



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE  
SUMINISTRO Y EVACUACIÓN DE AGUA EN PLATAFORMAS MARINAS  
HABITACIONALES

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA

PRESENTA:

ING. JAZIEL ALEJANDRO DOMÍNGUEZ AVENDAÑO

TUTOR:

DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ



2013

# Índice

Índice.....	ii
Introducción.....	4
Planteamiento del problema .....	6
Justificación.....	7
Objetivos .....	7
Alcances .....	7
Definición de los conceptos clave .....	8
CAPÍTULO I La ingeniería sanitaria aplicada a la Ingeniería civil costa afuera .....	9
1.1 La Ingeniería civil costa afuera.....	9
1.1.1 La ingeniería civil costa afuera orientada a la explotación de hidrocarburos en México.....	9
1.1.2 Las plataformas petroleras y la necesidad de concentrar al personal en las instalaciones costa afuera .....	11
1.2 Instalaciones de ingeniería sanitaria en plataformas habitacionales.....	15
1.2.1 Condiciones generales de las plataformas habitacionales.....	15
1.2.2 Fuente de abastecimiento de agua potable.....	17
1.2.3 Tratamiento y disposición de las aguas residuales .....	20
1.2.4 Las instalaciones sanitarias en edificaciones y su aplicación en plataformas habitacionales .....	23
1.3 Aspectos relativos al diseño y construcción de plataformas marinas en el Golfo de México .....	31
1.3.1 Criterio operacional .....	31
1.3.2 Criterio medioambiental .....	31
1.3.3 Diseño de los cimientos .....	33
1.3.4 Diseño estructural .....	33
1.3.5 Construcción e instalación.....	33
1.4 Proyectos existentes y futuros en el Golfo de México .....	34
1.4.1 PEP a grandes rasgos.....	35
1.4.2 Plataformas existentes en el Golfo de México.....	36
1.4.2 Proyectos futuros de PEP .....	36
CAPÍTULO II Consideraciones para el diseño de instalaciones sanitarias en plataformas habitacionales.....	37
2.1 Instalación para el suministro de agua.....	37
2.1.1 Factores determinantes para el diseño .....	37
2.1.2 Sistemas de abastecimiento de agua fría .....	38
2.1.3 Red interior de distribución .....	38
2.1.4 Mueble (o apartado) más desfavorable de la instalación .....	40
2.1.5 Gasto máximo instantáneo.....	40
Método de Hunter.....	44

---

2.1.6 Anteproyecto de instalaciones hidráulicas y sanitarias-----	54
2.1.7 Diseño del sistema de presión independiente-----	54
2.2 Suministro de agua caliente -----	64
2.3 Instalación de evacuación de aguas residuales -----	65
2.3.1 Red interior de evacuación de aguas residuales -----	65
2.3.2 Diseño de la instalación de evacuación de aguas residuales-----	66
CAPÍTULO III Consideraciones generales de las instalaciones hidráulicas y sanitarias del módulo habitacional de la plataforma habitacional Akal-C HAB.2 .....	72
3.1 Características generales -----	72
3.2 Requerimientos del servicio -----	74
3.2.1 Capacidad de alojamiento -----	74
3.2.2 Autosuficiencia de servicios -----	74
3.2.3 Dimensiones y acotaciones del proyecto arquitectónico -----	74
3.2.4 Turnos laborales -----	74
3.2.5 Ductos verticales para registro de las instalaciones-----	74
3.2.6 Servicios sanitarios -----	74
3.2.7 Dotación mínima y capacidad de almacenamiento -----	76
3.3 Plantas arquitectónicas y trazo de las instalaciones hidráulicas y sanitarias. -----	76
3.3.1 Primer nivel (nivel 19.100 m) -----	77
3.3.2 Segundo nivel (nivel 26.600 m)-----	79
3.3.1 Tercer y cuarto nivel (nivel 31.600 m y 34.600 m)-----	81
3.3 Isométricos de las instalaciones hidráulicas y sanitarias.-----	83
Conclusiones y recomendaciones .....	86
Referencias bibliográficas y electrónicas .....	87
Libros de consulta-----	87
Trabajos de consulta -----	87
Páginas de internet -----	87
Otras fuentes-----	87
Referencias Normativas .....	87

## Introducción

---

El agua es un recurso natural indispensable para los seres humanos. Sin importar la raza, el credo o la clase social, todos dependemos de ella para mantener nuestra salud, bienestar y confort. Tomando en cuenta todos sus usos en la vida moderna, en México, una persona puede llegar a consumir un promedio de 300 litros de agua por día.

Lamentablemente, el agua no es sólo una fuente de vida para las personas, sino, es también un vehículo para la transmisión de organismos patógenos causantes de muchas enfermedades, es por eso que la ingeniería sanitaria, a través de obras civiles que proporcionan salud, seguridad y confort, se ocupa de la promoción y conservación de la salud pública.

Generalmente, el agua potable es captada de dos grandes fuentes de abastecimiento: las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Posteriormente el agua se transporta mediante líneas de conducción hasta una planta potabilizadora, que se encarga de alterar favorablemente sus condiciones con el fin de hacerla apta para la bebida, en este punto se debe contar con un almacenamiento previo a las líneas de distribución que se encargan de entregar el agua a los consumidores; una vez que se le ha dado uso al recurso, debe ser desalojado de forma pronta y eficiente de la edificación para su adecuado tratamiento y disposición.

Sin embargo, las condiciones tan especiales de una plataforma marina impiden que el abastecimiento de agua potable para los habitantes se efectúe de la manera descrita en el párrafo anterior. Al tratarse de una estructura ubicada fuera de la costa y rodeada únicamente por el océano, las fuentes de abastecimiento convencionales dejan de ser una opción, por lo que se ha tenido que recurrir al agua salada y a los barcos cisterna para poder suministrar, a los sistemas que integran la plataforma y a los empleados que en ella laboran, un recurso tan indispensable.

Cabe señalar que, en las instalaciones costa afuera, el tratamiento de las aguas residuales se realiza en la misma plataforma y su disposición es directamente hacia el océano.

Una vez solucionados los problemas de captación, potabilización y conducción del agua para consumo humano y los de la adecuada eliminación de las aguas residuales, se debe tener especial cuidado en todo lo referente a las instalaciones sanitarias en las edificaciones, ya que éstas se encuentran en contacto directo con los habitantes o usuarios de las mismas y cumplen, como parte de la ingeniería sanitaria, una misión de salubridad preventiva.

Las instalaciones con las que debe contar toda edificación con la capacidad de dar alojamiento temporal o permanente a un determinado número de personas, deben ser las adecuadas para la provisión de agua potable y la evacuación de las aguas residuales y pluviales.

Las instalaciones antes mencionadas deben cumplir tres preceptos fundamentales para poder considerarse seguras, los cuales son:

- Contar con agua potable en cantidad suficiente.
- Evacuación rápida de las aguas residuales.
- Evitar que los gases de los tubos que conducen las aguas servidas pasen a los ambientes habitables.

En las instalaciones sanitarias para edificios, dichos preceptos se cumplen mediante los siguientes sistemas:

- Instalación para el suministro de agua.
- Instalación de drenaje.

En una plataforma marina, específicamente en una plataforma habitacional, que es como comúnmente se llama a las plataformas que alojan a los trabajadores costa afuera, las instalaciones sanitarias son parte fundamental para su adecuado funcionamiento, ya que debe alojar al personal costa afuera, brindándole seguridad y confort, contando con equipamiento para satisfacer las necesidades de habitabilidad, higiene, recreación y alimentación.

En México, las plataformas habitacionales ubicadas en el Golfo, dan alojamiento al personal de PEP (Pemex Exploración y Producción), organismo subsidiario de PEMEX (Petróleos Mexicanos) que es el órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional.

Una de las funciones de Pemex Exploración y Producción es garantizar la seguridad de sus instalaciones y su personal, en armonía con la comunidad y el medio ambiente.

Entre las principales actividades que se llevan a cabo para garantizar la seguridad se encuentran el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones para extracción, recolección, procesamiento primario, almacenamiento, medición y transporte de hidrocarburos, lo cual involucra a diversas disciplinas de la ingeniería.

Entre ellas se encuentra la ingeniería sanitaria y en particular el diseño de las instalaciones sanitarias en edificios, en este caso, aplicado a las plataformas habitacionales.

## Planteamiento del problema

---

Suministrar agua potable a una plataforma marina es una tarea compleja y costosa. Al tratarse de estructuras ubicadas a varios kilómetros fuera de la costa se tiene que recurrir a fuentes de abastecimiento como el agua salada o transportar el agua desde tierra en barcos cisterna.

Para las aguas saladas, se ha desarrollado la tecnología que permite desalarla para ser utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable, sin embargo, dicha tecnología representa un alto costo de inversión, operación y mantenimiento.

La industria petrolera tiene la capacidad económica de acceder a dicha tecnología, por tal motivo las variantes que la fuente de agua salada pueda tener en el funcionamiento de las instalaciones sanitarias deberán ser tomadas en cuenta junto con los retos que representa diseñar, construir, operar y dar mantenimiento a una instalación que estará funcionando bajo condiciones climáticas y de operación muy especiales, sin perder de vista el cumplimiento de los estándares de seguridad y confort, además del equipo para satisfacer las necesidades de higiene, recreación y alimentación del personal.

De lo anterior se derivan algunas preguntas fundamentales que se responderán en este trabajo:

¿En qué consiste el abastecimiento de agua salada y el proceso de desalación?

¿Qué afectación puede traer el agua salada a las instalaciones sanitarias en las plataformas habitacionales?

¿Cuáles son los materiales más adecuados en estas circunstancias?

¿Qué factores son determinantes en el diseño de una instalación de este tipo?

¿Existe normatividad de PEP relativa al diseño de instalaciones sanitarias en plataformas habitacionales?

¿Cómo se puede conjuntar la aplicación de la normatividad y las especificaciones particulares de PEP con la metodología de diseño de la asignatura de Instalaciones Sanitarias en Edificaciones?

## Justificación

---

En México, la industria petrolera representa uno de los principales recursos económicos nacionales. Según datos de la Secretaría de Hacienda, en los primeros dos meses del 2012, los ingresos por exportación de crudo ascendieron a 7 mil 846 millones de dólares.<sup>2</sup>

En cuanto a operaciones costa afuera, la Región Marina Noreste y la Región Marina Suroeste producen en conjunto 2 millones 376 mil barriles diarios de petróleo crudo y 2 mil 236 millones de pies cúbicos de gas natural, representando el 82 % y el 37 % de la producción nacional, respectivamente.<sup>3</sup>

Tomando en cuenta que, en la Sonda de Campeche, México tiene más de 200 plataformas marinas en las que viven permanentemente (en rotación) aproximadamente 5 mil personas. El tema de las instalaciones sanitarias toma especial relevancia para garantizar la seguridad y confort del personal.

Por otra parte, es de gran importancia asumir un papel de responsabilidad social y una relación armónica con el entorno ambiental. Al optimizar los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones sanitarias en plataformas marinas se puede influir positivamente en dichos temas.

## Objetivos

---

1. Proponer una metodología para el diseño de las instalaciones hidráulicas y sanitarias de plataformas marinas habitacionales que cumpla con la normatividad y especificaciones particulares de PEP.
2. Identificar los factores determinantes para el funcionamiento adecuado de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en plataformas marinas.

## Alcances

---

El presente trabajo se refiere a una propuesta metodológica para el diseño de las instalaciones para el suministro de agua y drenaje de plataformas habitacionales ubicadas en el Golfo de México, así como consideraciones generales de las instalaciones hidráulicas y sanitarias del módulo habitacional de la plataforma habitacional Akal-C HAB.2.

## Definición de los conceptos clave

---

### **Ingeniería Sanitaria**

La ingeniería sanitaria es la rama de la ingeniería civil que se ocupa de la promoción y conservación de la salud pública por medio de obras que proporcionan a la comunidad salud, seguridad y confort. (César Valdez, Enrique, (1997). Instalaciones Sanitarias para Edificios. Facultad de Ingeniería, UNAM)

### **Ingeniería Civil Costa Afuera**

La ingeniería civil costa afuera es la rama de la ingeniería civil que aplica las técnicas de planeación, diseño, construcción, revisión y transporte a la creación de la infraestructura necesaria para aprovechar las riquezas y las bondades que nos ofrecen los océanos, mares, ríos, lagunas, etc. buscando maximizar su utilización en beneficio de la humanidad. (M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera)

### **Plataforma Habitacional**

Las plataformas para el alojamiento de los trabajadores costa afuera comúnmente son llamadas plataformas habitacionales.

Para las plataformas autónomas en aguas con profundidades aproximadas a 122 m (400 pies), las habitaciones son una parte integral de la plataforma por razones económicas. En aguas poco profundas, las instalaciones para vivienda pueden estar separadas de las actividades de perforación y tratamiento como una medida de seguridad para la tripulación. (M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa afuera)

### **Módulo Habitacional**

Edificio para alojamiento construido en Estructura Metálica, diseñado para alojar con confort y seguridad al personal de PEP, con equipamiento para satisfacer las necesidades de habitabilidad, higiene, recreación y alimentación, construidos previamente en tierra en diques secos, transportados vía marina e instalados en plataformas marinas fijas, previamente instaladas costa afuera. (P.3.0100.01, (2005). Especificación Técnica para Proyecto de Obras, Módulos Habitacionales en Plataformas Marinas)

### **Instalación para el suministro de agua**

La instalación para el suministro de agua es el sistema formado por tuberías, conexiones y válvulas de control necesario para proporcionar agua fría, caliente y vapor en casos específicos, a los muebles y aparatos sanitarios, hidrantes y demás servicios especiales de una edificación. (César Valdez, Enrique, (1997). Instalaciones Sanitarias para Edificios. Facultad de Ingeniería, UNAM)

### **Instalación de evacuación de aguas residuales**

La instalación de evacuación de aguas residuales es el conjunto de tuberías, conexiones y accesorios, cuya finalidad es evacuar rápidamente las aguas ya empleadas e impedir el paso al interior de la edificación de los gases que se conducen en los tubos. (César Valdez, Enrique, (1997). Instalaciones Sanitarias para Edificios. Facultad de Ingeniería, UNAM)



# CAPÍTULO I La Ingeniería Sanitaria aplicada a la Ingeniería Civil Costa Afuera

---

## 1.1 La Ingeniería Civil Costa Afuera

La ingeniería civil costa afuera se encuentra presente en todas las actividades que se realizan para crear la infraestructura necesaria para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, marítimos y fluviales con que cuenta nuestro planeta.

Esta disciplina se ha orientado en gran parte a desarrollar la infraestructura que se requiere para aprovechar la riqueza de los hidrocarburos.<sup>1</sup>

### 1.1.1 La Ingeniería Civil Costa Afuera orientada a la explotación de hidrocarburos en México

Desde hace millones de años, el hombre ha estado alerta de la existencia del petróleo formado bajo la superficie de la Tierra, sin embargo, fue durante los últimos 100 años que nos hemos dado cuenta de su valor y utilidad. En algo más de un siglo nuestra sociedad ha llegado a depender completamente de la industria petrolera.

Hoy en día podemos contar entre los avances de la industria a los combustibles que se utilizan en los sistemas de transporte y calefacción, generación de electricidad, medicinas, plásticos, textiles, municiones y una infinidad de otros artículos.

En lo que es hoy en día México, los indígenas llamaron a esta sustancia bituminosa *chapopote*, mientras que en Venezuela y en otras partes de Sudamérica lo llamaban *mene*. Los pueblos precolombinos usaban chapopote o mene - el cual ha migrado hacia la superficie de la Tierra - como medicina en la forma de linimentos y pomadas, para cubrir calzados, barcos, materiales para techo, como pegamento, para iluminación y como incienso.

A finales del siglo XIX, las compañías extranjeras comenzaron la explotación en México. El primer pozo perforado con el fin de buscar petróleo en la República Mexicana fue, aparentemente el que hizo Adolfo Autrey a una profundidad de 40m cerca de las chapopoteras de las Cougas, conocido después con el nombre de Furbero, en las inmediaciones de Papantla, Ver. Este pozo se perforó en 1869, sin encontrar producción.

En la década de 1880 varios pozos fueron perforados sin éxito al norte del estado de Veracruz.

El primer pozo realmente comercial que se perforó en México fue “La Pez” No. 1, se terminó el 3 de abril de 1906, con una producción de 1 500 barriles de petróleo al día, a una profundidad de 503 m.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

En 1906 otra compañía descubrió el campo San Cristóbal, al norte del estado de Veracruz.

Para mayo de 1908, la compañía inglesa de Sir Weetman Pearson terminó el pozo No. 2 en la Hacienda de San Diego del Mar, con una producción de 2 500 barriles de petróleo por día, descubriéndose así la llamada Faja de Oro, por la riqueza de la zona.

Las empresas internacionales siguieron la actividad petrolera. En 1910 llegaron a Tampico la Standard Oil Company y la Royal Dutch Shell. Los pozos productores de petróleo tuvieron resonancia internacional, eran muchos y la explotación de petróleo se daba de forma irracional.<sup>2</sup>

Con la promulgación de la Constitución de 1917 el petróleo pasa a ser propiedad de la nación mexicana según lo menciona el artículo 27 constitucional, el cual dentro de sus principios establece que: “Corresponde a la nación el dominio directo de todos los recursos naturales de la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas,..., el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos.

Tratándose del petróleo y de los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos o de minerales radioactivos,..., la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos, en los términos que señale la Ley Reglamentaria respectiva.”

El viernes 18 de marzo de 1938, el presidente Cárdenas declaró la expropiación mediante la cual la riqueza petrolera se volvió propiedad de la nación Mexicana.

El 7 de junio de 1938 el propio presidente Lázaro Cárdenas promulgó el decreto que crea la institución denominada “Petróleos Mexicanos” que entre otros deberá encargarse de:

- Operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos
- Refinación
- Almacenamiento
- Destilación

La riqueza de hidrocarburos que se encuentra alojada en los recursos marítimos y fluviales de nuestra nación, se presenta principalmente en zonas lacustres de los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas, así como en el litoral del Golfo de México, frente a los estados de Tabasco y Campeche, esta zona es conocida para términos de explotación de hidrocarburos como las Sonda de Campeche.

En México, la explotación de yacimientos de hidrocarburos costa afuera se inicio en 1958, en aguas del Golfo de México, con la instalación de plataformas fijas frente a la barra de Santa Ana, en el estado de Tabasco.

A finales de los sesenta se perforó desde una plataforma fija en la localización de Tiburón, al norte de la Barra de Tuxpan, Veracruz. También se instalaron siete plataformas frente a la Barra del Río Cazones para perforar los pozos Atún, Bagre, Morsa y Escualo. Frente a la desembocadura del Río Pánuco, en Tampico.<sup>1</sup>

<sup>2</sup> [www.industriapetroleramexicana.com](http://www.industriapetroleramexicana.com)

<sup>1</sup> M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

En todos los casos, las plataformas fueron diseñadas en el extranjero, construidas con materiales de importación e instaladas en tirantes de agua no mayores a 50 m.

Durante 1975 se inició la perforación del pozo exploratorio Chac-1, 80 km al norte de la Isla del Carmen, Campeche, terminándose al año siguiente. Al resultar productivo este pozo, se creó la expectativa de lo que posteriormente se confirmó: la existencia de varios campos marinos productores de aceite y gas en la Sonda de Campeche.

Para 1977 se descubrieron 2 campos más, con la perforación de los pozos Akal-1 y Bakab-1. El siguiente año se descubrió el cuarto campo productor: Nohoch que junto con Chak y Akal integran lo que se le ha denominado el complejo Cantarell.

Al resultar productivos los 2 primeros pozos exploratorios se iniciaron los estudios con simuladores matemáticos que permiten variar el espaciamiento entre pozos, utilizando para ello tecnología de punta disponible, e incorporando aspectos financieros. Como resultado, se obtuvo el número de pozos y plataformas para desarrollar un campo, la cantidad de pozos por plataforma, así como los programas de incorporación de reservas, de producción y de inversiones.

En forma paralela se desarrollaron en el país los primeros programas de cómputo para el análisis y diseño de plataformas marinas. Con estas consideraciones se estableció el plan regulador de la Sonda de Campeche bajo el esquema de explotación, con base en plataformas fijas y tuberías de conducción de hidrocarburos. Asimismo, con este plan se definieron el número, función, orientación y capacidad de las plataformas PECH, las cuales están constituidas por las de perforación, producción, enlace, compresión y habitación.

Al decidir la explotación intensiva de los campos Chac, Akal y Bakab, se estableció un programa de construcción de 10 plataformas fijas de perforación, instalándose la primera en noviembre de 1978 en el campo Akal-C, en un tirante de 44 m, marcando el inicio de la edificación de las plataformas instaladas en la Sonda de Campeche.<sup>1</sup>

### 1.1.2 Las plataformas petroleras y la necesidad de concentrar al personal en las instalaciones costa afuera

Los inicios de la industria petrolera costa afuera se dieron a finales de 1890 en California. En 1887 H.L. Williams completó sus primeros pozos en la costa cerca de la playa. Debido a la existencia de bolsas de gas en la zona se intuyó que podría haber depósitos de aceite costa afuera. La operación en tierra se extendió al agua por medio de un muelle y en 1887 fue perforado el primer pozo dentro del agua. Once muelles fueron construidos y en 1900 la perforación fue dirigida 150 m (500 pies) de la línea de la costa.

En 1909 y 1910 se perforaron pozos en Ferry Lake en Caddo Parish, Louisiana. Se montaron torres de madera sobre plataformas de madera, construidas sobre pilotes de árbol de ciprés. En 1922 se descubrió petróleo bajo las aguas del lago Maracaibo, Venezuela. La perforación se realizó desde plataformas construidas sobre el agua con poca profundidad del interior del lago.

---

<sup>1</sup> M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

Durante 1930 el lago era un agrupamiento denso de plataformas de perforación y producción. Las líneas de transmisión debajo del agua (oleoductos) fueron usadas para transportar aceite crudo a la orilla del lago.

El desarrollo del petróleo dentro y en los alrededores del lago Maracaibo ha sido muy intenso. Se estima que para el 2005 existían más de 6 000 plataformas.



Figura 1. Campo petrolero en Summerland, California, el primer campo marino petrolero desarrollado en EUA (Fuente: Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera, Tomo I.)

La perforación en el Golfo de México se inició en los años treinta con pozos puestos en los pantanos y áreas pantanosas de Louisiana. Se usaron plataformas de madera y se dragaron canales para que las barcas del suministro pudieran alcanzar los sitios de perforación.

En 1933 se construyó, en Cameron Parish, Louisiana, una plataforma de madera en 3.5 m (12 pies) de agua, 915 m (3 000 pies) costa afuera.

Para 1937 se encontró la evidencia de formaciones de estratos de petróleo al oeste del pueblo de Creole, con indicaciones que el hallazgo se extendía fuera del Golfo. Las compañías Superior Oil y Pure Oil arrendaron la propiedad y comisionaron a Rown & Root Inc. Para diseñar una plataforma para ser puesta en 4.3 m (14 pies) de agua, aproximadamente a una milla (1.6 km) del litoral. Esta plataforma fue la primera en ser construida en el Golfo en un área remota de la orilla.



Figura 2. Vista cercana de una plataforma de madera, una milla costa afuera de la playa de McFaddin, Texas, en 1938. (Fuente: Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera, Tomo I.)

Se construyó de pilotes de madera y tenía una base de 30 x 90 m (100 x 300 pies), desde la cual fue realizada la perforación convencional de suelo.

A principios de 1938, aproximadamente a una milla costa afuera de la playa de McFaddin, Texas se construyó una plataforma de madera de 15 x 27 m (50 x 90 pies), a una profundidad aproximada de 3 - 4.5 m (10 - 15 pies). Estas operaciones costa afuera demostraron las dificultades que

debían ser superadas si continuaban perforando más allá de la línea costera con eficiencia. Las compañías petroleras o de servicios industriales no estaban preparadas para operaciones costa afuera. La base de suministros más cercana al primer operador de Creole se encontraba a 21 km (13 millas) de camino de Cameron, Louisiana.

Debido a la falta de disponibilidad de radio, todas las órdenes de equipo tenían que ser despachadas con el primer barco que iba a la costa, todo el equipo pesado tenía que ser transportado en las plataformas barcazas, tirado por botes camaroneros, y las tripulaciones de perforación eran transportadas, en cada cambio, por botes camaroneros de fondo redondo.

Para 1946, los adelantos tecnológicos resultantes de la guerra permitieron a la industria obtener un dominio firme, la compañía petrolera Magnolia (Mobil Oil, Co.) construyó una plataforma en 4.3 m (14 pies) de agua y aproximadamente 8 km (5 millas) costa afuera. Aunque aún estaba dentro de la vista de la tierra, fue la primera operación llevada a cabo lejos de la costa.

La plataforma era de 53 x 23 m (174 x 77 pies) y se levantó 5.8 m (19 pies) sobre el nivel de la marea alta. La construcción se hizo completamente en el sitio y tomó alrededor de 60 días. Las comunicaciones se mantuvieron por radio. Los trabajadores de alojaron en un barco anclado en la isla Eugene, Louisiana. Se usaron dos barcos de tripulación para el transporte continuo entre la plataforma y el cuarto de alojamiento.

Este equipo fue el primero en mantener la perforación de tres pozos por el montaje de la torre de perforación sobre patines. También presentó el primer uso de pilotes de acero, dejando los pilotes de madera en desuso.

En 1947 la compañía Superior Oil hizo un cambio radical en el diseño de la plataforma para que pudiera operar a 29 km (18 millas) costa afuera en 6 m (20 pies) de agua. El tamaño total de la plataforma era de 53 m (173 pies) de largo por 33 m (108 pies) de ancho. Era un sistema completamente autónomo e incluía equipo de perforación, equipo industrial, soportes de tubería y todas las instalaciones de apoyo. Las habitaciones estaban en una plataforma aparte conectada a la plataforma de perforación por un puente.

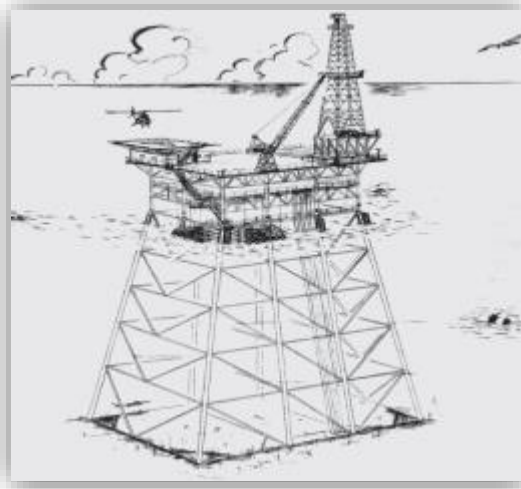
El nuevo diseño fue denominado de 6 plantillas de acero o *jackets*, fabricadas en la costa y llevadas al sitio por una barcaza. Estas plataformas llegaron a ser el diseño estándar por muchos años. Gracias al método constructivo, los materiales utilizados y el trabajo de diseño se logró completar el posicionamiento de la estructura en el agua en 9 días, permitiendo su colocación en aguas mucho más profundas.

En el verano del mismo año, se construyó en el Golfo de México una plataforma mucho más pequeña de 250 m<sup>2</sup> (2 700 pies<sup>2</sup>) de área. La estructura fue colocada en 5.5 m (18 pies) de agua y a 17 km (10.5) costa afuera. La plataforma sostuvo la torre de perforación y alguna maquinaria básica y estaba acompañada por un buque LST modificado, desecho de guerra, que alojaba camarotes, así como también suministros y otros equipos necesarios.

La producción costa afuera fue significativamente obstaculizada por la falta de equipo de soporte, pero el crecimiento de un nuevo campo de petróleo permitió el desarrollo y la construcción de un mejor equipo, hecho especialmente para el trabajo costa afuera.

En mayo de 1949 había 10 plataformas en el Golfo de México y 25 plataformas ligeras. Más tarde, ese mismo año, un huracán atravesó el Golfo de Texas, arrastrando y causando daños mayores a una plataforma y daños menores a una plataforma ligera. Este evento provocó una revaloración en los parámetros de diseño de ese momento.

En 1955 la primera plataforma a 30 m (100 pies) por encima del agua estaba funcionando, con un tamaño de cubierta de 67 x 32 m (220 x 106 pies) la nueva plataforma fue introducida por la Shell Oil Company.



**Figura 3.** Subestructura tipo *jacket* llamada Holly. (Fuente: Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera, Tomo I.)

En 1956 el área necesaria de la cubierta se redujo a un tamaño promedio de 33 x 43 m (110 x 140 pies).

Para 1959 una plataforma se había instalado en el Golfo de México en más de 60 m (200 pies) de agua, y más de 200 plataformas fueron puestas en el Golfo. A principios de 1960 se redujo la cantidad de suministros a bordo y se rediseñaron los espacios para poder operar con un tamaño de cubierta de 20 x 36 m (66 x 118 pies). Las plataformas continuaron entrando en aguas más profundas. En 1965 se puso una plataforma a 87 m (285 pies) de agua, en 1965 se colocó otra a 104 m (340 pies) de agua y a principios de 1970 se colocaron dos plataformas a 114 m (375 pies).

Recientemente, la compañía Shell Oil instaló una plataforma en un tirante de agua de 310 m (1 020 pies) en el talud continental.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> M. Valdés, Víctor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

## 1.2 Instalaciones de Ingeniería Sanitaria en plataformas habitacionales

Como ya se ha mencionado, la ingeniería sanitaria se ocupa de la promoción y conservación de la salud pública mediante obras que proporcionan salud, seguridad y confort.

En las plataformas marinas instaladas en el Golfo de México viven miles de trabajadores rotándose constantemente, y se alojan en hoteles flotantes denominados plataformas habitacionales.

Dichas plataformas deben contar con las instalaciones necesarias para brindar al personal las condiciones óptimas de habitabilidad, higiene, recreación, alimentación y confort.

En el presente apartado se estudiarán las instalaciones de ingeniería sanitaria con las que debe contar una plataforma habitacional para funcionar de forma correcta, profundizando especialmente en las instalaciones sanitarias en edificaciones, es decir, instalaciones para el suministro de agua potable y evacuación de aguas residuales.

### 1.2.1 Condiciones generales de las plataformas habitacionales

Existen diferentes tipos de plataformas marinas. La economía determina el tipo específico de plataforma que será puesta en alguna localización. En aguas profundas (400 pies o 122 m) todas las funciones se combinan en una estructura multinivel llamada plataforma autónoma. En aguas menos profundas, separar las funciones y tener varias plataformas resulta ventajoso. Entre estas últimas se encuentran las plataformas habitacionales.

En aguas poco profundas, las instalaciones para vivienda pueden estar separadas de las actividades de perforación y tratamiento como una medida de seguridad para el personal. Las plataformas habitacionales se construyen lo suficientemente cerca de la plataforma de perforación o producción para permitir que las dos estén conectadas por un puente. En algunos casos donde es deseable incrementar la capacidad del equipo de carga de una antigua plataforma autónoma, se construye una plataforma habitacional separada, desplazando esa porción del peso fuera de la primera plataforma para permitir la instalación de maquinaria pesada.

Una cuadrilla de perforación consiste en 18 hombres aproximadamente. El líder de la cuadrilla se llama perforador. Hay 5 obreros expertos, un operador de la torre de perforación, un maquinista, un operador del motor diesel, un operador de la bomba, un encargado de lodo, un operador de grúa y 6 obreros ordinarios.

En una plataforma costa afuera siempre hay 2 cuadrillas. Cada una trabaja 12 horas al día, de 11:00 a 23:00 y de 23:00 a 11:00. Este arreglo da a cada cuadrilla algunas horas de luz de día para trabajar. Hay un número adicional de personal en la plataforma, por ejemplo: el supervisor general, un representante de la compañía cliente, un soldador, un encargado de mantenimiento, 2 cocineros, 2 empleados de galera (uno de 6:00 a 18:00 y otro de 18:00 a 6:00) y un encargado de las habitaciones. El encargado de las habitaciones hace las camas, cambia la ropa doméstica (cada día las toallas, la ropa de cama cada semana) y limpia las habitaciones. El supervisor general, el representante de la compañía cliente, el soldador y el encargado de mantenimiento trabajan de

6:00 a 18:00 horas. La gente de galeras y habitaciones normalmente son proporcionados a través de un subcontrato con una compañía de servicios de hotelería.

Además, puede haber varios ingenieros especialistas a bordo: un especialista petrolero/ambientalista, un ingeniero director de perforación, uno o dos especialistas en química del lodo, un especialista en turbinas de gas, etcétera.

Una plataforma habitacional generalmente da alojamiento a varios equipos de trabajo, y sus capacidades oscilan entre 200 y 400 personas.

Normalmente, el personal trabaja 7 días y está en tierra 7 días, o trabaja 14 días y está en tierra 14 días. Se sirven 4 comidas al día: 4:00–6:00, desayuno; 10:00–12:30 almuerzo; 16:00–18:30 cena; y de 22:00–00:30 merienda. Sólo se incluye un periodo de 30 minutos para comer en la jornada de 12 horas de trabajo.

Hay un cuarto de hospital (normalmente una habitación aislada equipada sólo para simple medicación) con 2 o 4 camas y baño privado. Cuando alguien empieza a sentirse seriamente enfermo o tiene un accidente, un helicóptero traslada al individuo a un hospital regular. Hay un cuarto de radio y comunicaciones, incluyendo microondas, teléfono y radar a los barcos y a tierra.

En el área de vivienda hay 4 tipos de habitaciones. Éstas son: el cuarto de día (T.V. y estancia), galera (comedor), cocina y cuarto de cambio. Cada uno tiene un área cercana a los 65.1 m<sup>2</sup> (700 pies<sup>2</sup>) excepto la cocina, la cual es de casi 2 o 3 veces el tamaño de la galera. Por lo general hay 2 bufetes calientes diferentes en la galera. Algunas veces se proporciona un cuarto de juegos con mesas de billar. Regaderas, sanitarios y armarios están disponibles para la ropa de los trabajadores en el cuarto de cambio; algunas veces también lavadoras y secadoras. Cada hombre es responsable de su propia ropa de trabajo. En plataformas más pequeñas sin lavadoras y secadoras, cada hombre lleva varios juegos de ropa de trabajo a la plataforma cuando se presenta a trabajar. También cada uno trae ropa ordinaria para usar cuando no está trabajando.

La mayoría de las recámaras están hechas para alojar a 4 personas. Cada una tiene 4 camas individuales organizadas como literas, algunas veces todas en una pared y otras cada par en paredes opuestas. Cada habitación tiene 4 armarios para ropa y un espejo. Cada litera tiene luz para lectura además de la luz en el techo. El área de la recámara es de aproximadamente 11.2 m<sup>2</sup> (120 pies<sup>2</sup>). Frecuentemente, las recámaras están agrupadas cerca de un cuarto de baño comunitario con varios sanitarios individuales cerrados y varias regaderas. También hay un amplio cuarto para almacenar blancos, adyacente a las recámaras, y un clóset para conserje.

Las habitaciones para vivienda pueden estar acomodadas de muchas formas. En algunas plataformas se componen 3 pisos: las recámaras para 4 personas, cuartos de baño y almacén de blancos en el piso inferior; cocina, galera, sala de televisión y cuarto de cambio en el nivel medio; oficinas del supervisor, cuarto de radio y recámaras para la gente de supervisión en el piso superior. El helipuerto se instala sobre el último nivel de las habitaciones. El número y tipo de personas necesarias para operar una plataforma de producción o tratamiento es diferente para cada perforación.



En una plataforma habitacional separada, el espacio con ruido limitado es muy valorado por todos los trabajadores.

Algunas veces, cuando hay personal de 2 culturas en la misma plataforma, debe haber 2 galeras, 2 cocinas y áreas para recámaras y baño separadas, en tanto sea posible.

Si las operaciones costa afuera están a menos de 50 millas de la costa, los trabajadores son transportados en barco; si están más alejadas, normalmente se usan helicópteros.<sup>1</sup>

### 1.2.2 Fuente de abastecimiento de agua potable

En una plataforma marina, la única fuente de abastecimiento de agua natural a la que se puede recurrir es el agua salada, ésta se bombea desde el mar y alimenta a un tanque hidroneumático para su distribución hacia la plataforma habitacional respectiva.

Para obtener agua potable a partir del agua salada se recurre a la desalinización, proceso mediante el cual se elimina la sal del agua de mar o salobre.

Las plantas desalinizadoras son instalaciones industriales destinadas a la desalación, generalmente del agua de mar o de lagos salados.

Las plantas desalinizadoras presentan algunos inconvenientes. En el proceso de extracción de la sal se producen residuos salinos y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y la fauna. Además, suponen un gasto elevado de consumo eléctrico. Con el fin de evitarlo, actualmente se están realizando estudios para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuentes de energía renovables.<sup>3</sup>

Existen diversos procesos mediante los que se puede realizar la desalinización del agua de mar, entre los cuales se pueden mencionar:

- Ósmosis inversa
- Destilación
- Congelación
- Evaporación relámpago
- Formación de hidratos

En las plataformas marinas el proceso utilizado para la desalinización es el de ósmosis inversa, mismo que se describe en los siguientes párrafos.

#### 1.2.2.1 Desalinización por ósmosis inversa

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una solución ante una membrana semipermeable para el solvente pero no para los solutos. Tal comportamiento entraña una difusión simple a través de la membrana, sin "gasto de energía". La ósmosis del agua es un fenómeno biológico importante para el metabolismo celular de los seres vivos.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M. Valdés, Víctor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

<sup>3</sup> es.wikipedia.org/wiki/Desalinizaci%C3%B3n

<sup>4</sup> es.wikipedia.org/wiki/Ósmosis

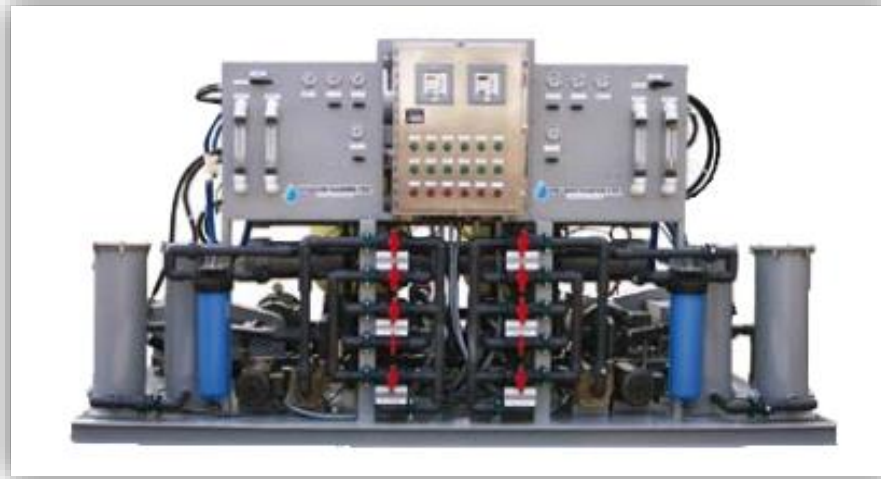
Si una membrana semipermeable separa un líquido en dos particiones, una de agua pura y otra de agua con azúcar, las moléculas de agua atravesarán la membrana semipermeable desde la disolución de menor concentración a la de mayor concentración.

Lo descrito hasta ahora es lo que ocurre en situaciones normales, en las que los dos lados de la membrana están a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración de sales al de baja concentración.

Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama ósmosis inversa. Se debe tomar en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

Si la alta concentración es de sal, por ejemplo agua marina, al aplicar presión, el agua del mar pasa al otro lado de la membrana. Sólo el agua, no la sal. Es decir, el agua se ha desalinizado por ósmosis inversa, y puede llegar a ser potable.

Una planta desalinizadora consiste en una bomba de alta presión seguida de un mecanismo de recuperación energética y las membranas de ósmosis inversa.



**Figura 4.** Sistema conformado por dos plantas desalinizadoras por ósmosis inversa de la serie VMT-SW. (Fuente: [www.parker.com](http://www.parker.com))

### Bomba de alta presión

Previa a la entrada de agua a las membranas de ósmosis inversa, agua de mar clarificada es presurizada por la bomba de alta presión típicamente entre 55 y 85 bares, dependiendo de la temperatura y la salinidad del agua.



Figura 4. Bomba de alta presión. (Fuente: [www.parker.com](http://www.parker.com))

### Mecanismo de recuperación de energía (MRE)

La pérdida de presión en las membranas de OI está entre 0.5-1 bar, dependiendo del número de elementos por tubo de presión, así el concentrado deja el sistema a alta presión.

Gracias a los mecanismos de recuperación energética, es posible reutilizar la energía del caudal del concentrado. El concentrado es dirigido al MRE, donde se transfiere directamente la energía a parte del agua de entrada.

Existen 2 conceptos principales de recuperación energética:

- Turbina de recuperación energética, TRE (en inglés, Energy Recovery Turbine, ERT)
- Intercambiador de presión, IP (en inglés, Pressure Exchanger, PX)

### Módulos de OI enrollado espiral

Las membranas más comúnmente usadas en desalación por OI son de enrollado espiral (spiral wound) Thin Film Composite. Consisten en unas capas lisas selladas como un sobre y enrolladas en espiral.

Existen 3 diámetros típicos de membranas: 2.5", 4" y 8". Las membranas de OI de agua salada poseen un caudal de permeado máximo que varía entre 1.4 y 37.9 m<sup>3</sup>/d, por lo tanto se requieren muchas membranas para cumplir los requerimientos de producción de permeado de la planta.

Las membranas son situadas en serie en tubos de presión y el número de elementos de membrana por tubo de presión puede variar desde 1 hasta 8. Los tubos de presión (en inglés, pressure vessels, PV) son situados en paralelo para satisfacer el caudal de las membranas y las especificaciones de presión así como los requerimientos de producción de la planta.

El número total de membranas y de tubos de presión requeridos y su distribución depende del caudal de permeado y la presión aplicada, así mismo de la salinidad y la temperatura.<sup>6</sup>

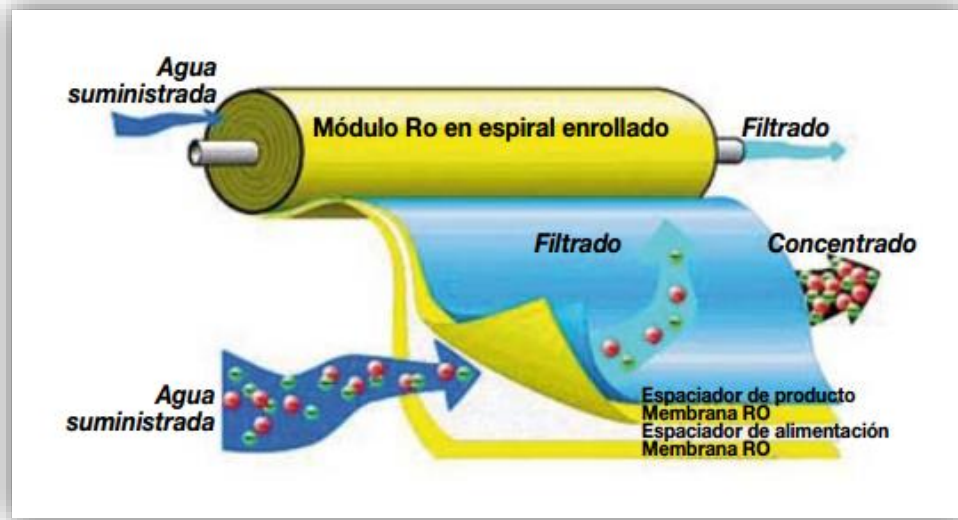


Figura 5. Membranas enrolladas en espiral para módulos de ósmosis inversa. (Fuente: [www.parker.com](http://www.parker.com))

### Calidad del agua

El sistema debe diseñarse para que no utilice productos químicos suministrados externamente, a fin de producir a partir de agua de mar, agua potable con la calidad exigida por la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SAA1-1994, noviembre de 2000.

La planta potabilizadora recibirá agua salada con una concentración aproximada de 35 000 a 41 000 PPM de SDT (sólidos disueltos totales) y deberá entregar agua con una concentración máxima permisible de 1 000 PPM de SDT.

El agua producida fluirá hacia los tanques de agua potable siempre y cuando la concentración sea menor a 1 000 PPM. En caso de que el agua producida tenga una concentración alta, el analizador de conductividad enviará una señal al PLC (Controlador Lógico Programable) para que se desvíe el flujo a la línea de producto rechazado para descargarla al mar.<sup>7</sup>

### 1.2.3 Tratamiento y disposición de las aguas residuales

Por razones estéticas y de salud pública es muy importante mantener la calidad del agua de los sistemas naturales. Dicha calidad es afectada por varios factores, entre ellos las descargas de aguas residuales y otras actividades humanas. En México, la Ley de Aguas Nacionales faculta a la Comisión Nacional del Agua para que, con base en los procesos naturales de purificación, determine los parámetros que deben cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de agua nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir.

Los sistemas de tratamiento de agua residual creados por la ingeniería han incorporado muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas naturales.

<sup>6</sup> <http://www.lenntech.es>

<sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)

Para maximizar la rapidez de ocurrencia de los procesos y minimizar el tiempo requerido para la purificación, los sistemas de tratamiento controlan las variables, logrando así que las reacciones se completen en fracciones del tiempo y del espacio que se requerirían en los ecosistemas acuáticos para conseguir la misma eficiencia.<sup>5</sup>

En las instalaciones costa afuera, las aguas residuales provenientes de las plataformas habitacionales deben ser enviadas a una planta de tratamiento, para después poder ser descargadas al mar.

### *1.2.3.1 Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales para plataformas marinas*

El sistema de tratamiento de aguas residuales consiste básicamente en dos paquetes de tratamiento de aguas negras (uno en operación y otro de relevo), en donde se tratarán las aguas grises de la cocina, lavandería, regaderas, lavabos y las aguas negras provenientes de los sanitarios, para obtener agua tratada cuyas características se apeguen a lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, el agua tratada será descargada al mar.

Los paquetes del sistema de tratamiento de aguas residuales (operación y relevo) tendrán la capacidad para manejar el flujo de aguas negras, grises y jabonosas generado por el número de personas que habitarán la plataforma, con un sobrediseño de 15-20%.

El sistema de tratamiento de aguas negras debe contar por lo menos con los siguientes equipos:

Paquete de tratamiento de aguas negras:

- Tanque receptor
- Bombas maceradoras
- Celda electrolítica
- Tanque de efluentes

Los equipos que integran el sistema de aguas negras se deben instalar sobre un subnivel en cada plataforma habitacional, estos paquetes deben incluir barandales, escaleras de acceso, área para mantenimiento, toda la instrumentación, dispositivos de control y protección, accesorios y tuberías de interconexión de los equipos, con objeto de tener una adecuada operación del sistema en forma integral.

La localización y arreglo de los equipos que integran el sistema de aguas negras en el subnivel de cada plataforma habitacional debe considerar la normatividad vigente aplicable, así como la norma NRF-003-PEMEX-2000 (Diseño y evaluación de plataformas marinas fijas en la sonda de Campeche), dimensiones y peso mínimo de los equipos, áreas para mantenimiento, maniobras y operación de los equipos, así como rutas de acceso y evacuación.

---

<sup>5</sup> César V, Enrique. Vázquez G, Alba. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. Fundación ICA, 2003.

El agua negra y gris proveniente de la plataforma habitacional se envía al paquete de tratamiento de aguas negras, fluyendo por gravedad hacia el tanque receptor. Este tanque debe operar como un tanque de compensación para igualar y amortiguar los flujos máximos durante los periodos de alta producción de aguas negras y grises de la plataforma.

El agua negra y gris contenida en el tanque receptor debe ser bombeada hacia la celda electrolítica por medio de las bombas maceradoras (una en operación y otra de relevo), las cuales deben diseñarse para reducir el tamaño de los sólidos y así evitar el taponamiento de los equipos corriente abajo y asegurar una oxidación apropiada de las aguas negras y grises dentro de la celda electrolítica.

Antes de ingresar a la celda electrolítica, las aguas negras y grises provenientes de las bombas maceradoras deben recibir un flujo controlado y totalizado de agua de mar necesario durante el proceso electrolítico de la celda. En la celda electrolítica una corriente eléctrica inducida debe producir hipoclorito a partir de la sal contenida en el agua de mar, el hipoclorito oxida las aguas negras y grises y las desinfecta a la vez. El proceso electroquímico dentro de la celda debe garantizar un alto grado de oxidación y la eliminación de bacterias. La celda debe contar con un interruptor por alta temperatura TSH con envío de señal al panel de control del paquete de tratamiento de aguas negras y alarma por alta temperatura remota (TAH).

El paquete de tratamiento de aguas residuales debe ser capaz de producir sus propias sustancias químicas a partir del agua de mar y no debe requerir de una fuente externa de suministro.



**Figura 5.** Planta compacta de tratamiento de aguas residuales para plataformas marinas. (Fuente: martex.netrodemo.com)

El agua tratada y los gases generados en la celda electrolítica fluyen hacia el tanque de efluentes, antes los gases generados deben eliminarse venteándolos a la atmósfera mediante un eyector y empleando aire de instrumentos, como gas de arrastre.

En el interior del tanque de efluentes, los sólidos no oxidados deben decantarse para retornarlos a la bomba maceradora, el tanque de efluentes, operará totalmente lleno, por lo que el agua tratada debe fluir hacia el mar por la parte superior del mismo, hacia la camisa de descarga al mar.

El autolavado de la celda electrolítica deberá realizarse en el periodo óptimo, durante baja demanda cuando el nivel de líquido en el tanque receptor sea bajo.

Se debe proporcionar un elemento primario de flujo FE, con transmisor indicador de flujo FIT ubicado en la línea de salida del paquete de tratamiento de aguas residuales, a fin de cuantificar el flujo de agua tratada hacia la camisa de descarga al mar y una toma de muestra ubicada también en la línea de salida del paquete de tratamiento de aguas residuales.

La línea de alimentación y salida del paquete tratamiento de aguas negras debe ser de fibra de vidrio.<sup>7</sup>

#### 1.2.4 Las instalaciones sanitarias en edificaciones y su aplicación en plataformas habitacionales

Las instalaciones sanitarias en los edificios son una necesidad básica para preservar la salud pública; éstas nos traen agua potable que puede usarse y luego, más importante aún, una vez usada nos permiten deshacernos de ella adecuadamente.

A principios del siglo XX una revolución industrial se encaminaba en Estados Unidos. Los últimos años del siglo XIX vieron el desarrollo de la electricidad, el fonógrafo, el teléfono, las industrias del acero y el petróleo.

Estados Unidos y Alemania se convirtieron en líderes mundiales en la industria, con fábricas impulsadas por electricidad y compañías multinacionales que exportaban las nuevas tecnologías para todo el mundo. En 1913 Henry Ford creó la primera línea de ensamblaje, para producir los modelos "T", con la cuál nació la producción en serie.

Los baños comenzaron a producirse para las casas nuevas como algo estándar, junto con calentadores de agua y cocinas totalmente equipadas con tuberías.

Para 1890 ya se comprendía bien la naturaleza de las enfermedades de origen hídrico, fue así como el mundo vio la importancia de las instalaciones sanitarias y la plomería; se formaron asociaciones profesionales y se crearon programas de aprendizaje. En 1930 se aprobaron los códigos uniformes de fontanería y se establecieron estándares para los fabricantes de productos de fontanería.

La segunda guerra mundial tuvo un gran impacto en la industria de las instalaciones sanitarias para edificios. En 1940 el Gobierno de Estados Unidos prohibió a la industria usar hierro, acero y cobre por lo que los fabricantes debieron experimentar con materiales nuevos, como: hierro fundido y plásticos.

---

<sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)

La innovación comenzó un proceso de nuevos y mejores productos que se continúan hasta la fecha. El mercado de los muebles y aparatos sanitarios se ha mantenido a la vanguardia con nuevos materiales, diseños y formas de una gran variedad de fabricantes en todo el mundo.

Actualmente se considera que las instalaciones con las que debe contar toda edificación con la capacidad de dar alojamiento temporal o permanente a un determinado número de personas, deben ser las adecuadas para la provisión de agua potable y la evacuación de las aguas residuales y pluviales.

Las instalaciones mencionadas deben cumplir tres preceptos fundamentales para poder ofrecer el máximo de seguridad:

- Contar con agua potable en cantidad suficiente.
- Evacuación rápida de las aguas residuales.
- Evitar que los gases de los tubos que conducen las aguas servidas pasen a los ambientes habitables.

En las instalaciones sanitarias para edificios, dichos preceptos se cumplen mediante los siguientes sistemas:

- Instalación para el suministro de agua.
- Instalación de drenaje.

Por otra parte, el nuevo reto de la ingeniería sanitaria y de la industria de las instalaciones sanitarias para edificios es la conservación del agua, el objetivo principal es reducir lentamente el consumo de agua y una de las labores que se realizan para cumplir dicho objetivo se basa en el diseño y construcción de sistemas cada vez más eficientes y amigables con el medio ambiente.

En el caso de una plataforma habitacional, las instalaciones sanitarias deben cumplir con todos los requisitos antes mencionados, además de interactuar con las instalaciones de proceso y funcionar bajo la condiciones de una estructura que se encuentra rodeada por el océano, siendo de gran importancia la selección de materiales a utilizar.<sup>8</sup>

### *1.2.4.1 Descripción de las instalaciones para el suministro de agua en plataformas habitacionales*

Cada plataforma habitacional debe contar con un sistema que suministre agua potable, la fuente de suministro será el agua de mar proveniente del sistema de agua de servicios, la cual previo paso por la potabilizadora de la propia plataforma habitacional, envía el agua potable con la capacidad requerida para su almacenamiento a los tanques de almacenamiento atmosféricos de fibra de vidrio, considerando un sobrediseño del 15 al 20%. La capacidad de almacenamiento de cada sistema debe ser suficiente para cubrir la demanda de 5 días continuos.

El agua potable debe ser enviada desde los tanques de almacenamiento a las bombas de agua potable y al sistema hidroneumático para su distribución hacia el sistema de agua caliente, al sistema de combustible diesel, a la plataforma habitacional (regaderas, lavabos, fregaderos,

---

<sup>8</sup>Presentación "Pemex a grandes rasgos"



lavandería, consumo personal, preparación de alimentos), a lavajos y regaderas de seguridad (mezanine), a lavajos y regaderas del nivel de servicios, a tarjas en talleres y a la plataforma de producción correspondiente.

El sistema de agua potable debe contar por lo menos con los siguientes equipos:

- Paquete de potabilizadora de agua de mar
- Tanques de agua potable
- Paquete de bombas para agua potable
- Paquete hidroneumático para agua potable

Los equipos y paquetes que integran el sistema de agua potable se deben instalar sobre la cubierta de servicios (nivel 19.100 m) de la plataforma habitacional y deben incluir toda la instrumentación, dispositivos de control y protección, accesorios y tuberías de interconexión de los equipos, así como la distribución a usuarios, con objeto de tener una adecuada operación del sistema en forma integral.

#### **Tanques de almacenamiento de agua potable**

El material de la tubería de alimentación para los tanques de almacenamiento debe ser de fibra de vidrio y estará de acuerdo a lo establecido en la especificación de tuberías. Los tanques suministrarán agua potable a las bombas de agua potable del paquete hidroneumático. Los tanques deberán estar equipados con un indicador de nivel (LG) y un transmisor de nivel (LIT) para el control operacional adecuado, el transmisor de nivel enviará una señal para el paro de la planta potabilizadora por alto nivel y paro de las bombas de distribución de agua potable por bajo nivel.

#### **Paquete de bombas de agua potable y paquete hidroneumático de agua potable**

Se debe bombear agua potable de los tanques de almacenamiento hacia el tanque hidroneumático que forma parte del paquete hidroneumático de agua potable, utilizando las bombas de agua potable (operación y relevo) que integran el paquete de bombas de agua potable. El material de la tubería de alimentación a las bombas debe ser de fibra de vidrio de acuerdo a lo establecido en la especificación particular de tuberías.

Este sistema debe operar usando las bombas de agua potable para el llenado del tanque hidroneumático de agua potable, la presión de operación del sistema debe ser tal que satisfaga los requerimientos de agua potable de todos los usuarios, el tanque hidroneumático deberá contar con interruptores de alto nivel para paro de la bomba de alimentación y de bajo nivel para arranque de la bomba. El sistema deberá contar con una toma de muestra y un analizador de conductividad para verificar la concentración de cloro residual en el agua alimentada al tanque hidroneumático. El tiempo de residencia del agua potable en el tanque hidroneumático será de 5 minutos y deberá tener la capacidad para entregar el flujo máximo requerido de agua potable a la plataforma habitacional.

### **Bombas de agua potable**

El paquete de bombas de agua potable debe incluir dos equipos de bombeo del tipo centrífugo horizontal, uno principal y otro de relevo, con todos sus sistemas y complementos de operación, control, seguridad, accionamiento, instrumentación, etc.

Cada equipo de bombeo deberá estar integrado, como mínimo (sin ser limitativo), por una bomba centrífuga horizontal de diseño y construcción de acuerdo con la Norma de Referencia NRF-050-PEMEX-2001.

Cada bomba deberá contar con: impulsor cerrado montado en cantiliver, corte de la carcasa radial, brida de descarga con cara realzada en posición superior, brida de succión con cara realzada posición en el extremo, anillos de desgaste para la carcasa e impulsor, lubricación de rodamientos por aceite; sello mecánico tipo cartucho y materiales de construcción de acuerdo a la Norma de referencia NRF-050-PEMEX-2001. La bomba debe ser accionada por un motor eléctrico de inducción, tropicalizado, alimentación eléctrica de 480 Volts. / 3 Fases / 60 Hz, para arranque a plena carga, rodamientos lubricados con grasa, equipado con resistencias calefactoras y ventilador de aluminio. El acoplamiento entre bomba y motor debe ser por medio de un cople flexible con espaciador.

### **Paquete hidroneumático de agua potable**

El paquete hidroneumático de agua potable debe suministrarse sobre un patín estructural que incluya al tanque hidroneumático para agua potable, su instrumentación, accesorios y conexiones; así como los filtros para agua potable, su instrumentación, accesorios y conexiones.

El aire comprimido dentro del tanque hidroneumático debe actuar proporcionando un rango de presión que permita retirar la cantidad de agua necesaria para cubrir los requerimientos de agua potable de los siguientes usuarios:

- Sistema de agua caliente.
- Plataforma habitacional.
- Lavajos y regadera de seguridad, ubicada en el nivel de servicios.
- Lavandería de la plataforma habitacional.
- Plataforma de producción.
- Lavajos y regadera de seguridad, ubicada en el nivel mezanine.
- Sistema de combustible diesel.
- Tarjas en talleres.

Se deberá emplear una línea de suministro de aire de planta desde el sistema de aire de planta e instrumentos para presurizar al tanque hidroneumático.

A través de la lógica de control, el interruptor por alto nivel LSH del tanque hidroneumático debe parar la bomba de agua potable que alimenta al tanque, volviendo a arrancar hasta que el interruptor de bajo nivel LSL del tanque hidroneumático accione su arranque y en forma paralela

deberá abrir la válvula de control de salida de aire del tanque hidroneumático, cerrando la válvula de control de entrada de aire, permitiendo en consecuencia la entrada de agua potable al disminuir la presión dentro del tanque. Una vez que el agua entra al tanque, hasta que alcance un nivel adecuado, la válvula de control de salida de aire del tanque hidroneumático debe cerrar, abriéndose en consecuencia la válvula de control de entrada de aire, de este modo el sistema se estabiliza permitiendo la distribución del agua potable a los usuarios.

El material de la tubería de alimentación y salida del paquete hidroneumático de agua potable debe ser de fibra de vidrio, de acuerdo a lo establecido en la especificación particular de tubería.

El tanque hidroneumático para agua potable debe contar con una válvula de relevo de presión (PSV) para protegerlo de una sobrepresión por la entrada de aire y agua, además debe contar con una línea para drenar el agua potable que no pueda continuar hacia su distribución.



**Figura 5.** Paquete hidroneumático suministrado para plataforma marina de PEMEX. (Fuente: eqhisa.com.mx)

El agua potable que sale del tanque hidroneumático, debe alimentarse al filtro de carbón activado para asegurar que el agua potable a distribuir no tenga olor, sabor o color desagradable. Posteriormente, el agua potable debe dirigirse al filtro tipo bolsa para retener las partículas sólidas que pudiera contener. El retrolavado del filtro de carbón activado debe hacerse empleando agua potable. Los filtros de carbón activado y tipo bolsa deben contar con líneas de dren para el retrolavado de los mismos, que descarguen hacia la camisa de descarga al mar. Debe contarse con un indicador transmisor de presión diferencial para verificar la operación de los filtros, además de un indicador de presión local ubicado en la salida del filtro tipo bolsa.

Deben considerarse elementos de medición de flujo locales (FE), con transmisor indicador de flujo (FIT) que envíe señal a un indicador totalizador de flujo (FQI), para cuantificar el flujo de agua potable en las líneas de suministro a los siguientes usuarios: sistema de agua caliente, plataforma habitacional, lavandería y plataforma de producción.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)

**1.2.4.2 Descripción del sistema de agua caliente en plataformas habitacionales**

Cada plataforma habitacional deben contar con un sistema de calentamiento de agua que suministre agua potable caliente para los siguientes usuarios: cocina, regaderas, lavabos y lavandería (si se cuenta con ella), con capacidad de servicio suficiente, considerando un sobrediseño del 15 al 20% de la población total en la plataforma habitacional.

El sistema de agua caliente debe contar como mínimo con los siguientes equipos:

- Calentadores eléctricos de agua potable
- Tanque de almacenamiento de agua potable
- Bombas de transferencia
- Bombas de recirculación

Los equipos y/o paquetes que integran el sistema de agua caliente se deben instalar sobre la cubierta de servicios (nivel 19.100 m) de cada plataforma habitacional y deben incluir toda la instrumentación, dispositivos de control y protección, accesorios y tuberías de interconexión de los equipos, así como la distribución a usuarios, con objeto de tener una adecuada operación del sistema en forma integral.

Para la localización y arreglo de los equipos se debe considerar la normatividad vigente aplicable, dimensiones de equipo y peso mínimo, áreas para mantenimiento, maniobras y operación de los equipos, así como rutas de acceso y evacuación.

El sistema de agua caliente deberá estar integrado por dos calentadores eléctricos (uno en operación y otro de relevo), el agua caliente será almacenada en el tanque de almacenamiento, de donde se distribuirá a través de las bombas de transferencia hacia la cocina, regaderas, lavabos y lavandería de la plataforma habitacional.

Se debe considerar la recirculación de agua caliente que no sea empleada en la plataforma habitacional, para lo cual se enviará un flujo de agua recirculada hacia los calentadores eléctricos, a través de las bombas de recirculación (una en operación y otra de relevo).

El sistema de agua caliente debe suministrarse sobre un patín estructural y el proveedor de los equipos debe proporcionar un controlador lógico programable (PLC) para monitoreo y control local con las siguientes características sin ser limitativo: deberá tener la capacidad de realizar el control regulatorio y lógico requerido para la operación, protección y monitoreo de las variables de proceso (presión, temperatura, flujo, presión diferencial, etc.), así como comunicación vía Ethernet con el sistema digital de monitoreo y control (SDMC) de servicios.

El sistema de control del equipo del sistema de agua caliente es responsabilidad del fabricante y debe basar su funcionamiento en procesadores vigentes en el mercado y tecnología de punta.

### **Calentadores eléctricos**

Los calentadores eléctricos (uno en operación y otro de relevo) del sistema de agua caliente deberán ser alimentados por una corriente de agua potable producida en la planta potabilizadora. El agua potable deberá incrementar su temperatura en los calentadores eléctricos, los cuales deberán ser diseñados para ambientes marinos y construidos a base de acero inoxidable y contar con un aislamiento térmico.

Los calentadores eléctricos deben suministrarse con válvula de control de presión (PCV) ubicada en la línea de entrada para ajustar el flujo de agua a la presión de operación de los calentadores, además de indicadores de presión local (PI) corriente arriba y corriente debajo de la válvula de control de presión.

Los calentadores de agua deberán contar con indicador transmisor de temperatura (TIT) local, válvula de relevo de presión (PSV), interruptor por bajo nivel (LSL). El paquete debe incluir un tablero de control que incluya un indicador controlador de temperatura (TIC), un selector manual (HS) para selección de uno u otro calentador, así como luces indicadoras (IL) para monitoreo del estado de operación de cada unidad; el tablero de control debe tener capacidad para envío de señal al sistema de monitoreo y control de servicios, y monitorear la temperatura del agua caliente (TI), alarmar por alta (TAH) y baja temperatura (TAL).

La descarga de la válvula de relevo de presión (PSV) de cada calentador debe canalizarse hacia la camisa para descarga al mar.

### **Tanque de almacenamiento de agua caliente**

El agua proveniente del calentador eléctrico deberá alimentar al tanque de almacenamiento de agua caliente, el cual forma parte integral del patín del sistema de agua caliente. El tanque de almacenamiento de agua caliente alimentará a las bombas para manejo de agua caliente para su envío y distribución a usuarios de la plataforma habitacional. La capacidad del tanque debe ser suficiente para cubrir los requerimientos de la demanda máxima horaria de la plataforma habitacional.

El tanque de almacenamiento de agua caliente debe ser de acero inoxidable, el diseño mecánico del tanque debe estar de acuerdo al código ASME Sección VIII Div. 1, debe contar con aislante térmico y tener el estampado ASME.

El tanque deberá contar con una válvula de relevo de presión (PSV) para protección por sobrepresión interna; indicador de presión (PI) y temperatura (TI) local, indicador transmisor de presión (PIT) e indicador transmisor de temperatura (TIT) local, estos últimos con envío de señal al tablero de control del paquete. El tablero de control debe tener capacidad para envío de señal al SDMC de servicios, y monitorear la temperatura del agua caliente (TI), alarma por alta (TAH) y baja

temperatura (TAL), monitorear la presión (PI) del tanque y tener alarmas configuradas por alta (PAH) y baja (PAL) presión .

La descarga de la válvula de relevo de presión (PSV), así como la línea de dren del tanque, deben canalizarse hacia la camisa para descarga al mar.

Adicionalmente, el tanque debe contar con interruptores por alto (LSH) y bajo nivel (LSL) asociados a la lógica de control de las bombas de transferencia de agua caliente y tablero de control.

### **Bombas de transferencia de agua caliente**

Las bombas de transferencia de agua caliente deberán ser de tipo centrífugas (una en operación y otra en relevo), éstas succionarán agua caliente del tanque de almacenamiento para envío y distribución a usuarios de la plataforma habitacional.

Las bombas deberán contar con toda la instrumentación local necesaria; indicador de presión (PI) y en el cabezal común de descarga un indicador transmisor de presión (PIT) e indicador transmisor de temperatura (TIT) con envío de señal hacia el tablero de control, con la capacidad de comunicación al SDMC de servicios para monitoreo remoto de presión (PI) y temperatura (TI). Estas bombas deben contar con botones de arranque y paro local (PB) y luz indicadora (IL) para monitoreo de la unidad en operación. Cuando se tenga el nivel mínimo la bomba de transferencia deberá parar y el calentador eléctrico arrancará, cuando se tenga el nivel máximo en el tanque la bomba deberá arrancar.

### **Bombas de recirculación**

Las bombas de recirculación de agua caliente deberán ser de tipo centrífugas (una en operación y otra en relevo), éstas recibirán agua caliente que no fue empleada en la plataforma habitacional para retornarla a los calentadores eléctricos de agua potable.

Las bombas deberán contar con toda la instrumentación necesaria para su operación y protección; indicador de presión (PI), botones de arranque y paro local (PB) y luz indicadora (IL) para monitoreo de la unidad en operación. También se deberán determinar los parámetros operativos y la filosofía de operación y protección de estas bombas con el objeto de que el sistema sea funcional y confiable en forma integral.<sup>7</sup>

#### ***1.2.4.3 Descripción del sistema de drenaje abierto y sanitario en plataformas habitacionales***

El sistema de drenajes abierto y sanitario deberá estar formado por cuatro cabezales de recolección, tres de drenaje abierto y un último cabezal de drenaje sanitario en la plataforma habitacional.

Uno de los cabezales deberá recolectar el agua residual de los drenajes abiertos de los tanques de almacenamiento de agua potable, paquete hidroneumático de agua potable, paquete de aire de planta e instrumentos y sistema de agua caliente. Las líneas de drenaje abierto y el cabezal de recolección deben ser de acero al carbón.

<sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)

Un segundo cabezal deberá recolectar el agua residual de los drenajes abiertos del sistema contra incendio, paquete hidroneumático de agua de mar, paquete de filtros de malla ancha para agua de mar, paquete de filtros de malla fina para agua de mar, válvulas de control de flujo (FV) y válvulas de relevo de presión (PSV) del sistema de agua de mar y potabilizadoras para su descarga al mar a través de la camisa de descarga. Las líneas de drenaje abierto y el cabezal de recolección deben ser de fibra de vidrio.

El tercer cabezal deberá recolectar el agua residual de los drenajes abiertos de agua tratada del paquete de tratamiento de aguas residuales (operación y relevo) para su descarga al mar a través de la camisa de descarga. Las líneas de drenaje abierto y el cabezal de recolección deben ser de fibra de vidrio.

El cuarto cabezal recolectará el agua residual del drenaje sanitario de la plataforma habitacional y de la cocina para ser enviada a la planta de tratamiento de aguas residuales. Las líneas de drenaje abierto y el cabezal de recolección deben ser de fibra de vidrio.

Se deberá proporcionar un elemento primario de flujo (FE), con transmisor indicador de flujo FIT ubicado en la línea de salida del primer y segundo cabezal de recolección del sistema de drenajes abiertos, a fin de cuantificar el flujo de agua hacia la camisa de descarga al mar, con envío de señal a través de Ethernet para monitoreo de dicho flujo con el totalizador de flujo (FQI) localizado en el SDMC de servicios.<sup>7</sup>

### 1.3 Aspectos relativos al diseño y construcción de plataformas marinas en el Golfo de México

El diseño y construcción de una plataforma costa afuera involucra esfuerzos relacionados e interdependientes. En la **Tabla 1.01** se enlistan las fases del proyecto global.

Algunos de estos esfuerzos requieren descripción adicional, ya que en este apartado únicamente se mencionan brevemente.

#### 1.3.1 Criterio operacional

Esta etapa consiste en determinar el número de pozos a ser perforados, el tipo de equipo de perforación, los materiales a ser usados y si se lograrán las actividades de producción con los requerimientos específicos de esa actividad. Se debe determinar la cantidad de espacio de la cubierta para las diversas operaciones, y debe decidirse el número de cubiertas. Debe analizarse y seleccionarse el modo de transportar el petróleo, ya sea por buque, barcaza o tubería, así como la manera de almacenamiento. También deberá determinarse la configuración de la plataforma requerida cumpliendo con los criterios operacionales, de fabricación e instalación con los equipos disponibles.

#### 1.3.2 Criterio medioambiental

Una vez determinado el número de cubiertas y el espacio requerido en cada una de ellas, será necesario determinar el ambiente al cual será expuesto todo el equipo. Esto involucra la determinación de las fuerzas impuestas en la plataforma por las olas y el viento. Deben

determinarse muchos factores ambientales antes de que puedan ser estimadas las fuerzas: profundidad del agua, condición de la marea, altura de ola de tormenta, velocidad del viento de tormenta, corrientes, algunas veces temblores y condiciones de hielo. Todos estos factores medioambientales que imponen cargas en las estructuras deben investigarse cuidadosamente. Oceanógrafos y meteorólogos son responsables de esta investigación.

Tabla 1.01 Fases del proyecto global de una plataforma marina.

<b>FASE PRELIMINAR</b>
<b>1. Identificación de las necesidades y establecer el criterio operacional</b>
<b>2. Determinación del criterio medioambiental</b>
<b>3. Estudio de viabilidad y estimación de costos</b>
<b>4. Disposición de financiamiento y monetaria</b>
<b>FASE DE DISEÑO</b>
<b>1. Estudios preliminares e investigaciones especiales</b>
a. Suelos
b. Selección del tamaño de la cubierta y baracazas de transportación
c. Condiciones relativas de corrosión, hielo, temblores, transportación de productos y tripulación
<b>2. Diseño y preparación de planos de ingeniería</b>
a. Diseño de cimientos
b. Diseño estructural
c. Preparación de planos
<b>3. Preparación de documentación</b>
a. Especificaciones
b. Contratistas
c. Ofrecer hojas de respuesta
d. Alquilar bajo licitación barcazas para la cubierta y transporte
f. Alquilar bajo licitación remolcadores y barcos de trabajo
<b>FASE DE LICITACIÓN</b>
<b>1. Selección de postores</b>
<b>2. Enviar y recibir licitaciones</b>
<b>3. Evaluación de ofertas</b>
<b>4. Adjudicación de la licitación</b>
<b>FASE DE CONSTRUCCIÓN</b>
<b>1. Fabricación en tierra</b>
a. Ordenar y recibir materiales
b. Fabricación de partes especiales
c. Disposición y configuración
d. Habilidadación de soldadura
e. Cortar, ajustar y unir miembros de componentes
f. Baño de componentes y otras protecciones contra la corrosión
<b>2. Pagos especiales por transportación</b>
<b>3. Montaje costa afuera</b>
a. Emplazamiento de los componentes debajo del agua
b. Instalación de pilotes de cimentación
c. Instalación de componentes y equipo sobre el agua
d. Construcción de misceláneos relacionados
<b>4. Aprobación</b>

(Fuente: Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera, Tomo I)



### 1.3.3 Diseño de los cimientos

Antes del análisis y diseño de los cimientos, es necesario determinar las características del suelo del océano donde será colocada la plataforma. La información requerida consiste en la historia geológica del área, información del origen del suelo y el resultado del manejo experimental de pilotes. Geólogos y especialistas en mecánica del suelo son responsables de evaluar los datos reunidos y de traducir la información a la capacidad de resistencia operacional del suelo y fuerzas medioambientales transmitidas a través de la estructura.

### 1.3.4 Diseño estructural

El próximo paso es el análisis y diseño de la estructura de la plataforma. Se debe seleccionar el número de cubiertas y la configuración estructural de la subestructura de la cubierta para soportar las cargas operacionales y proporcionar resistencia básica a las fuerzas medioambientales impuestas. Cuando está completa la selección de la configuración de la cubierta y el tipo estructural de plataforma, se hacen estimaciones preliminares de las dimensiones de varios miembros; y entonces se vuelve a hacer el diseño. En una segunda ronda se revisan los cálculos de las fuerzas operacionales y medioambientales; los requerimientos de los cimientos son nuevamente evaluados y, finalmente, se determinan las dimensiones de los miembros estructurales. En términos generales, el proceso es cíclico entre estos aspectos principales hasta que es emitido un diseño adecuado y seguro.

Hay muchos detalles que deben diseñarse después de determinar las dimensiones de los miembros de la estructura principal, incluyendo los andenes para los barcos, escaleras, barandales, helipuertos, rieles de lanzamiento, orejas, etc. Como parte del diseño estructural, debe haber un análisis de la estructura para asegurar que resistirá la presión impuesta durante la fabricación e instalación.

### 1.3.5 Construcción e instalación

Una vez diseñada la plataforma, debe ser fabricada e instalada. La mayor parte de la fabricación se lleva a cabo en un patio de construcción en la costa. El sitio de instalación es limitado para lanzar y volcar la subestructura, pilotes de dirección, colocar la cubierta de la estructura y soldar todos éstos para formar una sola estructura.

Todos los componentes son prefabricados dentro de unidades largas, de tal forma que puedan ser transportados de forma rápida y económica del patio de fabricación al sitio costa afuera. La prefabricación permite una cantidad mínima de tiempo de construcción en el mar, así es como se minimizan las pérdidas operacionales debidas al mal tiempo.

Todos los materiales se ordenan con bastante anticipación al primer día de construcción. La construcción puede durar de 4 a 12 meses, dependiendo de la complejidad y del tamaño de la estructura.

La superestructura normalmente se ensambla construyendo los marcos con dimensiones estrechas para ser asentados sobre el piso. Éstos son rotados por grúas en una posición vertical,

donde se añaden los soportes de cruz, guías y otros miembros. Así, cuando se termina la superestructura, ésta se asienta sobre uno de sus lados más largos.

Las dos piernas en el medio del lado más largo son usualmente paralelas, la superestructura es construida con estas piernas que quedan en las vigas de lanzamiento y son usadas para deslizar la superestructura sobre la barcaza que transportará la estructura.

Una vez construidas las secciones de la superestructura y la cubierta, los componentes son jalados mediante un sistema de rieles y poleas o levantados por vehículos especiales y llevados hasta la barcaza para ser transportados al sitio costa afuera. En el sitio, un torno y un cable de ensamble jala la superestructura fuera de la barcaza dentro del agua. Las secciones más bajas de las piernas de la superestructura se dejan inundar, y de esa manera la superestructura descansa en una posición vertical dentro del agua. Una grúa barcaza grande jala la superestructura y la coloca en el lugar diseñado para la perforación. Los pilotes son llevados a través de las piernas de la superestructura y a través de los faldones de tubos guías, en caso de ser usados. Las secciones de la plataforma son entonces montadas en la punta de los pilotes y ahí son soldadas. Los módulos prefabricados con los cuartos habitacionales, bombas ensambladas y otros equipos son traídos por medio de una barcaza y elevados mediante grúas al lugar de la subestructura de la cubierta donde serán colocados para completar la instalación.<sup>1</sup>

#### 1.4 Proyectos existentes y futuros en el Golfo de México

En México, la industria petrolera se encuentra bajo la conducción de Petróleos Mexicanos (PEMEX).

PEMEX fue creado por Decreto Ley el 7 de junio de 1938, es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal constituido de conformidad con las leyes de los Estados Unidos Mexicanos, con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuyo objeto es ejercer la conducción central y la dirección estratégica de las actividades que abarca la industria petrolera estatal.

PEMEX es una empresa integrada, que realiza actividades de exploración, producción de hidrocarburos y su transformación.

Asimismo, comercializa en los mercados interno y externo petróleo crudo y gas natural; así como productos refinados, gas licuado de petróleo y petroquímicos.

Uno de los órganos subsidiarios de PEMEX es PEMEX Exploración y Producción (PEP), responsable de la exploración y explotación del petróleo y del gas natural.

Tiene a su cargo el transporte, almacenamiento en terminales y comercialización de dichos hidrocarburos.

Posee 359 campos petroleros, 5 783 pozos en exploración, 279 plataformas marinas y 34 074 km de oleoductos y gasoductos.

En este apartado se presenta información referente a PEP y a sus instalaciones costa afuera, incluyendo proyectos existentes y futuros.

---

<sup>1</sup> M. Valdés, Victor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera

#### 1.4.1 PEP a grandes rasgos

PEP a nivel mundial ocupa el tercer lugar en términos de producción de crudo, el primero de producción de hidrocarburos costa afuera, el noveno en reservas de crudo y el doceavo en ingresos.

PEP opera con cuatro regiones:

- Región norte
- Región sur
- Región noreste
- Región suroeste

Las cuales se organizan en activos.

La región norte tiene una extensión que supera los 2 millones de kilómetros cuadrados, abarca 25 entidades federativas, siendo las más importantes: San Luis Potosí, Puebla, Veracruz, Tamaulipas y Nuevo León. Esta región está conformada por tres activos integrales – Burgos, Veracruz y Poza Rica-Altamira y un activo exploratorio.

La región sur tiene una superficie aproximada de 390 mil kilómetros cuadrados y abarca parte de los estados de Guerrero, Oaxaca y Veracruz, así como la totalidad de Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Chiapas. Limita al norte con el Golfo de México, al sur con el Océano Pacífico y al este con el Mar Caribe.

Operativamente está dividida en un activo regional exploratorio y los activos integrales Bellota-Jujo, Macuspana, Cinco Presidente, Samaria-Luna y Muspac.

La región marina noreste cuenta con una extensión de 166 mil kilómetros cuadrados de aguas territoriales, se sitúa en la plataforma y talud continentales del Golfo de México; está constituida por los activos integrales Cantarell y Ku-Maloob-Zaap, además de un activo regional exploratorio.

La región marina suroeste tiene un área de 352 mil kilómetros cuadrados de aguas territoriales del Golfo de México, efectúa la explotación de hidrocarburos a través de un activo regional exploratorio y los activos integrales Abkatún-Pol-Chuc y Litoral de Tabasco.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>Presentación “Pemex a grandes rasgos”

**1.4.2 Plataformas existentes en el Golfo de México**

La **Tabla 1.02** presenta una relación de las plataformas marinas habitacionales existentes en cada uno de los activos de PEP.

**Tabla 1.02 Plataformas marinas habitacionales en el Golfo de México**

No.	ACTIVO	NOMBRE DE LA PLATAFORMA	No. DE PIERNAS	TIRANTE DE AGUA (m)
1	Abkatun	ABK- HABITACIONAL	8	36.9
2	Abkatun	ABK-D HABITACIONAL	8	39.3
3	Litoral de Tabasco	LITORAL HABITACIONAL	8	38.4
4	Pol-Chuc	ABK - N HABITACIONAL	8	35.7
5	Pol-Chuc	POL - A HABITACIONAL	8	35.8
6	Cantarell	AKAL-C HABITACIONAL	8	46.6
7	Cantarell	AKAL-C HABITACIONAL 2	8	46.6
8	Cantarell	AKAL-G HABITACIONAL	8	43.5
9	Cantarell	ECO-1 HABITACIONAL	4	20.4
10	Cantarell	NH-A HABITACIONAL	8	40.4
11	Cantarell	NH-A HABITACIONAL-2	8	40.4
12	Cantarell	AKAL-B HABITACIONAL	8	47.8
13	Cantarell	AKAL-J HABITACIONAL	8	48.3
14	Cantarell	AKAL-J HABITACIONAL 2	8	47.2
15	Cantarell	AKAL-L HABITACIONAL	8	49.7
16	Cantarell	AKAL-N HABITACIONAL	8	48.1
17	Coordinación Técnica Operativa	CAYO ARCAS HABITACIONAL	8	30
18	Ku-Maloob-Zaap	KU-A HABITACIONAL	8	65
19	Ku-Maloob-Zaap	ZAAP-C HABITACIONAL	8	79
20	Ku-Maloob-Zaap	KU-M HABITACIONAL	8	72
21	Ku-Maloob-Zaap	KU-H HABITACIONAL	8	78
22	Ku-Maloob-Zaap	KU-S HABITACIONAL	8	80

(Fuente: <http://www.pemex.gob.mx>)

**1.4.2 Proyectos futuros de PEP**

El portafolio de proyectos de PEMEX Exploración y Producción está orientado a mantener estable la producción de crudo y gas, sentar las bases para incrementar la producción a futuro e incrementar la tasa de restitución de reservas probadas y totales. Este portafolio está formado por 28 proyectos de explotación, 17 proyectos de exploración, 2 integrales de explotación y exploración y 30 de infraestructura y soporte.

El 30 de enero de 2013 PEMEX anunció que incorporará entre 8 y 12 nuevas plataformas marinas, lo que la convertiría en el operador petrolero con el mayor número de plataformas autoelevables y modulares en el mundo.<sup>9</sup>

<sup>9</sup><http://www.informador.com.mx>

## CAPÍTULO II Consideraciones para el diseño de instalaciones sanitarias en plataformas habitacionales

---

Es necesario contar con las instalaciones adecuadas de suministro de agua y drenaje en toda edificación habitable. En su diseño y construcción se tienen que considerar las condiciones particulares de uso y ambientales a las que estarían sometidas dichas instalaciones al formar parte de una plataforma habitacional costa afuera.

En este capítulo se presenta una descripción básica de los componentes de una instalación para suministro y evacuación de agua en edificios, así como una propuesta de metodología para su diseño en plataformas habitacionales y la normatividad aplicable.

### 2.1 Instalación para el suministro de agua

La instalación para el suministro de agua es el sistema formado por tuberías, conexiones y válvulas de control necesario para proporcionar agua fría, caliente y vapor en casos específicos, a los muebles y aparatos sanitarios, hidrantes y demás servicios especiales de una edificación.<sup>10</sup>

#### 2.1.1 Factores determinantes para el diseño

Los factores que condicionan el diseño de las instalaciones para el suministro de agua potable son: la presión mínima requerida, el consumo tipo en el edificio, las intermitencias y discontinuidades de gasto y las simultaneidades de uso de los muebles y aparatos sanitarios de la edificación.

La presión mínima requerida para que la instalación funcione, depende exclusivamente de la pérdida de presión que se pueda producir en la instalación. Esta reducción de la fuerza de empuje del agua es una variable de cálculo, ya que si en un momento determinado se plantea el cálculo de la instalación con base en cierto gasto, sección del tubo y velocidad de flujo, predeterminados por cualquiera de los métodos existentes, el resultado obtenido será únicamente válido para los valores seleccionados anteriormente.

Otro de los factores son los materiales de las tuberías (interior rugoso, semirrugoso o liso), así como elementos de paso, corte o control en la instalación que condicionan el valor final que se desea obtener.

La presión máxima admisible en cualquier punto de la instalación para el suministro de agua se puede ajustar entre 4.5 a 5 kg/cm<sup>2</sup>. De encontrarse casos con valores mayores pueden instalarse en la red válvulas para reducir la presión.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 1. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

### 2.1.2 Sistemas de abastecimiento de agua fría

Para realizar el diseño de la instalación de agua fría de un edificio, antes de efectuarse el trazo debe analizarse de qué manera influirán las condiciones de la red de abastecimiento en cuanto a gasto, presión y continuidad del suministro.

En función de las características particulares del edificio y de la red que lo abastecerá pueden plantearse unos esquemas básicos que se clasifican en los siguientes tipos:

- Sistema de abastecimiento directo a la red interior de distribución.
- Sistema de abastecimiento directo a depósito elevado.
- Sistema de abastecimiento con bombeo a depósito elevado.
- Sistema de abastecimiento con equipo de presión independiente.<sup>10</sup>

Por las características particulares de una plataforma marina es necesario abastecerla mediante un equipo de presión independiente compuesto por los siguientes elementos:

- Tanque de almacenamiento.
- Bombas de agua potable.
- Tanque hidroneumático.
- Válvulas de control.
- By-pass.
- Accesorios.
- Conexiones.

El equipo de presión independiente se compone de todos estos elementos, los cuales aseguran en primer lugar por medio del tanque de almacenamiento, que la bomba no succione en vacío en caso de suspenderse el suministro de agua. El tanque hidroneumático es un acumulador de presión del agua, que evita que las bombas operen cada vez que se demanda agua en algún mueble o aparato sanitario del edificio.<sup>7</sup>

### 2.1.3 Red interior de distribución

El sistema de distribución de agua potable, que en una plataforma marina inicia en el sistema de agua de servicios, consiste en una red de tuberías que alimentan a las plantas potabilizadoras (una en operación y una de reserva), la planta de tratamiento de aguas negras, a estaciones de servicios y a un tanque hidroneumático para su transferencia a la plataforma habitacional y a la plataforma de producción correspondiente.<sup>7</sup> La red de distribución está constituida por dos partes principales:

- Sistema de tanque hidroneumático.
- Red interior del edificio.

El esquema de la red de distribución está constituido por cuatro elementos principales: distribuidores, columnas, derivaciones y ramales.

<sup>10</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 1. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

<sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)

Los distribuidores son tuberías horizontales instaladas en las planta baja o en su caso en el techo de la cubierta de servicios (nivel 19.100 m). Las columnas son tuberías verticales de sección decreciente que llevan el agua de los distribuidores a los pisos superiores.

En las varias plantas del edificio y en relación con el aparato o el grupo de aparatos a alimentar, se conectan otras tuberías horizontales llamadas “derivaciones” a partir de las cuales parten los ramales, que llevan el agua de las columnas hasta los diferentes muebles y aparatos sanitarios.

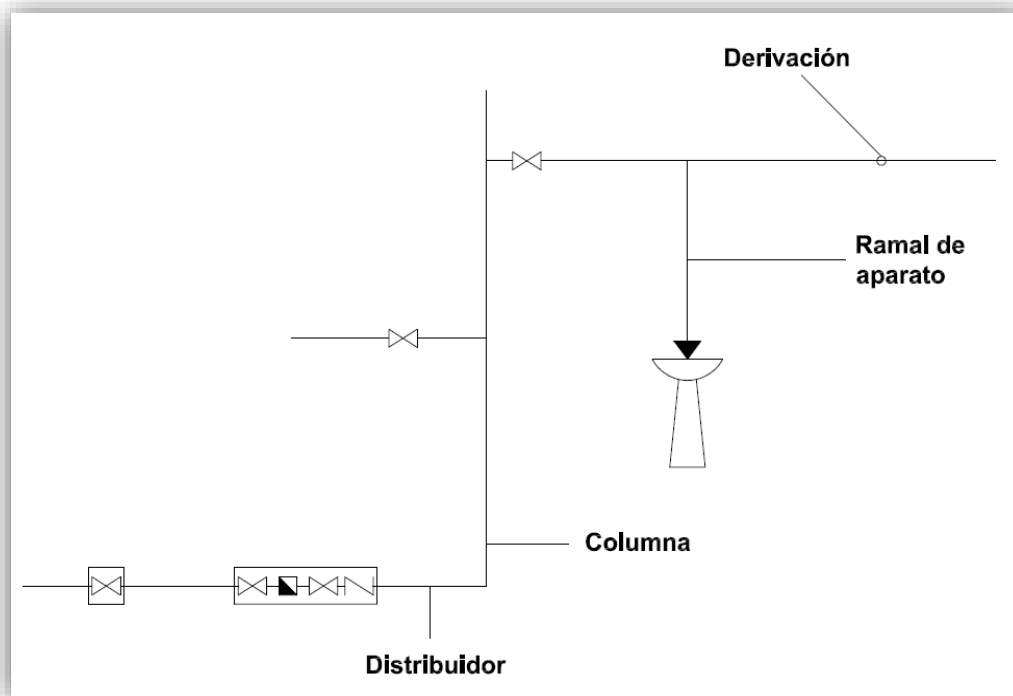
En el distribuidor deben instalarse las válvulas de antirretorno y las válvulas de corte necesarias para seccionar las distintas partes de la red.

Las columnas, por su parte, se ubican en ductos y fijadas a muros mediante abrazaderas cada dos o tres metros.

Las columnas pueden ser ascendentes o descendentes, en función del sistema de distribución y se recomienda que sirvan como máximo a diez plantas, escalonándose hasta conseguir la altura deseada de servicio.

Las derivaciones reparten el agua a los distintos locales de la instalación. Pueden instalarse en ductos o bajo el plafón. Se recomienda que las derivaciones sean instaladas junto al techo o a un nivel superior de los aparatos sanitarios, para que sus ramales sean descendentes hasta las llaves.

Los ramales pueden tener cualquier trazo y se recomienda que cada uno disponga de una llave de corte. Los distribuidores pueden formar una red ramificada o un circuito.<sup>10</sup>



**Figura 6.** Distribuidores, columnas y derivaciones en una instalación. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 1.)

<sup>10</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 1. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

#### 2.1.4 Mueble (o aparato) más desfavorable de la instalación

El mueble (o aparato) más desfavorable es aquél que con respecto al punto de alimentación demanda la mayor presión para funcionar adecuadamente.

Es común que el mueble más desfavorable sea el más alejado y el más alto con respecto al punto de alimentación de la red. Sin embargo, existen casos en donde debido a que los muebles y aparatos de las plantas más elevadas son diferentes a los de la penúltima planta y en ésta se tiene considerados muebles con fluxómetros, los cuales requieren mayor presión para funcionar, quedando en esta planta el mueble más desfavorable, por lo cual se deben analizar las condiciones de carga de los muebles y aparatos que pudieran estar en las condiciones críticas para definir con exactitud cuál es el mueble o aparato más desfavorable.<sup>11</sup>

#### 2.1.5 Gasto máximo instantáneo

El proyecto de instalación, debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Dotar de agua potable,
- En forma continua,
- En cantidad suficiente, y
- Con la presión adecuada

Cualquiera que sea el tipo de sistema considerado para determinar los diámetros de las tuberías requeridas en las diferentes partes de la red de distribución del edificio, es necesario calcular el gasto de diseño.

El fijar un gasto para el diseño de una red de distribución de agua potable ya sea pública o privada resulta algo impreciso debido a los muchos factores de los que depende. Para fines de diseño “la cantidad” suficiente de agua se considera que es el gasto máximo instantáneo.

El gasto máximo instantáneo es el mayor gasto que puede demandarse en cualquier parte de la instalación en cualquier momento.

La determinación del gasto de diseño es un gran problema debido a que los muebles y aparatos sanitarios se operan de forma intermitente e irregular.

Para el caso de una plataforma habitacional debe tenerse especial cuidado en su estimación, ya que podría darse el caso de funcionamiento simultáneo de las instalaciones en ciertas horas del día.<sup>11</sup>

##### 2.1.5.1 Métodos para la estimación del Gasto Máximo Instantáneo

Se han desarrollado varios métodos para la estimación del gasto máximo instantáneo de las diferentes partes de un sistema de distribución de agua de un edificio, los cuales pueden agruparse de la siguiente manera:

- Métodos empíricos.
- Métodos probabilísticos.
- Método alemán de la raíz cuadrada.

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.



En los métodos empíricos se aplican criterios basados en el juicio y experiencia con respecto al número de muebles que deben considerarse en operación simultánea. La aplicación de cualquiera de los métodos denominados empíricos se recomienda en el caso de instalaciones con pocos muebles y aparatos sanitarios. A continuación se enlistan estos métodos:

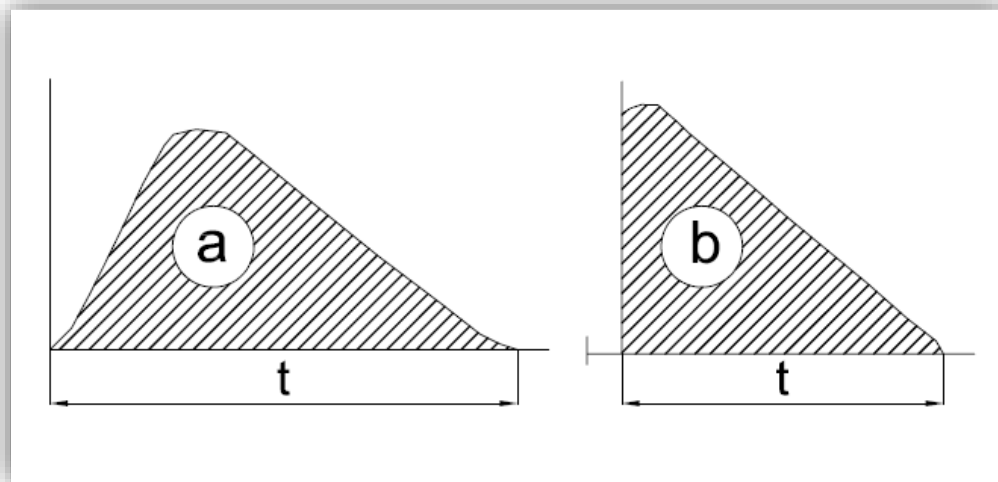
- Método francés
- Método británico
- Método americano

En el caso de las plataformas habitacionales, la capacidad de las instalaciones oscila entre 200 y 400 personas, por tal motivo la aplicación de los métodos empíricos no está recomendada para la estimación del gasto máximo instantáneo.<sup>11</sup>

#### 2.1.5.1.1 Métodos probabilísticos para el cálculo del gasto máximo instantáneo

La descarga de agua por la llave de un mueble o aparato sanitario puede representarse por medio de un hidrograma, donde el eje de las abscisas representa el tiempo y el de las ordenadas el gasto.

La **Figura 7.a** corresponde al hidrograma que representa la salida de agua en un depósito para inodoro a través de una válvula de flotador que se cierra lentamente a medida que el agua se va introduciendo al depósito, mientras que la **Figura 7.b** es el hidrograma de un fluxómetro, que tiene una rápida apertura y un cierre lento y gradual.

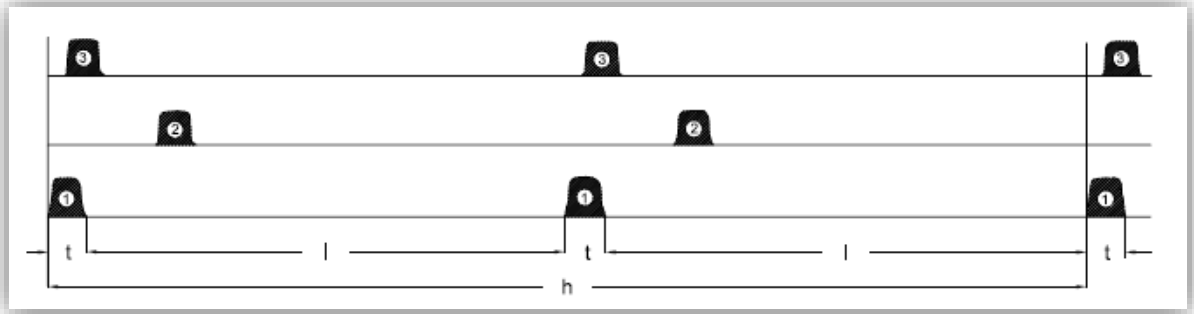


**Figura 7.** Diagramas de distribución. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2.)

Supóngase ahora que se tiene una instalación sanitaria entre cuyos aparatos se encuentran tres iguales. La **Figura 8** representa la sucesión de hidrogramas en el periodo de máximo consumo de la instalación.

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

En la **Figura 8**  $t$  es la duración media de un servicio, en minutos;  $i$  es el intervalo medio que transcurre entre un servicio y el siguiente durante el periodo de máximo consumo, en minutos; y  $h$  es la duración media diaria del periodo de punta, en horas.



**Figura 8.** Secesión de hidrogramas de los aparatos en el periodo de máximo consumo. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2.)

Como se observa, mientras los servicios del aparato 2 están defasados con respecto a los servicios de los aparatos 1 y 3, y por tanto sin influencia recíproca, los servicios de los aparatos 1 y 3 se superponen.

El problema consiste en determinar el número máximo de servicios que pueden superponerse en un determinado periodo de tiempo, tomados entre los de todos los aparatos en cuestión.

Existe una expresión matemática que establece, a partir de un grupo de acciones iguales e igualmente subsecuentes, cual es el intervalo probable de tiempo que transcurre entre dos superposiciones sucesivas de un determinado número de acciones tomadas entre las del grupo. Por ejemplo, supóngase que una instalación cuenta con 20 aparatos iguales que operan del mismo modo; la expresión matemática establece el tiempo que transcurre entre dos superposiciones probables y sucesivas, digamos de 6 aparatos, entre los 20 considerados.

La expresión es:

$$P = \frac{A^{f-1}}{B * C_f^n} \quad 2.1$$

donde:

$P$  Tiempo probable en días que transcurre entre la superposición de  $r$  servicios, que forma parte de un grupo  $n$  de ellos, y la sucesiva superposición también de  $r$  servicios del mismo grupo;

$A=i/t$  Relación entre la duración media  $i$ , en minutos, del intervalo entre dos servicios, durante el periodo de máximo consumo y la duración de un servicio  $t$ , en minutos;

$B=h/i$  Relación entre la duración media diaria del periodo de máximo consumo  $h$ , en horas y la duración media  $i$  (en horas) del intervalo entre dos servicios durante el tiempo  $h$ ;

$C_r^n$  Número de combinaciones posibles de r unidades, tomadas de entre n de éstas;

$$C_r^n = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-r+1)}{1*2*3*\dots*r} \quad 2.2$$

N Número de aparatos que forman el grupo considerado.

Aplicando logaritmos a la ecuación 2.1 queda:

$$\log P = \log A^{r-1} - \log B - \log C_r^n \quad 2.3$$

Asumiendo que las sobreposiciones pueden ocurrir con una sucesión de un día, entonces  $P=1$ , y entonces:

$$\log P = \log 1 = 0 \quad 2.4$$

La ecuación 2.3 resulta:

$$\log A^{r-1} - \log B = \log C_r^n \quad 2.5$$

En la ecuación 2.5 pueden fijarse los valores de i, t y h, obteniendo por tanto los de A y B. A continuación para valores arbitrarios r puede obtenerse el  $\log C_r^n$  y con la ecuación 2.2 el correspondiente valor de n. Después puede obtenerse la relación r/n, o sea el porcentaje de funcionamiento simultáneo.

Con el procedimiento explicado, para algunos valores progresivos de r se podrán obtener los valores de n y por tanto el porcentaje de simultaneidad. Con los porcentajes obtenidos puede construirse una gráfica en donde las ordenadas corresponden al porcentaje de simultaneidad y las abscisas a los valores obtenidos de n. La **Figuras 9** muestra una curva característica de simultaneidad obtenida con el procedimiento explicado para retretes con depósito en oficinas.

Como los sistemas no están constituidos por un mismo tipo de accesorio exclusivamente, al proporcionar una curva para cada accesorio, este método sobrediseña el sistema, debido a la adición de gastos de varios grupos de diferentes tipos de accesorios, ya que para un sistema dado no es cuestión de una simple adición, porque la función de probabilidad debe intervenir en el resultado. En otras palabras, si obtuvimos un gasto de diseño en particular para  $n_1$  fluxómetros, otro gasto de diseño para  $n_2$  lavabos y todavía otro gasto de diseño para  $n_3$  usuarios en un sistema dado, no conviene obtener el gasto de diseño para el sistema como un todo sumando los tres gastos obtenidos para los grupos individuales de diferentes tipos de accesorios, dado que el verdadero gasto de diseño del sistema será menor que esta suma. El procedimiento para combinar la contribución de gastos de los diferentes tipos de accesorios puede hacerse con base en la teoría de probabilidad, pero el proceso es demasiado complicado para ser de uso práctico. El Dr. Roy B. Hunter desarrolló un método práctico, el cuál se describe a continuación.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

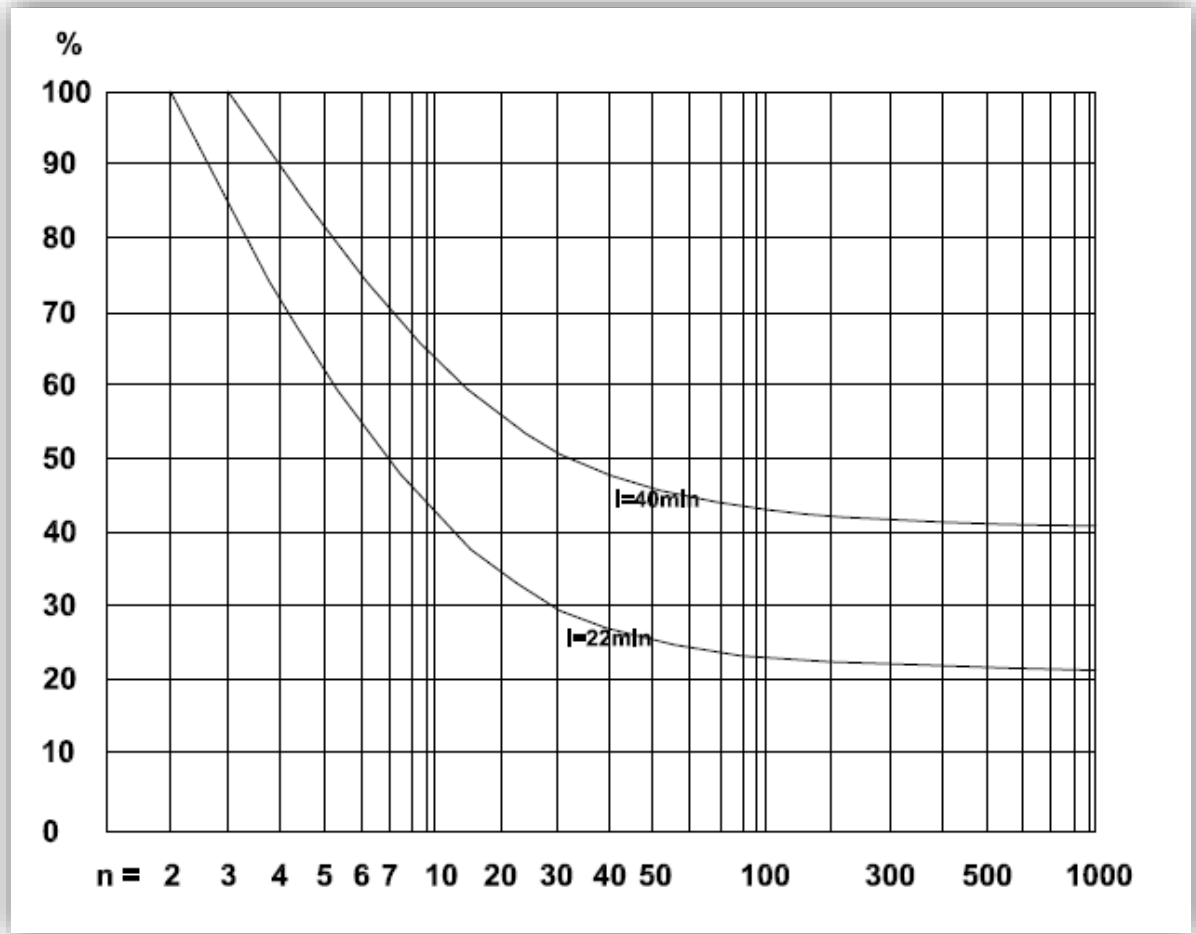


Figura 9. Curvas características de simultaneidad de suministro. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2.)

### Método de Hunter

Una de las primeras aplicaciones de la teoría de la probabilidad a la determinación de gastos de diseño en instalaciones hidráulicas para edificios fue hecha por el Dr. Roy B. Hunter de la Oficina Nacional de Estándares de E.E.U.U. (National Bureau of Standards). La primera exposición del método apareció en 1924. En el desarrollo de la teoría de la probabilidad al problema de determinar los gastos de diseño, Hunter asumió que la operación de los principales muebles y aparatos sanitarios que constituyen el sistema de plomería podrían considerarse como eventos puramente aleatorios. Aunque esto no es del todo cierto, sirve de base para la aplicación de la teoría al problema. Hunter determinó las máximas frecuencias de uso de los principales muebles y aparatos que producen el gasto en la instalación hidráulica de un edificio habitacional, basando sus valores en las frecuencias en registros obtenidos en hoteles y edificios de departamentos durante el periodo de máximo uso (periodo de punta). También determinó valores característicos de los gastos promedio de uso del agua en diferentes muebles y aparatos sanitarios, y el tiempo de una operación sencilla de cada uno de ellos.

El desarrollo teórico se aplica sólo a grandes grupos de muebles y aparatos sanitarios, tales como los de edificios de departamentos, hoteles, oficinas o en nuestro caso a una plataforma marina habitacional. La razón de esto es que aunque el gasto de diseño tiene cierta probabilidad de no ser excedido, no obstante puede excederse en raras ocasiones. En un sistemas que incluya sólo unos cuantos accesorios, si se ha diseñado de acuerdo con la teoría de la probabilidad podría sobrecargar el sistema lo suficiente para causar inconvenientes e incluso para interferir con la operación del sistema de drenaje. Por otra parte, si se está tratando con un sistema grande, una sobrecarga de uno o varios accesorios sería raro que se notara.

Considérese el sistema de distribución de agua de un edificio de departamentos o un hotel, por ejemplo. En tales edificios, los accesorios de la instalación sanitaria estarán sujetos a congestión a ciertas horas del día. Los muebles e inodoros consisten en una gran cantidad de inodoros, regaderas, lavabos, fregaderos, etc. El problema consiste en determinar qué gasto de diseño debe asignarse a las varias tuberías de la instalación hidráulica para que el sistema proporcione un servicio satisfactorio. Hunter definió como servicio satisfactorio a aquél en el que las interrupciones del servicio debido a factores controlables como el diámetro y disposición de las tuberías no son frecuentes y es de suficientemente corta duración como para no ocasionar inconvenientes en el uso de los accesorios o una condición de insalubridad en la instalación.

El valor de 1 por ciento referido, fue elegido arbitrariamente por Hunter en su aplicación original de la teoría de la probabilidad al problema de diseño de gastos en las instalaciones hidráulicas, y se ha usado desde 1940 con buenos resultados, dado que el uso de este valor no lleva al subdiseño de los sistemas. Por el contrario. Podría ser que los sistemas estén siendo sobrediseñados, y es posible que con un valor de 2 por ciento se alcancen diseño adecuados.

Una consideración adicional es la siguiente: si se excede el gasto de diseño, ¿cuál será el efecto en el sistema? Si el sistema incluye un gran número de accesorios, y el valor de  $r$  se establece para reunir el criterio establecido en el párrafo precedente, entonces la probabilidad de  $r+1$  accesorios que estén siendo usados simultáneamente es bastante remota; la probabilidad de  $r+2$  accesorios que estén siendo usados simultáneamente es todavía más remota, etc. Sobrecargas leves no tendrán un efecto apreciable en el sistema si el número total de accesorios es razonablemente grande.

Kessler hizo la siguiente recomendación para asegurar que el flujo del agua a los accesorios sea adecuado: el proyectista no deberá permitir la instalación de una tubería para uso promedio adecuado, de manera que varios accesorios puedan usarse simultáneamente.<sup>11</sup>

### **Fundamentos del método de Hunter con base en un sistema simple**

Se define como sistema simple a aquél (obviamente hipotético) que consiste en muebles o aparatos del mismo tipo – por ejemplo inodoros de fluxómetros solamente –. Supóngase que se tiene una cantidad grande  $n$  de estos inodoros en el sistema. Sea  $i$  el tiempo en segundos, en promedio, sobre usos sucesivos sobre cada mueble individual. Sea  $t$  la duración en segundos de la demanda sobre el sistema de abastecimiento para cada uso de un mueble, es decir, el tiempo

---

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

ocupado por una descarga individual del fluxómetro. Entonces la probabilidad  $p$  de que se encuentre descargando el fluxómetro de un mueble en particular en cualquier instante de observación del sistema es:

$$p = \frac{t}{i} \quad 2.6$$

En consecuencia, la probabilidad de que el fluxómetro de ese mueble (o de cualquier otro) no se encuentre operando es:

$$1 - p = 1 - \frac{t}{i} \quad 2.7$$

Valores adecuados de  $i$  y  $t$  son 5 min (300 s) y 9 s, respectivamente. Entonces:

$$p = \frac{9}{300} = 0.03$$

y

$$1 - p = 1 - 0.03 = 0.97,$$

Esto para inodoros de fluxómetro. Nótese que lo que suceda con los restantes  $n-1$  inodoros en el instante de observación no se considera en las probabilidades dadas por las ecuaciones 2.6 y 2.7. A continuación se determinará la probabilidad de que dos fluxómetros de dos inodoros en particular se encuentren operando en cualquier instante arbitrario de observación elegido, despreciando lo que suceda con los restantes  $n-2$  inodoros en ese instante.

Ya se ha expuesto que la probabilidad de encontrar en operación al primero de estos dos inodoros seleccionados es  $p$ . Por lo tanto, la probabilidad de encontrar en operación al segundo de estos dos inodoros seleccionados es  $p$ . Entonces la probabilidad de que los fluxómetros de ambos inodoros en particular se encuentren descargando es  $p^2$ , por la ley de eventos compuestos. Para el caso de los inodoros de fluxómetro considerados se tendría:

$$p^2 = (0.03)^2 = 0.0009$$

o aproximadamente una parte en mil. En forma similar, la probabilidad de encontrar tres fluxómetros en particular descargando es  $p^3 = (0.03)^3 = 0.000027$ , y la probabilidad de encontrar todos los fluxómetros descargando es  $(0.03)^n$ .

Ahora se considerará la probabilidad de que dos inodoros en particular, pero ninguno de los otros  $n-2$  muebles, se encuentren descargando en el instante arbitrario de observación elegido.

- Probabilidad de encontrar el primer fluxómetro descargando  $p$
- Probabilidad de encontrar el segundo fluxómetro descargando  $p$
- Probabilidad de no encontrar descargando el tercer fluxómetro  $1-p$
- Probabilidad de no encontrar descargando el cuarto fluxómetro  $1-p$

- Probabilidad de no encontrar descargando el quinto fluxómetro 1-p
- Probabilidad de no encontrar descargando el enésimo fluxómetro 1-p

La probabilidad de este evento compuesto en el instante elegido es:

$$P = (1 - p)^{n-2}p^2 \quad 2.8$$

Para inodoros operados con fluxómetro, si n=5, tenemos para este caso

$$(1 - p)^{n-2}p^2 = (1 - 0.03)^3(0.03)^2 = 0.00082$$

Ahora se puede analizar el caso más general en el cual dos cualesquiera de los n inodoros, pero ninguno de los otros n-2, se encuentran descargando en el instante arbitrario de observación elegido. Ya se ha expuesto que la probabilidad de encontrar descargando dos fluxómetros en particular, pero ninguno de los otros n-2, es  $(1-p)^{n-2}p^2$ . Ahora, existen tantas maneras de seleccionar dos fluxómetros de un grupo n de ellos como combinaciones de n objetos tomados dos a un tiempo. Y en el caso general, se desea determinar cuántas formas hay de seleccionar r objetos de un total n de ellos. En cualquier libro de probabilidad se puede encontrar la siguiente expresión:

$$C_r^n = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad 2.9$$

donde  $C_r^n$  es el símbolo para n objetos tomando r a un tiempo.

La expresión general para la probabilidad de que cualesquiera r muebles, y solo r, tomados de un total n se encuentren operando en cualquier instante de operación:

$$P_r^n = C_r^n (1 - p)^{n-r} p^r \quad 2.10$$

Cuando se observe el sistema, ciertamente encontraremos un número r de n muebles en operación, donde r puede tener un valor de 0 a n.

En la teoría de la probabilidad, la certeza es representada por la unidad. De aquí que si se suman todas las probabilidades representadas por la ecuación 2.10, que es la probabilidad de un evento particular tomado de aquellos mencionados, se tendrá la relación:

$$p_r^n = \sum_{r=0}^{r=n} C_r^n (1 - p)^{n-r} p^r = 1 \quad 2.11$$

Debe notarse que la ecuación 2.10 representa un término de la ecuación 2.11, y ésta representa la expansión binomial de  $[p+(1-p)]^n$ . Así, la distribución que tiene que aplicarse en este problema es de tipo de expansión-binomial.

Ahora puede determinarse el número m de muebles tomados de un total n que deberán asumirse en operación simultánea con el propósito de determinar el gasto máximo instantáneo

del sistema. Una vez que se establezca el valor de m, el gasto máximo instantáneo se obtiene multiplicando m por el gasto promedio demandado por un mueble.

$$Q_{mi} = mq \tag{2.12}$$

El criterio que será usado para un diseño adecuado es el siguiente:

Se considerará que el sistema opera satisfactoriamente si está diseñado de tal forma que suministre adecuadamente la demanda simultánea para un número m de los muebles que integran el sistema de manera que los m muebles no se encontrarán en operación simultánea en más de 1% del tiempo.

Esta condición se puede expresar como sigue:

$$P_0^n + P_1^n + P_2^n + \dots + P_{m-1}^n + P_m^n \geq 0.99 \tag{2.13}$$

siendo m el entero más pequeño para el cual esta relación es verdadera.

En esta ecuación  $P_0^n$  representa la probabilidad de encontrar a ninguno de los n muebles en operación, etc. El menor valor de m para el cual la ecuación 2.13 es cierta, da el número de muebles para el cual debe diseñarse el sistema.

La ecuación 2.13 produce el menor valor deseado de m, pero el cálculo es extremadamente laborioso, por lo que se han desarrollado métodos para reducir al mínimo posible esa labor. Se dispone de tablas que proporcionan la suma de series de la ecuación 2.13, o de

$$P_{m+1}^n + P_{m+2}^n + \dots + P_{n-1}^n + P_n^n \leq 0.01 \tag{2.14}$$

que también puede escribirse

$$\sum_{r=m+1}^{r=n} C_r^n (1-p)^{n-r} p^r \leq 0.01 \tag{2.15}$$

La cual corresponde a la forma dada en las tablas de distribución de probabilidad binomial, excepto que aquí la expresión 1-p reemplaza al símbolo q de las tablas. Estas tablas dan las sumatorias para valores de n superiores a 50. Otra compilación de tablas dan las sumatorias n superiores a 150.<sup>11</sup>

**Aplicación del método de Hunter a un sistema combinado**

Antes de determinar las curvas que dan el valor de m para varios valores de n de los tres tipos de accesorios considerados aquí – inodoros con fluxómetro, inodoros de tanque y bañeras –, se asumirán valores adecuados de t e i para estos accesorios. Hunter consideró ese problema en su artículo original y estableció los valores que se muestran en la **Tabla 2.01**.

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.



Tabla 2.01 Valores propuestos por Hunter para t e i de los accesorios.

Accesorios	t s	i s	t/i
Fluxómetros	9	300	0.03
Tanque	60	300	0.02
Bañera	60	900	0.067

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2)

Estos valores consideran las horas de máxima demanda o “periodo de punta”, por esto los valores de i son máximos para cualquier caso, excepto condiciones poco frecuentes como el caso de cuarteles militares o en una escuela durante los recesos. Esos casos requieren tratamiento especial.

Ahora puede procederse a determinar la relación entre m y n para los tres accesorios anteriores. Las tablas referidas al principio pueden usarse para este propósito para valores de n hasta 150. Sin embargo, se desea llegar a valores de n considerablemente más grandes que éste. Para este propósito se recurre a la sumatoria exponencial de Poisson que es una aproximación a las series dadas por la ecuación 2.14 y alcanza valores que son bastante aproximados para valores pequeños de p, por ejemplo para p arriba de 0.10 o 0.15.

La **Tabla 2.02** es la base para el cálculo de las curvas de probabilidad para los accesorios de la instalación que serán considerados en lo que sigue. Los valores de np son los correspondientes a la probabilidad de que más de m accesorios no se encontrarán operando simultáneamente más de 1% del tiempo. Estos valores de np vs m deben ser usados para probabilidades p en exceso de 0.15.

Para p=0.20, este método da resultados que son aproximadamente 10 % más altos.

Para obtener el valor de n correspondiente a un valor de m dado, se divide el valor de a correspondiente al valor asumido de m, entre el valor de p para el tipo de accesorio involucrado.

Durante el tiempo que ha transcurrido desde que Hunter estableció valores de las frecuencias de uso de varios accesorios por una operación sencilla y, en general, el diseño de los accesorios de plomería, han cambiado bastante, de manera que estos valores deben actualizarse. Sin embargo, eso no se hará aquí, aunque los valores de Hunter y las curvas que él derivó seguirán analizándose en el presente texto dado que constituyen las bases de las tablas de gastos de muchos manuales de plomería y la diferencia entre sus curvas y las que podrían derivarse de manera que se representen mejor las condiciones de hoy en día, no diferirán significativamente. Las relaciones entre m y n para fluxómetros, tanques de w.c. y bañeras se dan en la **Figura 10**.

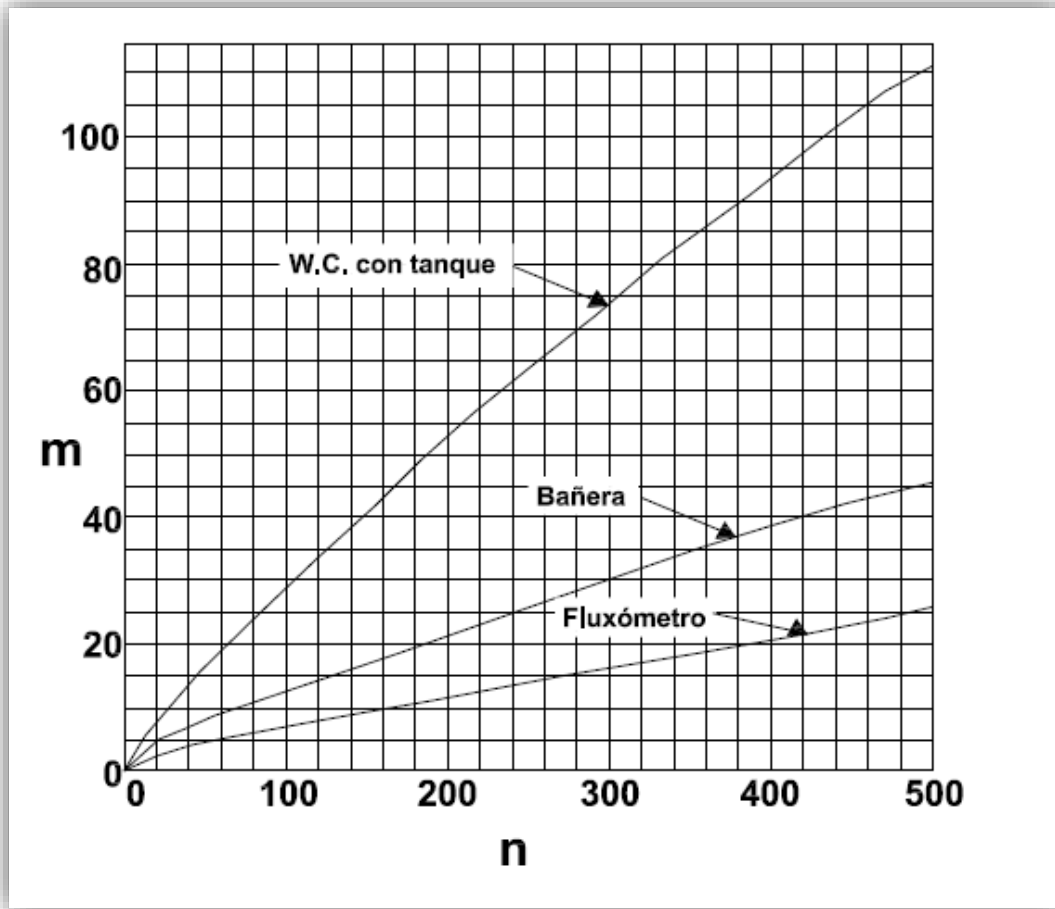


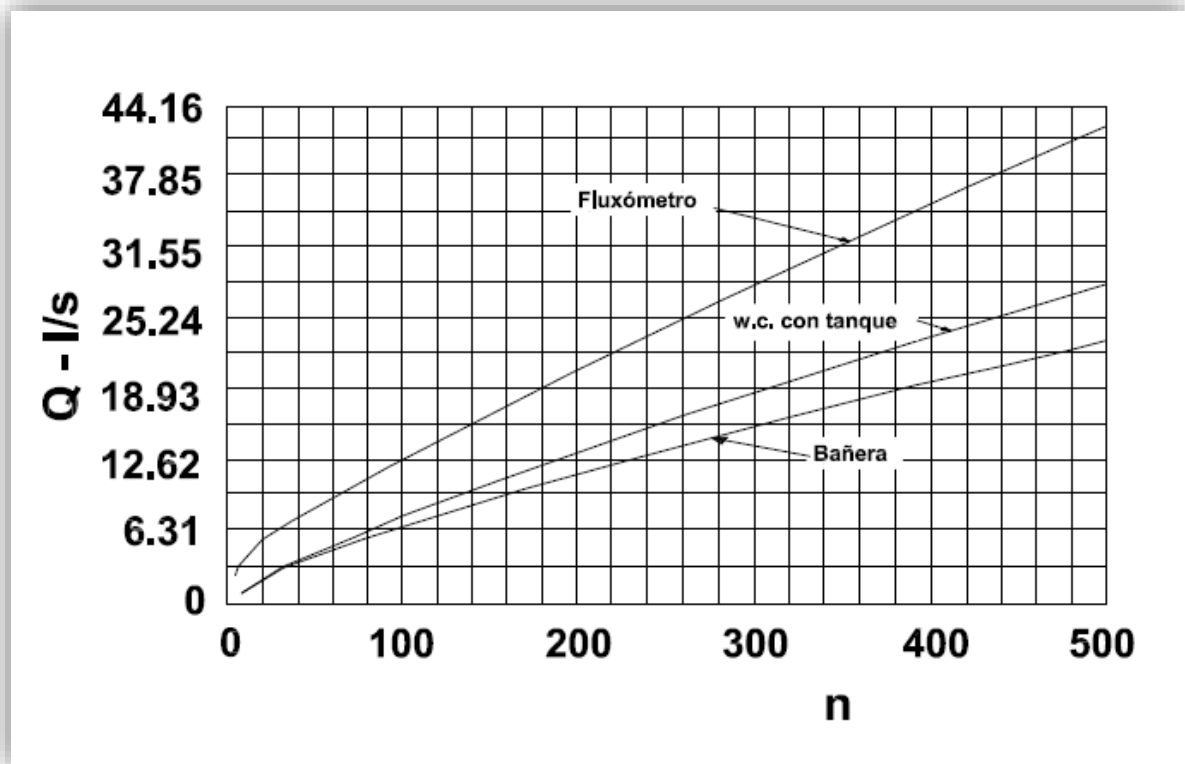
Figura 10. Relaciones entre m y n para fluxómetros, tanques de w.c. y bañeras. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2.)

Tabla 2.02 Valores de np correspondientes a valores de m sumatoria de probabilidad de Poisson.

m	a=np	m	a=np
1	0.25	18	10.30
2	0.60	20	11.80
3	0.95	25	16.25
4	1.35	30	19.50
5	1.85	35	23.45
6	2.35	40	27.50
7	2.90	45	31.55
8	3.50	50	35.65
9	4.10	60	44.15
10	4.75	70	52.85
12	6.00	80	61.55
14	7.42	90	70.30
16	8.85	100	79.00

Fuente: (Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2)

El siguiente paso es multiplicar los valores de  $m$  correspondientes a valores dados de  $n$  para fluxómetros para el gasto promedio que se asume que entrega cada válvula durante una descarga. De acuerdo con Hunter se asume que este gasto es  $q = 1.70$  l/s. Efectuando esta multiplicación se obtiene la curva para fluxómetros de la **Figura 11**. Puede seguirse el mismo proceso para depósitos (o tanques de w.c.) y bañeras, asumiendo que  $q = 0.25$  l/s y  $0.5$  l/s, respectivamente obteniendo las curvas para estos accesorios que se muestran en la **Figura 11**.



**Figura 11.** Curva para fluxómetros. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2.)

Así, si se tuviera un sistema integrado enteramente por  $n$  tanques operando a la frecuencia asumida, se entraría a la curva de tanques para w.c. de la **Figura 11** para leer el gasto de diseño en las ordenadas. El mismo procedimiento puede usarse para bañeras y fluxómetros.

Sin embargo, en realidad los sistemas no están constituidos por un mismo tipo de accesorios exclusivamente, sino que existe una cantidad de lavabos, tarjas, bañeras y varios accesorios especiales. No sería correcto proporcionar una curva para cada accesorio y sumar los gastos obtenidos de la curva de los tres accesorios, si se hiciera esto se estaría sobrediseñando el sistema, debido a la adición de gastos de varios grupos de diferentes tipos de accesorios, ya que para un sistema dado, no es cuestión de una simple adición, porque la función de probabilidad debe intervenir en el resultado. En otras palabras, si obtuvimos un gasto de diseño en particular para  $n_1$  fluxómetros, otro gasto de diseño para  $n_2$  tanques de w.c. y todavía otro gasto de diseño para  $n_3$  bañeras en un sistema dado, no puede obtenerse el gasto de diseño para un sistema como un todo sumando los tres gastos obtenidos para los grupos individuales de diferentes tipos de

accesorios, dado que el verdadero gasto de diseño del sistema será menor que esta suma. El procedimiento para combinar la contribución de gastos de los diferentes tipos de accesorios puede hacerse con base en la teoría de la probabilidad, pero el proceso es demasiado complicado para ser de uso práctico.

Hunter desarrolló un método muy ingenioso para lograr eso, aunque desde luego al ser una simplificación da resultados que son sólo aproximados, en comparación con los resultados más precisos de la teoría de la probabilidad.

Hunter concibió la idea de asignar “factores de carga” o “unidades de peso a los diferentes tipos de accesorios para representar el grado al cual cargan un sistema hidráulico cuando se usan a la misma frecuencia asumida.

Los factores de carga de fluxómetros, tanques de w.c. y bañeras relacionados con el sistema de abastecimiento se determinan como se muestra en la **Tabla 2.03a**, que ha sido preparada a partir de la **Figura 11**. Primero se le asigna arbitrariamente un factor de carga o peso de 10 a un fluxómetro. Puede verse en la **Figura 11** que el número de fluxómetros, tanques de w.c. y bañeras que corresponde a un flujo de 9.46 l/s son 57, 133 y 164 respectivamente. Esto es, la carga en un sistema integrado por 57 inodoros equipados con fluxómetros y usados con la frecuencia promedio especificada arriba no excedería probablemente 9.46 l/s más de 1% del tiempo. Lo mismo es verdad para un sistema que cuente con 133 inodoros equipados con fluxómetro o para un sistema consistente de 164 bañeras. En la **Tabla 2.02a** se tabulan valores de n determinados para los tres accesorios: fluxómetros, tanques y bañeras para gastos de 12.62, 15.77 y 18.93 l/s que cubre un ámbito adecuado de gastos.

**Tabla 2.03a Unidades muebles de algunos aparatos.**

Demanda (l/s)	Fluxómetros		Tanques de W.C.		Bañeras	
	Número de muebles n	Peso f	Número de muebles n	Peso f	Número de muebles n	Peso f
9.46	57	10	133	4.29	164	3.48
12.62	97	10	187	5.19	234	4.15
15.78	138	10	245	5.63	310	4.45
18.83	178	10	307	5.80	393	4.53
Peso promedio		10		5.25		4.15
Valor seleccionado		10		5.00		4.00

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2)

Refiriéndose ahora a la **Tabla 2.03a** y un gasto de 9.46 l/s, multiplicamos 10 unidades mueble por 57 y dividimos por 133 para obtener el correspondiente rango unidad mueble de 4.29 unidades para tanques a este gasto. Los otros rangos unidades mueble individuales de la **Tabla 2.03a** están calculados de la misma manera.

**Tabla 2.03b Unidades muebles de algunos aparatos.**

Demanda (l/s)	Fluxómetros		Tanques de W.C.		Bañeras	
	n	fn	n	fn	n	fn
9.46	57	570	133	665	164	656
12.62	97	970	187	935	234	936
15.78	138	1380	245	1225	310	4.45
18.83	178	1780	307	1535.00	393	4.53

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2)

Aparentemente los rangos de unidades mueble de los tanques y bañeras incrementan relativamente el rango de unidad mueble de fluxómetros conforme el gasto se incrementa. Sin embargo, la proporción parece llegar a un límite para ambos, tanques y bañeras, en lugar de incrementarse indefinidamente. De aquí que los rangos de unidad mueble para tanques y bañeras son promediados sobre un ámbito de gastos considerados, con los resultados mostrados en el fondo de la **Tabla 2.03a**. Las incertidumbres en el proceso para determinar gastos de diseño son tan grandes que no hay objeción en expresar los rangos de unidades mueble para estos tres accesorios redondeando al entero más cercano sobre la escala de 10, para fluxómetros. De aquí que el rango de unidad mueble de un tanque será tomado con el número 5 y el de la bañera con el número 4, estos son los mismos números adoptados por Hunter.

En la **Tabla 2.04** se muestran las unidades mueble obtenidas para los diferentes tipos de muebles y aparatos sanitarios.<sup>11</sup>

**Tabla 2.04 Alimentaciones. Equivalencia de los muebles en unidades de gasto.**

MUEBLE O APARATO	TIPO DE SERVICIO	TIPO DE CONTROL	UNIDAD MUEBLE
Inodoro	Público	Tanque	5
Inodoro	Público	Fluxómetro	10
Fregadero	Hotel, restaurante	Llave	4
Lavabo	Público	Llave	2
Mingitorio de pared	Público	Tanque	3
Mingitorio de pared	Público	Fluxómetro	5
Regadera	Público	Mezcladora	4
Tina de baño	Público	Llave	4
Vertedero	Oficina	Llave	3
Cuarto de baño	Privado	WC tanque	6
Cuarto de baño	Privado	WC Fluxómetro	8
Inodoro	Privado	Tanque	3
Inodoro	Privado	Fluxómetro	6
Fregadero	Privado	Llave	2
Lavabo	Privado	Llave	1
Lavadero Llave de jardín	Privado	Llave	3
Regadera	Privado	Mezcladora	2
Tina de baño	Privado	Llaves	2
Lavadora	Privado	Llaves	3

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 2)

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

### 2.1.6 Anteproyecto de instalaciones hidráulicas y sanitarias

Para el anteproyecto de las instalaciones hidráulicas y sanitarias es necesario conocer la información arquitectónica, que consiste en contar con los planos de la plataforma habitacional amueblada, que muestren sus vistas en planta y perfil, para desarrollar sobre ellos los anteproyectos de las instalaciones y para estimar en forma preliminar la capacidad de cada equipo. En los planos del anteproyecto arquitectónico se debe mostrar la localización de los sanitarios, cocinas, cuartos de lavado, así como el tipo de muebles y aparatos sanitarios.

Para el trazo de las redes de distribución en los edificios se hacen las siguientes recomendaciones:

- Las líneas de tubería se deberán trazar de tal manera que tengan un recorrido mínimo y el menor número posible de piezas especiales.
- El trazo deberá ser paralelo a los ejes principales de la estructura.
- Las tuberías de las instalaciones hidráulicas deberán trazarse paralelas y agrupadas.
- Las tuberías no deben pasar sobre equipos eléctricos ni por lugares que puedan ser peligrosos para el personal de mantenimiento.
- Las tuberías no deben trazarse de tal forma que atraviesen elementos estructurales.
- Los distribuidores y derivaciones deben trazarse por circulaciones del edificio para facilitar los trabajos de mantenimiento.

Para el anteproyecto de la instalación hidráulica y sanitaria deben realizarse planos de localización general de equipos, plantas de tubería aérea, elevaciones y detalles de tubería aérea, isométricos de los circuitos de tuberías (por servicios).<sup>11</sup>

### 2.1.7 Diseño del sistema de presión independiente

De acuerdo a lo visto en el tema anterior, el abastecimiento a la red interior de distribución de agua potable en una plataforma habitacional es llevado a cabo mediante un sistema de presión independiente o sistema de tanque hidroneumático.

El sistema de presión independiente es una modernización del método de abastecimiento de agua por medio de tanque elevado. Su principal propósito es controlar una presión de suministro limitada, de tal manera que el abastecimiento de agua sea continuo y satisfactorio, además de estar disponible para todas instalaciones que opera el sistema.

El diseño de este tipo de sistemas puede dividirse en dos partes: el primero es el diseño de la red de distribución interior, que consiste en obtener los diámetros de sus distribuidores, columnas y derivaciones; y la segunda es el diseño del sistema de tanque hidroneumático, que consiste en determinar las características que deben tener principalmente el tanque y el equipo de bombeo, así como el determinar los niveles de operación de estos elementos.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

<sup>12</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 3. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

### 2.1.7.1 Diseño de la red interior de distribución

Una vez que se ha calculado el gasto máximo instantáneo en todas las secciones de la red, se determina el diámetro de las tuberías proponiendo una velocidad, entre los límites recomendados, utilizando la siguiente ecuación, que se obtiene de la de continuidad:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Conocido el diámetro teórico se elige el diámetro comercial adecuado, el cual dependerá del material de la tubería.

Conocida el área interior de la sección del tubo y el gasto máximo instantáneo se calcula la velocidad real del flujo del agua en la tubería usando la ecuación de continuidad.

Para el diseño de la red de distribución se recomienda que la velocidad del flujo del agua en las tuberías se sitúe entre 1 y 1.5 m/s.<sup>11</sup>

### 2.1.7.2 Diseño del sistema de tanque hidroneumático

La selección del equipo para un sistema hidroneumático involucra los siguientes puntos:

- Determinación del gasto máximo instantáneo ( $Q_{mi}$ )
- Selección de la capacidad del equipo de bombeo
- Determinación de las presiones máxima y mínima requeridas en el tanque
- Selección conveniente del tamaño del tanque y establecimiento de los niveles superior e inferior de operación.

La determinación del gasto máximo instantáneo por el método de Hunter ya se ha estudiado en este tema.

#### **Determinación de las presiones en la bomba**

Los requerimientos de presión de un sistema hidroneumático, se definen mediante los siguientes pasos:

- Determinar la carga estática, en metros, desde la fuente de abastecimiento del edificio hasta el mueble más desfavorable, de la instalación.
- Calcular la pérdida de energía, en metros, a través de la línea de tubería, incluyendo pérdidas en la succión y en la descarga, válvulas y accesorios.
- Establecer los requerimientos mínimos de presión en el mueble más desfavorable (generalmente  $0.3 \text{ kg/cm}^2$ ). Si el mueble más desfavorable es una válvula de fluxómetro se requiere una presión mayor para una operación apropiada, ( $1 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Establecer el diferencial de presión deseado (normalmente  $1.4 \text{ kg/cm}^2$ ), aunque diferenciales mayores pueden contribuir a una eficiencia mayor del sistema y deberá revisarse para determinar el mejor valor aceptable.

<sup>11</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

- Protección contra incendio. Cuando el sistema considera capacidad para el combate de incendios, es deseable mantener una presión mínima de  $2.8 \text{ kg/cm}^2$  en el tanque, aun cuando los cálculos indiquen que una presión menor es adecuada para requerimientos domésticos

### Capacidad de las bombas

La bomba o bombas para un sistema hidroneumático deben estar en posibilidad de operar entre una gama de presiones de descarga, variando entre la alta y la baja del tanque. Generalmente la baja y no la alta es la que determina el punto base para la selección de la bomba.

Considerando un sistema hidroneumático en operación real, en el nivel superior la bomba o bombas no actúan. Cuando el agua sale del tanque, la presión y el nivel del agua bajan y por lo tanto la bomba arranca. El nivel inferior de agua deberá ocurrir cuando la demanda está creciendo a su valor máximo. Por lo tanto para prevenir que el nivel de agua siga decreciendo, la bomba debe estar al parejo de la demanda.

Es de notar que la presión del tanque en su nivel inferior caerá ligeramente debajo de la mínima de diseño, mientras la bomba toma velocidad, pero en la práctica esto no tiene ningún efecto adverso en la operación del sistema. En algunas condiciones puede parecer objetable, entonces que la presión del tanque se eleve unos cuantos  $\text{kg/cm}^2$ , después de que el sistema ha sido instalado.

Cuando se usa una sola bomba, su capacidad deberá ser aproximadamente 1.5 veces el gasto máximo instantáneo a presión baja. Los controles para bombas dúplex son arreglados generalmente de tal manera que la segunda bomba arranque en caso de que el nivel continúe bajando cuando esté operando una sola bomba. Es conveniente que cada bomba funcione cuando menos al gasto máximo y a la presión más baja.

Habiéndose seleccionado la bomba o bombas para cubrir los requisitos de baja presión, la descarga a la alta presión deberá ser verificada solamente para asegurar si es la correcta, de tal manera que la bomba no funcione continuamente.

La característica de las bombas centrífugas es de hecho, que la potencia al freno aumenta con la disminución de la presión de descarga, y el tamaño del motor para las bombas que alimentan un tanque hidroneumático también debe estar basado en la baja presión.

Para asegurar que las bombas cubran las necesidades de diseño, las especificaciones deben dar los gastos de bombeo, tanto en baja como en alta presión.

Para determinar el tamaño de las bombas se toma en cuenta la carga positiva en la entrada.



**Determinación de las presiones de trabajo del tanque y los niveles de agua**

**Nivel bajo de agua (NBA)**

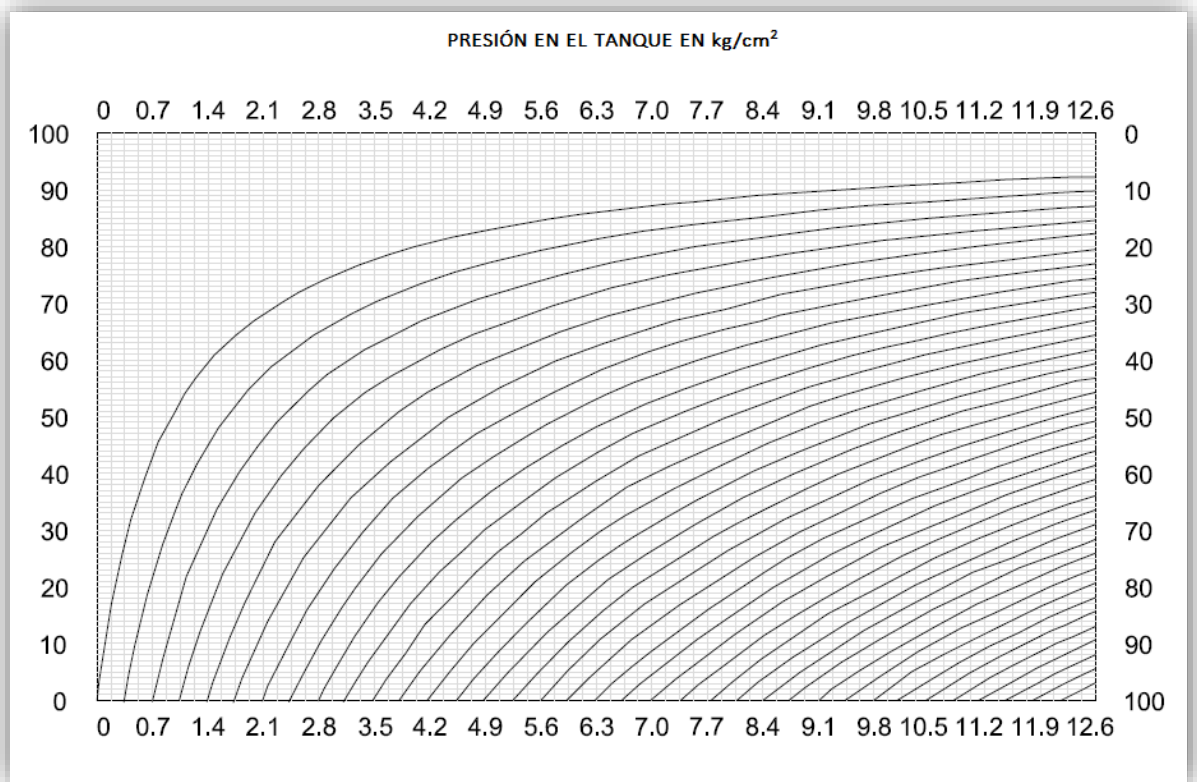
Es el menor nivel establecido en el tanque que corresponde a la presión más baja a partir de la cual el sistema está diseñado para operar. Normalmente el NBA se establece de tal manera que al menos el 10% de la capacidad total del tanque quede por debajo de ese nivel, como un colchón de agua para evitar la posibilidad de pérdida de aire en el tanque.

**Nivel alto de agua (NAA)**

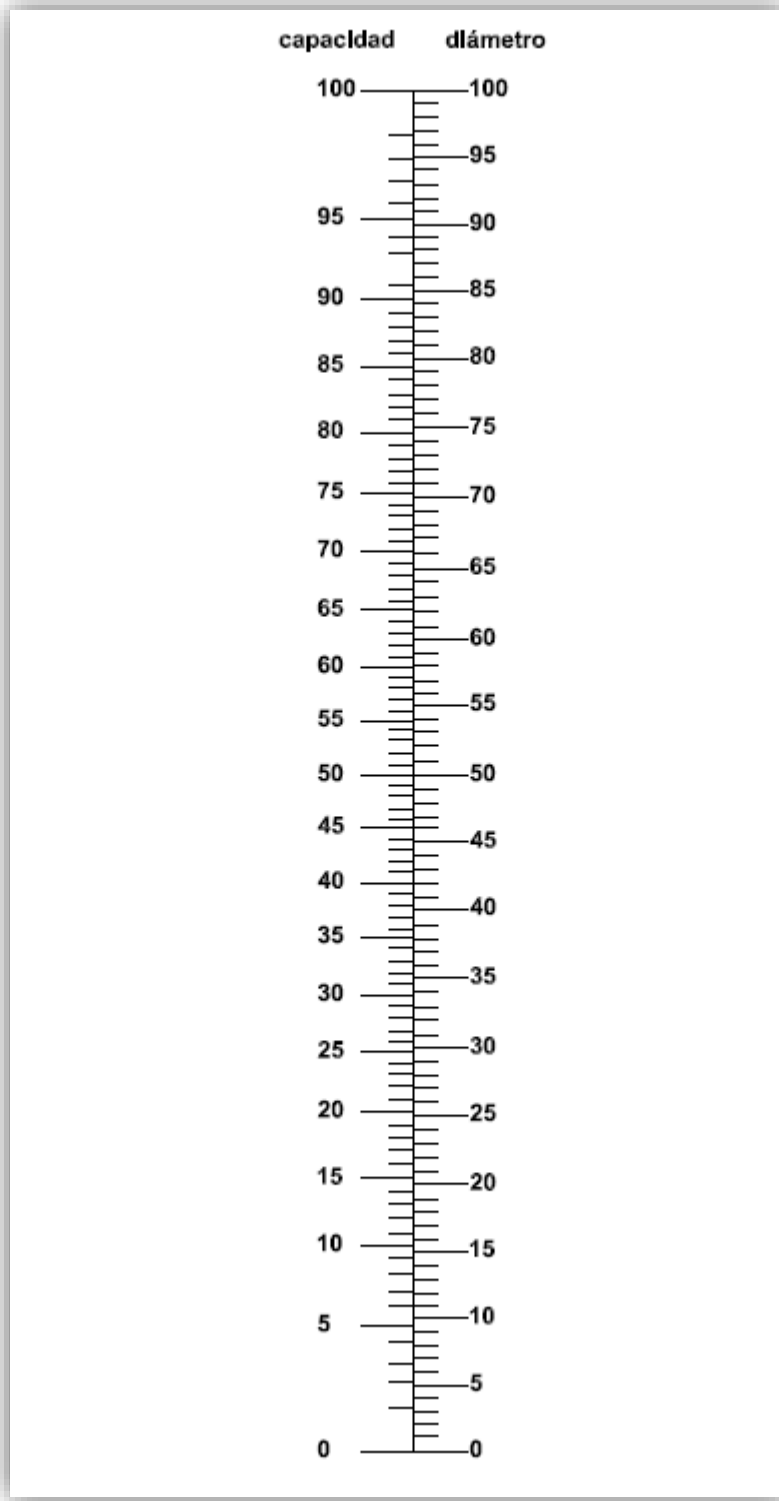
Es el nivel superior establecido en el tanque, que corresponde a la presión más alta bajo la cual el sistema está diseñado para operar.

**Selección del diferencial de presión**

Seleccionando el mejor diferencial de presión de operación, pueden determinarse fácilmente los niveles de control en el tanque, los diferenciales de bombeo y la eficiencia del tanque usando las curvas de las **Figuras 12 y 13**



**Figura 12.** Diferencias de volumen y presión para tanques hidroneumáticos. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 3.)



**Figura 13.** Conversión de la capacidad de la altura para tanques horizontales cilíndricos.  
(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 3.)

Refiriéndose a la curva de la **Figura 12** se debe empezar en el punto que indica una reserva del 10% del volumen en el tanque y seguir esa línea horizontal hasta donde se intersecte la línea vertical de presión de 2.8 kg/cm<sup>2</sup>. Seguir la curva de presión más cercana hasta donde se intersecta con la línea vertical de 4.2 kg/cm<sup>2</sup>. Entonces por interpolación se determina el punto que indique el porcentaje que ocupará el agua con respecto a la capacidad total del tanque. El nivel de agua equivalente a dicho porcentaje del volumen del tanque, establece el NAA deseado.

El diferencial de bombeo es el diferencial de volumen entre el NBA y el NAA en el tanque. Este diferencial expresado en porcentaje, también indica la eficiencia del tanque.

### Determinación de la capacidad y tamaño del tanque mediante la ley de Boyle

El tamaño del tanque hidroneumático es muy arbitrario. En sí el problema requiere propiamente las relaciones entre la presión alta y baja, los respectivos niveles de agua y la cantidad que debe ser desalojada del tanque.

### Tanques verticales

Considerando un tanque cilíndrico vertical como el mostrado en la **Figura 14**. Las relaciones básicas a partir de la ley de Boyle, son:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad 2.16$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad 2.17$$

y como

$$V_1 = \frac{\pi D^2 h_3}{4} \quad \text{y} \quad V_2 = \frac{\pi D^2 h_4}{4}$$

entonces:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_4}{h_3}$$

La cantidad de agua desalojada entre el nivel superior e inferior puede ser expresada como sigue:

$$\text{Agua disponible} = V_2 - V_1 = \frac{\pi D^2 (h_4 - h_3)}{4}$$

Como debe de evitarse la entrada de aire al sistema de distribución, se dejará un volumen de agua que permanezca debajo del nivel inferior, de un 10% del volumen total del tanque.

Por lo tanto la altura mínima del nivel inferior arriba de la salida del tanque es "h<sub>2</sub>" y la altura máxima de este nivel al tope del tanque es "h<sub>4</sub>", definiéndose de la siguiente manera:

$$h_4 \text{máxima} = 0.90H \quad 2.18$$

$$h_2 \text{mínima} = 0.10H \quad 2.19$$

de la **Figura 14**

$$h_1 \text{máxima} = H - h_3$$

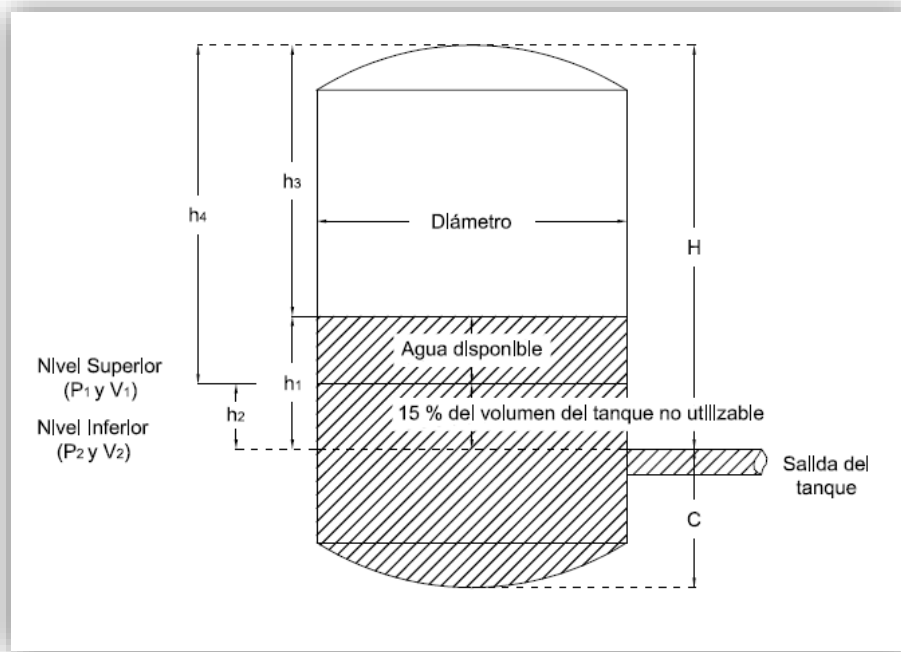
pero:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{h_4}{h_3} \quad \text{por lo que:} \quad h_3 = h_4 \frac{P_2}{P_1}$$

como  $h_4 = 0.90H$ , entonces:

$$h_4 \text{mínima} = 0.90H \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad 2.20$$

$$h_1 \text{máxima} = H - h_3 = \left[ 1 - 0.90 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \right] \quad 2.21$$



**Figura 14.** Relaciones de nivel-volumen de un tanque vertical.  
(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 3.)

Donde  $H$  es la altura nominal del tanque medida a partir de la salida del tanque. En el caso de que la salida sea en el fondo, " $H$ " representará la altura total del tanque.

Las ecuaciones 2.19 y 2.21 representan los niveles inferior y superior respectivamente, para la máxima cantidad de agua que puede desalojar el tanque, para una combinación particular de

presiones. El efecto de la curvatura en los extremos no se toma en cuenta en ambas ecuaciones. Si se considera otro valor diferente del 10% en el volumen de agua que debe permanecer en el tanque, las ecuaciones 2.19 y 2.21 serán diferentes.

### Tanques horizontales

En el caso de un tanque horizontal los cálculos se complican más, ya que el volumen no es proporcional a la altura, como se ve en la **Figura 15**.

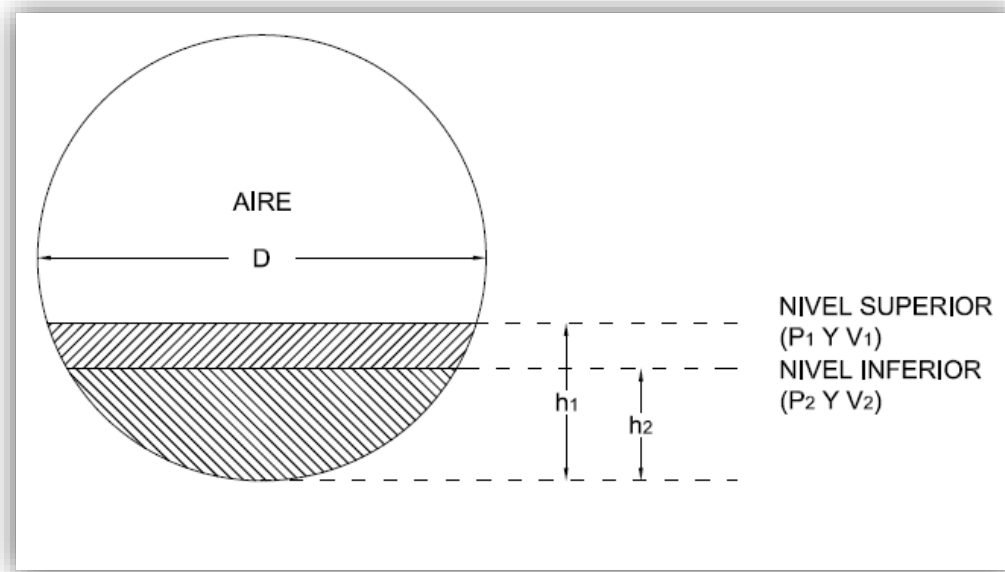
El diseño de tanques horizontales puede hacerse por medio del nomograma mostrado en la **Figura 16**, que se construye con la ecuación de Boyle ( $P_1V_1 = P_2V_2$ ) para el volumen de aire en un tanque hidroneumático, donde:

$P_1$  = Presión inicial (alta) en  $kg/cm^2$ .

$P_2$  = Presión final (baja) en  $kg/cm^2$ .

$V_1$  = Volumen inicial de agua a la presión  $P_1$ , expresado en porcentaje del volumen total del tanque.

$V_2$  = Volumen final de agua a la presión  $P_2$ , expresado en porcentaje del volumen total del tanque.



**Figura 15.** Relaciones de nivel-volumen de un tanque horizontal. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 3.)

El nomograma se construyó de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación } P_2V_2 = P_1V_1$$

Tomando logaritmos:

$$\log P_2 \log V_2 = \log P_1 \log V_1$$

haciendo

$$\log P_2 \log V_2 = q \quad 2.22$$

$$\log P_1 \log V_1 = q \quad 2.23$$

Las escalas para la ecuación (a) son:

$$X = M_1 \log P_2$$

$$Y = M_2 \log P_2$$

$$Z = M_3 q$$

y las escalas para la ecuación (b) son:

$$Z = M_3 q$$

$$S = M_4 \log P_1$$

$$W = M_5 \log V_1$$

La graduación de P2, P1 y V2 comienza en cualquier parte a lo largo de su eje, pero un punto de partida para la graduación de la escala V1, se determina de acuerdo con tres valores P2=P20, V2=V20 y P1=P10, que satisfagan la ecuación. Para mayor facilidad se trazarán sobre las escalas V1 y V2 las alturas de agua h1 y h2 respectivamente, en porcentaje de diámetro del tanque.

### Forma de uso del nomograma

Una vez fijados los requisitos de presión alta y baja en el nomograma, se traza una línea que una los dos valores de presiones correspondientes a las escalas P1 y P2. Del punto donde esta línea corta la línea índice, se traza otra a la escala V2 que es el valor mínimo aceptable a nivel inferior. Por lo tanto esta línea corta a la escala V1 y se leerá también el volumen de agua a nivel superior y simultáneamente los valores h1 y h2 equivalentes a los volúmenes V1 y V2.

Entonces:

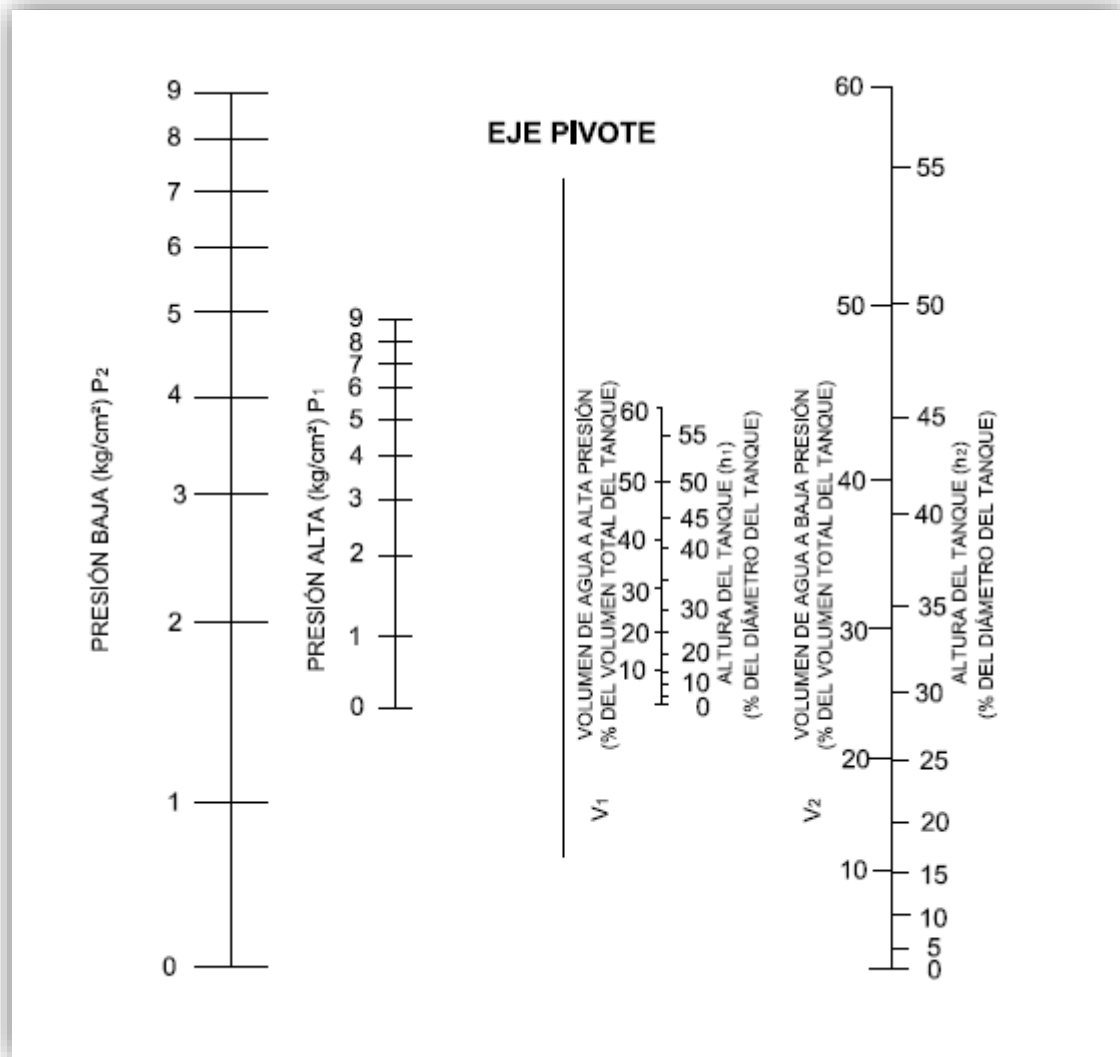
$$\text{volumen del tanque} * (V_1 - V_2) = \text{Aguadisponible desalojada}$$

$$h_1 * D = \text{nivel superior del agua (en las mismas unidades que D)}.$$

$$h_2 * D = \text{nivel inferior del agua (en las mismas unidades que D)}.$$

Para cualquier par de presiones alta y baja en el tanque hidroneumático, habrá una infinidad de niveles de agua. Sin embargo, solamente una combinación dará la máxima cantidad de agua que debe desalojar el tanque. Obviamente, la gran porción de volumen ocupado por el aire comprimido a nivel superior, será mayor cuando el agua se desaloje por la expansión del aire. En el

tanque horizontal como en el caso del tanque vertical, el nivel inferior ocupa el 10% del volumen total.



**Figura 16.** Relaciones entre presiones y niveles de agua en tanques hidroneumáticos horizontales. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 3.)

El volumen de agua que permanece en el nivel inferior debe ser medido por encima de la salida del agua. En todas las ilustraciones del tanque horizontal y todos los cálculos hechos se supuso la salida en el fondo del mismo. En el caso de que la salida sea en uno de los extremos, el 10% mínimo debe ser tomado como una cantidad arriba de la salida, se agrega al volumen representado por “a” el 10% requerido. (Todos los requisitos se pueden obtener en el nomograma). Este volumen (a la altura b) representará entonces el volumen del nivel inferior y será empleado en lugar del 10% normal.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 3. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

## 2.2 Suministro de agua caliente

La instalación de agua caliente se constituye por un calentador, con tanque acumulador, una tubería que transporta el agua caliente hasta la toma más alejada.

En instalaciones medianas y grandes es necesario el uso de una conducción de retorno que devuelve el agua enfriada no utilizada al calentador. De esta forma se mantiene una circulación y el agua caliente sale en seguida, sin la necesidad de esperar a que salga agua fría por ninguna llave.

La instalación de agua fría y de agua caliente sólo difieren en algunos aspectos, como son: el volumen de agua que se consume y el sistema para elevar la temperatura.

La instalación para el suministro de agua caliente se puede considerar como una parte del sistema de agua fría, de hecho, la demanda de agua caliente está incluida en la de agua fría. El uso de agua caliente en plataformas marinas habitacionales varía según las especificaciones de cada proyecto. El diseño de los sistemas de agua caliente es muy parecido a los de agua fría, solo se tiene que considerar el paso del agua por una fuente de energía calorífica que aumentará su temperatura, en el caso una plataforma marina habitacional se utilizan calentadores eléctricos diseñados para ambiente marino.

Las **Tablas 2.05 y 2.06** muestran la demanda estimada de agua caliente para varios tipos de edificios y diferentes muebles.

**Tabla 2.05 Demandas de agua caliente en litros por hora por mueble (a temperatura final de 60°C).**

MUEBLE O APARATO	GIMNASIO	HOTEL	PLANTA INDUSTRIAL
Lavabo privado	8	8	8
Lavabo público	30	45	45
Tinas	110	110	110
Lavadora de platos		75/380	75/380
Fregadero cocina		75	75
Lavadora chica			
Vertedero pastry			
Regadera	850	850	850
Vertedero		75	75
Factor de demanda	0.4	0.25	0.4
Factor de la capacidad de almacenamiento (*)	1	0.8	0.8

(\*)Relación de la capacidad del tanque de almacenamiento y la probable demanda máxima por hora

(Fuente: Documento de la clase de suministro y evacuación de agua para edificios)



**Tabla 2.06 Demanda estimada de agua caliente por persona en diferentes tipos de edificios.**

TIPO DE EDIFICIO	DEMANDA MÁXIMA HORARIA EN RELACIÓN AL USO DIARIO	DURACIÓN EN HORAS DE LA CARGA PICO	CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO	AGUA CALIENTE NECESARIA (litros/persona/día)
Residencial, apartamentos, hoteles, etc.	1/7	4	1/5	1/7	150
Restaurantes 3 comidas al día	1/10	8	1/5	1/10	

(Fuente: Documento de la clase de suministro y evacuación de agua para edificios)

### 2.3 Instalación de evacuación de aguas residuales

La instalación de evacuación de aguas residuales es el conjunto de tuberías, conexiones y accesorios, cuya finalidad es evacuar rápidamente las aguas ya empleadas e impedir el paso al interior de la edificación de los gases que se conducen en los tubos.

Las aguas residuales generadas dentro de una plataforma habitacional provienen del empleo de agua potable y agua de servicios suministrada en:

- Tanques de almacenamiento de agua potable, paquete hidroneumático de agua potable, paquete de aire de planta e instrumentos y sistema de agua caliente (agua de servicios).
- Sistema contra incendio, paquete hidroneumático de agua de mar, paquete de filtros de malla ancha para agua de mar, paquete de filtros de malla fina para agua de mar, válvulas de control de flujo (FV) y válvulas de relevo de presión (PSV) del sistema de agua de mar y potabilizadoras (agua de servicios).
- Drenaje sanitario de la plataforma habitacional y de la cocina (agua potable).

Las aguas residuales provenientes del drenaje sanitario de la plataforma habitacional están formadas por la mezcla de dos tipos de aguas, que son:

- a) Las que provienen de inodoros y urinarios; éstas tienen un alto contenido de bacterias y arrastran un porcentaje elevado de materias sólidas y elementos orgánicos.
- b) Las que se denominan amarillas o grises, que provienen de los aparatos sanitarios exceptuando los inodoros y urinarios; estas son aguas relativamente sucias y arrastran por lo general, muchos elementos en disolución, así como grasas, jabones, detergentes, etcétera.<sup>13</sup>

#### 2.3.1 Red interior de evacuación de aguas residuales

Las tuberías de una red interior de evacuación de aguas residuales, se clasifican de acuerdo a su función en: desagües, ramales o derivaciones, columnas o bajantes, albañales o colectores y sistema de ventilación.

Los desagües son los tubos que reciben la descarga de los muebles o aparatos sanitarios; su diámetro deberá ser igual al diámetro de salida del mueble, estandarizado por los fabricantes.

<sup>13</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 4. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

Los ramales o derivaciones son las tuberías horizontales que recogen el agua de varios muebles de un mismo nivel de la edificación, se recomienda que se instalen bajo la losa o bajo el piso a un nivel inferior al de los aparatos sanitarios para que los desagües tengan la pendiente adecuada.

Las columnas o bajantes son las tuberías que transportan las aguas residuales hasta el primer nivel de la edificación.

Los albañales o colectores son las tuberías horizontales instaladas en el primer nivel, que reciben las aguas residuales de las columnas o bajantes y las conducen hasta un albañal principal que transporta el gasto hasta el cabezal de descargas correspondiente. En donde concurren dos o más albañales, en los cambios de dirección y entre tramos rectos de no más de diez metros de albañal, deberá construirse un registro, que es una estructura con tapa hermética, cuya función es permitir la inspección del albañal.

El sistema de ventilación son las tuberías o red de tuberías, que se conectan con el sistema de evacuación de aguas residuales para impedir que los malos olores puedan entrar en la edificación y para asegurar que la instalación trabajará a gravedad, evitando los problemas de sifonamiento.<sup>13</sup>

### 2.3.2 Diseño de la instalación de evacuación de aguas residuales

La instalación de evacuación de aguas residuales está constituida por la red de evacuación propiamente dicha y la red de ventilación.

La red de evacuación puede ser de dos tipos:

- Unitaria o combinada, que consiste en recolectar las aguas de lluvia y residuales en la misma red.
- Separada, que consiste en construir dos redes independientes, una para aguas de lluvia y otra para aguas residuales.

El diseño de la red de evacuación de las aguas residuales de un edificio se hace fundamentalmente partiendo de datos empíricos, ya que un cálculo riguroso, aparte de su complejidad, no proporciona resultados prácticos dado que se dispone de unos diámetros comerciales, con una amplitud tan grande de unos a otros, que se anula la exactitud de un cálculo escrupulosamente matemático.

En el caso del diseño y construcción de plataformas marinas es posible que las redes de tuberías y accesorios se construyan a la medida, sin embargo, en este texto se presentará la metodología de diseño utilizada comúnmente en edificaciones que no se encuentran fuera de la costa.<sup>13</sup>

#### 2.3.2.1 Método de unidades mueble de gasto

Para el cálculo de los gastos vertidos por cada mueble sanitario, se adopta una unidad básica llamada unidad de descarga o unidad mueble de gasto, que engloba el doble concepto de gasto y simultaneidad.

<sup>13</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 4. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

Para fines de diseño las instalaciones se clasifican en tres clases:

- 1) Uso privado. Departamento, baños privados de hoteles y similares, destinadas al uso por un individuo o una familia.
- 2) Uso semipúblico. Oficinas, fábricas, ministerios, etc. Instalaciones ocupadas por el número limitado de personas que ocupan el edificio.
- 3) Uso público. Baños públicos en estaciones de ferrocarril, de autobuses, escuelas, cuarteles, etc., en donde no hay limitaciones de personas ni del número de usos.

**2.07 Unidades de descarga y diámetro mínimo en derivaciones y sifones de descarga.**

Clase de aparato	Unidad de descarga			Diámetro mínimo del sifón y de la derivación, en mm.		
	Clase			Clase		
	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
Lavabo	1	2	3	35	35	35
W.C.	4	5	6	80	80	80
Tina	3	4	4	40	50	50
Cuarto de baño completo	7	2	2	80	80	80
Ducha	2	3	3	40	50	50
Urinario suspendido	2	2	2	40	40	40
Irinario vertical	2	4	4	40	50	50
Fregadero en viviendas	3	4	4	40	50	50
Fregadero restaurante						
Vajilla	3	3	6	40	80	80
Alimentos	2	3	6	40	50	50
Lavadero						
Ropa	3	3	6	40	40	50
Laboratorio	2	3	6	40	40	50
Vertedero	8	2	6	100	40	50
Fuente de beber	1	1	1	35	35	35
Recolección de agua de lluvia						
a) Intensidad máxima: 17 cm/hora, cada 17 m <sup>2</sup>	1	3	3	50	50	50
b) Intensidad máxima: 20 cm/hora, cada 8.5 m <sup>2</sup>	1	3	3	50	50	50

**Tabla** (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

Puede asignarse un número de unidades de descarga a cada aparato sanitario, que es distinto para clase de instalación, debido a la frecuencia de uso del mismo.

La unidad de descarga sirve para estimar los gastos de los distintos aparatos sanitarios, se ha establecido igual a 28 litros por minuto, que es aproximadamente el valor de la descarga de un lavabo de uso privado. **La Tabla 2.07** presenta las unidades de descarga para cada mueble según la clase de instalación.

### Diseño de derivaciones

Las derivaciones se calculan sumando todas las unidades de descarga que desalojará la derivación, en función de la pendiente con la que está instalada. La **Tabla 2.08** presenta la capacidad de las derivaciones para conducir unidades de descarga según su diámetro y pendiente de instalación.

El diámetro mínimo de una derivación que colecta la descarga de 2 w.c. es 80 mm.

Para derivaciones con ángulos de 45° o mayores, el diámetro se calcula como para columnas verticales.

**Tabla 2.08 Unidades de descarga y diámetro en derivaciones según su pendiente**

Diámetro de la derivación de un sistema de colector (mm)	Máximo número de unidades de descarga		
	Pendiente		
	1%	2%	4%
35	1	1	1
40	2	2	2
50	5	6	8
70 (sin WC)	12	15	18
80 (sin WC)	24	27	36
80 (sin más de 2 WC)	12	18	21
100	84	96	114
125	180	234	280
50	330	440	580
200	870	1150	1680
250	1740	2500	3600
300	3000	4200	6500
350	6000	8500	13500

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

### Diseño de columnas

Para calcular el diámetro de las bajantes se requiere conocer el gasto, en unidades de descarga, de todos los aparatos que se vierten en la columna.

Las tablas que dan el diámetro deben tener en cuenta tres factores:

- 1) Número total de unidades de descarga recogidas en la columna.
- 2) Número de unidades de descarga que en cada planta vierten a la columna.
- 3) Altura de la columna.

El total de unidades de descarga por planta tiene un límite para cada diámetro, pues la capacidad de descarga de la columna debe estar repartida a lo largo de aquella, y una

concentración excesiva en una planta producirá insuficiencia del diámetro de la columna en el punto en el que se conecte la derivación.

La altura de la columna influye también en el diámetro adoptado. Cuanto mayor es, más resistencia a fluir encuentra el aire aspirado, por el efecto de émbolo que produce el agua descargada en la columna, y más fácil es que se produzca sifonamiento en los aparatos. Por esto para una altura grande hay que aumentar el diámetro para facilitar el flujo del aire.

En cuanto a la velocidad de caída del agua, no alcanza valores excesivos, debido a las resistencias por rozamiento. El agua adquiere su velocidad máxima a una distancia relativamente corta del punto de partida y después ya no aumenta; por lo tanto, la altura de la columna influye poco en esa velocidad.

**Tabla 2.09 Diámetro de columnas de aguas residuales**

Diámetro de la columna en mm	Columnas de aguas residuales		
	Máximo número de unidades		Longitud máxima de la columna
	Por planta	En toda la columna	
40	3	8	18
50	8	18	27
70	20	36	31
80	45	72	64
100	190	384	91
125	350	1020	119
150	540	2070	153
200	1200	5400	225

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

El diámetro mínimo de la columna donde descarguen w.c. es 80 mm.

La tabla supone columnas empotradas. Si van a descubierto conviene usar el diámetro superior inmediato.

### Diseño de colectores

Las tablas que dan el diámetro de los colectores toman en cuenta el número de unidades de descarga colectadas y la pendiente del tubo.

El diámetro del colector no será nunca menor al de la columna de mayor diámetro cuyo caudal recoja.

Tabla 2.10 Diámetro de colectores de aguas residuales.

Diámetro del colector en mm	Colectores de aguas residuales		
	Máximo número de unidades de descarga		
	Pendiente		
	1%	2%	4%
35	1	1	1
40	2	2	3
50	7	9	12
70	17	21	27
80	27	36	48
100	114	150	210
125	270	370	540
150	510	720	1050
200	1290	1860	2640
250	2520	3600	5250
300	4390	6300	9300

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

El diámetro mínimo para colectores con descarga de 1 w.c. será de 80 mm, con descarga de más de 2 w.c. será de 100 mm.<sup>13</sup>

### 2.3.2.2 Diseño de red de ventilación

#### Derivaciones

Un tubo de ventilación correspondiente a un sólo aparato debe tener el mismo diámetro que la derivación de descarga, considerado el aparato en la primera clase, hasta el máximo de 50 mm. En w.c. y vertederos será de 50 mm.

La **Tabla 2.11** da el diámetro para derivaciones trabajando como múltiple cuando recogen otras derivaciones simples, estando el diámetro del múltiple en función de las unidades de descarga de todos los aparatos que sirve.

Tabla 2.11 Diámetros de derivaciones.

Grupo de aparatos con WC		Grupo de aparatos con WC	
Unidades descarga	Diámetro ventilación	Unidades descarga	Diámetro ventilación
1	35	Hasta 17	50
2 a 8	40	18 a 36	60
9 a 18	50	37 a 60	70
19 a 36	60	-	-

(Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

<sup>13</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 4. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

**Columnas**

El diámetro de las columnas se determina en función del diámetro de la columna de descarga a que corresponde, del total de unidades de descarga a que sirve, y de la longitud de la columna misma.<sup>13</sup>

Diámetro de columna descarga mínima	Número de unidades descarga hasta	Diámetro de las columnas de ventilación								
		1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	7
Máxima longitud de la columna en metros										
35	1	14								
40	8	10	18							
50	18	9	15	27						
65	36	8	14	23	31					
80	12		10	36	55	64				
	18		6	21	55	64				
	24		4	15	40	64				
	36		2.5	11	28	64				
	48		2	10	24	64				
100	72		1.8	8	20	64				
	24			8	33	61	91			
	48			5	20	34	91			
	96			4	14	25	91			
	144			3	11	21	91			
	192				2.5	9	18	85		
125	264			2	6	16	73			
	384			1.5	5	14	61			
	72				12	20	76	119		
	144				9	14	54	119		
	288				6	10	37	119		
	432				5	7	28	97		
150	720				3	5	21	67		
	1020				2.4	4	17	55		
	144					8	31	104	153	
	288					6	21	67	153	
	576					3	13	46	128	
	864					2	10	38	97	
200	1296					1.8	8	28	73	
	2070					1.2	7	22	57	
	320						13	44	122	225
	640						9	25	79	225
	960						7	18	58	225
	1600						5	12	36	160
2500	2500						4	8	27	113
	4160						2	7	19	76
	5400						1.5	5	16	64

**Tabla 2.10** Diámetros de columnas de ventilación. (Fuente: Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 4)

<sup>13</sup> César V, Enrique. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 4. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

## CAPÍTULO III Consideraciones generales de las instalaciones hidráulicas y sanitarias del módulo habitacional de la plataforma habitacional Akal-C HAB.2

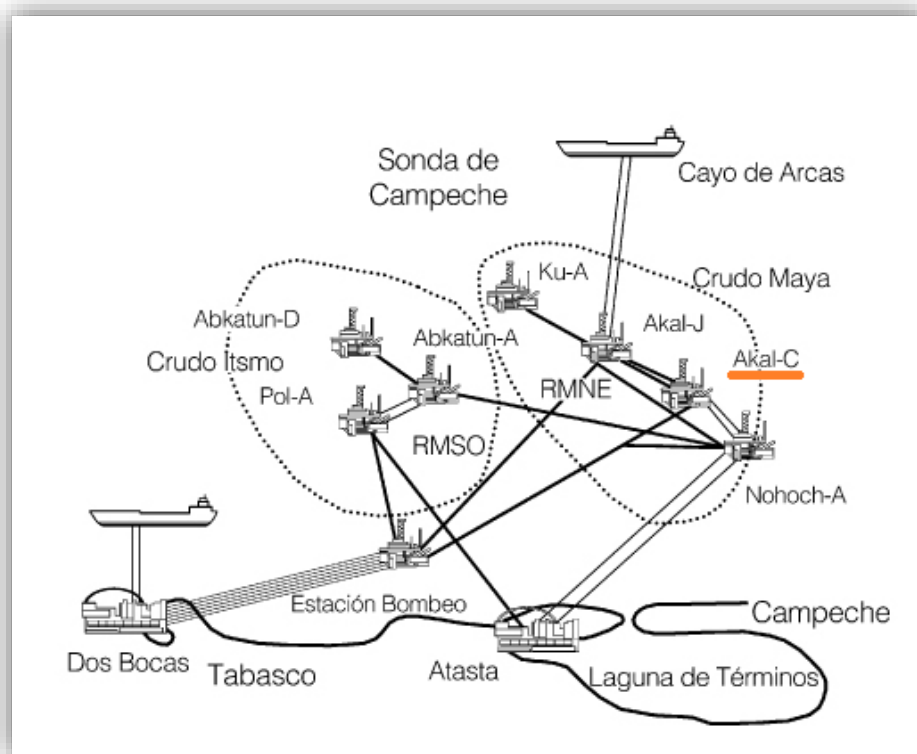
En este capítulo se presentan las consideraciones generales necesarias para el anteproyecto de las instalaciones hidráulicas y sanitarias del módulo habitacional en una plataforma habitacional costa afuera.

La plataforma Akal-C HAB.2 se encuentra actualmente en operación y da alojamiento a un promedio de 310 trabajadores, sin embargo, el proyecto fue diseñado originalmente para dar servicio a 250 personas.

### 3.1 Características generales

La plataforma habitacional Akal-CHAB.2 forma parte del centro de proceso Akal-C, considerado como el más extenso del mundo situado costa afuera.

Se ubica dentro del yacimiento petrolífero Akal, uno de los primeros que se descubrieron en la Sonda de Campeche.



**Figura 17.** Esquema de las instalaciones costa afuera: complejos de plataformas, oleoductos y monoboyas para la carga de buques tanque. Las líneas claras indican oleoductos, las gruesas gasoductos. (Fuente: PEMEX, 2002a.)





Figura 18. Akal-C. (Fuente: www.alcione.org.)

La plataforma Akal-C HAB.2 cuenta con las siguientes áreas, las cuales requieren instalaciones hidráulicas y sanitarias:

#### 2º Nivel

- Cuarto de aseo (2).
- Sauna.
- Cuarto de baño (habitación del administrador).
- Cuarto de baño (habitación del médico).
- Sanitarios comunes (cuarto recreativo, gimnasio, biblioteca, teatro y comedor).

#### 3º Nivel

- Cuarto de aseo.
- Cuarto de baño y sanitarios comunes para 124 personas (2).

#### 4º Nivel

- Cuarto de aseo.
- Cuarto de baño y sanitarios comunes para 124 personas (2).

## 3.2 Requerimientos del servicio

De acuerdo a la Especificación Técnica P.3.0100.01 (Módulos Habitacionales en Plataformas Marinas) de PEP y al apartado 2.1.6 (Anteproyecto de instalaciones hidráulicas y sanitarias) de este trabajo, los criterios de diseño arquitectónico que se consideran para el anteproyecto de las instalaciones hidráulicas y sanitarias son los siguientes:

### 3.2.1 Capacidad de alojamiento

Los espacios y servicios arquitectónicos deben diseñarse arriba de la capacidad de alojamiento requerida en las bases de usuario hasta un 10%, con el fin de cubrir posibles crecimientos futuros en ese rango, evitando ampliaciones costa afuera muy caras y complicadas de ejecutar.

$$\text{Capacidad de alojamiento} = (250 \text{ personas})(1.1) = 275 \text{ personas}$$

### 3.2.2 Autosuficiencia de servicios

Se debe disponer de potabilización de agua de servicios (agua desalada), calentamiento de agua potable, almacenamiento de agua potable fría y caliente, así como alimentación de agua potable fría y caliente.

### 3.2.3 Dimensiones y acotaciones del proyecto arquitectónico

Las dimensiones de las plantas de los ejes estructurales de las plataformas marinas que soportan los módulos habitacionales se indican en pies (0.3048 m) y deben indicar su equivalencia en metros.

### 3.2.4 Turnos laborales

El personal que se aloja debe cubrir 2 turnos de trabajo de 12 x 12 h, es decir, el módulo habitacional está en operación las 24 h del día, este requerimiento debe tomarse en cuenta para el diseño de las instalaciones hidráulicas y sanitarias, considerar un área habitacional confinada para el personal de guardia y personal operativo que labora en la noche y debe descansar en el día.

### 3.2.5 Ductos verticales para registro de las instalaciones

Cuando se manejen ductos centrales para instalaciones en general, estos deben zonificarse interiormente por sistema o disciplina, las instalaciones hidráulicas y sanitarias deben pasar por un ducto completamente independiente.

### 3.2.6 Servicios sanitarios

Deben considerarse núcleos de sanitarios generales, las dimensiones, materiales, o productos que integran los elementos de los locales sanitarios deben ser modulares.

Para zonas de concentración de personal como el comedor, oficinas generales, salas de proyección, áreas recreativas y área habitacional el número de muebles sanitarios en los sanitarios generales debe asignarse de acuerdo al siguiente criterio en la **Tabla 3.01**:

Tabla 3.01 Número de muebles sanitarios de acuerdo a la cantidad de personas a servir.

Capacidad	Inodoro	Mingitorio	Lavabo	Regadera
10 personas	2	2	2	2
Hasta 25 personas	4	4	4	3
Agregar por cada 25 personas	2	2	2	2

(Fuente: NRF-222-PEMEX-2009)

*Capacidad de alojamiento = 275 personas*

*Número de inodoros<sub>mínimo</sub> = 24*

*Número de mingitorios<sub>mínimo</sub> = 12*

*Número de lavabos<sub>mínimo</sub> = 24*

*Número de regaderas<sub>mínimo</sub> = 23*

De acuerdo al proyecto arquitectónico la plataforma Akal-C-HAB.2 cumple con dichos requerimientos ya que incluye los siguientes muebles sanitarios:

*Número de inodoros<sub>proyecto</sub> = 26*

*Número de mingitorios<sub>proyecto</sub> = 12*

*Número de lavabos<sub>proyecto</sub> = 24*

*Número de regaderas<sub>mínimo</sub> = 48*

Los muebles sanitarios se encuentran distribuidos en los cuartos de baño comunes del tercer y cuarto niveles y el sanitario común del segundo nivel.

### **Mobiliario sanitario**

Los muebles y accesorios sanitarios a instalar deben cumplir con las siguientes características:

- Deben ser fáciles de limpiar y no favorecer la acumulación de materias pesadas.
- Deben ser economizadores de agua.
- Sus accesorios deben ser capaces de trabajar con de mar previamente filtrada.
- Deben fabricarse de materiales resistentes al uso pesado.

### 3.2.7 Dotación mínima y capacidad de almacenamiento

En este apartado se hará referencia la tabla 3.1 del capítulo 3 de la Norma Técnica Complementaria para el proyecto arquitectónico del RCDF, ya que no se cuenta con dicha información en la normatividad de PEP, por lo tanto la provisión mínima de agua potable en servicios sanitarios para servicios de alojamiento será de 300 l/persona/día.

Tomando en cuenta que se debe tener una capacidad de almacenamiento suficiente para cubrir la demanda de 5 días continuos, tenemos que:

$$V = (300l/persona/día)(275personas)(5días) = 412500l = 412.5m^3$$

El sistema de agua caliente debe recibir agua de la potabilizadora para calentarla y enviarla, la capacidad del sistema de calentamiento, debe ser para los requerimientos de la cocina y los baños de todas las habitaciones. Su localización debe ser lo más cercana al sistema de agua potable.

Para realizar un estimado de la demanda de agua caliente se considera un 30% del agua fría.

$$Agua\ caliente = (300l/persona/día)(0.3)(275persona) = 24750l/día = 24.75m^3/día$$

Para estimar el volumen de aguas residuales generada por día se considera un 70% de la dotación.

$$Aguas\ residuales = (300l/persona/día)(0.7)(275persona) = 57750l/día = 57.75m^3/día$$

## 3.3 Plantas arquitectónicas y trazo de las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

En este apartado se presentan las plantas arquitectónicas de la plataforma Akal-C HAB.2 y el trazo de las líneas de tuberías de la instalación hidráulica y sanitaria.

3.3.1 Primer nivel (nivel 19.100 m)

El equipo necesario para la operación de las instalaciones hidráulicas y sanitarias del módulo habitacional, de la plataforma se encuentra distribuido en el primer nivel (Figura 17).

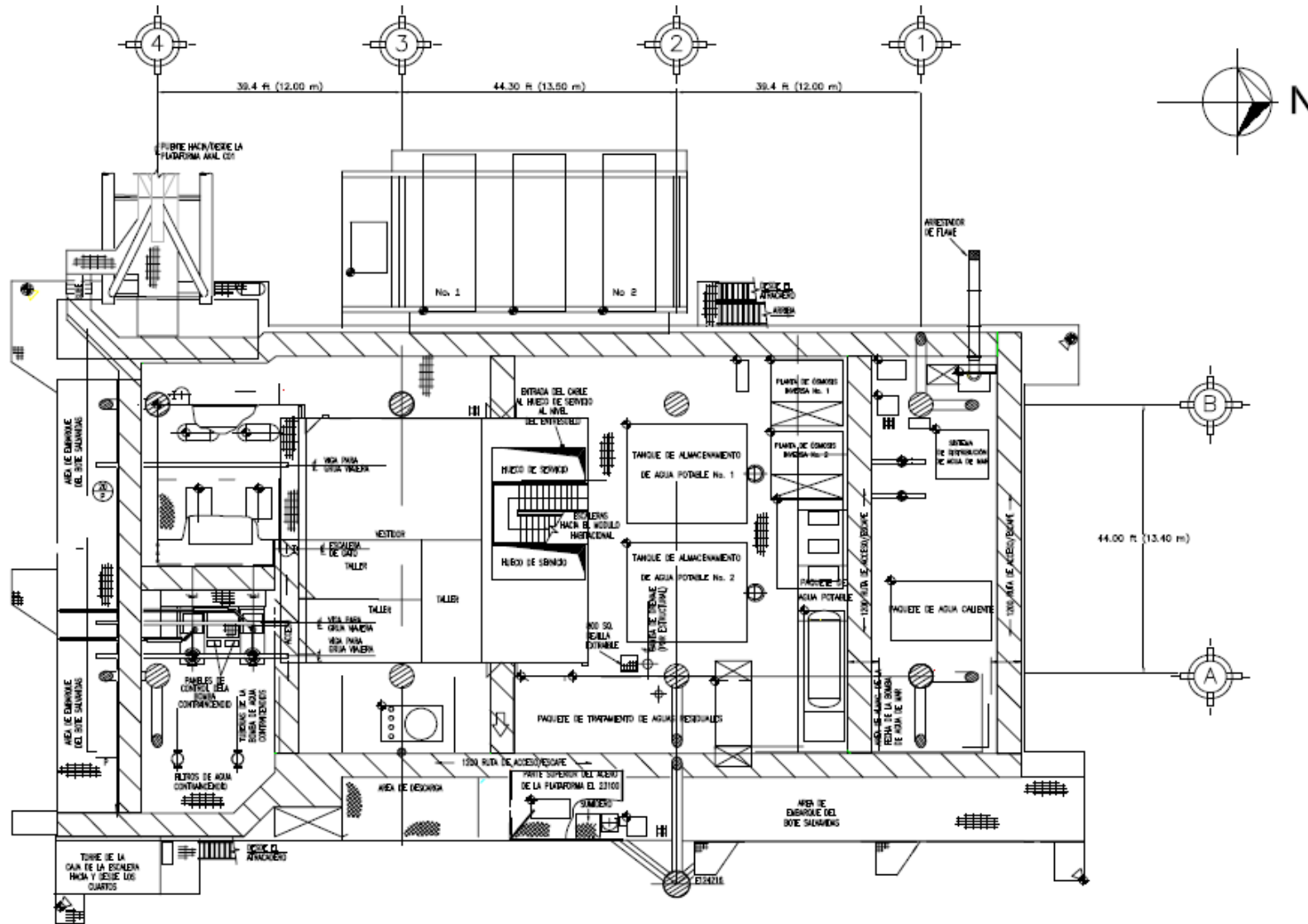


Figura 19a. Primer nivel Plataforma Akal-C HAB.2.

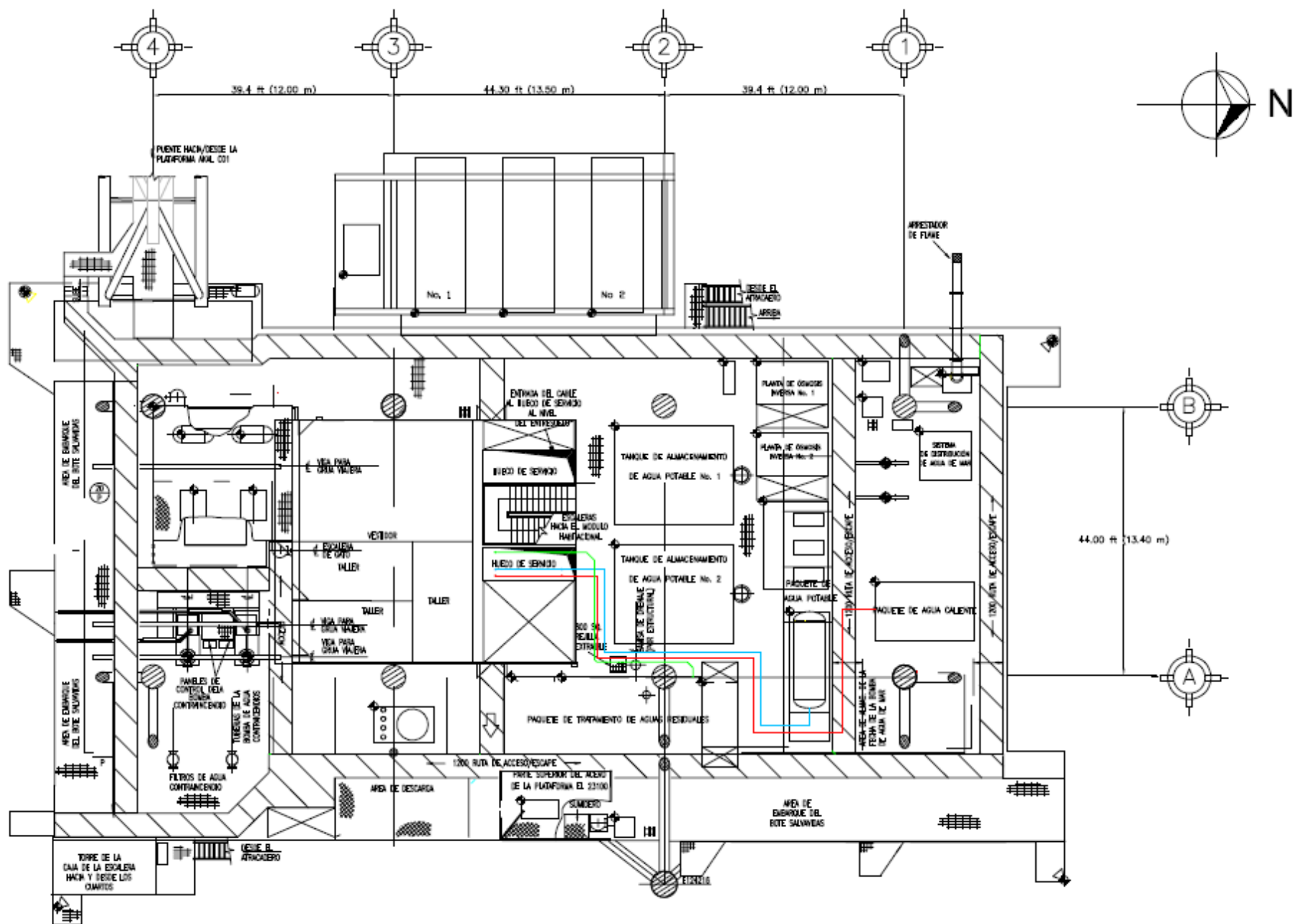


Figura 19b. Líneas de tuberías de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en el primer nivel de la plataforma Akal-C HAB.2

3.3.2 Segundo nivel (nivel 26.600 m)

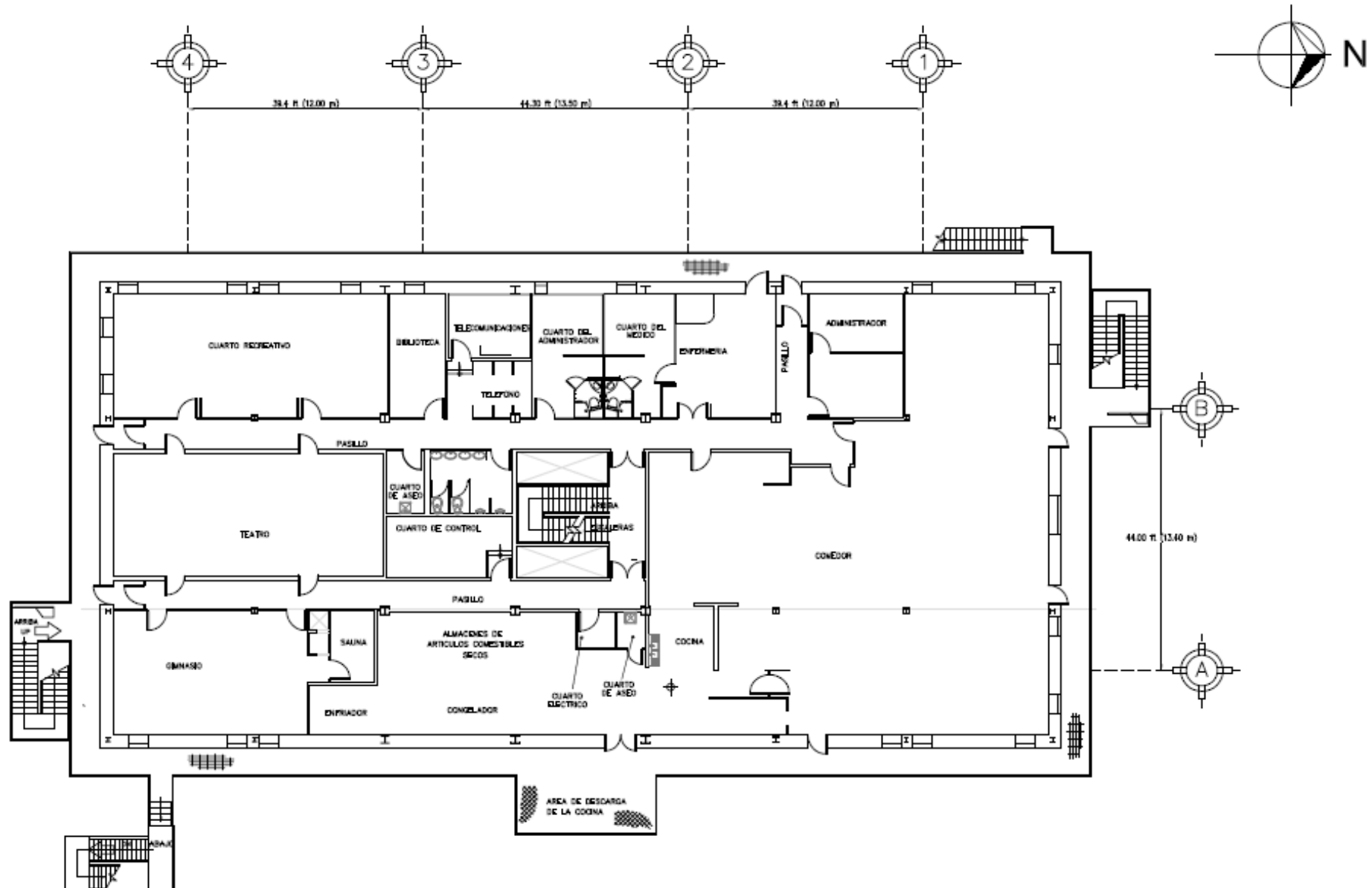


Figura 20. Segundo nivel Plataforma Akal-C HAB.2.

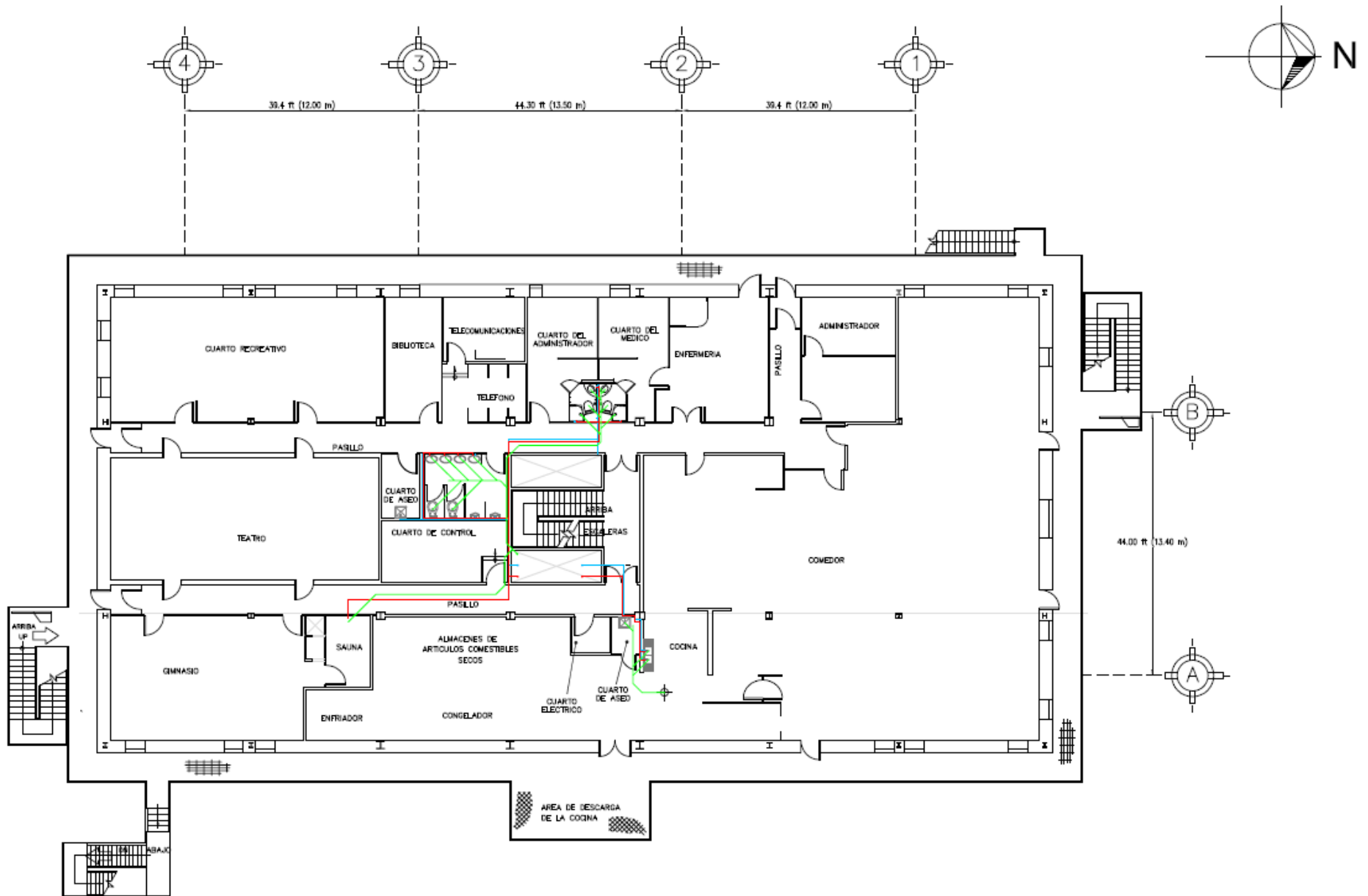


Figura 20b. Líneas de tuberías de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en el segundo nivel de la plataforma Akal-C HAB.2



3.3.1 Tercer y cuarto nivel (nivel 31.600 m y 34.600 m)

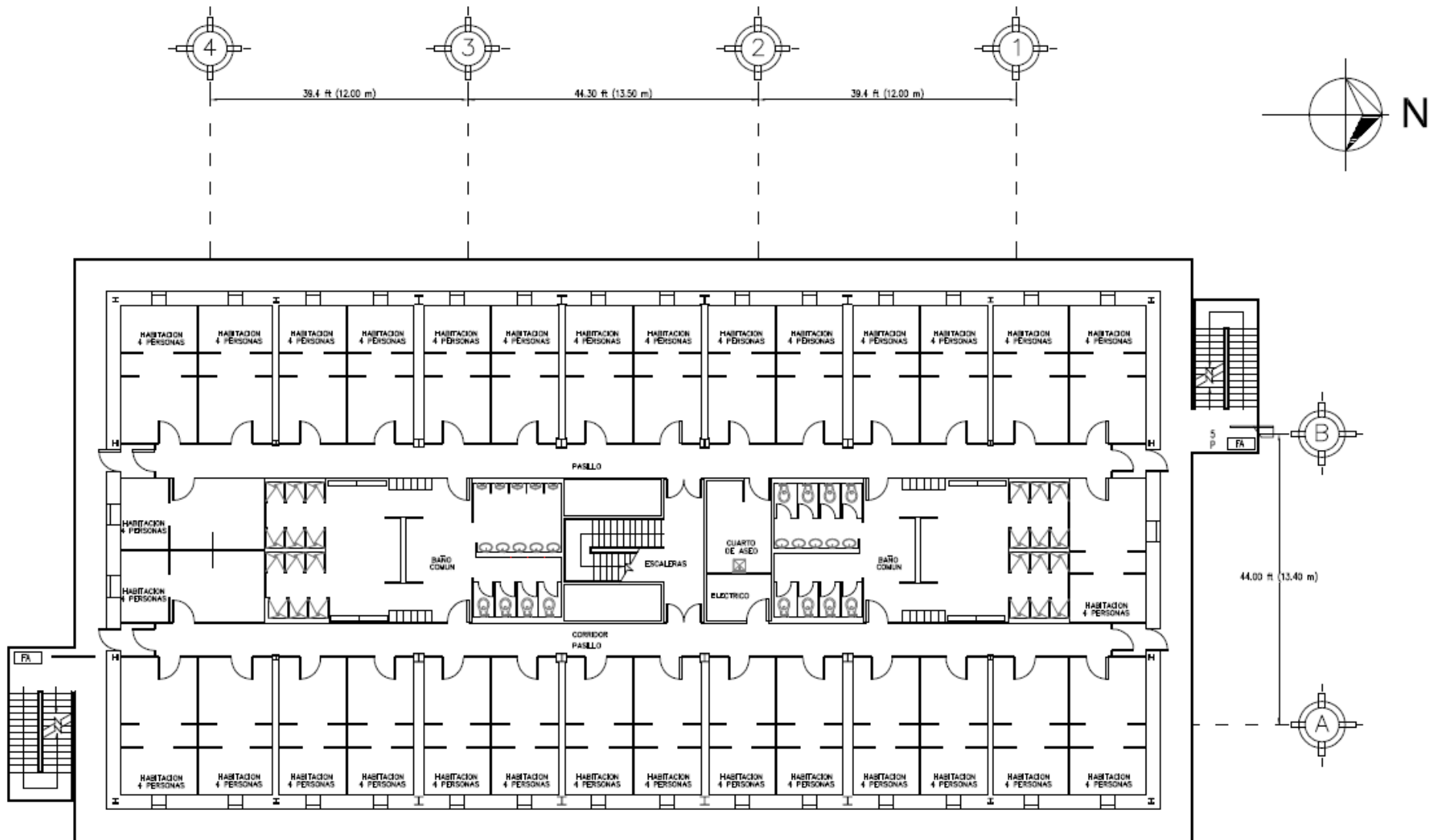


Figura 21a. Tercer y cuarto nivel Plataforma Akal-C HAB.2.

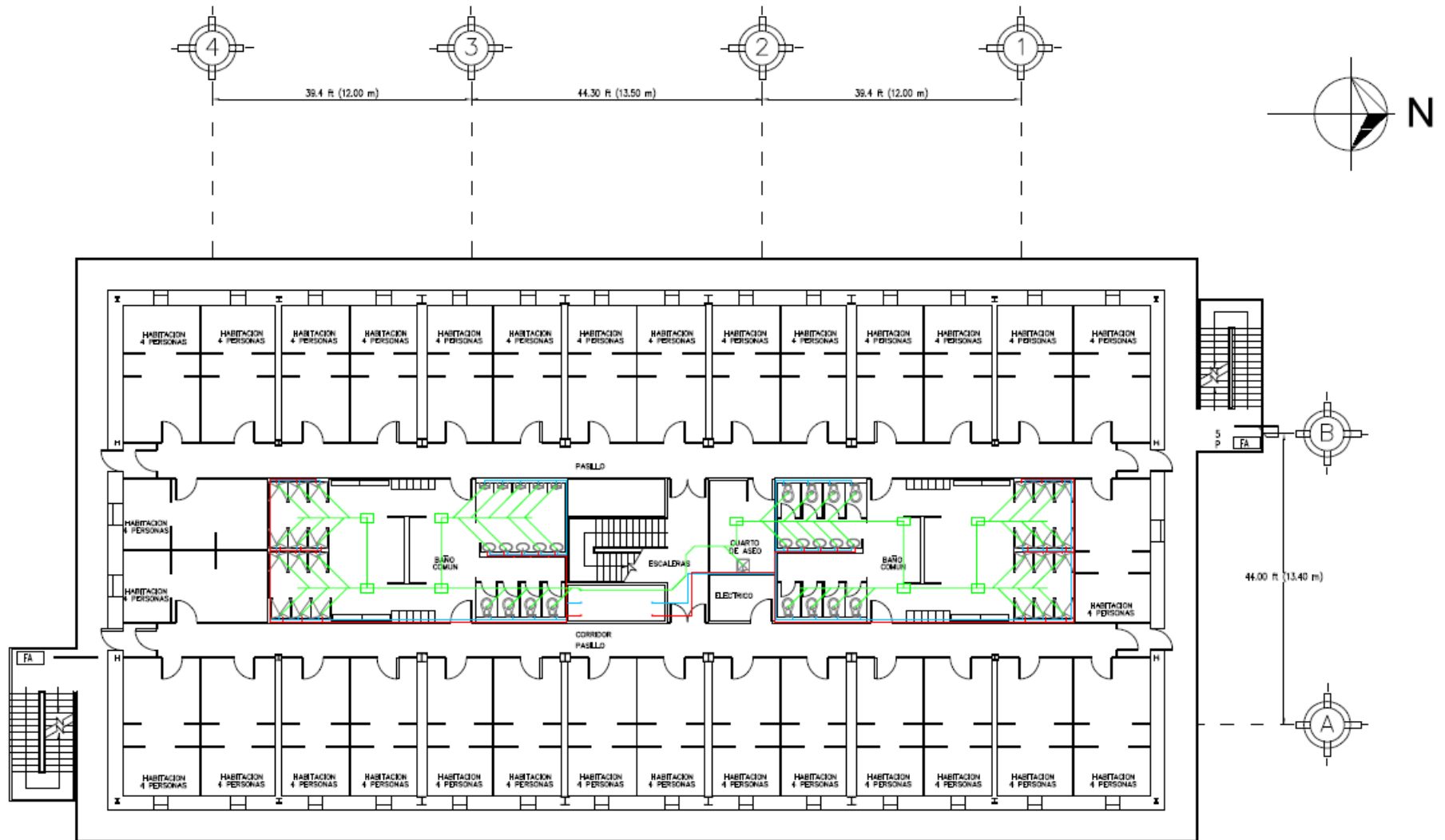


Figura 21b. Líneas de tuberías de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en el tercer y cuarto nivel de la plataforma Akal-C HAB.2

### 3.3 Isométricos de las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

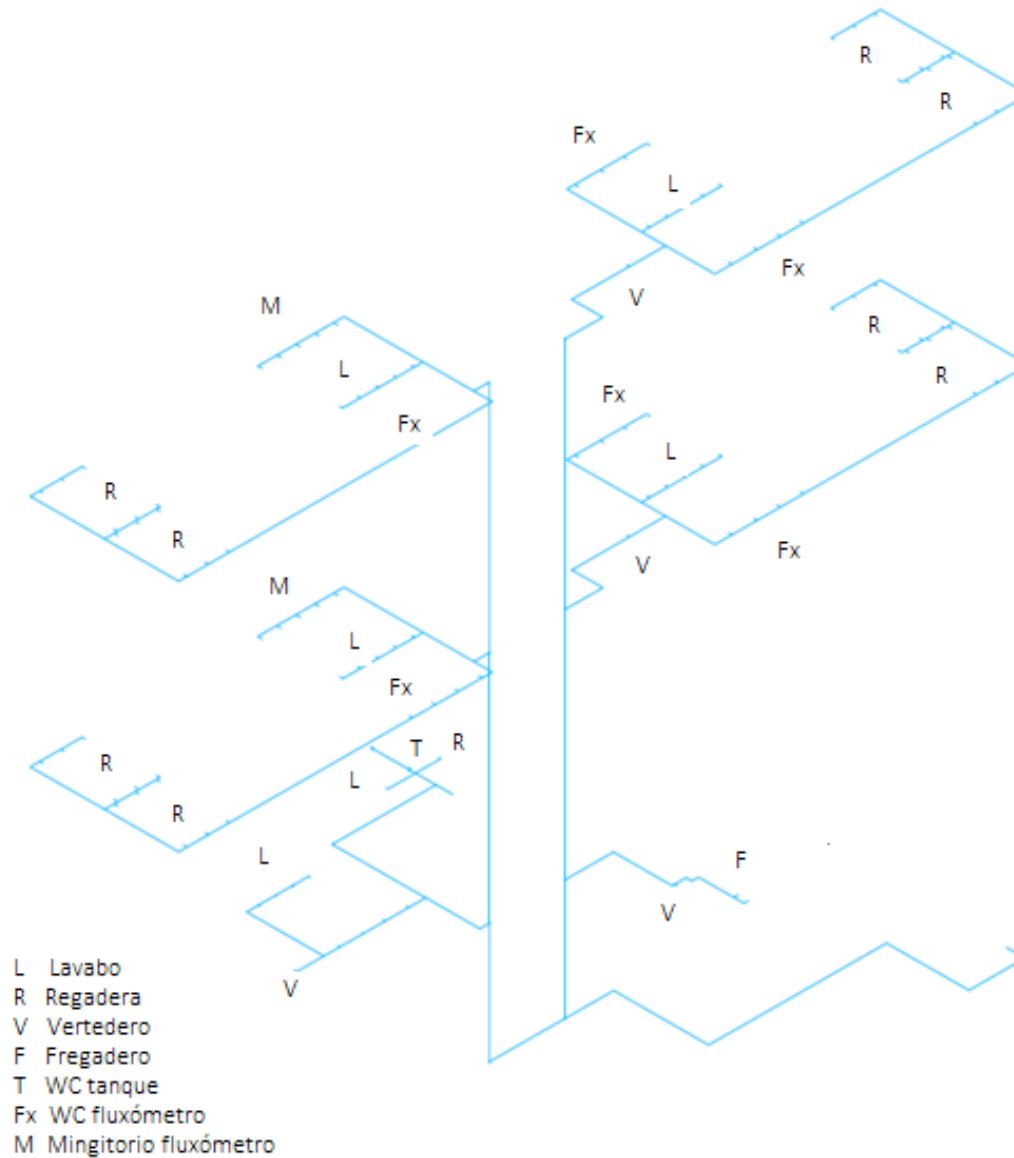


Figura 22a. Isométrico de la instalación de suministro de agua fría del módulo habitacional de la plataforma Akal-C HAB.2

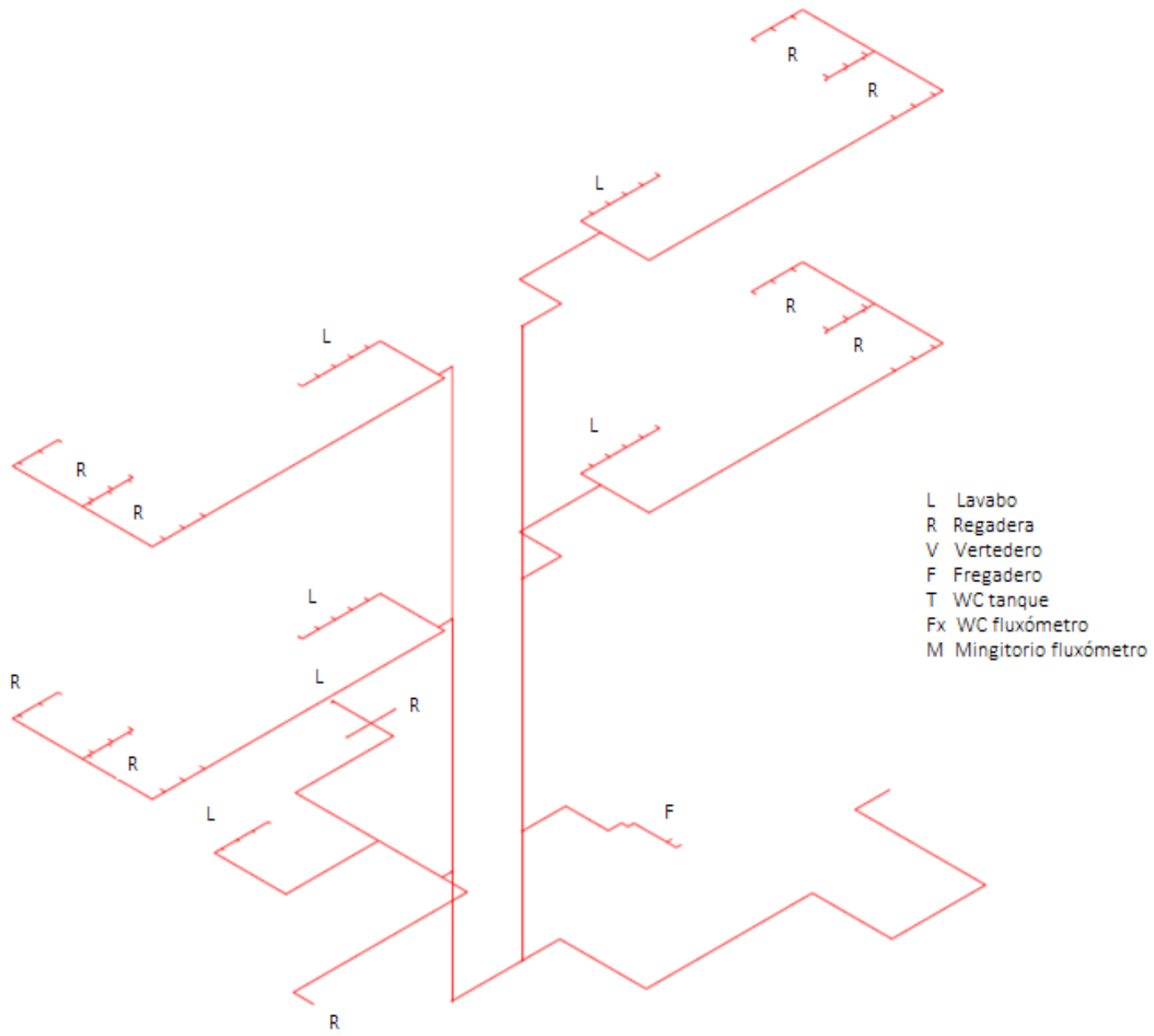


Figura 22b. Isométrico de la instalación de suministro agua caliente del módulo habitacional de la plataforma Akal-C HAB.2

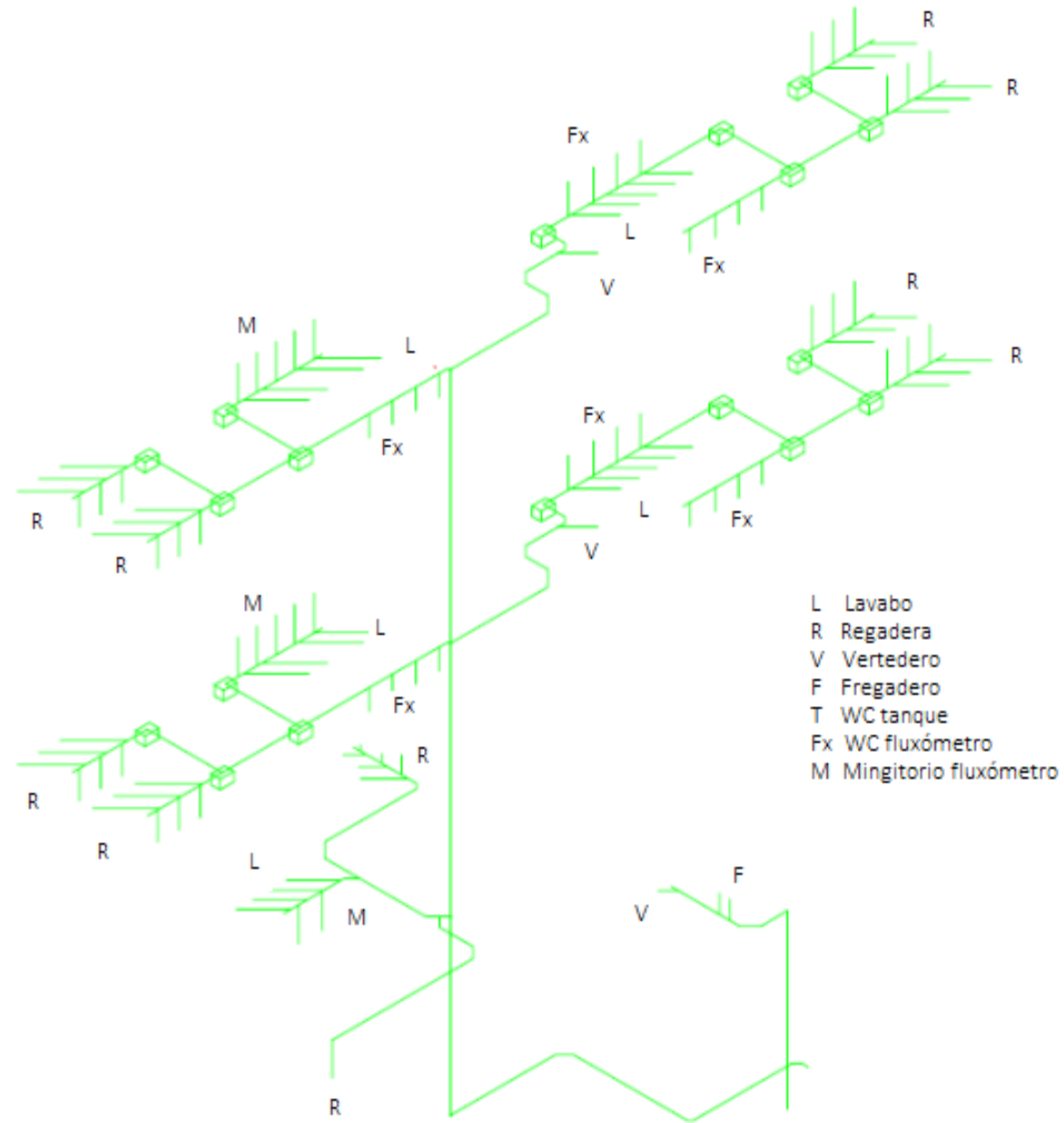


Figura 22c. Isométrico de la instalación para evacuación de aguas residuales del módulo habitacional de la plataforma Akal-C HAB.2

## Conclusiones y recomendaciones

---

A lo largo de este trabajo se han estudiado las consideraciones para el diseño de las instalaciones de suministro y evacuación de agua en una plataforma marina habitacional. Se ha hecho énfasis en la necesidad de contar con estos servicios y en la importancia de los mismos para conservar la salud de los trabajadores que laboran en instalaciones costa afuera. De igual forma se debe contar con las instalaciones necesarias para cumplir con las condiciones óptimas de recreación y confort.

En plataformas marinas las fuentes de abastecimiento de agua potable son muy limitadas quedando como opciones: el abastecimiento por medio de buques tanque o el aprovechamiento del agua salada del mar. Sin embargo, el abastecimiento de agua por medio de buques tanque ha caído en desuso debido a la baja calidad del agua suministrada y a la dependencia de las condiciones climáticas para su abastecimiento.

Por tal motivo, la fuente de abastecimiento utilizada para este tipo de instalaciones es el agua salada, condicionando así las características y materiales de toda la instalación, pues estos deben ser adecuados para funcionar en estas condiciones tan particulares.

Los principales problemas que se presentan en este tipo de instalaciones son la corrosión y la disminución del área de la sección transversal de la tubería por acumulación de partículas e incrustaciones, ambos anticipados por funcionar con agua que proviene del mar.

En la especificación particular para construcción de obras P.3.0100.01 se especifica el uso de tubería de cobre tipo "M" para las instalaciones de suministro de agua potable, sin embargo, si se desea evitar la alta incidencia de problemas relacionados con la corrosión y acumulación de material en la tubería se recomienda el uso de materiales plásticos como el PVC, PAD o aleaciones desarrolladas especialmente para funcionar con agua salada, siempre y cuando cumplan con las especificaciones particulares de cada proyecto.

Este tipo de plataformas generalmente cuentan con una capacidad de alojamiento que oscila entre 200 y 400 personas, con turnos de trabajo de 12 horas por 12 horas, por lo cual se debe contar con servicios continuos durante todo el día, contemplando un sobre diseño del 10 y el 15 % sobre la capacidad de alojamiento original; previendo ampliaciones futuras que podrían ser demasiado costosas si se realizan costa fuera.

Por otro lado es de gran importancia contar con las especificaciones particulares del proyecto arquitectónico, así como los planos del mismo para poder determinar los requerimientos de servicios y realizar el anteproyecto de instalaciones hidráulicas y sanitarias que serán las bases en el proceso de diseño.

En todo momento de debe contemplar la normatividad y especificaciones aplicables.

## Referencias bibliográficas y electrónicas

---

### Libros de consulta

- <sup>1</sup> M. Valdés, Víctor, (2005). Conceptos básicos de Ingeniería Civil Costa Afuera
- <sup>5</sup> César V, Enrique. Vázquez G, Alba. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. Fundación ICA, 2003.
- <sup>10</sup> César V, Enrique. González L, Miguel A. Instalaciones Sanitarias para Edificios, Volumen 1. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.
- <sup>11</sup> César V, Enrique. González L, Miguel A. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 2. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.
- <sup>12</sup> César V, Enrique. Gutiérrez Q, J Carlos. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 3. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.
- <sup>13</sup> César V, Enrique. González L, Miguel A. Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 4. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1997.

### Trabajos de consulta

PEMEX (2002a) Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General). Exploración y Producción. PEMEX. México. 257 pp.

### Páginas de internet

- <sup>2</sup> [www.industriapetroleramexicana.com](http://www.industriapetroleramexicana.com)
- <sup>3</sup> [es.wikipedia.org/wiki/Desalinizaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Desalinizaci%C3%B3n)
- <sup>4</sup> [es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis)
- <sup>6</sup> <http://www.lenntech.es>
- [www.pemex.gob.mx](http://www.pemex.gob.mx)
- <sup>9</sup> <http://www.informador.com.mx>

### Otras fuentes

- <sup>7</sup> Especificaciones Particulares PEP (plataformas HA-KU-S y HA-KU-M)
- <sup>8</sup> Presentación “Pemex a grandes rasgos”

## Referencias Normativas

NFR-222-PEMEX-2009 Norma de referencia para el “Diseño Arquitectónico de Módulos de Servicio en Plataformas Marinas Fijas”.

P.3.0100.01, 2005. Especificación Técnica para Proyecto de Obras “Módulos Habitacionales en Plataformas Marinas”.