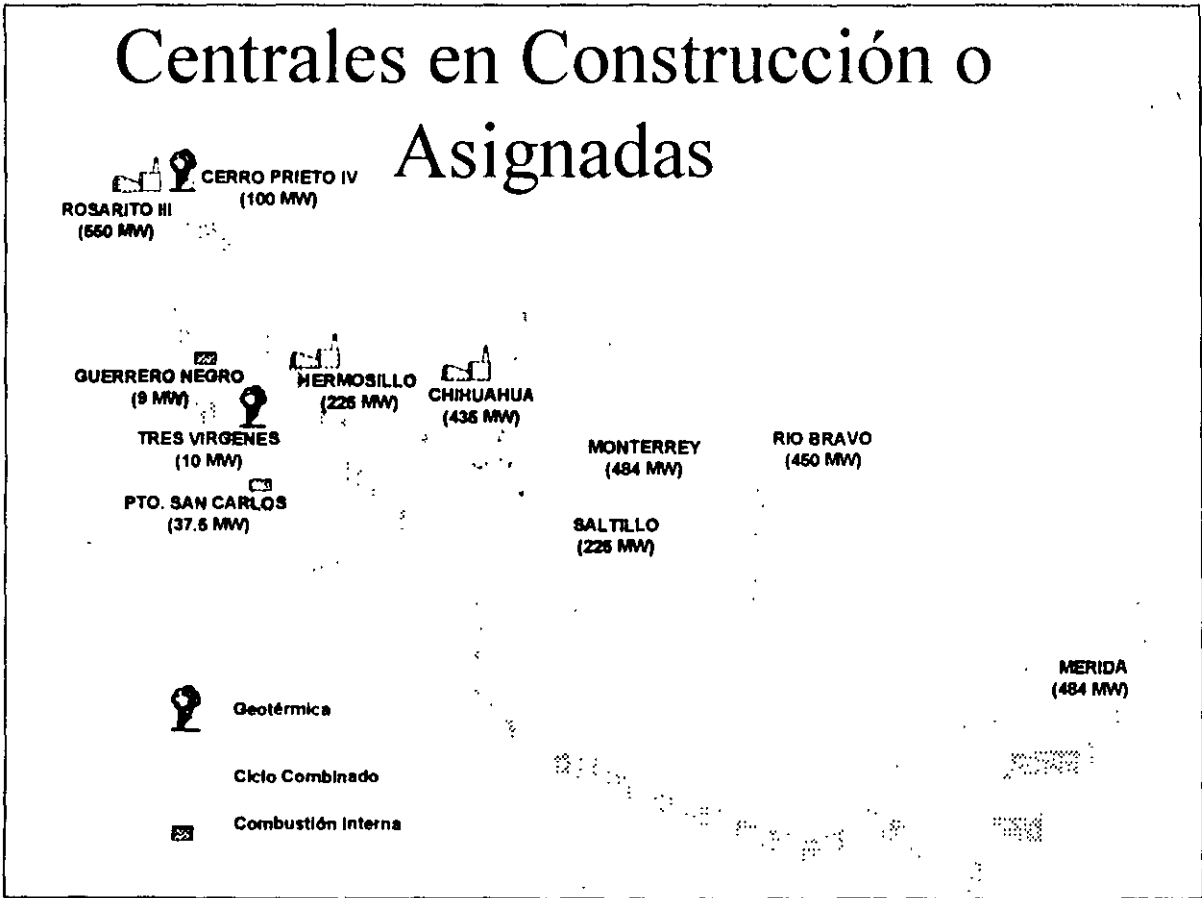


Actualmente el financiamiento de las obras de infraestructura de CFE se ha realizado mediante los mecanismos mencionados, concebidos e instrumentados dentro del marco normativo existente, que propicien el nacimiento del mercado eléctrico, en el que la inversión pública y privada se complementan. **El mercado internacional de referencia ha recibido positivamente los esquemas propuestos por CFE. Se recibieron aproximadamente 95 ofertas por parte de consorcios de primer nivel; las especificaciones técnicas son de calidad internacional y las condiciones**

**financieras propuestas permitieron tener precios competitivos, a pesar de la crisis financiera internacional presentada en el otoño del mismo año.**

Estos proyectos son ejecutados por el sector privado, con recursos privados, en los que se requiere un menor nivel de compromiso de los recursos públicos. En el esquema CAT se han licitado 18 proyectos entre proyectos de generación, transmisión y transformación. Estos proyectos comprenden adiciones de capacidad a grandes sistemas interconectados, y pequeños sistemas aislados, a través de la central Samalayuca II con 506 MW, Rosarito III con 541 MW, la Central Chihuahua con 435, la central Monterrey I con 484, la central Cerro Prieto IV con 100 MW, etc. También han sido licitadas y otorgadas las centrales de Hermosillo (250 MW), Saltillo (250 MW), Tuxpan (450 MW), Bajío (450 MW) y Río Bravo (450 MW) la cual estudiaremos en detalle a continuación.

# Centrales en Construcción o Asignadas



## **B. Evaluación de Proyectos Termoeléctricos.**

### **Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Río Bravo (450 MW)**

La evaluación de las centrales de generación inicia con la justificación económica financiera que se tiene que presentar ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para que el proyecto sea aprobado en el presupuesto como parte de la deuda contingente.

La evaluación del proyecto está ligada íntimamente con algunos de los temas que se han descrito anteriormente. El crecimiento de la planta de generación hasta ahora es responsabilidad de CFE, por lo que el proceso considera básicamente las siguientes actividades:

- ❖ estudio del análisis de la demanda y proyecciones de la misma
- ❖ análisis de los energéticos que se tendrán disponibles en un horizonte de tiempo de 5 a 10 años
- ❖ estudio de crecimiento de la red de transmisión y transformación
- ❖ proyección del escenario económico
- ❖ evolución de las tecnologías de generación
- ❖ posibilidad de medios alternos de generación
- ❖ análisis geográfico
- ❖ análisis del suministro de combustibles en la región

La evaluación de proyectos en una entidad como CFE tiene diferentes objetivos y enfoques que los planteados para una empresa privada. Así, la entidad simula al sistema con el proyecto en operación y sin el proyecto, comparando el costo del sistema en general en ambos casos, y no del proyecto *per se*. Por lo tanto se analiza el costo de producción en general de toda la planta de generación, debido a que al entrar en operación una planta nueva se retiran del sistema MW que son producidos a un mayor costo. El costo del sistema incluye el costo de transmisión, la probabilidad de falla, minutos de interrupción, plantas alternativas para generar cuando falle el sistema (dependiendo de la región), etc.

CFE ha construido plantas de generación desde su creación, por lo que la estimación del costo de la ingeniería, procura y construcción del proyecto ha sido consignado durante décadas en un documento expreso para ese fin, conocido como

Costos y Parámetros del Sector Eléctrico (COPAR). Por lo tanto, se estima una inversión total del proyecto apoyado en los costos del COPAR.

Una vez que se tiene la inversión se consideran las condiciones financieras que en el momento persistan en el mercado financiero con el objeto de simular un calendario de pagos que cubra la inversión estimada así como el capital y su rendimiento.

Análogamente se estima un resultado neto de operación:

ingresos (asumiendo 40ctvos dólar por kW) - costo de operación y mantenimiento - costo por combustible

Este resultado debe ser forzosamente mayor a los pagos simulados diseñados por CFE.

De forma estricta, en evaluación de proyectos se debería de aplicar el método del Valor Presente Neto de los flujos del resultado neto de operación con la inversión y descontarlos al costo de oportunidad del capital de CFE; sin embargo, como el proyecto es tratado como parte integral del sistema eléctrico nacional, lo que tiene que cumplir es que cada año el proyecto genere suficientes recursos para pagarse.

Una vez que ha sido aprobado el proyecto por la SHCP se invita al mercado por medio de una licitación pública internacional a concursar para la realización del proyecto. A continuación se detalla la metodología de evaluación del concurso para determinar a la empresa(s) que se comprometerán a construir y operar la planta.

La evaluación de las centrales de generación consiste en determinar el menor costo del kW de generación instalado al sistema, con un proyecto de infraestructura que cumpla con las especificaciones técnicas, legales y financieras que aseguren la realización del mismo.

El concepto del menor costo del kW instalado está definido por un concepto llamado Precio Unitario Nivelado de Generación (PNG). El PNG valora el flujo de efectivo de los diferentes cargos de la central (a los cuales nos referiremos más adelante) y la generación durante los 25 años de vida útil de la misma, para obtener un precio unitario promedio. Para la valoración del PNG se toma el método de Valor Presente de los flujos de efectivo y la generación producida

durante los 25 años la vida útil del proyectos; para ello toma en cuenta variables técnicas y económicas que inciden en el modelo financiero de evaluación.

Tomaremos como referencia la Central de Ciclo Combinado Río Bravo de 450 MW. El objeto de la licitación del proyecto Río Bravo (450 MW) consistió en la celebración de un contrato de compromiso de capacidad de energía eléctrica y compraventa de energía eléctrica asociada a esa capacidad, conforme al cual un Productor Externo de Energía constituido por el licitante ganador, estará obligado por un plazo de 25 años a poner a disposición de la Comisión una capacidad de generación de energía eléctrica de no menos de 405 MW ni más de 495 MW a condiciones de diseño de verano y vendérsela a la Comisión en el punto de interconexión acordado.

El Productor, entonces, esta obligado a realizar a su sola costa, todos los trabajos necesarios para diseñar, construir, equipar, probar, poner en servicio, ser propietario de, operar y mantener las instalaciones. Asimismo, el Productor construye la subestación de la central y el ramal del combustible, del punto de entrega a la central. El proyecto permite que el licitante tenga la opción de realizar los arreglos necesarios para suministrar el combustible base (gas natural) y alterno (diesel) a la central, o puede dejar tal responsabilidad a CFE. Una vez que el proyecto es aprobado por la SHCP, se convoca al mercado a la licitación pública internacional respectiva para iniciar el concurso.

La evaluación de la central, como prácticamente sucede en todos los proyectos de infraestructura, consistió en una etapa de evaluación técnica y una etapa de evaluación económica. La evaluación técnica considera los valores garantizados y los parámetros técnicos de eficiencia y servicio que son pedidos por los técnicos de la Comisión. A continuación se mencionarán los de mayor importancia:

- ❖ Capacidad Neta Garantizada
- ❖ Nivel de Eficiencia (mínima del 45%)
- ❖ Balances Térmicos
- ❖ Tecnología propuesta
- ❖ Promedio de disponibilidad garantizado
- ❖ Curvas de corrección
- ❖ Control de contaminación
- ❖ Aseguramiento de Calidad y administración ambiental

- ❖ Grado de automatización
- ❖ Condiciones de operación y mantenimiento
- ❖ Parámetros eléctricos
- ❖ Protecciones del generador y líneas de transmisión
- ❖ Sistema de manejo de combustible

El objeto de la evaluación técnica es verificar que la tecnología propuesta por el Productor cumple con los parámetros técnicos establecidos, se encuentra dentro de las prácticas prudentes de la industria, los valores garantizados son congruentes con la capacidad de la central, etc.

La etapa de evaluación económica utiliza una metodología ampliamente probada en la evaluación de proyectos: el Valor Presente. Para ello se utilizan los flujos de efectivo de cada uno de los cargos y algunos parámetros técnicos y económicos, los cuales son descritos a continuación:

## I. TÉCNICOS

- ❖ La Capacidad Neta Garantizada es la ofrecida por los licitantes, operando tanto con el Combustible Base como con el Alterno a condiciones de verano y en sitio;
- ❖ El consumo térmico de la central es la capacidad de energía, en kJ, requerida para generar 1 kWh de energía eléctrica; se calcula midiendo el consumo de combustible ( kg/h) multiplicado por el poder calorífico inferior del mismo ( J/kg) y se divide entre la capacidad en kW medida en el punto de interconexión. Para efectos de evaluación se utiliza el Consumo Térmico Unitario Neto Medio Pesado, para el Combustible Base y para el Alterno, el cual corresponde a las condiciones promedio anual al 100%, 75% y 50% de la carga, considerando los siguientes factores de ponderación:
  - ❖ a = Parte proporcional de tiempo en operación al 100% de carga = 8.5
  - ❖ b = Parte proporcional de tiempo en operación al 75% de carga = 2.4
  - ❖ c = Parte proporcional de tiempo en operación al 50% de carga = 1.0;



- ❖ El Factor de Planta es igual al Promedio de Disponibilidad Garantizado (PDG) multiplicado por el Factor de Carga;
- ❖ El Factor de Carga es igual al 90%;
- ❖ Se considera que la Central opera en vacío con Combustible Base durante 144 horas al año y con el Alternativo durante 36 horas al año;
- ❖ Se solicitan 30 arranques exitosos por año, de la siguiente forma:
  - ❖ arranques en caliente (16 con Combustible Base y 4 con Alternativo)
  - ❖ arranques en frío (4 con Combustible Base y 1 con Alternativo)
  - ❖ arranques en tibio (4 con Combustible Base y 1 con Alternativo)
- ❖ La Central opera con Combustible Alternativo 360 horas al año; y
- ❖ Todos los meses tienen 730 horas.

## II. ECONÓMICOS

- ❖ La tasa de descuento real anual es del 12% (0.949% mensual), tanto para los valores en Pesos como en Dólares Americanos (Dólares);
- ❖ La tasa fija de Inflación anual para los Estados Unidos de América se asume de 2.7% (0.22% mensual) y se considera constante por la vigencia del contrato;
- ❖ Los pagos se realizan al final de cada mes;
- ❖ La evaluación se realiza en Pesos, motivo por el cual todos los rubros expresados en Dólares se convierten a Pesos al tipo de cambio de la fecha de apertura de las Propuestas Técnicas.

- ❖ La evaluación se realiza en moneda constante de la fecha de apertura de las Propuestas Técnicas;
- ❖ El periodo que se toma en cuenta para evaluación es el comprendido entre la fecha de recepción de las Propuestas y una vida útil de 25 años contados a partir de la fecha programada de operación comercial;
- ❖ Para determinar el cargo por combustible se considera el escenario de precios provisto por la CFE en las Bases de Licitación, para evaluar con el procedimiento descrito en la sección 5 de las propias Bases;
- ❖ Para la evaluación del Precio Unitario Nivelado de Generación (PNG) en centavos de Dólar por kWh, se utilizan tres decimales y se le aplica redondeo al último de estos dígitos;
- ❖ Para integrar el flujo de efectivo se consideran en este análisis:
  - ❖ **Cargos por Capacidad:**
    - ❖ **Cargo Fijo de Capacidad:** este cargo incluye la recuperación de los costos de inversión durante construcción; deuda e intereses, capital de riesgo y su rendimiento, gastos financieros, legales y administrativos, e impuestos. Este cargo es expresado en dólares / kW y es pagadero en dólares;
    - ❖ **Cargo Fijo de Operación y Mantenimiento:** este cargo incluye todos los costos en que se incurra durante el periodo de operación que se requieran para mantener disponibles las instalaciones y que no varíen en función de la energía producida. Esto incluye mano de obra, materiales, equipo, refacciones, servicios, etc. Este cargo es presentado en dólares y en pesos, dependiendo del origen del cargo;
  - ❖ **Cargos por Energía:**
    - ❖ **Cargo Variable de Operación y Mantenimiento:** son los costos asociados a la energía eléctrica producida y entregada a la Comisión en el punto de interconexión;
    - ❖ **Cargo por Combustible:** el consumo de la central esta ligado directamente a la eficiencia de la misma. El licitante oferta los consumos térmicos para el cálculo de este cargo;

- ❖ **Cargo por Arranques:** los licitantes ofertan el consumo por cada tipo de arranque (dependiendo del no. de horas que las turbinas estén fuera de operación).
- ❖ El tipo de cambio de la fecha de apertura de propuestas técnicas.

La evaluación se realiza mediante la aplicación de la fórmula del Precio Unitario Nivelado de Generación, cuyos términos se definen a continuación, y consiste en conocer el cociente del valor total de los pagos y la generación promedio mensual.

$$PNG = \frac{VP_{ft}}{\sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(1+t)^i}}$$

**PNG** Precio Unitario Nivelado de Generación;

**VP** Suma de los valores presentes de cada cargo por capacidad y cargo por energía;

**n** período de evaluación el cual comprende desde la apertura de propuestas técnicas hasta la terminación del contrato;

**Gi** Generación neta en el mes *i* (con combustible base y alterno);

**t** Tasa de descuento real mensual en Pesos;

**i** Número de mes, contando desde la fecha de apertura de propuestas.

Los criterios de evaluación y adjudicación indican que las ofertas sean solventes económicamente, habiendo sido declarada "Solvente Técnicamente" en la etapa de evaluación de Propuestas Técnicas, es decir, que cumpla con la viabilidad financiera y la congruencia del plan de financiamiento con el proyecto y la Propuesta y presente el menor precio del kW instalado será la propuesta ganadora.

Para realizar la evaluación se construye el modelo financiero, tomando en consideración cada uno de los parámetros expuestos. Se calcula el consumo de la central, el cual es producto de los parámetros de eficiencia de la misma; los flujos de efectivo son función directa de la capacidad de generación de la central. A continuación se realizará una evaluación completa.

## **MODELO**