2eje.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

INGENIERIA CIVIL

ESTUDIOS HIDRAULICOS EN EL DISEÑO DE CENTRALES TERMOELECTRICAS

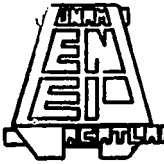
TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JAIME GALVAN DOMINGUEZ



ACATLAN, EDO. DE MEXICO 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTUDIOS HIDRAULICOS EN EL DISEÑO DE CENTRALES TERMOELECTRICAS

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

INTRODUCCION

CAPITULO I.- CONCEPTOS GENERALES

- I.1.- Energía Eléctrica
- I.2.- Hidráulica
- I.3.- Tipos de centrales generadoras de electricidad
- I.4.- El proceso de transformación de la energía mecánica en energía eléctrica en una central térmica

CAPITULO II.- CRITERIOS DE SELECCION Y LOCALIZACION DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

- II.1.- Antecedentes
  - II.1.1.- Diagrama de Carga
  - II.1.2.- Sistema Eléctrico Nacional
- II.2.- Criterios de selección
- II.3.- Criterios de localización

CAPITULO III.- ELEMENTOS QUE FORMAN PARTE DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

- III.1.- Arreglo general de una planta termoeléctrica
- III.2.- Areas Exteriores
- III.3.- Bloque de Fuerzas
- III.4.- Sistema de Agua de Circulación

CAPITULO IV.- ESTUDIOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE DISEÑO

- IV.1.- Estudios para la etapa de anteproyecto
- IV.2.- Estudios para la optimización del sistema de agua de circulación
- IV.3.- Estudios para las etapas de proyecto

CAPITULO V.- IMPORTANCIA DE LA INGENIERIA CIVIL EN LA EJECUCION DE ESTE TIPO DE OBRAS

CAPITULO VI.- SITUACION ACTUAL DE LA HIDRAULICA

CONCLUSIONES

FIGURAS

REFERENCIAS

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis se realizó con el ánimo de responder a los lineamientos establecidos por el espíritu universitario, tratando de contribuir de humilde manera para que las personas que de alguna manera se interesen en éste, encuentren un documento comprensible que les ayude a entender la aplicación de algunos conceptos técnicos en la solución de distintos problemas hidráulicos. De acuerdo a esta intención y considerando el esfuerzo desarrollado, así como el tiempo invertido en su realización producto de un personal empeño, dedico a mis padres (Virginia Domínguez Sendejas y Severiano Galván Hidalgo) el fruto de este trabajo, como muestra de un especial agradecimiento. Así también hago partícipes de esta dedicatoria a mis hermanos, así como a Lidia mi esposa y a mis hijos Karla, Anna y Jaime.

AGRADECIMIENTO

El logro de metas implica generalmente el volver la vista atrás y tomar conciencia de aquellos factores que facilitaron el camino, así como aquellos que obligaron a redoblar esfuerzos. Un análisis permite otorgar un gran valor a las primeras y genera la mentalidad de procurar el evitar en lo futuro a los segundos.

Considerando esto me permito agradecer:

A mis padres :

Por el gran apoyo que me han otorgado durante toda mi vida

A mis hermanos :

Por sus consejos y por el estímulo que me dieron para seguir adelante

A mis compañeros :

Por los momentos compartidos, tanto de estudio como de reflexión y de diversión

A los profesores :

Con la admiración y el respeto por el esfuerzo empeñado en la transmisión de sus conocimientos hacia sus alumnos

A la E. N. E. P. "ACATLAN" :

Involucrando tanto a las autoridades del plantel como a los trabajadores

A la U. N. A. M. :

Por ser esa institución tan noble que sin distinciones de ninguna especie nos ha brindado a un sinnúmero de estudiantes, la oportunidad de adquirir los conocimientos técnicos que nos

permiten formarnos como profesionistas, y de cultura general que dan libertad a nuestro pensamiento para adoptar ciertas posiciones ante lo que ocurre en nuestro entorno.

Hago un especial agradecimiento al Ing. Antonio Sandoval González, Secretario de Finanzas del Comité Ejecutivo Nacional del SUTERM, ya que su ayuda fué determinante para mi desenvolvimiento profesional, al brindarme la oportunidad de conocer y participar en el trabajo que se desarrolla en el diseño de las Centrales Termoeléctricas.

INTRODUCCION

Nuestro país, a pesar de haber conseguido importantes logros encauzados hacia el progreso económico y el bienestar social, aún padece serias deficiencias que limitan su desarrollo y lo hacen en diferentes aspectos dependiente a otros países. Problemas de producción de alimentos, energéticos, vivienda, comunicaciones, educación, obras de infraestructura y urbanización, son aquellos que mayor incidencia tienen en el marco de necesidades que a nivel nacional se padecen.

Por su importancia destacan los dos primeros. La producción de alimentos no ha llegado a cubrir las necesidades de la población, por lo que se ha tenido que recurrir a las importaciones, generando una dependencia en este ramo a aquellos países que logran excedentes en la producción de los mismos. Por otra parte, en lo que se refiere a energéticos, nuestro país cuenta con una gran cantidad de recursos naturales que al ser transformados pueden ser utilizados para la generación de energía, misma que constituye un fuerte apoyo para el desarrollo de una nación, pero el avance tecnológico que se posee evita el aprovechamiento adecuado de estos.

En la historia reciente de nuestro país se tiene el paso por una etapa de crisis económica en la que se pusieron de manifiesto además de los problemas ya mencionados, otros que se relacionan con altas tazas de inflación y una fuerte recesión en el crecimiento económico, aumento en el desempleo, carencia de una industria altamente competitiva en el mercado mundial y un gran endeudamiento exterior, con lo que la banca internacional mostró grandes reservas en el otorgamiento de nuevos empréstitos.

Algunos de estos problemas enunciados, como los relativos al campo y a la industria, se han venido arrastrando desde hace algún tiempo, lo cual ha conducido a realizar importaciones muy grandes que significan altas erogaciones de las divisas que se obtiene ya sea por medio de préstamos de la banca internacional o por la exportación de algunos bienes y servicios nacionales.

Dentro de los bienes exportables el petróleo ocupa un lugar preponderante, ya que es el que genera una mayor entrada de divisas, pero como este es un recurso no renovable resulta indispensable llevar a cabo una explotación racional y cuidadosa.

Considerando que los países industrializados realizan estudios y programas cuya finalidad esta encaminada a disminuir el consumo de este energético (acción que ha llegado a crear un mercado conflictivo para el petróleo), se ha visto perjudicado al grupo de países en vías de desarrollo que son productores de este hidrocarburo y que han basado su economía en la exportación del mismo, dentro del cual se encuentra México.

La dificultad en la obtención de créditos obligó a llevar a cabo un largo y complicado proceso de renegociación de la deuda externa. Esto trajo como consecuencia la aplicación de severas medidas encaminadas al ahorro público y al incremento de los bienes exportados, esfuerzo que en un momento dado fue considerado insuficiente.

Lo anterior dió lugar a la necesidad de realizar cambios muy profundos en la estructura del modelo económico que se venía aplicando, lo que involucró a su vez un proceso de privatización bastante agresivo y a la modificación de algunos artículos en la ley que controla la inversión extranjera.

El proceso de privatización busca básicamente el adelgazamiento del aparato del estado y permitir a la iniciativa privada una mayor libertad y amplitud en sus campos de acción.

Por su parte, dentro de las modificaciones hechas a la Ley de Inversiones Extranjeras está (entre otras) la que permite el establecimiento en el país de inversiones en las cuales el capital extranjero puede llegar hasta el 100%, así como aquella que da lugar a la incursión del capital extranjero en areas que anteriormente eran consideradas como estratégicas, tal como el petróleo y la electricidad.

Lo anterior busca atraer capitales privados extranjeros que den lugar a la instalación de una industria muy diversificada, de fuerte potencial económico y dueña de tecnología muy sofisticada, con lo que se presume sus productos serán de buena calidad y de precio competitivo en el mercado mundial. Así también con esto se han generado las condiciones para concretar un acuerdo comercial trilateral México - Estados Unidos - Canadá, con el que se espera la llegada al país de grandes inversiones en ramos de la industria muy variados y con tecnología de punta.

La diversificación industrial esperada incide en los productos de exportación ya que estos no se concretarían solo a materias primas y servicios, sino por el contrario serán productos manufacturados en su mayor parte. Por tanto es menester brindar estímulos efectivos a los sectores de la producción que mayor incidencia tienen en el desarrollo económico del país y que son el campo y la industria, mismos que requieren de una infraestructura acorde a sus crecientes necesidades y cuyos elementos son de vital importancia. Dentro de estas últimas podemos mencionar a las plantas generadoras de electricidad, ya que una cantidad innumerable de actividades productivas para su funcionamiento y operación dependen de este flujo energético.

Las centrales generadoras de electricidad se clasifican básicamente en dos grupos: hidroeléctricas y termoeléctricas. El presente trabajo esta dirigido al segundo de éstos, o sea a las termoeléctricas.

Son diferentes las ramas que se ven involucradas en el proceso de diseño de este tipo de obras, pues es necesario llevar a cabo una gran cantidad de estudios y actividades de diversa índole. Es claro que todas y cada una de ellas guardan un papel muy especial, pero la que mayor número de acciones engloba es la ingeniería. Ahora bién, dentro de las actividades de ingeniería que se realizan, se encuentran aquellas que se relacionan con la ingeniería civil, que se ve revestida también de gran importancia ya que es la que se encarga de proyectar en gran parte y construir este tipo de obras.

La ingeniería civil dentro de su gran campo de acción abarca diversas áreas como son la geotecnia, la hidráulica, las estructuras, la construcción y la ingeniería de sistemas. La presente tesis tiene la intención de tratar aspectos hidráulicos que son de importancia para el diseño de estas obras tan relevantes.

La hidráulica es un área de la ingeniería civil cuyo interés está centrado en el estudio del comportamiento mecánico del agua y su finalidad es la aplicación de los conocimientos adquiridos en la realización de obras que forman parte del campo de actividades de esta disciplina profesional.

Uno de los objetivos que persigue el presente trabajo es el presentar a aquellas personas que se interesen en este, un manual práctico de consulta que describa de manera sencilla y breve las distintas estructuras que forman parte de una central termoeléctrica, y hacer hincapié en los relacionadas con la hidráulica, al presentar su correspondiente procedimiento de diseño. Dentro de estos últimos elementos es posible mencionar el sistema de abastecimiento de agua, el sistema de agua de circulación, la obras de toma y de descarga, así como los distintos componentes que forman parte de cada uno de estos.

Así también, se definen conceptos importantes para el alcance de esta tesis, como son la electricidad y la hidráulica.

CAPITULO I.- CONCEPTOS GENERALES

Aunque el lector del presente trabajo esté familiarizado con los conceptos fundamentales que se mencionan a continuación en el título de éste, a manera de complemento se transcriben algunos párrafos dedicados a dar una idea mas amplia de lo que significan los términos "electricidad" e "hidráulica" para esta tesis. Por otra parte, para brindar un mayor alcance a este trabajo se consideró conveniente ilustrar esquemáticamente la serie de pasos que se llevan a cabo en el proceso de generación de la energía eléctrica y presentar una clasificación de los tipos de centrales eléctricas que existen.

I.1.- ENERGIA ELECTRICA

Desde tiempos muy remotos, las actividades del hombre relacionadas con el aprovechamiento de los recursos que la naturaleza ha puesto en sus manos, han estado íntimamente ligadas a la utilización de la energía en sus distintas formas. El fuego fue la primera gran manifestación energética cuyo conocimiento y control proporcionó grandes avances a la civilización. Posteriormente han sido la fuerza de tracción de los animales, la fuerza del viento, la máquina de vapor y recientemente la electricidad y la energía nuclear, los elementos de que se ha valido el hombre para realizar estos avances.

En la actualidad la electricidad está presente en casi todos los aspectos de la vida cotidiana del ser humano, pues gracias a ella es posible llevar a cabo un sinnúmero de actividades en donde se reflejan situaciones de comodidad para grandes sectores de la población humana. Teléfono, luz, radio, televisión, transporte, operación industrial, etc., son algunos de los elementos que ponen de manifiesto la importancia de este flujo vital.

La palabra electricidad se deriva del griego "elektrón" cuyo significado es ámbar, misma que es una resina fósil amarilla, dura y quebradiza, en la cuál Tales de Mileto observó hace aproximadamente 2600 años, la propiedad que tiene de atraer objetos ligeros y secos, después de haber sido frotada con otro pedazo del mismo material.

Se supone que esta manifestación fue la primera que llegó a conocer el hombre y William Gilbert llamó electricidad a esta atracción, razón por la cuál algunos autores lo llaman el "padre de la electricidad". Los primeros científicos observaron que la electricidad que se acumula al frotar ciertas substancias, se pierde poco después de haber sido creada. Surgen entoces dos preguntas: ¿Que es la electricidad? y ¿Como se produce? En primer lugar, la electricidad es el efecto que se produce por el movimiento de electrones que se transladan de un punto a otro, originado por la falta o exceso de electrones en alguno de éstos.

Por lo que se refiere a la segunda pregunta, para generar electricidad es necesario utilizar alguna forma de energía que ponga en movimiento a los electrones. Son seis las fuentes que se conocen para producir este fenómeno y son: calor, frotamiento, luz, presión, acción química y magnetismo. Las primeras cinco fuentes no son capaces de mantener una carga lo suficientemente grande como para dar lugar a una corriente eléctrica prolongada, por lo que el magnetismo se ha convertido en la fuente más común para producirla.

Casi toda la energía eléctrica que consumimos es producto de esta última alternativa, cuyo generador se vale del movimiento de una serie de espiras de alambre de cobre (bobina), dentro de un campo magnético inducido por un imán, que forma parte de este.

Para producir energía eléctrica en grandes cantidades, es necesario contar con una central eléctrica que disponga de un generador adecuado y esté alimentado con la energía mecánica suficiente para moverlo. Esta energía puede ser proporcionada por un empuje hidráulico, una turbina de vapor, o un motor de combustión interna de grandes dimensiones. De esta manera tomando como base el principio anterior, el hombre ha llegado a diseñar y construir obras encaminadas a conseguir este fin.

I.2.- HIDRAULICA

Al observar la naturaleza podemos damos cuenta de que todo aquello cuanto nos rodea posee masa y características determinadas, y que además dicha masa puede presentarse en tres formas, que son los estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

Las dos últimas formas mencionadas de la materia se conocen como fluidos, mismos que presentan poca resistencia al desplazamiento entre sus moléculas debido a la baja cohesión con que cuentan, carecen de forma propia tomándola del recipiente en el cual están contenidas y manifiestan características particulares acordes a su constitución física (densidad y pesos volumétricos). Para análisis de su comportamiento pueden considerarse como medios continuos, debido a que para aplicaciones propias de la ingeniería, el centro de interés radica en condiciones medias de temperatura, velocidad, presión, densidad y viscocidad, que son características que impiden estudiar por separado la conglomeración real de sus partículas.

De la referencia 2 se desprende que la mecánica de fluidos es una ciencia básica para la ingeniería, que forma parte de la física general, y que se encarga del estudio del comportamiento de los fluidos (tanto en equilibrio como en movimiento), valiéndose de las leyes de la conservación de la materia y de la energía, además de las leyes del movimiento de Newton. El estudio del comportamiento de los fluidos data de tiempos muy remotos, y con el paso del tiempo ha venido desarrollándose, pero en los últimos años las innovaciones técnicas le han brindado un gran avance y consecuentemente una ampliación en sus campos de interés, debido a los nuevos problemas que se presentan. De esta manera se ha llegado a hacer una división de la mecánica de fluidos en varias ramas como son: aerodinámica, ingeniería hidráulica, ingeniería marítima, dinámica de gases e ingeniería de procesos.

De esta manera, también de la referencia No. 2 se llega a concluir que la hidráulica es una rama de la mecánica de fluidos cuyo campo de acción se ve restringido a temas que tratan del comportamiento de los líquidos y principalmente del agua, para su aplicación en el diseño de estructuras que son del interés de la ingeniería civil. Esta disciplina es conocida también como hidromecánica técnica, y dentro de su acervo maneja una gran cantidad de conceptos que son útiles para el diseño de obras de captación, conducción, descarga y para estructuras de control y de disipación de energía del agua.

I.3.- TIPOS DE CENTRALES ELECTRICAS

Una central eléctrica es un conjunto de instalaciones y dispositivos de diversa índole cuya finalidad está encaminada a producir electricidad por medio de la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica.

Actualmente los países altamente industrializados llevan a cabo etapas de estudio para diferentes proyectos, por medio de los cuáles se buscan nuevas formas de aprovechar la

naturaleza para generar energía eléctrica, y puede decirse que hasta la fecha se cuenta con los diferentes tipos de centrales que a continuación se mencionan:

a).- **Anemoeléctricas.**- Son aquellas que se sirven de la energía que poseen las corrientes del viento y son conocidas también como eólicas. Generalmente son de baja potencia.

b).- **Helioeléctricas.**- Este tipo de centrales aprovechan la energía de las radiaciones solares, y al igual que la anterior son de baja potencia.

c).- **Hidroeléctricas.**- Se caracterizan por aprovechar el empuje hidrodinámico de una vena líquida para mover las turbinas del generador de corriente, y cuentan con una buena capacidad para generar electricidad.

d).- **Termoeléctricas.**- Su particularidad consiste en sacar provecho de la energía cinética del vapor de agua a alta presión para la generación de la energía eléctrica, al igual que la anterior cuenta con buena capacidad de generación de electricidad.

En México, básicamente se construyen dos tipos de centrales: las hidroeléctricas y las termoeléctricas, razón por la cual resultan de mayor interés para fines del presente trabajo.

Las plantas hidroeléctricas pueden ser clasificadas a su vez según el tipo de embalse en centrales de agua fluyente, de bombeo con embalse y mareomotrices.

Por su parte, las centrales que utilizan vapor de agua para dar movimiento a los alabes de la turbina, se clasifican tomando en cuenta el combustible utilizado en el proceso de conversión del agua en vapor. De esta manera se tiene que las plantas termoeléctricas convencionales son aquellas que utilizan gas o combustóleo, las carboeléctricas a su vez consumen carbón, mientras que las geotérmicas aprovechan el vapor de alta presión que proviene del subsuelo y por último la núcleoeléctrica es aquella que hace uso del uranio.

A continuación se presenta un esquema donde a manera de resumen se puede visualizar la clasificación que se acaba de mencionar:

- Centrales Eléctricas que se construyen en México
  - Hidroeléctricas
    - de agua fluyente
    - de bombeo
    - con embalse
    - mareomotriz
  - Termoeléctricas
    - convencional
    - carboelectrica
    - geotérmica
    - nucleoeléctrica

I.4.- EL PROCESO DE TRANSFORMACION DE LA ENERGIA MECANICA EN ENERGIA ELECTRICA PARA UNA CENTRAL TERMOELECTRICA (TERMICA)

Una central térmica para generar electricidad es un conjunto de instalaciones que tiene por objeto transformar energía mecánica en energía eléctrica sobre la base de aprovechar la energía calorífica del combustible para producir vapor de agua, el cual debido a la alta energía cinética que posee puede ser transformada en energía mecánica. Este tipo de centrales han sido clasificadas tomando como referencia el combustible utilizado para producir el calor y son: termoeléctricas convencionales, carboeléctricas, geotérmicas y nucleares. Puede decirse que la generación de energía eléctrica se hace en forma escalonada por lo cual resulta indispensable el uso de tres dispositivos principales y de su correspondiente equipo auxiliar. Estos dispositivos son:

- Un generador de vapor o caldera
- Una turbina de vapor
- Un generador de corriente alterna o alternador.

Estos dispositivos resultan ser fundamentales en la relación de los cuatro pasos básicos considerados en el proceso de producción de electricidad a partir del calor.

El primer paso se realiza en la caldera y consiste en la combustión del mineral utilizado para producir calor en grandes cantidades.

El segundo paso tiene también efecto en la caldera y es aquél en el cual el agua va absorbiendo calor en forma tal que el incremento que se presenta en su temperatura, llega al punto de convertirla en vapor, mismo que es removido a la turbina por medio de los conductos adecuados.

El tercer paso se lleva a cabo en el rotor de la turbina de vapor, que es el segundo dispositivo principal, y consiste en el movimiento de los alabes de la misma, como consecuencia de la acción que ejerce la presión del vapor de agua sobre de estos.

El cuarto y último paso es el movimiento del rotor del generador de corriente, que se origina debido al movimiento de los alabes de la turbina, este movimiento trae como consecuencia la generación de la energía eléctrica.

Finalmente, la electricidad producida por el generador es conducida a través de la línea de transmisión a los sitios a donde llegará a consumirse.

La figura I.1 presenta un esquema que ilustra el proceso por medio del cual la energía calorífica es convertida en energía mecánica y ésta a su vez en energía eléctrica.

CAPITULO II.- CRITERIOS DE SELECCION Y LOCALIZACION DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

Los planes y programas rectores de la economía comprenden estrategias encaminadas a brindar impulso a diferentes actividades económicas en algunas regiones del país, mismas que requieren contar con los elementos de infraestructura necesarios para la implementación de éstas, como son las instalaciones encargadas de generar la energía eléctrica que se requiere y que ocupa niveles de primer orden en importancia. Partiendo de esta necesidad se llega a las actividades de proyección y diseño de nuevas centrales eléctricas o a la ampliación de las ya existentes. Cualesquiera que sea el caso, el proceso de selección y localización de una instalación de este tipo para su construcción, está sujeto al análisis y revisión de ciertos factores que son de orden económico, técnico y material, y que revierten una gran importancia dentro de este.

II.1.- ANTECEDENTES

La situación en que se desenvuelven la tecnología y la técnica mexicanas, ha conducido a la tendencia a construir únicamente dos tipos de centrales: hidroeléctricas y termoeléctricas.

El funcionamiento de estas instalaciones responde a la necesidad de generar electricidad, pero su operación se ve afectada por varios factores como son: la demanda de los usuarios (cuyas características pueden ser observadas en el llamado diagrama de carga), las operaciones de reparación y mantenimiento (asociados al enlace que se tenga dentro del Sistema Eléctrico Nacional) y a las situaciones de emergencia que se presentan.

Ambas centrales presentan una sobre la otra, ventajas en su operación para responder a las diferentes formas de demanda eléctrica. Es por esto preciso adentrarse en estos conceptos para tener una idea más precisa de lo que significan para el criterio selectivo cuando se presentan las dos opciones mencionadas. A continuación se abundará sobre estos conceptos:

II.1.1.- Diagrama de carga

El hecho de proyectar, diseñar y construir una central eléctrica implica la realización de una serie de estudios y actividades que se desprenden de la necesidad de satisfacer las demandas presente y futura de energía eléctrica por parte de los usuarios, dentro de los cuales se encuentran los sectores energético, industrial, del transporte, municipal y doméstico.

El comportamiento en el consumo por parte de éstos, sigue por lo general una regla determinada, que es perceptible al observar el llamado diagrama de carga o curva de oferta-demanda (que puede ser analizada con mas detenimiento en la referencia No. 1), por lo que es indispensable que la generación eléctrica se ajuste a la demanda, de acuerdo a un programa congruente con esta.

La energía eléctrica presenta la característica de no poder ser almacenada, por lo que al momento mismo de su generación es utilizada por los consumidores y que se pone de manifiesto en la curva oferta-demanda, representada por una sola línea.

El comportamiento de esta curva varía con el tiempo y son diferentes los factores que tienen incidencia en éste, entre los cuales se pueden mencionar aspectos demográficos, climatológicos, geográficos y económicos que dan lugar a la formación de una curva con

características similares a las de la figura II.1, en la que se observa la tendencia que sigue la demanda en un día común y corriente.

Esta figura permite observar que la curva mencionada confronta los parámetros de Potencia y Tiempo, donde la primera está dada por el alcance en la producción de energía para satisfacer las necesidades de los usuarios, y el segundo lo constituye el momento específico del día en que éstas se presentan. El área definida bajo la curva puede ser dividida e identificada en tres zonas, mismas que se conocen como de consumo base, de semibase y de punta o pico respectivamente.

El consumo base es de terminado por aquellas instalaciones industriales que trabajan durante tres turnos al día, mientras que la demanda de semibase tiene lugar debido a la utilización de energía por parte de las plantas industriales que operan dos turnos diarios, así como también por empresas privadas y del estado, y por los usuarios domésticos. Por su parte el consumo pico se presenta cuando, al mismo tiempo en que los mencionados usuarios están realizando sus actividades, la luz del sol se disipa y se hace necesario el uso de la luz eléctrica.

II.1.2.- Sistema Eléctrico Nacional

En nuestro país se ha llegado a implementar lo que se conoce como Sistema Eléctrico Nacional, que es un sistema interconectado de producción y distribución de energía eléctrica que eleva la fiabilidad y la rentabilidad en su suministro, donde las centrales eléctricas, las líneas de transmisión, los dispositivos elevadores, reductores y de control de corriente, además de las instalaciones consumidoras, están entrelazadas y son afectadas por un patrón común en la continuidad de producción, distribución y consumo de energía. El diagrama expuesto a continuación brinda un panorama sobre la forma en que está integrado el sistema mencionado.

- INTERCONECTADO NACIONAL
  - Interconectado Sur
    - 1 Area Central
    - 2 Area Occidental
      - 2.1 Región Occidente
      - 2.2 Región Bajío
      - 2.3 Región Michoacán
    - 3 Area Oriental
      - 3.1 Región Oriente
      - 3.2 Región Sureste
      - 3.3 Región Centro Oriente
      - 3.4 Región Acapulco
    - 4 Sistema Peninsular
  - Interconectado Norte
    - 5 Area Noreste
    - 6 Area Noroeste
    - 7 Area Norte
    - 8 Sistema Baja California Norte
    - 9 Sistema Baja California Sur

La distribución que presenta el esquema anterior puede ser visualizado de una manera clara en la figura II.2.

La operación de todas las plantas eléctricas del país se lleva a cabo por medio del ajuste a un programa determinado en el cual se toman en cuenta factores tales como el tipo de la demanda a satisfacer, las actividades de reparación y mantenimiento de los dispositivos de las centrales, la época del año y la hora del día. De esta manera se tiene que la demanda base, es satisfecha por un conjunto de instalaciones que deben asegurar una producción de energía capaz de cubrir las necesidades de consumo durante todo el año. En la medida que la demanda aumenta hasta llegar a la de semipunta se hace imprescindible la incorporación de otras centrales y la elevación de la producción de aquellas que se encuentran operando.

Al hacer consideraciones sobre el rendimiento que se obtiene con la operación de cada planta se ha llegado a hacer una clasificación, donde se toma en cuenta la potencia máxima de generación correspondiente.

Para generar su potencia máxima las centrales hidroeléctricas presentan algunas dificultades a causa de requerir una carga hidráulica neta determinada, y sucede en la realidad que la carga que se presenta es en muchas ocasiones inferior a la carga requerida afectándose el proceso de generación de energía eléctrica. Entonces para su clasificación se hace necesario el manejo de los siguientes conceptos:

$$Potencia\,media = \frac{Energia\,generada\,al\,año}{8760\ horas/año}$$

$$Factor\ de\ planta = \frac{Potencia\,media}{Potencia\,máxima} = \alpha$$

$$Coeficiente\ de\ equipamiento = C_e = \frac{1}{\alpha} = \frac{Potencia\,máxima}{Potencia\,media}$$

Este último concepto es el que se toma en cuenta para determinar esta clasificación y de acuerdo al mismo se tiene:

Central base $C_e < 2$

Central de punta $4 \leq C_e \leq 6$

Central de rebombeo $C_e > 6$

Las centrales termoeléctricas por su parte, ya que su operación está basada en un principio físico diferente al de las hidroeléctricas, pueden conseguir más fácilmente el generar la potencia máxima y esto hace factible que operen en esta forma por lapsos considerables de tiempo. Entonces tomando en cuenta el tiempo de operación anual con la máxima potencia (T_p), se llega a la clasificación siguiente:

Central de base 6000 h $< T_p$

Central de semibase 4000 h $< T_p \leq$ 6000 h

Central de semipico 2000 h $< T_p \leq$ 4000 h

Central de cresta o pico $T_p \leq 2000$ h

Como conclusión de los anteriores incisos, puede decirse que la satisfacción de las necesidades de energía eléctrica demandada por los consumidores está a cargo de Sistema Eléctrico Nacional, por medio del ajuste a un programa operativo de todas las instalaciones con que cuenta. De acuerdo con este programa a cada central se le atribuye una función específica al generar la energía destinada a subsanar ya sea la base, la semibase o los picos de la demanda. La optimización técnico-económica en la operación de las centrales que se construyen en nuestro país conduce a la asignación de un valor de peso a la función que estas desempeñan, y de esta manera puede decirse que la central hidroeléctrica es la adecuada para satisfacer los picos de la demanda, mientras que las termoeléctricas resultan apropiadas para la generación de la demanda base.

Esta asignación resulta de primordial importancia en la selección de centrales a construir en el futuro, al hacer consideraciones sobre el crecimiento de la demenda base (asociada al desarrollo industrial), de semibase (coligada a servicios diversos) y de picos (asociada con satisfactores brindados a la población).

II.2.- CRITERIOS DE SELECCION

Nuestro país cuenta actualmente con una capacidad total de generación de energía eléctrica aproximada de 32 millones de Kw instalados. Conforme al crecimiento de la población y de acuerdo a programas de desarrollo industrial que datan de 1985, para el año 2000 se requerirán 80 millones de Kw. Esta demanda deberá ser satisfecha por medio de la construcción de diferentes tipos de plantas generadoras de electricidad. En México la construcción de estas centrales se ha encaminado principalmente a hidroeléctricas y termoeléctricas.

De lo anterior se desprende que el grueso de la generación de energía a este tipo de instalaciones. Existen diferentes argumentos que refuerzan el criterio de selección para determinar el tipo de central a construir, de la referencia No. 8 se extraen los puntos mencionados a continuación.

En lo que se refiere a las hidroeléctricas los puntos más importantes que se toman en cuenta son los siguientes:

1.- Gran derrame económico en el proceso de construcción, lo cual repercute en ingresos para quienes intervienen en este.

2.- Costo más barato del Kwh debido al ahorro del combustible, mismo que puede ser exportado para la obtención de divisas y/o preservado para uso de las generaciones futuras.

3.- Menor componente extranjera, lo que significa ahorro de divisas.

4.- Plantas ideales para satisfacer los picos de la demanda, debido a su flexibilidad de operación.

5.- El país cuenta con recursos humanos bien capacitados, tanto a nivel técnico como profesional para llevar a cabo este tipo de obras, sin recurrir a asesoría extranjera.

Por su parte, con respecto a las termoeléctricas se tiene:

1.- Una inversión inicial menor, que da lugar al aprovechamiento de presupuesto para otras obras de importancia.

2.- Menor tiempo de construcción, que se refleja en una más rápida satisfacción de las necesidades de energía.

3.- Mayor confiabilidad en la generación de energía eléctrica.

II.3.- CRITERIOS DE LOCALIZACION

La localización del sitio donde ubicar una central implica una decisión en la cual es necesario tomar en cuenta un gran número de factores, por lo que es indispensable llevar a cabo una gran cantidad de estudios.

La Comisión Federal de Electricidad es un organismo descentralizado que depende directamente de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal y que se encarga de elaborar el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, dentro del cual se contemplan actividades encaminadas a llevar a cabo los estudios mencionados anteriormente.

A pesar de que son varios los factores que deben ser tomados en cuenta, se puede llegar a una generalización y clasificarlos en dos grupos: económico-políticos por un lado y técnicos por el otro. A continuación se presenta un desglose de éstos.

II.3.1.- Criterios económico-políticos

Este criterio guarda en sí la responsabilidad de determinar la zona geográfica en la cual se va a construir la central. Dentro de éstos se tiene:

a).- Los planes rectores de la economía indican los lugares que son considerados como polos de desarrollo reales o en potencia. El conocimiento de esto es en un momento dado indicativo de la necesidad de diseñar el abastecimiento de la energía que se requiera, que se localice lo más cerca posible de los centros de consumo.

b).- La central no debe ser ubicada sobre terrenos donde existan yacimientos de minerales valiosos (oro, plata, etc.), y además deben ser poco útiles para la agricultura.

c).- Es determinante también la dirección que siga la política energética, al brindar estímulos a la construcción de sistemas generadores de energía eléctrica específicos.

II.3.2.- Criterios Técnicos

En realidad son estos criterios los que definen el sitio exacto para la ubicación de la central. Dentro de estos es posible mencionar los siguientes:

a).- Debido a que el agua es un elemento indispensable para el funcionamiento de la central, es menester que se construya lo más cerca posible de la fuente de abastecimiento del líquido, mismo que debe ser bastante puro y no contener agentes corrosivos ni agresivos.

b).- En caso de asentarse en las márgenes de un río, debe ubicarse en un sitio donde pueda protegerse de las inundaciones producto de las avenidas. Si llega a asentarse a la orilla de grandes fuentes de abastecimiento de agua superficial (mar, lagos, etc.), el desplante del terreno debe estar a un nivel de 0.5 m o más sobre el nivel máximo del agua que se haya presentado con un período de retorno adecuado. Cuando las fuentes de abastecimiento están constituidas por mantos acuíferos subterráneos, el nivel superior de éstos no debe estar por encima de ninguno de los niveles inferiores de las instalaciones.

c).- El terreno no puede ser roca sólida, pero si debe ser un suelo firme y estable que posea una capacidad de carga que pueda soportar el peso de las instalaciones y los trabajos de construcción.

d).- Es totalmente prohibitivo el elegir el territorio para una central en regiones donde se presenten fenómenos cársticos o escurrimientos de tierras.

e).- En el caso de centrales que utilicen combustible sólido, se debe contar con un sitio para depósito de los desechos (ceniza y escorias) que puede ser una barranca o un valle anegadizo o el cauce de algún antiguo río. Además de que es indispensable contar con reservas de combustible probadas que tengan un potencial que asegure el funcionamiento de la central como mínimo durante el lapso de tiempo considerado como de vida económica del proyecto.

f).- No deben existir rutas de aviones de bajo vuelo ni aeropuertos cerca de la central.

Para aclaración de los anteriores puntos puede consultarse la referencia No. 1 en su segunda parte.

Se deduce de lo anterior que son muchos y muy variados los estudios que se llevan a cabo para realizar el análisis de los puntos mencionados, dentro de los que podemos encontrar a los estudios geológicos, geohidrológicos, topográficos, meteorológicos, hidrológicos, etc., y que en determinado momento pueden indicar varios sitios para ubicación de la central. Se presenta entonces la necesidad de llevar a cabo una serie de comparaciones técnico-económicas que determinarán cual es la mejor opción.

CAPITULO III.- ELEMENTOS QUE FORMAN PARTE DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

Una central termoeléctrica puede ser definida como un conjunto de instalaciones y dispositivos diversos cuyo funcionamiento persigue la producción de electricidad tomando como base el ciclo termodinámico de Rankine. La figura III.1 representa las gráficas características de Presión-Volumen (p-v) y de Entropía-Temperatura (s-T), así como el diagrama de energía para una central de potencia correspondientes a este ciclo. A continuación se describen brevemente los pasos que se desarrollan en éste, de acuerdo a lo establecido en dicha figura.

El vapor sale de la caldera con las características de un estado 1 (vapor a alta presión) para llegar sin pérdidas a la máquina ideal (turbina), en donde se expande isentrópicamente disminuyendo su temperatura y aumentando su volumen hasta llegar a adquirir las características de un estado 2 (vapor a baja presión), mismas con las que llega al condensador para pasar a un estado 3 (líquido saturado), debido al intercambio de calor que tiene con el agua fría circulante. A este líquido se le adiciona presión por medio de un bombeo isentrópico para llegar a la caldera como un estado B (líquido subenfriado). Este líquido es calentado hasta que adquiere las características de saturado al llegar a 4, a partir del cuál se evapora hasta llegar a constituir un vapor de alta presión en el estado 1. Aquí da inicio nuevamente el ciclo.

Si el vapor fuera recalentado antes de salir de la caldera, el ciclo termodinámico de Rankine generado estaría definido por e-f-3-B-4-e, que también se observa en la mencionada figura.

La anterior afirmación que da valor a este ciclo se desprende de la referencia No. 6. Resulta importante tener una idea precisa de lo que significa este para comprender con claridad la función que desempeña cada una de estas instalaciones, desde las encargadas de conducir la materia prima hasta aquéllas que intervienen directamente en el proceso de generación de energía, pasando por las que sirven de apoyo y que guardan también un papel importante en dicho proceso.

El plano conocido como arreglo general de la central, es un plano ilustrativo de la disposición que guardan sus instalaciones, mismas que para su identificación están agrupadas en tres bloques principales: áreas exteriores, bloque de fuerzas y sistema de agua de circulación. Estas dos últimas guardan una gran interdependencia, pues forman parte integral de las instalaciones que participan directamente en el proceso de generación de la corriente eléctrica.

A continuación se presenta una breve descripción de los anteriores conceptos.

III.1.- ARREGLO GENERAL DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA

Como se ha mencionado anteriormente el arreglo general es el plano donde se representan de una manera gráfica la distribución de las instalaciones primarias y secundarias en el entorno geográfico correspondiente. Todas estas instalaciones están sostenidas por un conjunto de obras y edificios dispuestos de tal manera que integran un sofisticado complejo arquitectónico, en el que se busca no sólo la mayor eficiencia técnica sino también un rendimiento económico apropiado y el cumplimiento de normas estáticas y de sanidad pertinentes. De esto se desprende la afirmación de que en el proceso de determinación del arreglo intervienen profesionistas y técnicos de diferentes ramas, dentro de las cuales podemos mencionar: ingenieros mecánicos, eléctricos, civiles, químicos, industriales y arquitectos.

Este arreglo comprende también aspectos de localización del terreno donde se ubica la central, sus fuentes de abastecimiento de agua, las vías de acceso y de comunicación próximas, y la distribución de los equipos auxiliares. La figura III.2 representa lo que se considera como el arreglo general de la Central Termoeléctrica Tijuana en sus unidades I y II.

Por su importancia destacan como partes primordiales del arreglo, las obras de toma y de descarga, el edificio principal y las instalaciones auxiliares de éste.

III.1.1.- Obras de toma y de descarga

Las obras de toma y de descarga constituyen elementos de vital importancia dentro del conjunto de instalaciones que forman parte de estas centrales, ya que la primera de estas se encarga de realizar la aportación del agua necesaria para satisfacer los diferentes requerimientos que se presentan, mientras que la segunda cumple con la función de encauzar al sitio donde será desalojado el líquido utilizado en los distintos procesos. La disposición de estas obras depende del tipo de sistema de agua de enfriamiento que posea la central.

III.1.2.- Edificio principal

El edificio principal es el lugar donde se haya dispuesto el equipo que aunado a sus correspondientes instalaciones de apoyo, se encarga de llevar a cabo el proceso de transformar la energía calorífica en electricidad. La disposición del equipo en este edificio depende fundamentalmente de tres factores: el tipo de combustible a utilizar, las exigencias de construcción (económicas, sanitarias y de comodidad en la operación) y la secuencia del proceso tecnológico. Está formado por tres salas, cuya operación resulta primordial para el cumplimiento y optimización del objetivo perseguido, mismas que son:

a).- Sala de generadores de vapor.- Es el lugar donde se localiza la caldera (misma que se encarga de transformar el agua en vapor de alta presión), así como otros dispositivos que son los calentadores de vapor y de combustible y aquellos que aseguran una reserva de éste último para la operación de los generadores de vapor por un lapso de tiempo determinado.

b).- Sala de máquinas.- En esta sala se lleva a cabo el proceso de convertir la energía cinética del vapor en energía eléctrica. Comprende el equipo de turbogrupos, condensadores, calentadores regenerativos y las bombas de alimentación de condensado y de drenaje con sus correspondientes elementos de soporte.

c).- Sala intermedia.- Abarca el equipo de las instalaciones de apoyo que facilitan y complementan la operación de las salas de generadores de vapor y de máquinas, dentro de las cuales se encuentran los depósitos medianos de combustible, desaereadores, separadores de ceniza y hollín, aspiradores de humo, chimenea y todo aquél equipo que aún cuando no está dentro del recinto del edificio principal, participa en los procesos energéticos que se llevan a cabo en éste.

III.1.3.- Instalaciones auxiliares

Se puede decir que las instalaciones auxiliares de soporte son clasificadas de esta manera al tomar en cuenta que el funcionamiento de las mismas es totalmente independiente a los ciclos energéticos, por ejemplo los talleres mecánicos y eléctricos, almacenes, laboratorios, casetas para diferentes usos, la subestación con su respectiva área de transformadores, los tanques de almacenamiento de combustible, el cuarto de bombas contra incendio y otras más.

Una manera de agrupar las estructuras e instalaciones mencionadas en los tres puntos anteriores que permite una mejor visualización de la función que desempeña cada una de éstas, consiste en asociarlas en tres campos: áreas exteriores, bloque de fuerzas y sistema de agua de circulación. Los comentarios que se refieren a esta manera de agruparlos se extienden a continuación:

III.2.- AREAS EXTERIORES

El término de áreas exteriores se aplica al conjunto de instalaciones auxiliares con que cuenta una central y que tiene la función de facilitar la operación y el manejo de los dispositivos con que cuenta ésta. Comprende todos aquellos elementos que fueron clasificados como instalaciones auxiliares en los párrafos anteriores, además de las vías de acceso interiores y las descargaderas de combustible.

III.3.- BLOQUE DE FUERZAS

El bloque de fuerzas puede ser definido como el conjunto de instalaciones cuya operación conjunta interviene directamente en el proceso que da lugar al ciclo de Rankine para generar electricidad. Básicamente comprende las salas de generadores de vapor e intermedia y la casa de máquinas.

III.4.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

Para los fines del presente trabajo, tomando en consideración que a la hidráulica se le asignan una serie de actividades de bastante peso en el diseño de este sistema, resulta indispensable profundizar los comentarios relativos a este conjunto de instalaciones. En el ciclo termodinámico se presenta la necesidad de condensar el vapor para reciclarlo. Esta operación se lleva a cabo por medio de un dispositivo llamado condensador, y consiste en hacer pasar agua a través de una gran cantidad de tubos de diámetro muy pequeño con que cuenta este dispositivo y cuyas superficies exteriores están en contacto con el vapor, lográndose de esta manera una transferencia de calor. Dicho dispositivo forma parte del sistema de agua de circulación, mismo que tiene la función de abastecer al condensador con el agua necesaria para realizar la operación mencionada anteriormente. La importancia del agua de circulación resulta primordial para la operación de la central termoeléctrica ya que el rendimiento en la generación está muy asociada con la eficiencia en la transferencia de calor que se lleva a cabo en el condensador. Este sistema constituye a su vez un elemento del llamado sistema de agua de enfriamiento, mismo que comprende las obras de captación, conducción y descarga del agua de enfriamiento. Dependiendo de la disposición que guarda este arreglo, se pueden clasificar básicamente en dos tipos:

a).- Ciclo abierto (de un paso o directo).- Es aquél en donde el agua es tomada de una fuente con capacidad suficiente de abastecimiento (como el mar o algunas

lagunas o ríos); y después de hacerla pasar por el condensador es descargada a la misma o a otra fuente.

b).- Ciclo cerrado.- Es aquél donde el agua después de haber pasado por el condensador, es enviada a una torre o estanque de enfriamiento para su posterior recirculación. Este sistema es utilizado cuando no se cuenta con una capacidad por parte de la fuente de abastecimiento que sea suficiente para satisfacer las necesidades de la central.

Las figuras III.3 y III.4 muestran la disposición general característica de estos sistemas.

En el capítulo siguiente se abundará más sobre estos sistemas al desarrollarse la secuencia de cálculo correspondiente.

CAPITULO IV.- ESTUDIOS HIDRAULICOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE DISEÑO

Se ha mencionado anteriormente, pero a manera de resumen se puede decir que el criterio de selección de sitios donde se asentará la central, depende básicamente de la conjugación de los siguientes factores:

- Facilidad en el suministro de combustible.
- Cercanía con los centros de consumo.
- Terrenos cuya superficie y calidad sean los adecuados.
- Seguridad en el abastecimiento de agua.

El último de estos factores se ha visto revestido de una importancia creciente en fechas recientes, razón por la cual se ha llegado a la necesidad de llevar a cabo estudios muy especializados que pertenecen al campo de la hidráulica, y que requieren de una gran cantidad y diversidad de datos.

Por desgracia en México son recientes las actividades de medición oficiales, por lo que se presentan casos en los cuales esta información ha sido recabada en forma inapropiada o no existe, y que como consecuencia trae la realización de mediciones con su respectivo análisis en períodos de tiempo cortos (debido a la necesidad de llevar a cabo los proyectos en forma inmediata), que dan lugar a estudios con escasa información que en un momento dado pueden llevar a resultados no representativos de la realidad.

Esto último es una razón por la cuál no se hará mención de los estudios hidráulicos que toman parte en el proceso de selección de sitios, además de que la finalidad del presente trabajo es abarcar una serie de actividades que intervienen en el diseño de los sistemas, asignadas a la hidráulica que aseguran el abastecimiento y el uso óptimo del agua.

Estos estudios pueden ser agrupados por convención de manera que están ligados a un orden cronológico específico, dando como resultado la siguiente clasificación:

- Estudios para la fase de anteproyecto.
- Estudios de optimización del sistema de agua de circulación.
- Estudios para la fase de proyecto.

A través de los siguientes párrafos se tratará de dar una idea del desarrollo de las actividades que se encuentran comprendidas en cada uno de estos estudios.

IV.1.- ESTUDIOS PARA LA FASE DE ANTEPROYECTO

Los estudios llevados a cabo en esta fase conducen a la definición de las características físicas preliminares de la diferentes estructuras que forman parte de la central.

Partiendo de que la decisión que confirma el sitio donde se localizará la central ha sido tomada, los estudios de anteproyecto a realizar tiene como objetivo la localización, orientación y distribución de las instalaciones que forman parte de ésta. Pueden mencionarse entre otros:

- Orientación de las instalaciones
- Localización de las vías de acceso
- Estudios de mecánica de suelos para la zona de casa de máquinas y caldera

- Localización y definición de características de las obras de toma y de descarga
- Definición del sistema de abastecimiento de agua y del sistema de agua de circulación
- Definición de las redes de drenaje

De los puntos anteriores, en los tres últimos las actividades de la hidráulica son determinantes, por lo cuál resulta necesario extender los comentarios relacionados a éstos.Con el fin de facilitar la exposición de estos conceptos se han ordenado en la forma que a continuación se presenta:

- Sistema de abastecimiento de agua
- Obra de toma
- Obra de descarga
- Sistema de agua de circulación
- Redes de drenaje

Las siguientes líneas describirán las respectivas secuencias de cálculo aplicadas:

IV.1.1.- Sistema de abastecimiento de agua

El sistema de abastecimiento de agua es una estructura que se encarga de proporcionar el volumen requerido de líquido para satisfacer las necesidades de la central. Su diseño se lleva a cabo generalmente en centrales que cuentan con un sistema cerrado de agua de enfriamiento, aunque pueden ser implementados para sistemas abiertos localizados en sitios donde se puede contar con la fuente de abastecimiento adecuada, al resultar muy costosa la instalación de equipos de evaporación.

El objetivo de este estudio radica en determinar las características y la trayectoria que poseerá la línea de conducción de agua, tomando como base un análisis técnico-económico de sus componentes en el que se considera el costo de inversión (obra civil y equipos), el costo de operación (bombeo) y el costo de mantenimiento. Los pasos a seguir se enunciarán a continuación:

IV.1.1.1.- Recopilación de información

Este paso involucra la información necesaria para llevar a cabo los cálculos correspondientes, misma que puede ser agrupada de la siguiente manera:

- Topografía de la zona
- Requerimientos de agua de la central
- Gráficas Nivel Dinámico-Gasto de extracción de la fuente de abastecimiento
- Ubicación y niveles de las estructuras de la central

En los párrafos subsecuentes se extienden los comentarios sobre estos puntos:

Topografía de la zona.- Este punto incluye información con niveles y coordenadas del terreno de la zona, plasmada en planos, croquis y tablas de localización y de detalle que comprenden la fuente de abastecimiento, las vías de comunicación y acceso además de arroyos, parcelas, viviendas y edificaciones, etc. que se ubican en los alrededores del sitio donde se ubicará la central.

Requerimientos de agua de la central.- Para su operación la planta requiere de cierta aportación de agua, misma que es dirigida hacia los tanques de agua cruda y a las piletas de las torres de enfriamiento (punto que puede ser considerado como el inicio del sistema de agua de circulación), por medio de la conducción correspondiente.

Gráficas Nivel Dinámico-Gasto de Extracción.- Este tipo de abastecimientos están constituido generalmente por pozos, los cuáles pueden aportar de manera eficiente los gastos comprendidos dentro de un rango de extracciones determinado que es función del nivel dinámico, mismo que depende de las condiciones de recarga y extracción de agua del acuífero. El comportamiento que tiene el nivel del espejo del agua al estar sujeto a las condiciones de explotación mencionadas puede ser representado por medio de una gráfica como la que se presenta en la figura IV.1 que se obtiene después de realizar los estudios geohidrológicos correspondientes.

En esta figura puede observarse la presencia de un punto donde la curva cambia bruscamente su trayectoria, y que físicamente determina el gasto de extracción a partir del cual los incrementos en éste producen un aumento significativo en el abatimiento del nivel dinámico (definido como la diferencia que existe entre los niveles del terreno y del espejo del agua que se establece para cada régimen de extracción particular). Este punto es útil para definir el gasto óptimo de extracción del pozo.

Ubicación y niveles de la central.- Resulta importante conocer la distribución de los equipos de la central, para de esta manera poder definir la trayectoria de la tubería. Las estructuras sobre las cuales descargará esta conducción poseen niveles que son muy importantes para determinar la evaluación de las características de los equipos de bombeo, como son los niveles de los puntos de descarga en los tanques de agua cruda y en las piletas de las torres de enfriamiento.

IV.1.1.2.- Definición de las trayectorias y del material de la conducción

A partir de la información topográfica se pueden proponer las diferentes trayectorias de la línea de conducción que serán analizadas, en las cuales se busca una longitud mínima posible de tubería y se determinarán al mismo tiempo los posibles tipos de material de ésta a ser considerados para su evaluación económica (acero, fibrocemento, polietileno, concreto, etc.).

IV.1.1.3.- Determinación de los diámetros para los diferentes tramos de tubería y generación de alternativas

Este paso comprende el respeto al rango de velocidades establecido para los diferentes tipos de tubo establecidos por sus fabricantes (ver referencia 19), y de esta manera iniciar el cálculo a partir de las velocidades de flujo máxima y mínima para determinar los diámetros mínimo y máximo que se tomará en consideración para cada tramo en la evaluación. Estos diámetros se definen a través de las expresiones siguientes:

$$Diámetro\ máximo = \left(\frac{4Q}{\pi V_{min}}\right)^{1/2} \qquad Diámetro\ mínimo = \left(\frac{4Q}{\pi V_{máx}}\right)^{1/2}$$

donde Q = Gasto a conducir en el tramo en estudio
$V_{mín}$ = Velocidad mínima permisible para el tipo de tubo
$V_{máx}$ = Velocidad máxima permisible para el tipo de tubo

Obtenidos estos diámetros se procede a determinar los diámetros comerciales comprendidos entre estos diámetros mínimo y máximo, y que serán los que se manejen en la evaluación y cuya combinación en los diferentes tramos generará una gran cantidad de alternativas de estudio, de las cuales se establecerán tres como mínimo; una alternativa que comprenda la combinación de los diámetros mayores en los diferentes tramos, otra que considere los diámetros menores en estos y otra que involucre la combinación de diámetros intermedios en los diferentes tramos. En el caso de implementar un programa de computadora resultará recomendable el hacer el análisis de todas las posibles combinaciones.

IV.1.1.4.- Análisis económico de alternativas

El objetivo del análisis económico radica en apoyar la toma de decisiones en el proceso de selección de la alternativa óptima. Dicha selección se debe llevar a cabo por medio de comparaciones que estén basadas en términos que representen las ventajas y desventajas que posea cada una de las alternativas, lo que ha sido razón para que se utilicen las unidades monetarias. Estas unidades a su vez deben estar identificadas en cantidad y tiempo, es decir la comparación no puede llevarse a cabo con cantidades que corresponden a períodos de tiempo diferentes, por lo que se requiere de la aplicación de métodos de homogeneización de los términos de la relación costo-tiempo. El análisis económico de cada una de las alternativas propuestas abarca tres aspectos que se refieren al costo de inversión, al costo de operación y al costo de mantenimiento. El primero se refiere a los gastos de obra civil (excavación, relleno, plantilla, tubería, accesorios, etc.), el segundo toma en cuenta los gastos provenientes de la operación de los equipos de bombeo, mientras que el último considera los gastos que se llevan a cabo para la reposición de tubería y equipos. Al integrar estos costos en uno solo se obtendrá aquél que servirá de base para llevar a cabo la comparación final, después del ajuste de los costos a anualidades.

Costo de obra civil (Inversión inicial).- Como se ha mencionado anteriormente este costo involucra todos aquellos gastos que se llevan a cabo en el proceso de tendido de las líneas de conducción, mismas que son: excavación, plantilla y relleno por un lado; suministro e instalación de tubería, accesorios y equipo de bombeo por el otro. Las características de los anteriores conceptos dependen del diámetro de la conducción, mientras que la resistencia de estos se determina después de obtener (a través del cálculo de pérdidas de carga en el sistema) las condiciones de flujo establecido y de sobrepresión por golpe de ariete, que a su vez dependen también del diámetro del tubo.

En la figura IV.2 se representan estas condiciones para la línea principal de conducción (que va desde el punto de la fuente de abastecimiento más alejado hasta el punto de entrega de la torre o tanque).

En la tabla IV.1, utilizada para llevar a cabo estas evaluaciones se tienen algunas columnas para por medio de las cuales se obtiene este costo.

Un estudio de singular importancia lo constituye el llamado golpe de ariete, que es un fenómeno asociado a una onda de presión que se transporta a lo largo de la tubería y es consecuencia del cambio en las condiciones de flujo al pasar de un estado establecido a otro.

Este fenómeno puede en un momento dado originar sobrepresiones que rebasen la presión de diseño de la conducción y por tanto exponerla al peligro de falla. Las características de esta onda dependen principalmente de la celeridad y de la longitud de la tubería, mientras que el cambio en las condiciones de flujo puede ser causado por diferentes maniobras o fallas en bombas, válvulas y/o tubería.

Para obtener la sobrepresión por golpe de ariete en este análisis preliminar puede hacerse uso del Método de Chaudhry (ver referencia 15), que toma en consideración el estudio para situaciones de disparo de bombas y cierre de válvulas a la descarga de la línea de conducción. De esta manera se obtienen las sobrepresiones que se sumarán a la presión de operación normal para determinar la resistencia que deberá tener la tubería y sus respectivos accesorios. Consecuencia del conocimiento de lo anterior, resulta el poder determinar el costo de estos conceptos mencionados.

Para determinar el costo anual de la inversión (A) de cada alternativa creada se ha considerado una vida económica del proyecto (n) de 30 años y una tasa de interés (i) del 12 % anual, aplicando la expresión presentada a continuación:

$$A = P\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

donde P = Valor presente de la inversión total

Costo de operación (Bombeo).- También de la figura anterior se desprende el concepto de "carga dinámica total", nombre con el que se denomina a la carga que deberá vencer la bomba para poder conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el punto de recepción del flujo. Para determinar este costo se toman en consideración el factor de planta correspondiente (ver capítulo 3 de este trabajo) y el costo vigente del Kwh de energía utilizado para el bombeo. En la hoja de cálculo de costos se tienen varias líneas dedicadas a la evaluación de este costo.

Costo de mantenimiento.- Este costo es calculado a partir de la suposición de que se requiere al inicio de la operación, tener un capital invertido similar al 50% del equipo de bombeo. Con este será posible realizar los cambios de los elementos de desgaste así como las operaciones de mantenimiento que sean requeridas durante la vida útil del sistema. Ahora bién, este capital será amortizado anualmente siguiendo los parámetros establecidos para el costo de inversión.

Para profundizar en los anteriores puntos puede consultarse la referencia No. 7.

En la figura IV.3 se presenta un esquema que servirá para complementar los cálculos que se desarrollan en la tabla IV.1, misma que pertenece a la Memoria de Cálculo del Sistema de Abastecimiento de Agua de la C. T. Lerdo U1 y U2.

Esta tabla mencionada consta de dos hojas y su principio está basado en la tabla que maneja la referencia No. 10, mediante el cual se obtiene el diámetro más económico de una conducción, con la diferencia de que la manejada en este trabajo está enfocada a un cálculo para una línea de conducción con varios tramos y que puede estar ramificada. La tabla permite realizar dicho cálculo para líneas principales de 8 tramos con 7 ramales que se conectan a la ésta en diferentes puntos. Lo anterior significa que esta tabla puede manejar una alternativa

de arreglo de la conducción completa y de acuerdo al número de alternativas generadas se llenará el correspondiente a las tablas. La selección de la alternativa óptima se hará considerando los costos anuales totales obtenidos en cada una de estas, tomando en cuenta los criterios complementarios de decisión.

Una vez definida la nomenclatura de los diferentes tramos de la línea en el cuadro 1 se procede a vaciar la información correspondiente a cada uno de estos (diámetro, longitud, gasto a transportar en el tramo, etc.). Con esta información es posible calcular el área hidráulica del tubo, así como la velocidad de flujo y su correspondiente carga de velocidad. Para obtener las pérdidas por fricción se utiliza la expresión de Darcy, donde el valor de "f" se obtiene del diagrama de Moody (ver referencia No. 2 en el capítulo 8), mientras que las pérdidas locales o por accesorios se obtienen aplicando los correspondientes coeficientes. Al sumar estas se obtiene el valor de la pérdida total en el tramo. Al realizar la sumatoria de estas últimas se obtiene el valor de las pérdidas totales (H_t) de la línea.

En el cuadro No. 2 se toma en consideración el diámetro y la longitud del tubo en el tramo, así como las características del terreno para definir las condiciones de zanjado en cada uno de los tramos que serán utilizados para determinar los volúmenes totales de obra civil. En este cuadro se incluye también el costo de tubería y accesorios de los diferentes tramos de conducción principal.

El cuadro No. 3 se utiliza para determinar el costo anual de bombeo, aplicando las pérdidas totales obtenidas para las diferentes líneas (que van desde cada pozo al punto de descarga, definidas en esta alternativa), los niveles dinámicos de los pozos y las cargas de posición correspondiente a cada uno de estos. La expresión a utilizar para obtener la potencia del motor de la bomba puede consultarse en la referencia No. 2 en el capítulo 4. El cálculo de este costo anual se determina siguiendo el patrón definido en la tabla del diámetro más económico de la referencia No. 10, pero al final este costo es afectado por el factor de planta correspondiente, ya que por lo general estas centrales con frecuencia operan parcialmente durante el año. Al unir los costos de operación de las bombas que forman parte del sistema se obtiene el costo anual de operación del sistema.

El cuadro No. 4 es útil para determinar para determinar el costo de la inversión inicial y toma en cuenta los volúmenes de obra y los costos de tubería y accesorios obtenidos para la línea principal (cuadro No. 2) y para los ramales (cuadro No. 7, auxiliar).

El cuadro No. 5 tiene por objeto obtener el costo de mantenimiento de los equipos que se consideran lo requieren, ya que algunos de sus elementos sufren de un desgaste acelerado su reposición, tal como los equipos de bombeo.

En el cuadro No. 6 se presenta el resumen de la evaluación económica al obtener las anualidades de inversión y mantenimiento, mismas que al sumarse al costo anual de operación proporcionar el valor del costo total anual, que es la base del análisis.

En la hoja No. 2 aparece el cuadro No. 7, que tiene como fin el obtener los conceptos que se refieren a volúmenes de obra, costos de accesorios tubería y equipos de bombeo para las líneas secundarias o ramales.

Como se mencionó anteriormente se anexan los cálculos correspondientes a la alternativa óptima del Sistema de Abastecimiento de Agua de la C. T. Lerdo.

ANALISIS ECONOMICO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

PROYECTO C. T. LERDO
LINEA POZO 10-DESC. (PRINCIPAL) **BATERIA** No. 1
CALCULO
REVISO
FECHA
FECHA

1.- EVALUACION DE PERDIDAS DE ENERGIA EN LA LINEA PRINCIPAL

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 10-8	0.360	0.1018	0.080	0.7862	0.0315	1090.93	0.0180	2.4792	1.501	0.078	1.579
8-8	0.500	0.1963	0.160	0.8149	0.0338	795.30	0.0158	1.2445	0.942	0.042	0.984
8-29	0.600	0.2827	0.240	0.8489	0.0367	1905.40	0.0150	2.0083	1.470	0.074	1.550
29-27	0.600	0.2827	0.280	0.9903	0.0500	99.00	0.0170	0.1399	0.139	0.007	0.148
27-34	0.600	0.2827	0.280	0.9903	0.0500	156.58	0.0170	0.2218	0.222	0.011	0.233
34-37	0.450	0.1590	0.040	0.2515	0.0032	41.53	0.0201	0.0909	0.005	0.000	0.005
37-40	0.305	0.0731	0.040	0.5476	0.0153	184.06	0.0208	[illegible]	0.200	0.010	0.210
40-42	0.305	0.0731	0.020	0.2737	0.0038	25.00	0.0218	0.0992	0.007	0.000	0.007
42-DESC	0.203	0.0324	0.020	0.6170	0.0194	11.15	0.0225	0.0019	0.024	0.001	0.025

COSTO M/A: 8,781,300.00 — Total: 4.701

2.- VOLUMENES DE OBRA-COSTOS DE TUBERIA Y ACCESORIOS

VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
551.66	99.54	347.15	15,460.00	16,470,013.38	824,400.87
564.60	82.51	344.88	19,819.00	15,000,812.81	489,927.35
1,477.03	184.87	828.48	23,287.10	22,385,110.34	1,121,553.31
80.24	11.78	51.73	44,700.80	4,384,334.85	131,527.05
144.06	18.00	81.77	44,700.80	8,888,723.54	258,948.76
28.45	4.06	15.95	35,290.30	1,430,315.98	14,313.19
97.28	18.06	55.43	29,352.40	5,715,894.78	57,122.75
11.21	2.16	1.26	29,352.40	734,092.52	7,260.56
3.12	0.64	2.52	23,129.00	257,877.28	1,736.37
2,978.22	417.87	1,746.77		96,270,335.15	2,947,575.11

3.- OBTENCION DEL COSTO DE OPERACION

ESTACION	GASTO Q (M3/S)	NIVEL DINAMICO (M)	CARGA DE POSICION (M)	HT (M)	CARGA DINAMICA TOTAL (MCA)	EFICIENCIA MOTOR (%)	POTENCIA (H. P.)	KW HORA	COSTO HORA DE BOMBEO ($)	COSTO ANUAL DE BOMBEO ($)	COSTO AFECTADO ($)
POZO 10	0.08	18.10	10.58	4.701	31.381	77.8	42.386	31.609	23.61	206,839.58	185,408.29
POZO 8	0.08	12.00	11.78	8.061	31.341	70.5	48.828	34,920	29.09	229,505.73	182,804.58
POZO 8	0.08	8.00	12.24	7.098	27.339	70.5	40.944	30.450	22.75	199,305.47	158,444.37
POZO 5	0.04	20.95	15.27	2.435	38.455	77.5	28.115	18.474	14.55	127,434.31	101,947.45
POZO 3	0.04	8.10	14.58	2.438	28.118	77.8	26.278	28.306			
POZO 2	0.02	27.10	12.11	2.203	41.423	70.6	15.482	11.552			
POZO 1	0.08	13.42	11.18	5.618	30.358	77.8	41.007	30.578			

Total: 628,695.67

4.- EVALUACION DEL COSTO DE INVERSION

CONCEPTO	CANTIDAD	P. U. ($)	IMPORTE ($)
EXCAVACION	5,099.90	458.50	2,272,197.87
PLANTILLA	807.80	1,877.38	1,682,279.74
RELLENO	3,095.22	800.00	2,400,174.75
TUBERIA			158,838,851.86

Total: 166,224,275.00

5.- EVALUACION DEL COSTO DE MANTENIMIENTO

COSTO BOMBAS	COSTO ACCESORIOS	COSTO MANTENIM
20,711,475.00	4,999,144.78	22,390,258.90

COSTO MANTENIM: 22,390,258.90

6.- RESUMEN

INVERSION	MANTENIMIENTO	ANUALIDAD INVERSION	ANUALIDAD MANTENIMIENTO	ANUALIDAD OPERACION	COSTO TOTAL ANUAL
166,224,275.00	22,390,258.90	20,848,103.94	2,775,890.95	626,695.67	24,023,060.14

ALTERNATIVA: DEFINITIVA
MATERIAL DE CONDUCCION: ASBESTO CEMENTO
PRECIO DE KW-H: $ 0.747

TABLA IV.1.- TABLA DE CALCULO DE COSTOS COMPARATIVOS PARA ALTERNATIVAS DE DISEÑO (HOJA 1/2)

ANALISIS ECONOMICO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

PROYECTO	C. T. LERDO			CALCULO	FECHA
LINEA	POZO 10-DESC. (PRINCIPAL)	BATERIA	No. 1	REVISO	FECHA

7.- CUADRO AUXILIAR

LINEA RAMAL 1

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 9 4	0.250	0.0491	0.052	1.0297	0.1264	242.80	0.0174	1.2200	2.598	0.180	2.778
4 5	0.300	0.0707	0.080	1.1318	0.0653	220.29	0.0170	0.8057	1.183	0.058	1.242
5 DESC											2.061
						COSTO M.N.	$ 9,279,758.03				6.081

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 9 4	82.07	18.41	81.78	11872.40	2,904,809.24	87,133.19
4 5	141.84	27.72	81.79	10278.40	5,244,208.89	157,347.19
5 DESC						
TOTAL	224.11	46.13	163.57		8,149,210.13	244,479.38

LINEA RAMAL 2

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 9 9A	0.200	0.0314	0.080	2.5495	0.3326	143.00	0.0117	0.8319	4.179	0.298	4.285
9A 8	0.350	0.1018	0.080	0.9993	0.0315	345.57	0.0198	0.8019	0.506	0.025	0.534
8 DESC											2.177
						COSTO M.N.	$ 7,110,610.00				7.096

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 9 9A	47.23	10.72	32.01	10247.00	1,465,321.55	42,954.81
9A 8	178.68	31.44	113.07	15482.00	5,350,772.71	160,531.18
8 DESC						
TOTAL	225.91	42.17	145.08		6,816,043.13	204,485.99

LINEA RAMAL 3

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 9 20	0.300	0.0707	0.040	0.5659	0.0163	872.90	0.0181	2.4840	0.811	0.041	0.851
20 28	0.300	0.0707	0.040	0.5659	0.0163	927.64	0.0181	2.5295	0.825	0.041	0.867
28 DESC											0.477
						COSTO M.N.	$ 5,295,590.00				2.345

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 9 20	352.84	69.95	225.63	10278.40	12,476,138.54	404,284.75
20 28	370.40	73.20	240.05	10278.40	12,717,827.20	411,621.81
28 DESC						
TOTAL	723.41	143.15	475.95		27,163,965.20	815,906.[illegible]

LINEA RAMAL 4

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 2 22	0.400	0.1257	0.080	0.6366	0.0207	1033.58	0.0188	2.1702	0.897	0.045	0.943
22 DESC											1.494
						COSTO M.N.	$ 5,299,590.00				2.438

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 2 22	569.81	92.19	387.84	17853.20	18,452,099.18	553,599.61
22 DESC						
TOTAL	569.81	92.19	387.84		18,452,099.18	553,599.61

LINEA RAMAL 5

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 7 27	0.150	0.0177	0.020	1.1318	0.0653	199.30	0.0188	1.2990	1.699	0.085	1.781
27 DESC											0.487
						COSTO M.N.	$ 5,008,021.00				2.263

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 7 27	55.27	13.74	38.19	9652.60	1,364,834.64	40,945.04
27 DESC						
TOTAL	55.27	13.74	38.19		1,364,834.64	40,945.04

LINEA RAMAL 6

TRAMO	DIAMETRO (M)	AREA A (M2)	GASTO Q (M3/S)	VELOCIDAD V (M/S)	CARGA DE VELOCIDAD (M)	LONGITUD DE TUBERIA (M)	f	K	PERDIDAS MAYORES (M)	PERDIDAS MENORES (M)	PERDIDAS TOTALES (M)
POZO 1 47	0.200	0.0314	0.080	2.5465	0.3305	134.00	0.0177	0.5820	3.812	0.190	4.108
47 45	0.300	0.0707	0.080	1.1318	0.0653	401.00	0.0170	1.1340	1.481	0.074	1.555
45 42	0.300	0.0707	0.080	1.1318	0.0653	49.00	0.0170	0.1388	0.181	0.008	0.190
42 DESC											0.025
						COSTO M.N.	$ 8,097,205.00				5.878

TRAMO	VOLUMEN EXCAVACION (M3)	VOLUMEN PLANTILLA (M3)	VOLUMEN RELLENO (M3)	P. U. TUBERIA $	COSTO TUBERIA $	COSTO DE ACCESORIOS $
POZO 1 47	44.29	10.05	30.00	10247.00	1,373,098.00	41,192.94
47 45	177.35	34.09	114.82	10278.40	6,509,838.40	197,000.00
45 42	21.67	4.17	14.04	10278.40	802,443.92	24,072.21
42 DESC						
TOTAL	243.25	48.30	158.86		8,142,458.00	262,274.24

TABLA IV.1.- TABLA DE CALCULO DE COSTOS COMPARATIVOS PARA ALTERNATIVAS DE DISEÑO (HOJA 2/2)

IV.1.2.- Obra de toma

La obra de toma se diseña generalmente en centrales que cuentan con un sistema abierto de agua de enfriamiento (aunque en algún caso especial es posible proyectarla para un sistema cerrado) y puede ser definida como una estructura por medio de la cuál el agua que proviene de la fuente de abastecimiento es conducida al recinto de la central hasta el sitio donde se llevará a cabo su distribución para los diferentes usos requeridos. Esta estructura resulta fundamental para la buena operación del sistema de enfriamiento, razón por la cuál requiere de una localización y diseño adecuados. La obra de toma está conectada directamente a la fuente de abastecimiento que puede ser el mar, una laguna o un río. Al considerar lo anterior, esta estructura puede clasificarse de la siguiente manera:

Obra de toma { Marina Superficial, Submarina, Fluvial

Las figuras IV.4, IV.5 y IV.6 dan una idea de la disposición que guarda el arreglo de cada una de estos tipos de obra de toma.

Los elementos de que esta formada esta estructura pueden ser identificadas como se menciona a continuación:

-Dispositivo de protección y/o control
-Dispositivo de conducción
-Sistema de limpieza
-Cárcamo de bombeo

En las líneas que se presentan en seguida, se trata de exponer brevemente aspectos descriptivos y de cálculo para llevar a cabo el diseño correspondiente.

IV.1.2.1.- Dispositivo de protección o control

Como su nombre lo indica este dispositivo tiene la función de brindar protección a las instalaciones interiores, encauzar la corriente que proporciona el volumen de agua requerida y evitar en lo posible la entrada de arena o material de azolve al canal de llamada.

EN UNA OBRA DE TOMA MARINA SUPERFICIAL.- Este dispositivo es la parte mas delicada y costosa de la obra de toma superficial en el mar y consiste en escolleras y/o espigones, que como se menciona en la referencia 4 en el fascículo A.2.13, tiene la función de evitar la acción del oleaje y la entrada de arena hasta los equipos de bombeo. Pueden clasificarse tomando en consideración la forma en que se oponen al oleaje denominándose: de paramento a talud, de paramento vertical y de paramento mixto. En México el diseño de este dispositivo para centrales termoeléctricas se ha orientado hacia el primero de estos, que resulta ser el más económico.

DESCRIPCION.- Las características estructurales que poseen escolleras rompeolas y espigones son muy semejantes por lo que su nombre depende mas que nada de la función

que desempeña cada una de estas. Para su descripción puede afirmarse que estos dispositivos son estructuras formadas por elementos sueltos (piedras) con trama y colocación hechas al azar, protegidos por una capa que los cubre llamada coraza, cuya constitución es de elementos pesados de piedra o concreto con formas especiales.

Longitudinalmente se definen dos partes: un cuerpo o tronco, que se inicia desde el arranque en la playa y se extiende mar adentro hasta poco antes del final de la estructura; y el morro o zona final que es la parte más expuesta al oleaje, razón por la que lo integran los elementos más pesados. La sección transversal de una escollera guarda una disposición que puede ser observada en la figura IV.7, en donde se mencionan las partes que la forman. A continuación se extienden los comentarios sobre estas últimas, mismos que se recopilan de las referencias 4 (A.2.13) y 20.

Coraza.- Conocida también como capa primaria, es la parte mas externa de la estructura y esta formada por capas de elementos que pueden ser naturales (rocas) o prefabricados de concreto (dolos, tetrapodos, cubos, etc.), que sean capaces de resistir la acción directa del oleaje, por lo que deben ser colocados de manera que presenten su máxima resistencia a la ola de diseño.

Capa secundaria.- Tiene las funciones de sostener los elementos de la coraza y actuar como filtro para evitar la dispersión de los elementos del núcleo. Está formada por una o varias capas de material de tamaño creciente en dirección hacia las capas externas.

Núcleo.- Está constituído por material de enrocamiento con tamaño relativamente pequeño, cumple las funciones de relleno y soporte de la estructura, además de impedir la transmisión de la energía del oleaje hacia el talud del lado de la playa a causa de la baja porosidad que posee.

Delantales.- Como objetivo tienen la protección de la estructura contra la socavación al pie de la misma. Las dimensiones mínimas recomendadas para el espesor (e) y la longitud (l), son de 0.50 y 5.00 m en el lado expuesto al oleaje. Para el lado protegido la longitud mínima varía entre 1.50 y 2.00 m. Este es un elemento que brinda mayor seguridad a la obra, por lo que es indispensable su construcción. Puede estar formada por material del que esta constituido el núcleo.

Filtro y apoyo.- Se recomienda usar una capa de encamado o filtro para proteger los cimientos de la estructura contra la socavación durante y después de la construcción, originada por la succión y extracción de arena del fondo por entre los huecos de las rocas al presentarse corrientes y oleajes característicos de grandes tormentas. Este elemento puede evitarse cuando los delantales cumplen adecuadamente con esta función, o cuando la estructura se apoya sobre material duro y/o muy pesado.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO.- Existen diferentes parámetros que son tomados en consideración durante el proceso de diseño de la escollera. Dichos parámetros pueden ser agrupados en cuatro grupos, mismos que se mencionan a continuación.

Factores del medio físico.- Uno de los factores primarios que influyen en las condiciones del oleaje lo constituye la batimetría de la zona, ya que la presencia del fondo produce cambios en las características de las olas y es determinante del sitio donde ocurre el rompimiento de las olas. Es necesario prestar atención también a los niveles de la marea que prevalecen en el

sitio donde se construirá la estructura, así como la velocidad, dirección y frecuencia del oleaje y de las corrientes marinas, además de los fenómenos metereológicos ocurrentes (tormentas, ciclones, etc.). La información anterior se obtiene fundamentalmente con base en investigaciones estadísticas.

Fuerzas que intervienen en la estabilidad de la coraza.- De la referencia 20 se desprende que el diseño de estructuras rompeolas, escolleras o espigones se ha basado en la experiencia, en el conocimiento general de las condiciones del sitio y en fórmulas empíricas que se han desarrollado. Dentro de estas fórmulas se encuentra la expresión utilizada para determinar el peso mínimo que deben tener los elementos de la coraza, misma que se basa en el análisis de las fuerzas que intervienen en la estabilidad de dichos elementos, lo cuales pueden ser observados en la figura IV.8.

Donde F = Fuerza de subpresión que tiende a levantar los elementos
R = Fuerza resistente originada por la fricción los elementos
P_s = Peso del elemento de la coraza (W)
D,M= Componentes tangencial y normal de P_s

Una explicación mas a fondo de lo anterior puede ser consultada en la referencia 16, en su capítulo 5.

A través de diferentes estudios Irribaren, Nogales y Olano desarrollaron la formula que se utiliza para determinar la estabilidad de las unidades de la coraza. Esta expresión es la siguiente:

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \phi}$$

Donde W = Peso de un elemento de la coraza
W_r = Peso específico del material de las unidades de la coraza
H = Altura de la ola de diseño
S_r = Gravedad específica del material de los elementos de la coraza, relativa al peso específico del agua ($S_r = W_r/W_w$)
ϕ = Angulo del talud de la estructura medida desde la horizontal
K_D = Coeficiente de estabilidad que varía según la forma rugosidad y agudeza de los cantos de la superficie de los elementos y del grado obtenido de entrelazamiento en el acomodamiento de estos

La anterior expresión se aplica para condiciones de diseño donde la cresta de la estructura es lo suficientemente alta para no permitir rebosamientos excesivos.

Altura de la ola de diseño.- El diseño de esta estructura se lleva a cabo considerando el oleaje que llegue a presentarse en el sitio, para lo que resulta interesante conocer el espectro de oleaje reinante. Resulta difícil realizar observaciones sistemáticas de las características de las olas y complicada la determinación de espectro mencionado, por lo que se ha preferido consultar cartas de mareas y de estados de agitación del mar, de donde se obtienen la dirección e incidencia del oleaje y los niveles de marea predominantes. De la referencia No. 16 en su capítulo 5 se desprende que existen diferentes criterios para definir la altura de la ola de diseño $H_d=H_{(1/3)}$, donde la segunda parte de esta igualdad se define al tomar en consideración al promedio de altura de las olas mayores, cuyo número corresponde a la

tercera parte del total de la muestra y que están asociadas a un periodo de retorno entre 5 y 50 años (dependiendo de las consecuencias de la falla). Esta altura de ola es conocida también como ola de significante. Bores recomienda por su parte $H_d = H_{(1/20)} = 1.10\ H_{(1/3)}$

La forma mas usual de definir esta altura consiste en el análisis estadístico-probabilístico de los temporales con su correspondiente oleaje.

Por otro lado, en el capítulo 7 de la referencia 20 se recomienda como altura de la ola de diseño, aquella que se obtiene del promedio de las olas más altas, cuyo número corresponda al 10% del total de la muestra ($H_d=H_{(1/10)}$).

De lo anterior se puede inferir que la decisión para seleccionar el valor de la altura de la ola de diseño es responsabilidad directa del proyectista, mismo que deberá considerar aspectos técnicos y económicos, aprovechando cuando la magnitud de la obra lo permita, un estudio con modelos físicos.

Comentarios adicionales.- Además de los factores mencionados resulta necesario evaluar el peso que tienen otros parámetros en el diseño de este tipo de estructuras, cuya influencia no resulta despreciable. A continuación se mencionan los considerados más importantes.

Criterio de rompiente.- Para llevar a cabo el diseño es necesario saber si la estructura estará expuesta a la acción del rompimiento de las olas, lo cuál requiere de saber la profundidad a la que esto sucede. La característica de esta rompiente (que puede ser continua, rodante u ondulante) depende de las condiciones iniciales de la ola en aguas profundas y de la rapidez del cambio que sufre en su geometría, lo que a su vez depende de la pendiente del fondo en la dirección del avance de la ola. La figura No. IV.9 representa las condiciones utilizadas en el análisis de este criterio.

Para determinar las profundidad en la rompiente (d_r), se hace uso de las curvas propuestas por Goda (Capítulo 2 del fascículo A.12.13 de la referencia 4), mismas que se basan en la relación que guarda la expresión siguiente:

$$\frac{d_r}{H_o'} = f\left(\frac{H_o'}{L_o}, S\right)$$

Donde S = Pendiente del fondo de la playa (S=y/x)
H'_o = Altura modificada de la ola en aguas profundas (K_r)(H_O)
H_o = Altura de la ola en aguas profundas
L_o = Longitud de la ola en aguas profundas (g)(T^2)/(2π)
K_r = Coeficiente de refracción $(b_o/b)^{1/2}$
b_o, b = Separación entre líneas ortogonales en aguas profundas y frente a la rompiente, respectivamente.
T = Periodo de la ola.
g = Valor de la gravedad (9.81 m/s).

Una vez conocido el valor de d_r, puede ser comparado con la profundidad (d) que se tiene en el desplante de la estructura.

De esta manera se tendrá:

Si $d>d_r$ la estructura está expuesta al oleaje no rompiente.
Si $d<d_r$ la estructura está expuesta a oleaje rompiente.

Una vez conocido lo anterior puede determinarse la altura de la ola en rompiente. En el caso de aguas profundas se determina la rompiente si las características de la ola exceden el límite de esbeltez máxima de acuerdo a lo siguiente:

$$\frac{H_o}{L_o} = 0.142 \quad \text{despejando} \quad H_o max = 0.142 L_o \quad H_o max = (0.142)(L_o)$$

En cuanto suceda que la altura de la ola exceda el valor de H_o max se tendrá que habrá una rompiente en aguas profundas. Para el caso de aguas someras, se recomienda utilizar las curvas de Goda apropiadas para realizar este cálculo (Ver referencia mencionada inmediatamente antes).

De lo anterior se puede concluir la necesidad de contar con información de campo de las características del oleaje en aguas profundas así como de refracción de refracción de oleaje.

Factor de estabilidad.- Hablar de la estabilidad en los elementos de una estructura del tipo que se ha mencionado, significa que bajo la acción de las fuerzas originadas por la ola incidente no se llegue a modificar la disposición de estos, de tal manera que se evite una falla que pueda provocar el colapso total de la estructura.

En la expresión utilizada para determinar el peso mínimo de los elementos de la coraza interviene un factor de estabilidad adimensional, cuyo valor considera las diferentes las diferentes variables que influyen en su selección. Dentro de estas variables pueden mencionarse como las más importantes las siguientes:

- Forma de la estructura de los elementos de que está constituida la estructura
- Número de unidades comprendidas en el espesor de la coraza
- Forma de colocación de los elementos de la coraza (al azar o acomodados)
- Tipo de oleaje al que está expuesta la estructura (rompiente o no rompiente)
- Parte de la estructura que se está diseñando (tronco o morro)
- Angulo del talud de la estructura (medida con respecto a la horizontal)
- Porcentaje de daño permisible

La tabla IV.2 propuesta por el Coastal Engineering Research Center, presenta tabulados los valores del coeficiente K_D que se recomiendan tomando en cuenta las variables mencionadas, y cuando resulte posible su implementación debe ser apoyada con pruebas en modelos.

En el caso de considerar un porcentaje de daños mayor al 5% sólo para casos de ola no rompiente, se requiere la utilización de otra tabla, en donde el valor de K_D está en función del daño permisible sobre la coraza. Esta tabla corresponde a la IV.3.

Alcance de la ola.- Para la determinación de la elevación mínima de la coraza que impida un rebosamiento, resulta necesario definir el alcance de la ola sobre la estructura, término sobre el cual se llama a la distancia vertical máxima medida sobre el nivel estático del agua hasta el punto que alcanza la ola al proyectarse sobre la estructura. La figura IV.10 proporciona una idea clara sobre este concepto.

TIPO DE ELEMENTOS EN LA CORAZA	n(1)	COLOCACION	CUERPO(TRONCO) DE ESCOLLERA (4)		MORRO DE LA ESCOLLERA		TALUD
			OLA R	OLA NR	OLA R	OLA NR	COT θ
Roca de cantera							
Lisa y redondeada	2	Azar	2.1	2.40	1.70	1.90	1.5 a 3.0
lisa y redondeada	>3	Azar	2.8	3.20	2.10	2.30	(5)
Rugosa y angulosa	1	Azar (2)	(2)	2.90	(2)	2.30	(5)
					2.90	3.20	1.5
Rugosa y angulosa	2	Azar	3.5	4.00	2.50	2.80	2.0
					2.00	2.30	3.0
Rugosa y angulosa	>3	Azar	3.9	4.50	3.70	4.20	(5)
	2	Especial (3)	4.8	5.50	3.50	4.50	(5)
tetrápodo					5.90	6.60	1.5
y	2	Azar	7.2	8.30	5.50	6.10	2.0
cuadrípodo					3.70	4.10	3.0
					8.30	9.00	1.5
Tribar	2	Azar	9.0	10.40	7.80	8.50	2.0
					7.00	7.70	3.0
Dolos	2	Azar	22.0 (6)	25.0 (6)	15.00	16.50	2.0
					13.50	15.00	3.0
Cubo modificado	2	Azar	6.80	7.80		5.00	(5)
Hexápodo	2	Azar	8.20	9.50	5.00	7.00	(5)
Tribar	2	Uniforme	12.00	15.00	7.50	9.50	(5)

TABLA IV.2.- VALORES RECOMENDADOS DE K_D PARA DETERMINAR EL PESO DE LAS UNIDADES DE LA CORAZA (CRITERIO SIN DAÑO Y MINIMA REMOCION)

NR No rompiente
R Rompiente
(1) Número de elementos de la coraza
(2) El uso de una capa de coraza formada con un solo elemento de roca sujeta a olas rompientes no es recomendada y sólo bajo condiciones especiales para olas no rompientes. Cuando se empleen las rocas deben colocarse cuidadosamente
(3) Colocación especial con el eje longitudinal de la roca puesto en dirección perpendicular al paramento de la escollera
(4) Aplicable a taludes comprendidos entre 1.5:1 y 5:1
(5) Hasta no tener información disponible acerca de la variación de K_D con respecto al talud, el uso de este factor deberá limitarse a taludes comprendidos entre 1.5:1 y 3:1. Esto se debe a que los resultados de algunas pruebas indican dependencia del valor de K_D con el talud
(6) Datos disponibles únicamente para taludes 2:1
(7) Pendientes mayores de 2:1 no son recomendables en la actualidad

Si la ola no rompe antes de llegar a la estructura es posible que rompa sobre el talud de esta, dependiendo del valor del ángulo ϕ (que se mide con respecto a la horizontal), y su comparación con el ϕ crítico (ϕ_c). El valor de este último ángulo se obtiene a partir de que se cumpla la igualdad siguiente (donde ϕ_c está dado en radianes):

$$\frac{(2\phi_c)^{1/2}\,\mathrm{sen}^2\,\phi_c}{\pi^{3/2}} = \frac{H_0}{L_0}$$

TIPO DE ELEMENTO		DAÑOS EN PORCENTAJE (D)						
		0 A 5	5 A 10	10 A 15	15 A 20	20 A 30	30 A 40	40 A 50
Roca de cantera (lisa)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
	K_D	2.40	3.00	3.60	4.10	5.10	6.70	8.70
Roca de cantera (rugosa)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56
	K_D	4.00	4.90	6.60	8.00	10.0	12.4	15.0
Tetrápodo y cuadrípodo	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K_D	8.30	10.8	13.4	15.9	19.2	23.4	27.8
Tribar	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25	1.36	1.50	1.59	1.64
	K_D	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

TABLA IV.3.- VALORES RECOMENDADOS DE K_D PARA DETERMINAR EL PESO DE LAS UNIDADES DE LA CORAZA, CONSIDERANDO DAÑO SOBRE ESTAS

a) Si $\phi > \phi_c$ la ola no rompe sobre la obra y el alcance de la ola se obtiene con la fórmula siguiente:

$$R_L = H_0 K_d \left(\left(\frac{\pi}{2\phi} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\eta_s}{H} - 1 \right) \right)$$

donde
R_L = Alcance de la ola
H_o = Altura de la ola progresiva en aguas profundas
H = Altura de la ola progresiva frente a la estructura correspondiente a la profundidad h. Ver figura IV.9
η_s = Altura o alcance de la ola cuando $\phi = 90°$

Este último se obtiene a su vez de la expresión siguiente:

$$\eta_s = H + \frac{\pi H^2}{L} \coth \left[K_d \left(1 + \frac{3}{4\,\mathrm{senh}^2\,K_d} - \frac{1}{4\cosh^2 K_d} \right) \right]$$

K_s = Coeficiente de propagación en aguas someras. $K_s = C_{go}/C_g$
C_{go}, C_g = Celeridades de grupo de olas en aguas profundas y frente a la estructura.

b) Si $\phi < \phi_c$ la ola rompe sobre el talud, entonces el alcance puede ser evaluado con la siguiente fórmula:

$$R_L = H_0 K_s \left(\frac{\cot \phi_c}{\cot \phi} \right)^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{\pi}{2\phi_c} \right)^2 + \left(\frac{\eta_s}{H} - 1 \right) \right]$$

c) Cuando la ola rompe antes de alcanzar la estructura el problema resulta muy complejo, y para valorar el alcance de la ola se recomienda el uso de las tablas de Toyoshima, Shuto y Tuhimoto. Ver referencia 20.

Resulta necesario afectar el valor del alcance de la ola con un factor de corrección r, que toma en consideración el material y el acabado del talud de la obra. Los valores de este factor están tabulados en la tabla de Battjes (referencia 20). La expresión a utilizar será:

$$R = r R_L$$

Existen factores que generan cambios en la altura, celeridad y longitud de la ola debido a la presencia del fondo y de algunos obstáculos (como islas y estructuras marítimas), tales como la refracción, difracción y reflexión del oleaje. Los estudios correspondientes a estos conceptos no se encuentran dentro de los alcances de este trabajo, ya que corresponden a actividades preliminares a la etapa de diseño, pero para su consulta resulta útil la referencia 4, en el capítulo 3 del fascículo A.2.13.

EN UNA OBRA DE TOMA SUBMARINA.

Existen casos en los que no es posible construir la obra de toma marina superficial a causa del transporte excesivo del litoral (que origina una voluminosa entrada de arena a la obra de toma), o a que no se cuenta con espacio suficiente para evitar la recirculación de agua caliente, o bien a la necesidad de proteger la vida acuática de la zona circundante a la central. En estos casos se debe construir una obra de toma submarina (ver fascículo A.2.14 de la referencia 4 en el capítulo 4), cuyo arreglo característico puede ser observado en la figura IV.5.

En este tipo de obras de toma, puede considerarse como estructura de control de acceso de agua a la torrecilla de toma, misma que puede ser vista en la figura IV.11.

A través de su tapa superior esta torrecilla cumple con los principios de:

a) tomar agua fría de estratos inferiores del mar
b) evitar la formación de vórtices en la superficie del mar, y
c) evitar la entrada de peces a la obra de toma.

CRITERIOS DE DISEÑO.- La profundidad de desplante de la torrecilla de toma está determinada por diversos factores como son su altura total y el colchón de agua mínimo requerido sobre la tapa superior. Otros factores son los requerimientos de succión de agua evitando la entrada de aire y/o arena al interior. Se recomienda para diseño una velocidad de entrada del agua menor a 0.60 m/s.
Al igual que en el caso anterior es necesario determinar si este dispositivo estará o no sujeto a la acción de oleaje rompiente y según sea el caso realizar un diseño estructural que soporte el

empuje provocado por las fuerzas correspondientes. Se recomienda recubrir el lecho marino del lugar con enrocamiento para evitar la dispersión de la arena del fondo que puede provocar asentamientos peligrosos para la estabilidad de la estructura.

EN UNA OBRA DE TOMA FLUVIAL.

Una obra de toma fluvial es aquella que se localiza en los márgenes de un río (como se muestra en la figura IV.6), en un sitio donde los depósitos de sedimentos sean mínimos. Definido dicho lugar puede ubicarse en él la estructura de control, la que puede estar constituida por espigones (para encauzar el flujo) con un sistema de compuertas (para controlar las variaciones de nivel en el cárcamo), o únicamente por este último.

La selección del sitio en donde se localice la obra de toma requiere de una serie de estudios de escurrimientos, de transporte de sedimentos, y de estabilidad de taludes en el cruce del río, que para mejor conocimiento puede ser consultado en el fascículo A.2.14 de la referencia 4.

IV.1.2.2.- DISPOSITIVO DE CONDUCCION.

Como su nombre lo indica el dispositivo de conducción tiene como objetivo el encauzar el agua desde el punto de toma hasta el cárcamo de bombeo. Dependiendo de las características de la obra de toma con que cuenta la central, este dispositivo puede consistir en un canal de llamada (para las obras de toma marina superficial y fluvial), o en una conducción (para la obra de toma submarina). A continuación se extienden algunos comentarios sobre este dispositivo.

EN UNA OBRA DE TOMA MARINA SUPERFICIAL.

DESCRIPCION.- Consiste para este caso en un canal de llamada, que además de encauzar el agua cumple con la función de servir como tanque sedimentador (para evitar la llegada de sólidos en suspensión al sitio donde se localiza el equipo de bombas). En la figura IV.4 se observa que este dispositivo tiene su inicio en la parte más alejada de la estructura de control y termina donde se inicia el cárcamo de bombeo. El procedimiento de diseño de este dispositivo requiere de una serie de pasos que se describen a continuación:

RECOPILACION DE INFORMACION.- El contar con la siguiente información resulta imprescindible para el desarrollo del diseño:

- Requerimientos de agua de la central.
- Cartas locales de marea.
- Dimensiones del carcamo de bombeo.
- Características de diseño del canal.
- Batimetría y topografía de la zona.

Los requerimientos de la central comprenden los gastos requeridos por las bombas del sistema de agua de circulación y las auxiliares. Las cartas de marea locales comprenden información relativa a los diferentes niveles representativos de la marea. Las dimensiones del cárcamo y del canal deben reunir cierta relación que permita un flujo adecuado en la transición entre estos, y depende del número de bombas, en las cuales se basa el dimensionamiento. Las características de diseño del canal consideran aspectos como son la determinación de la

geometría y el revestimiento a utilizar. La disposición del terreno de la playa resulta también muy importante en el diseño.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.- El procedimiento propuesto en el presente trabajo recomienda partir del dimensionamiento obtenido para el cárcamo, en el punto de interconexión entre ambos o zona de transición.

Longitud.- La longitud depende de la ubicación de puntos tales como el cárcamo, la línea de la costa y la línea de rompiente, pues existe la recomendación de que el canal se extienda mar adentro 1.5 veces la separación que se tenga entre estas dos líneas, según la referencia 4 en el fascículo A.2.14.

Secciones transversal y longitudinal.- El diseño del canal parte del cárcamo de bombeo, en donde ambas estructuras tendrán un ancho de plantilla similar. La primara zona que se define del canal es la zona de transición, misma que se caracteriza por ser variable ya que la sección transversal inicial es rectangular en el cárcamo mientras que la sección final es trapezial ya que corresponde al inicio formal del canal. El talud (k) de las paredes del canal es función de las características del material de que está constituida tanto ésta como su revestimiento.

El número de secciones a lo largo del canal puede ser variable, pero su geometría está condicionada al rango de velocidades permisibles, mismo que se presenta a continuación:

V = 0.60 m/s Para el tramo a la entrada del canal.
V = 0.30 m/s Para el tramo junto al cárcamo de bombeo.

El cálculo da inicio en primer lugar con la defrinición de la sección óptima del canal de acuerdo al gasto que se tiene, y en segundo lugar proponiendo un nivel del espejo del agua en la columna de succión de las bombas. A partir de lo anterior y considerando el ancho de plantilla producto del diseño del cárcamo, el gasto de diseño y la velocidad de 0.30 m/s, se define un tirante hidráulico y su correspondiente nivel de plantilla preliminar por medio del uso de la ecuación de continuidad, misma que se presenta enseguida:

$$Q_i = V_i A_i \qquad A_i = \frac{Q_i}{V_i}$$

Cumplido este primer paso se procede a aplicar la ecuación de la energía (Bernoulli) en esta sección, para posteriormente proponer distintos tirantes en la sección siguiente hasta encontrar aquél que cumpla con dicha ecuación, misma que se muestra a continuación:

$$E_i = E_{i+1} - \Sigma h$$

$$E_i = z_i + y_i + \frac{V_i^2}{2g}$$

Una vez definido el tirante que cumpla con lo anterior se realiza una nueva comparación con la siguiente sección y así sucesivamente se irá repitiendo el cálculo en una trayectoria hacia aguas arriba, hasta llegar al punto de de entrada de agua al canal.

En secciones trapeziales el área de flujo se determina a partir de la fórmula siguiente:

$$A_i = \frac{Q_i}{V_i} = by_i + ky_i^2$$

El valor del tirante obtenido sobre la plantilla del canal en su sección última (aguas arriba) debe coincidir con el nivel de marea correspondiente a la bajamar mínima. En el caso de no resultar así, es necesario transportar el canal hacia arriba o hacia abajo para lograr esta congruencia.

Con lo anterior es posible obtener un perfil como el mostrado en la figura IV.12.

La pendiente de la plantilla del canal de llamada debe ser suave con la cota más profunda en la conexión al cárcamo de bombeo.

Realizado lo anterior el paso siguiente consiste en considerar el nivel de pleamar máxima como el correspondiente al tirante en la entrada del canal, para definir el perfil de flujo que permitirá determinar las acotaciones de las bermas y del coronamiento del canal, características cuya función es el evitar el desborde del mismo y el ahogamiento de estructuras y dispositivos con lo que se completaría el corte longitudinal del mismo.

Esta última consideración origina en algunos casos la implementación de secciones compuestas. La referencia 3 en su capítulo 2, toca puntos referentes al diseño de secciones como las mencionadas anteriormente, por lo que se recomienda su consulta para afinar el procedimiento de diseño.

EN OBRA DE TOMA SUBMARINA.- Aunque no es una obra muy común para contruir en México, resulta interesante plantear las características que tienen este tipo de dispositivos.

DESCRIPCION.- Este dispositivo esta constituido por una conducción submarina que puede estar formada por tubos de concreto presforzado o ductos de concreto armado. La figura IV.5 da una idea de la disposición que guarda este elemento. Debido a que en este tipo de dispositivos resulta característico el desarrollo de incrustaciones orgánicas en las paredes internas de la tubería, es importante la presencia de aditamentos para invertir el flujo. Esta operación de invertir el flujo se lleva a cabo periódicamente con agua caliente durante lapsos de tiempo determinados, para inhibir el desarrollo de incrustaciones mencionadas.

La conducción deberá estar asentada sobre una base estable en la que no se produzcan hundimientos por desalojo del material del fondo, razón por la que el diseño contará con una cama de enrocamiento.

RECOPILACION DE INFORMACION.- Al igual que para el dispositivo de conducción para la obra de toma marina superficial, el diseño de esta estructura requiere contar con una información similar, cuya aplicación será la misma, exceptuando la correspondiente al cárcamo de bombeo que para este caso puede ser independiente.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.- Para evitar que las partículas suspendidas en el agua pudieran entrar en la conducción, y depositarse a lo largo del fondo de esta, se recomienda el diseño de una sección transversal del ducto que genere velocidades mayores de 1.8 m/s. Las

pérdidas generadas por el flujo a lo largo de la conducción completa servirán para determinar la altura mínima del colchón de agua que deberá existir sobre la torre de toma y serán evaluadas a partir de la consideración de un coeficiente de rugosidad de Manning n = 0.020, el cual toma en cuenta las incrustaciones orgánicas. Estas recomendaciones pueden observarse en la referencia 4 en el fascículo A.2.14.

EN OBRA DE TOMA FLUVIAL.- Para este tipo de obras de toma, el diseño del canal de llamada resulta similar al correspondiente a la obra de toma superficial. Esta semejanza puede observarse en las figuras IV.16 y IV.17. Esto es motivo por el cual no se tratará este concepto.

IV.1.2.3.- SISTEMA DE LIMPIEZA.

Con el fin de impedir el paso de cuerpos y organismos al interior de las instalaciones del sistema de agua de circulación, se colocan dispositivos de retención de sólidos en diferentes puntos de la obra de toma. A continuación se mencionan estos dispositivos y su función, aunque las características particulares correspondientes a cada uno de estos son determinadas por el fabricante.

Estructura de rejillas.- Para impedir la llegada de los cuerpos flotantes hasta las bombas resulta necesaria la colocación de una estructura de rejillas en la parte del canal de llamada cercano al cárcamo.

Mallas Giratorias.- La finalidad de estas mallas consiste en impedir que lleguen al condensador algunos organismos pequeños que puedan obstruirlo, razón por la cual el tamaño de la malla debe ser menor que el diámetro de los tubos de este. El movimiento giratorio de este dispositivo se produce automáticamente al existir una diferencia de carga hidráulica entre el espejo de agua a ambos lados de estas. La limpieza de este dispositivo se lleva a cabo por medio de chorros de agua a presión y su ubicación debe ser entre las rejillas y las bombas.

Trampa de arena.- Antes de la estructura de rejillas se requiere de un muro vertical con altura aproximada de un metro, que servirá como trampa de arena. Este dispositivo es conocido también como mampara.

En la figura IV.13 pueden observarse estos dispositivos en su arreglo tipo.

Este sistema es similar en los tres tipos de obras de toma mencionadas en el presente trabajo, con una única recomendación para el caso de la conducción submarina, en la que estos dispositivos deben ubicarse de manera que no interfieran en la operación de inversión de flujo.

IV.1.2.4.- CARCAMO DE BOMBEO.

El cárcamo de bombeo es un dispositivo cuya importancia resulta de primer orden dentro de aquellos que forman parte de una central termoeléctrica, ya que es la encargada de alojar el agua que será tomada por las bombas del sistema de agua de circulación y las de servicios auxiliares. Debido al papel que desempeña, el diseño de este dispositivo requiere de una cuidadosa realización. Las líneas siguientes intentan describir las características de este dispositivo y de los factores que intervienen en su diseño, donde idealmente se busca que la llegada del agua a la entrada de la bomba se realice por medio de un flujo uniforme, estable y de fase simple (sin contenido de aire, vapor u otros gases).

DESCRIPCION.- El cárcamo de bombeo constituye ordinariamente una cámara o recinto con formas geométricas determinadas a donde llega el agua proveniente de la fuente de abastecimiento, para salir del mismo a través de las tuberías cortas conectadas a las bombas. Estas últimas pueden estar suspendidas sobre el cárcamo o ubicarse fuera de él (en cuyo caso la conexión requerirá de agujeros en las paredes finales del cárcamo). Un arreglo típico de este dispositivo puede ser observado en la figura IV.14.

RECOPILACION DE INFORMACION.- Para llevar a cabo el diseño del cárcamo se requiere del conocimiento de cierta información, tal como:

- Requerimientos de agua de la central
- Cartas locales de marea.
- Número y características de las bombas.
- Topografía de la zona.

Requerimientos de agua de la central.- Los requerimientos de agua de la central constituyen una información cuyo conocimiento hace posible definir las características de una sección transversal del cárcamo donde se permita un flujo que respete el rango de velocidades permisibles.

Cartas locales de marea.- Los niveles representativos de la marea sirven para determinar los niveles máximo y mínimo del agua a los que deberá estar expuesto el cárcamo, y con base en esto, definir dimensiones que eviten la inundación de los equipos, buscando a la vez no permitir que la carga de succión que se presente con los diferentes niveles de marea llegue a ser menor que la carga de succión mínima requerida por las bombas.

Número y características de las bombas.- Las características del equipo de bombeo son determinantes en la definición de las dimensiones del cárcamo, pues se tiene establecido un tipo de diseño para cada una de las diferentes bombas que se tienen. Por otra parte, el número de bombas también es determinante en el arreglo.

Topografía de zona.- Resulta necesario el conocimiento de este factor y la aplicación que tiene esta información es la misma que para las estructuras anteriores.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.- En centrales de este tipo la configuración de las instalaciones de la bomba puede ser de pozo seco o de pozo mojado. La primera posee la gran ventaja de reducir costos de ingeniería civil, aunque su mantenimiento puede convertirse en un problema si implica el vaciado del cárcamo o la unidad de bombeo fuera del cárcamo. La segunda es utilizada cuando el factor principal lo constituye la confiabilidad del sistema, ya que la bomba está al alcance y puede tener mantenimiento todo el tiempo. Las figuras IV.14.a y IV.14.b presentan un aspecto de estas configuraciones.

Las características del cárcamo y la entrega a las bombas depende del tipo que se utilice de estas y de su configuración, recomendándose la instalación de un número de bombas que permita el mantenimiento de las mismas sin necesidad de interrumpir la alimentación a la central.

El cárcamo es rectangular generalmente y posee un piso liso. Los criterios de un buen diseño implican diferentes aspectos, dentro de los cuáles pueden ser mencionados los siguientes como los más importantes.

- El flujo debe ser uniforme a lo largo del cárcamo y del acceso a este.
- La energía cinética del flujo debe ser disipada lejos de la entrega a las bombas, esto es, la eliminación de las características de un flujo en extremo turbulento.
- El flujo debe ser normal al alineamiento de las bombas, coincidiendo su eje con una línea simétrica en el cárcamo.
- Las velocidades permisibles en las inmediaciones de la campana de succión son de 0.30 m/s (máximas).

Es común encontrar diseños para este tipo de centrales, donde se tienen cárcamos múltiples. El diseño recomendado a seguir es el propuesto por el British Hydraulic Research Association (BHRA) en el folleto "The hydraulic design of pump sumps and intakes", y consiste en un cárcamo para varias bombas con configuración de pozo húmedo. La figura IV.15 muestra la disposición geométrica de los elementos de interés en el diseño y sus correspondientes valores mínimos:

A continuación se define lo que representa cada una de las literales:

X = Distancia horizontal entre la orilla de la campana de succión y la pared final.
W = Ancho del encauzamiento del flujo hacia la bomba correspondiente.
T = Espesor del muro divisorio.
S = Desnivel entre la superficie libre del agua y el nivel inferior de la campana de succión. Se conoce también como sumergencia.
L = Longitud aguas arriba de la bomba libre de obstrucciones.
E = Longitud del muro divisorio.
D = Diámetro exterior de la campana de succión.
C = Altura de la campana sobre el piso del cárcamo para tomas de bomba verticales.

Como es posible observar, casi todas las dimensiones del cárcamo están en función del valor de D, el cual puede ser obtenido ya sea a través de la fórmula siguiente:

$$D = (1.5)(Q)$$

Donde Q = Gasto impulsado, por la bomba (m^3/s).

Este cálculo también puede ser realizado por medio de una gráfica que asocia la capacidad de flujo de la bomba con el diámetro de la campana de succión. Ver curvas de valores estandarizados de Kubota.

Aspectos fundamentales del diseño que requieren de especial atención son la determinación de la sumergencia mínima que deberá tener la columna de succión de la bomba y de los requerimientos de carga neta positiva de succión (CNPS), para evitar la cavitación. Es por lo general el fabricante quien proporciona esta información, y de no ser posible esto, tendrá que ser calculada. La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión local ha descendido hasta alcanzar la presión de vaporización, dando lugar a la formación de pequeñas burbujas de vapor que serán arrastradas aguas abajo, hasta llegar a un punto donde la presión crece y llega a provocar el colapso de las burbujas, mismo que va acompañado de ruidos crepitantes y que origina presiones y temperaturas altas que pueden causar serios daños a la pared del conducto y/o a las partes de la bomba.

Otra consideración implica el que el dimensionamiento recomendado proporciona los valores mínimos que deberán de ser respetados, aunque el diseño puede permitir dimensiones mayores según se presente la necesidad de ajustes para cumplir con las especificaciones y estar dentro del rango de velocidades de flujo permitido.

Si las características de la configuración de las bombas son diferentes a las mencionadas en las líneas anteriores, las normas de diseño cambian, en cuyo caso se recomienda consultar el manual del BHRA antes mencionada.

Por otra parte es recomendable realizar un estudio con modelos para determinar las características finales de diseño del cárcamo.

IV.1.3.- Obra de descarga

La obra de descarga o línea de purga es una estructura que forma parte del sistema de agua de enfriamiento, cuya función específica consiste en el desalojo o recepción del volumen que fué utilizado para el enfriamiento del vapor (así como el correspondiente a las bombas auxiliares), de acuerdo al arreglo con que cuenta el sistema.

Las líneas siguientes tratan aspectos relacionados con estas estructuras.

IV.1.3.1.- EN UN SISTEMA ABIERTO.- El diseño de la estructura de descarga en los sistemas de agua de enfriamiento de ciclo abierto debe tomar en consideración los aspectos primordiales que consisten en evitar la recirculación de agua caliente que pudiera regresar a la obra de toma, para no afectar el rendimiento de la turbina y no rebasar los límites marcados en los reglamentos de protección ambiental. De acuerdo a estas limitaciones de descarga de agua caliente al mar, es posible definir el tipo de descarga a implementar en el diseño, que puede ser superficial o submarina.

Descarga superficial.- El diseño de esta estructura requiere conocer el campo de velocidades y la distribución vertical y horizontal de temperaturas del agua, que son elementos de un estudio que sirve para determinar el grado de recirculación posible y evaluar además el impacto de esta descarga al ecosistema y al turismo. Para llevar a cabo estos estudios se necesitan conocer factores como la batimetría, el historial de mareas y de corrientes, las temperaturas del agua en la zona, las características del medio donde habita la fauna marina, etc.

El primero de estos elementos mencionados en el análisis de la descarga se divide en dos partes: el campo cercano (donde el impulso del chorro caliente es más importante que las fuerzas del flotación que provienen de la diferencia de densidades entre el agua descargada y la masa de agua receptora) y el campo lejano (donde las fuerzas de flotación son más importantes que las del impulso). El primero de estos campos considera que el enfriamiento se realiza únicamente por el efecto del contacto de las dos masas de agua, mientras que en el segundo se supone que se debe a la entrega de calor a la atmósfera.

En la figura IV.16 es posible obtener una idea de las características de una descarga superficial, en la que pueden notarse sus variables.

donde h_0 = Tirante del agua en la descarga del canal, dado en m.
b_0 = Semiancho del canal de descarga, en m.

h_1 = Profundidad máxima que alcanza el chorro de agua caliente, en m.
x_1 = Distancia de la línea de la playa al punto donde se produce la profundidad máxima del chorro, en m.
h_2 = Profundidad del agua caliente donde finaliza el campo, en m.
x_2 = Distancia de la línea de la playa al punto donde finaliza el campo cercano, en m.
b = Semiancho del chorro de agua caliente descargado en m.
H = Profundidad del cuerpo de agua receptor, en m.

La configuración de la descarga puede determinarse siguiendo la secuencia de cálculo presentada para el caso de descarga en aguas profundas, en el fascículo A.2.14 de la referencia 4, en el capítulo 2, donde puede consultarse también la forma en que debe desarrollarse ésta, para los casos en donde se descarga en aguas bajas estancadas y en una descarga expuesta a una corriente transversal. Por su complejidad no se describirá esta secuencia en el presente trabajo.

En el caso de que la magnitud de los problemas presentados en el diseño lo amerite, se recomienda realizar estudios con modelos físicos a escala.

Para el campo lejano el cálculo de la distribución de isotermas implica la aplicación de un modelo matemático, en el cuál son útiles algunos parámetros obtenidos para el campo cercano. Al igual que para el campo cercano, estos conceptos no son manejados en este trabajo debido a su complejidad.

Este estudio brinda una idea de la distancia mínima que deberá existir entre las obras de toma y de descarga, dato a partir del cuál será posible definir el punto de localización de esta última y consecuentemente conocer la longitud que tendrá el canal de descarga. A partir del punto de localización mencionado se trazarán los perfiles de flujo críticos que regirán el diseño de la sección del canal, para lo cual puede consultarse la referencia 3 en el capítulo 5.

Un elemento que resulta dentro de esta estructura es el dispositivo de sello, cuya función es la de mantener el sifón en el condensador, evitando la entrada de aire a la conducción y por consiguiente en éste. En algunos casos esta estructura se considera como componente del sistema de agua de circulación. La figura IV.17 permite observar la disposición de esta estructura de sello.

Descarga submarina.- Estas estructuras serán implementadas cuando no se permita alterar la temperatura del agua en las inmediaciones de la central, o cuando se impongan severos límites a esta alteración o en el caso de estar imposibilitados para alejar lo necesario la descarga superficial. Esta estructura está constituida por una o mas tuberías inmersas en el fondo marino y rematadas con difusores que pueda tener cualquier orientación.

El análisis de la descarga submarina al igual que la superficial se divide en dos partes que son el campo cercano y el campo lejano. El primero de estos se extiende desde la salida del agua caliente por el brocal del difusor hasta el punto donde el agua descargada fluye horizontalmente, perfectamente estratificada y sin mezclas con el agua receptora. El segundo de estos empieza donde termina el anterior y se caracteriza por la disipación de calor hacia la atmósfera.

Los difusores pueden ser sencillos o múltiples y sus características pueden ser observadas en la figura IV.18.

Los difusores múltiples resultan adecuados para una dilución abundante, entendiéndose por dilución (S) como el cociente obtenido del chorro al terminar de mesclarse (Q_0+Q_1) y el gasto original descargado (Q_0), o sea:

$$S = \frac{(Q_o + Q_1)}{Q_o}$$

En el caso de los difusores múltiples es necesario llevar a cabo el diseño de sus características, tales como : diámetro del difusor, espaciamiento entre difusores, orientación y tendido de los difusores. Para definir este diseño la referencia 4 en su fascículo A.2.14 y capítulo 2, presenta una secuencia de cálculo que se recomienda utilizar, en la cuál es posible observar los diferentes casos de diseño.

IV.1.3.2.- EN UN SISTEMA CERRADO. En estos sistemas de enfriamiento la descarga del agua caliente provenientes del sistema de agua de circulación, se realiza sobre depósitos o cuerpos receptores en los cuales se llevará a cabo su enfriamiento. Dentro de estos es posible mencionar los estanques y las torres de enfriamiento. A continuación se desarrollan comentarios sobre estos dispositivos, mismos que no serán profundizados debido a que su extensión implica estudios muy complicados.

ESTANQUES DE ENFRIAMIENTO.- Constituyen cuerpos grandes de agua, de donde se toma el agua que se utilizará para el enfriamiento en los condensadores. El agua caliente que llega a este estanque se enfría por un intercambio de calor con la atmósfera. Se clasifican según la referencia A.2.14 atendiendo a su origen como artificiales (diques perimetrales o aprovechamientos de la topografía del suelo para provocar embalses) y naturales (lagos o embalses naturales).

El estudio y diseño de un estanque de enfriamiento está centrado en la determinación de la temperatura del agua a la entrada del condensador y el consumo de agua inducido por la planta termoeléctrica.

Estanques artificiales.- Pueden ser confinados por diques perimetrales o por la topografía del terreno, su proyección implica un diseño preliminar con un tirante de agua determinado, el cuál estará sujeto a un análisis hidrotérmico, del que se podrá definir un volumen de almacenamiento (considerando además el consumo de agua). Este análisis permitirá tener un nuevo tirante con el que se desarrollará nuevamente éste por varias veces hasta llegar al volumen final de almacenamiento.

Estanques naturales.- El cálculo seguido para este caso es similar al de los estanques artificiales, aunque cambian algunas consideraciones, dentro de las cuales destaca la que se refiere al área del embalse ya que este está fijado de antemano.

TORRES DE ENFRIAMIENTO.- En estos dispositivos el agua caliente es elevada a través de bombas a la parte superior de las torres, desde donde será dejada caer en forma de lluvia. En su caída el agua caliente se expone a una corriente de aire en contraflujo, la cual induce un

enfriamiento por evaporación principalmente. El arreglo de este dispositivo está regido por el fabricante del equipo de que está constituida ésta.

IV.1.4.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

Como se ha mencionado anteriormente, este sistema cumple con la función de conducir el agua hacia el condensador para el enfriamiento del vapor, y posteriormente desecharla o reciclarla según las características del sistema de agua de enfriamiento con que cuenta la central. Los estudios hidráulicos a implementar en el diseño del primero de estos sistemas pueden ser divididos básicamente en dos conceptos.

- Definición del arreglo del sistema.
- Determinación de los gradientes hidráulicos para las diferentes operaciones del sistema.

A continuación se extenderán los comentarios sobre los aspectos comprendidos en estos estudios.

IV.1.4.1.- DEFINICION DEL ARREGLO DEL SISTEMA. Este estudio consiste en la determinación de las características óptimas que deberá poseer el sistema, en cuanto se refiere al material de que está compuesta la tubería, a sus características geométricas y a la disposición o trayectoria de la línea de conducción. Este estudio implica un análisis económico similar al descrito para el sistema de abastecimiento de agua (IV.1.1), razón por la que se recomienda seguir el procedimiento descrito en dicho punto.

Existen diferencias mínimas en la aplicación de esta secuencia de cálculo para ambos sistemas, que se reducen a requerimientos de información, ya que en este caso no se requiere de información de pozos, pero sí del cálculo del gasto de enfriamiento requerido por la central y de las pérdidas de energía que se producen en el condensador. Este último dato debe ser proporcionado por los fabricantes o proveedores del equipo de condensación del vapor.

OBTENCION DEL GASTO DE ENFRIAMIENTO.- El cálculo del gasto de enfriamiento involucra el conocimiento de la capacidad de generación (G) de cada una de las unidades de la central, dada en Kw; del incremento de temperatura (t) en el condensador, dado en grados Farenheit y del calor unitario por Kw disipado por el sistema (q) dada en BTU/h/Kw. El valor de este último parámetro difiere dependiendo de este tipo de central, ya sea termoeléctrica o nucleoeléctrica. A continuación se presentan estos valores.

Para central termoeléctrica	q = 4500 BTU/h/Kw
Para central nucleoeléctrica	q = 6700 BTU/h/Kw

De esta manera la expresión a utilizar para obtener este gasto será:

$$Q = \frac{Gq}{Ct}$$

El gasto obtenido estaría dado en unidades del sistema inglés, razón por la que se aplica una constante (C), por medio de la cual es convertido este resultado al sistema métrico decimal. El valor de esta constante es 7.9365E6. Por otra parte, para proporcionar el valor total de este

gasto es posible hacer uso de varias bombas, según lo establezcan las necesidades del proyecto

OBTENCION DE LAS PERDIDAS EN EL CONDENSADOR.- Este es un dato que debe ser proporcionado por los proveedores del equipo de condensación. En el caso de que esto no sea posible, se permite para fines de diseño preliminar, hacer una evaluación de estas pérdidas a través de unas gráficas especiales editadas por el Heat Exchange Institute (HEI), en donde se asocian dichas pérdidas a la velocidad de flujo en los tubos de éste y al diámetro de los últimos.

IV.1.4.2.- DETERMINACION DE GRADIENTES PARA LAS DIFERENTES OPERACIONES DEL SISTEMA.- Debido a la trascendencia de la función que desempeña este sistema, los cálculos que se llevan a cabo en este estudio requieren de cierta precisión, para lo que se debe conocer el arreglo definitivo del sistema en su totalidad, donde se incluyen los accesorios, piezas especiales y conexiones. De esta manera será posible determinar gradientes hidráulicos para las diferentes modalidades de operación a que estará expuesto el sistema. La información obtenida será utilizada en la afinación de la requisición del equipo de bombeo y de resistencia de la conducción.

Las operaciones a las que estará expuesto el sistema dependen de la complejidad del arreglo, pero se pueden mencionar como las más importantes las correspondientes a la operación normal, a la operación de retrolavado y a la de choque térmico.

Independientemente de la operación del sistema, el cálculo del gradiente para cada una de estas requiere de la obtención de las pérdidas de energía desarrolladas a lo largo de toda la conducción, y de la carga estática definida por la diferencia de niveles que se tienen en los espejos de agua correspondientes a los puntos de toma y de descarga.

DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA.- La evaluación del valor alcanzado por estas requiere de contar con información precisa sobre los puntos que se mencionan a continuación:

DATOS

a).- Número de bombas y capacidad de gasto de la mismas.
b).- Temperaturas del agua antes y después de pasar por el condensador.
c).- Dimensiones y material de los conductos, así como el gasto transportado en cada unode ellos.
d).- Rugosidad absoluta de las paredes interiores de la conducción.
e).- Pérdidas de energía que se producen en el condensador para el gasto correspondiente a la operación del sistema.
f).- Relación completa de accesorios con que cuenta el sistema y su localización.

A partir de lo anterior se procede a dividir el sistema en diferentes tramos de tubería cuyas características de flujo (velocidad, gasto y material de la conducción) sean particulares ordenándolas según el sentido del flujo. Una vez hecho esto, el siguiente paso consiste en realizar los cálculos descritos a continuación para cada uno de estos tramos definidos.

CALCULOS

a).- Obtención de la velocidad de flujo y de la carga de velocidad.

Estos valores se obtienen a partir del uso de las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{V}{A} \qquad \text{Carga de velocidad} = \frac{V^2}{2g}$$

Donde V = Velocidad de flujo en el tramo (m/s).
Q = Gasto que escurre en el ducto (m /s).
A = Area de la sección transversal del ducto (m).
g = Constante de la gravitación universal igual a 9.81 m/s.

b).- Cálculo de número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Estos dos parámetros se obtienen por medio de las fórmulas expuestas a continuación:

$$R = \frac{VD}{\nu} \qquad \text{Rugosidad relativa} = \frac{\xi}{D}$$

Donde R = Número de Reynolds.
D = Diámetro de la sección del ducto (m). En caso de contar con una sección que resulte diferente a la circular, este será sustituido por un valor igual a cuatro veces el radio hidraúlico.
ν = Viscocidad cinemática del agua a temperatura dada (m^2/s)
ξ = Rugosidad absoluta de las paredes del conducto, que depende del material de que está constituido este. Está dado en m o en mm.

c).- Determinación del coeficiente de fricción f .

Este coeficiente se aplica para determinar las pérdidas por fricción, y se obtiene del diagrama de Moody, que considera el número de Reynolds y la rugosidad relativa calculados en el inciso b, o por medio del uso de la expresión siguiente:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\xi}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Los valores de las literales corresponden a las definidas anteriormente. Por su parte el mencionado diagrama puede ser consultado en la página 284 de la referencia 2.

d).- Evaluación de las pérdidas por fricción h .

Para determinar la magnitud de las pérdidas de energía generadas por la fricción, se hace uso de la fórmula de Darcy-Weisbach, que se presenta a continuación:

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

Donde h_f = Es la pérdida de energía producida en el tramo (m).
L = Longitud del tramo de tubería (m).
D,V,g y f= Variables definidas anteriormente.

Para el caso de conductos con sección transversal se repite la recomendación mencionada en uno de los incisos anteriores.

e).- Evaluación de las pérdidas por accesorios (h_l).

Son conocidas también como pérdidas locales y su magnitud es proporcional a la carga de velocidad. Para evaluarla se aplica la expresión siguiente:

$$h_l = K\frac{V^2}{2g}$$

Donde h_l = La pérdida de energía provocada por el obstáculo interpuesto por el accesorio (m).

K = Coeficiente de pérdida que depende del tipo de accesorio. Es adimensional su valor y puede ser obtenido de diversas publicaciones sobre hidráulica.

Existe un procedimiento definido para el ordenamiento del cálculo de las pérdidas, que consiste en la tabulación de la información de manera que se incluyan las pérdidas por fricción y por accesorios, de tal manera que se genere un listado de tubería y accesorios consecutivos en cada tramo del sistema. Los tramos se generan a partir de condiciones similares de gasto, diámetro y/o material de la conducción. A través de este ordenamiento se facilita la sumatoria de las pérdidas totales. Este procedimiento mencionador puede ser implementado a través de un programa de computadora, que hará más rápido el cálculo.

DETERMINACION DE LA CARGA ESTATICA.- Como ya se ha mencionado, la carga estática está definida por la diferencia que existe entre los niveles del agua correspondientes al cárcamo de bombeo (toma), y a la estructura de sello (descarga). Esta diferencia de carga depende de las características de flujo que se generan en la descarga (ahogada o libre), y en el caso de sistemas abiertos puede en un momento dado requerir de la definición anterior del perfil de flujo en el canal de descarga. La definición del perfil se hará en el canal de descarga en dirección de aguas abajo hacia aguas arriba, partiendo del punto a donde se desalojará el agua, hasta llegar al punto correspondiente al pozo de sellos. Para ampliar el conocimiento de este cálculo puede consultarse la referencia 3 en su capítulo IV. El nivel obtenido en el pozo de sellos a través de este cálculo será el que al compararlo con el nivel del agua en el cárcamo proporcionará la carga estática.

OBTENCION DE LA CARGA DINAMICA DE LA BOMBA.- Conocidos los anteriores conceptos es posible determinar el valor de la carga dinámica, realizando la suma de las pérdidas y de la carga estática. Para fines de adquisición del equipo debe considerarse la operación normal del sistema y realizar el cálculo del gradiente.

Carga Dinámica de la bomba = Pérdidas de energía + Carga estática

IV.1.5.- SISTEMAS DE DRENAJES

Otro de los elementos con que cuenta una central termoeléctrica y cuyo diseño requiere de la participación de la hidráulica lo constituye el sistema de drenajes. Este sistema esta formado por tres redes que son: drenajes pluvial, sanitario e industrial.

Cada una de estas redes cumple una función específica, misma que a través de las siguientes líneas se menciona:

Drenaje pluvial.- La función que desempeña esta red consiste en captar, conducir y desalojar los escurrimientos de agua que son producto de la precipitación pluvial.

Drenaje sanitario.- La finalidad que tiene esta red es la descarga de los volúmenes de agua utilizados por el hombre para satisfacer sus necesidades de alimentación y aseo y para la evacuación de sus desechos.

Drenaje industrial.- Esta red tiene como objetivo el desalojamiento del agua que ha sido utilizada en operaciones de lavado de equipos y dispositivos con que cuenta la central así como de desechos químicos producidos en la planta.

Independientemente de la red a la que se refiere el diseño, pueden en ésta como componentes principales a las siguientes: obras de captación (estructuras o dispositivos a través de los cuáles se atrapa el volumen que será desalojado), obra de conducción y obra de descarga.

La primera de las redes mencionadas resulta capaz de conducir volúmenes de agua mucho mayores que las otras, además de que brinda confiabilidad a la central al evitar la inundación de sus instalaciones. Lo anterior induce a mencionar puntos que se refieren a los aspectos de diseño involucrados.

IV.1.5.1.- DRENAJE PLUVIAL.

A continuación se describen los pasos a seguir para el diseño.

RECOPILACION DE INFORMACION.- Este primer paso consiste en el acopio de toda la información requerida para desarrollar la secuencia de cálculo del diseño. Dentro de este grupo de datos se tienen:

- Topografía del terreno.
- Estudio geohidrológico del terreno.
- Arreglo de la central.

- Ubicación y características del punto de descarga.
- Información de la precipitación pluvial.

Topografía del terreno.- Incluye niveles y coordenadas finales del terreno donde se asentarán las instalaciones de la central, así como de las inmediaciones de la misma. El conocimiento de lo anterior se aplica en la determinación de las direcciones de los escurrimientos de la lluvia sobre el terreno y consecuentemente de los puntos en donde se ubicarán las alcantarillas.

Estudio geohidrológico del terreno.- Involucra el conocimiento de las características del material de que está constituido el suelo y de su capacidad de respuesta a la acción del agua, para poder determinar el grado de infiltración que posea y la velocidad que tendrán los escurrimientos superficiales.

Arreglo de la central.- Comprende el conocimiento de la ubicación de las diferentes instalaciones, para de esta manera poder definir una disposición de la red de drenaje que no resulte conflictiva con otros dispositivos o con líneas de cableado o de conducción de líquidos o gases.

Ubicación y características del punto de descarga.- El conocimiento de la ubicación de este punto así como sus características (ya sea un río, lago, mar, laguna artificial, etc.) resulta importante para la definición del arreglo de la red.

Datos de precipitación pluvial.- Esta información resulta la más importante en el proceso de diseño, ya que de los resultados obtenidos con su manejo, se determina el dimensionamiento de la red y por lo tanto de su costo. Dicha información es obtenida a través de estudios hidrológicos, misma que en primer lugar se analiza para posteriormente ser agrupada y ordenada, dando forma a un historial de precipitaciones correspondiente a la zona donde se construirá la central.

Estos estudios son llevados a cabo por hidrólogos y se basan en mediciones realizadas en estaciones metereológicas a través de aparatos conocidos como pluviógrafos, mismos que constituyen dispositivos que registran la curva-masa o representación gráfica de la precipitación acumulada.

A partir de los registros de altura de precipitación obtenidos para las diferentes tormentas que tienen lugar durante el período de tiempo en que se han llevado a cabo las mediciones (para confiabilidad del diseño se recomiendan periodos mayores o iguales a 25 años), es posible obtener y ordenar las intensidades de lluvia máxima para diferentes duraciones (5, 10, 15, 30, 45, 60 y 120 min.). Donde la intensidad de lluvia se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$i = \frac{\Delta P}{\Delta t}(60)$$

Donde i = Intensidad de lluvia (mm/h)
ΔP = Diferencia en las alturas de precipitación en el intervalo determinado (mm).
Δt = Intervalo de tiempo o de duración de lluvia (min).

Este análisis brinda como resultado una agrupación de datos cuyo formato es similar al presentado en la tabla No. IV.4.

DETERMINACION DE LA CURVA INTENSIDAD-DURACION-PERIODO DE RETORNO.- Cuando el equipo que realiza los estudios hidrológicos no proporciona la curva intensidad-duración-período de retorno, el proyectista se ve obligado a llevar a cabo el cálculo necesario. Se parte de los datos de precipitación plasmados en la tabla No. IV.4 para determinar esta curva.

FECHAS	DURACIONES DE LLUVIA (MIN)									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1951 Sept. 26										7.6
Oct. 29								7.5		
Oct. 30		30.0	24.0	19.5	16.0	12.0	9.2			
1940 Dic. 30		36.0	34.4	29.4	28.0	19.3	15.0	11.3	11.7	10.2
Dic. 31	40.8	36.0								
1941 Sept. 11	26.4	25.2	21.6	20.1	15.6	10.6	8.0	6.0	4.8	4.0
1942 Dic. 03	21.6	18.0	14.8	12.6	12.8	10.6	10.0	8.3	6.6	5.5
1943 Ago.14	30.0			15.0	13.0	12.0	9.4	7.1	5.6	4.7
Sept.19		21.0	16.0							
1944 Sept.24	93.6	76.2	66.0	54.0	46.0	41.2	37.2	28.5	22.8	19.0
1945 Ago. 16	36.0	24.0	20.0	18.0	16.0	13.3				
Sept.08	36.0	24.0	20.0	18.0						
Oct. 06	36.0	24.0					13.5	11.3	11.4	11.0
1946 Ene. 08						10.6	8.0			
Ene. 11			20.0							
Ene. 16	36.0	25.2	20.0		14.0					
Oct. 26				18.0	14.0			7.5	6.6	6.0
1947 Ago. 05	42.0	24.0								
Sept.20			24.0	21.0	20.0	18.0	15.7	14.1	13.8	12.0
1948 Sept.11	39.6	30.0	24.0	18.9	17.0	16.0	16.0	12.0	9.6	8.0
1949 Sept.10		48.0	40.0	34.5	23.0	15.3	11.6	8.7	7.0	5.8
Dic. 09	93.6									
1950 a 1952										
1953 Oct. 07	148.8	102.0	78.4	66.0	54.0	38.6	30.0	22.5	18.0	15.0
1954 Sept.16	72.0	42.0	32.0	26.1	18.0	12.0	9.0	6.8	5.4	
Sept.17										5.0
1955 Oct. 02	60.0	36.0	32.0	33.0	22.0	14.6	11.0	8.3	8.4	7.5
1956 Ago. 16	96.0	79.8	72.0	60.0	50.0	41.2	32.0	24.0	19.2	16.0
1957 Nov. 19	39.6	25.2	21.2	18.0	13.4	9.3	11.4	11.3	10.2	9.5
1958 Ene. 17	28.8	19.8	16.0	13.2	12.0	9.8	9.0	8.3	7.2	6.0
1959 y 1960										
1961 Ene. 22	180.0	102.0	76.0	58.2	39.2	26.7	20.0	15.0	12.0	10.0
1962 Ene. 24	52.8	42.0	32.8	28.2	28.0	21.3	20.8	17.3	13.8	11.5
1963 Oct. 13	240.0	135.0	92.0	75.0	50.0	33.3	25.0	18.8	15.0	12.5
1964 Jul. 30	72.0	43.8	36.0	29.4	28.0	20.7	17.0	12.8	10.2	9.5
1965 Ago.31	163.2	134.4	104.0	90.0	66.0	47.1	39.0	30.0	26.4	22.0
1962 Oct. 10	75.6	51.6	42.4	36.3	24.2	16.2				
Dic. 17							13.5	11.5	10.0	8.8
1963										

TABLA IV.4.- INTENSIDADES MAXIMAS DE LLUVIA DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA

Se requiere de un ordenamiento de la información, en el cuál se tabularán los datos de acuerdo al valor de la intensidad de lluvia, de mayor a menor, para cada duración de lluvia

propuesta. Es preciso también que se le asigne un período de retorno a cada uno de estos datos, el cual se obtiene de aplicar la fórmula siguiente:

$$T = \frac{n}{m}$$

Donde T = Período de retorno (años).
n = Número de años en registro.
m = Número de orden correspondiente al valor de la intensidad de lluvia (de acuerdo a un sentido ascendente en la tabla). Alcanza un valor hasta n.

Con el ordenamiento de la siguiente tabla (Tabla No. IV.5), es posible construir gráficas representativas del comportamiento de la lluvia para diferentes períodos de retorno. Los puntos de las gráficas definidas con la tabla de ordenamiento de datos llegan a estar dispersos, razón por la que requieren de un ajuste de curvas, ya sea a través del método de Chow o del método de correlación lineal múltiple.

No. de Orden	d / T	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1	21.00	240.0	135.0	104.0	90.0	66.0	47.1	39.0	30.0	26.4	22.0
2	10.50	180.0	134.4	92.0	75.0	54.0	41.2	37.8	28.5	22.8	19.0
3	7.00	163.2	102.0	78.4	66.0	50.0	41.2	32.0	24.0	19.2	16.0
4	5.25	148.8	102.0	76.0	60.0	50.0	38.6	30.0	22.5	18.0	15.0
5	4.20	96.0	79.8	72.0	58.2	46.0	33.3	25.0	18.8	15.0	12.5
6	3.50	93.6	76.2	66.0	54.0	39.2	26.7	20.8	17.3	13.8	12.0
7	3.00	93.6	48.0	40.0	34.5	28.0	21.3	20.0	15.0	13.8	11.5
8	2.63	72.0	43.8	36.0	33.0	28.0	20.7	17.0	14.1	12.0	11.0
9	2.33	72.0	42.0	34.4	29.4	28.0	19.3	16.5	12.8	11.7	10.8
10	2.10	60.0	42.0	32.8	29.4	23.0	18.0	15.7	12.0	11.4	10.0
11	1.91	52.8	36.0	32.0	26.2	22.0	16.0	15.0	11.3	10.2	9.5
12	1.75	42.0	36.0	32.0	26.1	20.0	15.3	13.5	11.3	10.2	9.5
13	1.62	40.3	30.0	24.0	21.0	18.0	14.6	11.6	11.3	9.6	8.0
14	1.50	39.6	25.2	24.0	20.1	17.0	13.3	11.4	8.7	8.4	7.5
15	1.40	39.6	25.2	21.6	18.9	16.6	12.0	11.0	8.3	7.2	6.0
16	1.31	36.0	25.2	21.2	18.0	16.0	12.0	10.0	8.3	7.0	6.0
17	1.24	36.0	24.0	20.0	18.0	14.0	10.6	9.4	8.3	6.6	5.8
18	1.17	30.0	24.0	20.0	18.0	13.4	10.6	9.0	7.5	6.6	5.5
19	1.11	28.8	21.0	16.0	15.0	13.0	10.6	9.0	7.1	5.6	5.0
20	1.05	26.4	19.8	16.0	13.2	12.8	9.8	8.0	6.8	5.4	4.7
21	1.00	21.6	18.0	14.8	12.6	12.0	9.3	8.0	6.0	4.8	4.0

TABLA IV.5.- TABULACION DE DATOS ORDENADOS ESTADISTICAMENTE

Es recomendable la utilización del último de los métodos mencionados para la determinación de dicha curva, debido a la facilidad que presenta de extrapolarse directamente a períodos de retorno mayores a los de tiempo registrado.

Este método persigue el encontrar una ecuación representativa del comportamiento de la curva mencionada cuya forma sea similar a la siguiente expresión:

$$i = \frac{kT^h}{d^n}$$

$$Log\, i = Log\, k + h\, Log\, T - n\, Log\, d$$

La anterior expresión a su vez puede ser traducida a otra por medio del manejo de igualdades, obteniendo una correlación lineal de tres variables, como a continuación se presenta:

$$y = a_0 + a_1 x_1 - a_2 x_2$$

Donde Log i = y ; Log k = a_0 ; h = a_1 ; Log T = x_1 ; n = a_2 ; Log d = x_2

Esta última ecuación se resuelve con la aplicación de la correlación lineal que arroja un planteamiento matricial como el siguiente

$$\Sigma y = a_0 n + a_1 \Sigma X_1 - a_2 \Sigma X_2$$
$$\Sigma y X_1 = a_0 \Sigma X_1 + a_1 \Sigma X_1^2 - a_2 \Sigma X_1 X_2$$
$$\Sigma y X_2 = a_0 \Sigma X_2 + a_1 \Sigma X_1 X_2 - a_2 \Sigma X_2^2$$

Este planteamiento requiere de un procesamiento de la información proveniente de la tabla IV.5 a través de un ordenamiento de cálculo cuyo formato puede ser observado en la tabla IV.6, donde los valores de i, T y d se obtienen de una selección seguida con base en criterios del interés que los justifique (tal es el caso de intentar obtener una curva con un período de retorno determinado).

Orden	hp	Te	d	Y Log hp	X1 Log Te	X2 Log d	$X1^2$	$X2^2$	X1X2	YX1	YX2
1	22.0	21.0	120	1.312	1.322	2.079	1.748	4.323	2.749	1.775	2.791
2	22.8	10.5	100	1.358	1.021	2.000	1.043	4.000	2.042	1.387	2.716
3	24.0	7.0	80	1.380	0.845	1.903	0.714	3.622	1.608	1.166	2.627
4	30.0	5.25	60	1.477	0.720	1.778	0.519	3.162	1.281	1.064	2.627
5	33.3	4.2	45	1.522	0.623	1.653	0.388	2.733	1.030	0.949	2.517
6	39.2	3.5	30	1.593	0.544	1.477	0.296	2.182	0.804	0.867	2.353
7	34.5	3.0	20	1.538	0.477	1.301	0.228	1.693	0.621	0.734	2.001
8	36.0	2.6	15	1.556	0.420	1.176	0.176	1.383	0.494	0.654	1.830
9	42.0	2.3	10	1.623	0.367	1.000	0.135	1.000	0.367	0.596	1.623
10	60.0	2.0	5	1.778	0.322	0.699	0.104	0.489	0.225	0.573	1.243
				Σ(Y)	Σ(X1)	Σ(X2)	$\Sigma(X1^2)$	$\Sigma(X2^2)$	Σ(X1X2)	Σ(YX1)	Σ(YX2)
				15.177	6.661	15.066	5.351	24.587	11.221	9.765	22.328

TABLA IV.6.- TABLA DE ORDENAMIENTO DE CALCULO

Substituyendo los valores obtenidos de las diferentes variables del ordenamiento de cálculo anterior en las correspondientes al planteamiento matricial, se puede formar un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas son: a_0, a_1 y a_2. Al determinar los valores de estas incógnitas se resuelve el sistema y consecuentemente es posible conocer los valores de k, h y n al despejarlos de las igualdades presentadas en las líneas anteriores, o sea:

$k = \text{Antilog } a_0$; $h = \text{Antilog } a_1$; $n = \text{Antilog } a_2$

Con lo anterior será posible sustituir los valores de estas constantes en la expresión representativa del comportamiento de la curva. Para el diseño del drenaje pluvial en una central termoeléctrica se requiere contar con las curvas de intensidad de lluvia-duración-período de retorno de 100 y 10 años, que servirán para las redes de drenaje de la casa de máquinas y de las áreas exteriores, respectivamente. La obtención de estas curvas implica sustituir los valores de T y d en la expresión obtenida. Una curva como esta debe estar definida como la mostrada en la figura IV.19.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.- Existe una serie de actividades preliminares que se llevan a cabo para la definición de las características de la red, mismas que a continuación se tratan:

Actividades preliminares.- El primer paso en el proceso de diseño después de haber recopilado toda la información necesaria, consiste en considerar las pendientes del terreno plasmadas en los planos de terracerías para definir los puntos adecuados para la ubicación de las tomas de las alcantarillas y el arreglo de las conducciones. Realizado lo anterior es posible determinar las áreas tributarias que aportarán su escurrimiento a la alcantarilla o toma correspondiente, con lo cuál se fraccionará el área total en estudio para la planta. Es importante definir también en este paso las superficies que se considerarán en el diseño de los drenajes para las zonas de casa de máquinas y para la de áreas exteriores.

Las pendientes del terreno indican la dirección que seguirán los escurrimientos, el paso siguiente será el encontrar para cada área tributaria el punto a partir del cuál la trayectoria recorrida por el agua hacia la descarga resulte mayor, determinando también su longitud. Esto será útil para calcular el tiempo que tardaría una gota de lluvia en realizar el recorrido mencionado en cada una de las áreas tributarias. Este tiempo que dura el recorrido es conocido con el nombre de tiempo de concentración superficial (t_{cs}).

Secuencia de cálculo.- El objetivo de la secuencia de cálculo es determinar el valor del gasto máximo que aportará una cuenca con una extensión determinada a un punto a donde descarga.

Existen varios métodos para llevar a cabo este cálculo, pero para el caso de cuencas pequeñas (con extensión menor o igual a 20 km), se recomienda el uso del Método Racional Americano, que parte de la suposición que considera la duración de la lluvia igual al tiempo de concentración cuando la precipitación permanece constante durante el lapso que dura la tormenta, y se basa en la expresión siguiente:

$$Q_p = k\,C\,i\,A$$

donde Q_p = Gasto máximo aportado por la cuenca (m /s).
A = Extensión del área tributaria en estudio (km).
C = Coeficiente de escurrimiento que depende de las características del terreno.
i = Intensidad de lluvia (mm/h).
k = Coeficiente para la conversión de las unidades de Q a m /s (0.278).

La extensión del área tributaria puede obtenerse a partir del uso de planómetros o del conocimiento de sus dimensiones.

El valor de la intensidad de lluvia se obtiene de las curvas de intensidad-duración-período de retorno que corresponden a la parte del drenaje en diseño (áreas exteriores o casa de máquinas).

Para recurrir a estas curvas es preciso calcular el tiempo de concentración (t_c) del área tributaria en estudio, haciendo uso de las fórmulas siguientes:

$$t_c = t_{cs} + t_t$$

$$t_{cs} = \left(\frac{0.86L^3}{H}\right)^{0.385}$$

$$t_t = \frac{L_c}{V_c}$$

donde t_c = Tiempo de concentración total, en horas.
t_{cs} = Tiempo de concentración superficial, en horas.
t_t = Tiempo de traslado del flujo en la conducción, en horas.
L = Longitud de la trayectoria mas larga del escurrimiento en la tributaria, en m.
H = Desnivel entre los puntos extremos de la trayectoria anterior, en m.
L_c = Longitud de la conducción, en km.
V_c = Velocidad de flujo en la conducción, en km/h.

Obtenido el valor del tiempo de concentración (t_c), se iguala este al tiempo de duración de lluvia ubicándolo en la gráfica de las curvas sobre el eje de las abscisas como un punto. Para conocer el valor de la intensidad de lluvia que será sustituido en la expresión que obtiene el gasto máximo de escurrimiento, se parte del punto correspondiente a la duración y se proyecta una línea que cruce la curva cuyo período de retorno se requiera, y de este punto de cruce trazar una horizontal que llegue hasta el eje de las ordenadas. El punto común de línea y eje obtenido será el correspondiente a la intensidad de lluvia buscada. En la figura IV.19 se muestra un ejemplo de lo anterior.

Por su parte, el coeficiente de escurrimiento que define la relación lluvia-escurrimiento puede expresarse de la siguiente forma:

$$C = \frac{Volumen\ escurrido}{Volumen\ llovido}$$

La relación anterior depende de las características del terreno y su valor puede ser obtenido a través de tablas. Es común para este cálculo que conforme se avanza en el diseño las áreas tributarias en estudio abarquen algunas de las que fueron analizadas previamente y cuyo valor de C puede ser diferente, situación que inducirá a la búsqueda de un coeficiente promedio (C') representativo. Este promedio puede obtenerse del uso de la fórmula siguiente:

$$C' = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \ldots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n}$$

donde los subíndices se refieren al orden correspondiente a cada una de las áreas mencionadas.

Una vez obtenidos los valores de las diferentes literales que intervienen en la expresión que determina a Q_D, pueden llevarse a cabo estos cálculos, mismos que servirán para determinar las características geométricas de la conducción que transportará este gasto. Para determinar esta geometría se aplica la hidráulica de conducciones, ya sea a superficie libre (canales, alcantarillas, etc.) o como un conducto a presión (tubos, conductos, etc.), buscando respetar un rango de velocidades entre 0.6 y 3.0 m/s, límites que evitan el azolvamiento y el deterioro rápido de la conducción respectivamente.

Para el diseño de conducciones con flujo a superficie libre se parte del conocimiento del gasto máximo de escurrimiento (Q_D), del coeficiente de rugosidad del material y de la topografía del terreno (que puede ser determinante para definir la pendiente de la conducción). La geometría de esta conducción se define a partir de la siguiente igualdad :

$$AR_h^{2/3} = \frac{Qn}{S_0^{1/2}}$$

Q = Gasto máximo de escurrimiento (m^3/s)
A = Area hidráulica de flujo (m^2)
R_h = Radio hidráulico (A/P), dado en metros
P = Perímetro mojado (m)
S_o = Pendiente de la conducción (adimensional)
n = Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

Derivada de la ecuación de Manning y cuya solución se obtiene a través de iteraciones en las que varía el valor del tirante "y" mientras que el ancho de plantilla "b" permanece fijo.

Para el caso de conducciones a presión se aplica el mismo método en la obtención de sus dimensiones. La geometría obtenida en este cálculo debe ser comparada con las recomendaciones que maneja el Manual de SAHOP que asocia a cada diámetro nominal con un rango de pendientes aceptables. En el caso de que la pendiente de la sección obtenida no resulte acorde a la pendiente recomendada, se obliga a cambiar ya sea el diámetro o la pendiente misma, según las condiciones del terreno lo permitan.

El procedimiento de cálculo anterior se repite tantas veces como resulte el número de alcantarillas o tramos de conducción definidos para el drenaje.

Es preciso hacer hincapié en que en algunos casos será necesario comparar dos trayectorias de flujo, sobre todo en el diseño de tramos de conducción cuya área tributaria comprende varias áreas definidas anteriormente. El tiempo de concentración que regirá el diseño será siempre el mayor.

Por otra parte, constructivamente no se permiten reducciones en la geometría de la sección de la conducción en el recorrido hacia aguas abajo.

IV.1.5.2.- DRENAJE SANITARIO.

El diseño del drenaje sanitario involucra el conocimiento del arreglo completo de las instalaciones de servicio al personal (sanitarios, lavabos, regaderas, etc.), y la suposición del uso simultáneo de las diferentes instalaciones de cada edificio. Las dimensiones de esta red son menores que las correspondientes a la red pluvial, a la cuál puede llegar a conectarse en un punto dado después de pasar el agua por un proceso de tratamiento (cuando las condiciones requieran o permitan el reuso del agua).

IV.1.5.3.- DRENAJE INDUSTRIAL.

El drenaje industrial contempla la conducción que se encarga de desalojar el volumen de agua utilizado en las operaciones de limpieza de diferentes equipos (tolvas, descargaderos de combustible, etc.). Al igual que en el caso anterior, esta red después de un tratamiento del agua que conduce puede llegar a conectarse a la red de drenaje pluvial.

IV.2.- ESTUDIOS DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

Como se ha mencionado anteriormente el sistema de agua de circulación de una central termoeléctrica es un dispositivo de gran importancia en el proceso de generación de electricidad. En el caso de fallar este sistema, la eficiencia de la generación se vería afectada en forma negativa ya que la condensación del vapor no aportaría el volumen óptimo de agua que se requiere para producir en cantidades adecuadas el vapor de alta presión requerido para inducir el movimiento de los álabes de la turbina.

La optimización, o mejor dicho optimación (para evitar su confusión con los métodos de programación lineal aplicados en la investigación de operaciones) consiste en llevar a cabo, después de definir las características del arreglo del sistema, un análisis del fenómeno transitorio hidráulico (asociado al golpe de ariete) para brindar la mayor confiabilidad al suministro de agua por parte de sistema. Este fenómeno como su nombre lo indica es un efecto transitorio que se presenta durante el intervalo de tiempo en el que el sistema pasa de una condición de flujo establecido a otra, y puede ser originada por distintas causas: cambios de posición en las válvulas, arranques o disparos de bombas, vibraciones en impulsores de bomba o accesorios deformables (juntas de expansión), etc.

Este fenómeno está caracterizado por oscilaciones de presión que pueden llegar a tener valores considerables, y que como consecuencia puedan en un momento dado generar el fenómeno que se conoce como de separación y reunión de columna, mismo que da lugar a la cavitación (la cual será tratada posteriormente al hacer referencia a la línea de vaporización).

Dicho estudio requiere de la formulación de un modelo matemático del arreglo definitivo del sistema y simular condiciones de operación de diferentes componentes del mismo, como son válvulas y bombas, para determinar el efecto a que podría estar sujeta la conducción y el equipo de bombeo. Los resultados del estudio permiten la definir recomendaciones para la operación de válvulas (tiempos de apertura y cierre) y de bombas (operaciones de arranque y disparo), en una forma en que no se pongan en peligro la conducción y los equipos.

Para llevar a cabo estos estudios, la Disciplina de Obras Hidráulicas de la Coordinación de Proyectos Termoeléctricos hace uso de un programa denominado SURGE, a través del cuál

se obtienen las sobrepresiones generadas en los diferentes puntos de la conducción requeridos. Este programa está codificado en lenguaje FORTRAN V, y aplica el método de las características para determinar los transitorios que se presentan en un sistema de bombeo (simple o ramificado) ante diferentes maniobras realizadas.

Los componentes del sistema pueden ser identificados tomando en consideración los diferentes elementos de frontera definidos para el uso del programa. El usuario, para llevar a cabo esta identificación debe asignar un nombre (hasta de cuatro caracteres), a cada uno de los componentes. Esto se realiza en el proceso de preparación de datos, mismo que involucra una serie de actividades por medio de la cuál se recopila, ordena y maneja la información requerida por el programa.

A continuación se extienden comentarios al describir los pasos llevados a cabo en el proceso que se acaba de mencionar:

IV.2.1.- RECOPILACION DE INFORMACION.- Para la preparación de los datos que van a alimentar el programa es necesaria una serie de cálculos precedentes, mismos que para su realización requieren del manejo de información que comprende los siguientes aspectos:

Características de la conducción.- Estas características están plasmadas en los planos del arreglo general y de detalle del sistema, los cuáles contienen información que se refiere a longitudes, geometría y material de la tubería, así como también niveles de los diferentes puntos del sistema (uniones, ampliaciones de diámetro, válvulas, entrada y salida del condensador, etc.), que resulten de interés.

Características del equipo.- Resulta indispensable contar con datos sobre el comportamiento que siguen los diferentes equipos con que cuenta el sistema. En el caso de las bombas es necesario conocer la velocidad de rotación del motor, el número de impulsores que tiene, su eficiencia, gasto, carga dinámica y curvas de operación y adimensionales de la bomba. De las válvulas es importante conocer la ley de cierre y sus tiempos de apertura y cierre.

Linea de gradiente hidráulico de operación normal.- Conocida también como línea de gradiente para condiciones de flujo establecido, involucra el conocimiento de la piezométrica sobre los diferentes puntos del sistema definidos como elementos de frontera. El cálculo de este gradiente se lleva a cabo en el estudio correspondiente a la etapa de anteproyecto del sistema de agua de circulación.

IV.2.2.- CALCULO DE DATOS REQUERIDOS.- Este paso requiere en primer lugar de la formulación de un modelo gráfico representativo del arreglo del sistema, en donde se incluyen puntos tan importantes como los correspondientes a las bombas, uniones de tubería, válvulas, cambios de diámetro, bifurcaciones, puntos de descarga, etc.

Los cálculos realizados servirán para obtener datos que complementen y ajusten el paquete requerido por el programa. Estos cálculos pueden ser divididos en tres grupos:

- Para la conducción
- Para el equipo de bombeo
- Para los accesorios (válvulas, tanques de alivio, etc.)

A continuación se abundará más detalladamente sobre cada uno de estos conceptos.

a).- Cálculos para la conducción.- Una vez definido el modelo gráfico se procede a dar una nomenclatura (hasta de cuatro caracteres) a todos y cada uno de los elementos que forman parte del arreglo, y a continuación se lleva a cabo una conversión de unidades ya que el programa SURGE maneja internamente unidades correspondientes al sistema inglés, como puede notarse en el Manual del Usuario del Programa SURGE, que aparece como referencia con el número 13.

Para facilidad en el manejo de la información se propone una tabla cuyo llenado implicará la transformación de unidades y la asociación de las nomenclaturas real y del modelo.

A continuación se presenta una tabla en la que se presenta información correspondiente al sistema de abastecimiento de agua de la C. T. Lerdo.

TRAMO	Q (GASTO)		D (DIAM)		L (LONGITUD)		C (CELERIDAD)		CARGA DINAMICA	
	M^3/S	PIE^3/S	PUL	PIE	M	PIE	M/S	PIE/S	MCA	PIES
Pozo 10-d	0.080	2.825	16	1.33	1061.24	3487.8	1006.1	3300.7	31.0	101.8
Pozo 9-d	0.080	2.825	10	0.83	242.59	795.9	1015.3	3331.0	34.5	99.9
d-d	0.080	2.825	12	1.00	320.26	1050.7	1012.8	3322.8		
d-e	0.160	5.650	20	1.67	793.44	2603.1	995.9	3267.5		
Pozo 8-e	0.080	2.824	10	0.83	560.62	1839.3	1015.3	3331.0	28.1	94.2
e-k	0.240	8.476	24	2.00	1546.62	5074.2	988.9	3244.4		
k-m	0.280	9.888	24	2.00	265.90	872.4	1130.1	3707.6		
m-o	0.160	5.650	20	1.67	107.78	353.6	1171.5	3843.4		
o-Des	0.040	1.413	10	0.83	170.00	557.7	1266.3	4154.4		
Pozo 5-f	0.040	1.413	10	0.83	803.43	2635.9	1015.3	3331.0	40.3	132.3
Pozo 3-f	0.080	2.825	16	1.33	1033.59	3391.0	1006.1	3300.7	33.2	108.9
f-k	0.040	1.413	12	1.00	824.49	2705.0	1012.8	3322.8		

TABLA IV.7.- TABULACION PARA TRANSFORMACION DE UNIDADES

Cálculo de celeridades.- Uno de los factores que mayor incidencia tienen en el fenómeno del golpe de ariete lo constituye la velocidad de propagación de la onda de presión, mejor conocida como "celeridad", misma cuyo valor puede ser calculado a través de la expresión siguiente:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1+\frac{K}{E}\phi}}$$

Hay literales contenidas en esta expresión que representan distintos parámetros, para un conocimiento más completo y una mejor aplicación de la misma puede consultarse la referencia 15 en el capítulo 2.7. Este cálculo se realiza para cada uno de los tramos de conducción que difieren en material y/o geometría de su sección.

Definición de la línea de vaporización.- Al presentarse el transitorio hidráulico en una conducción a presión es característico que en los intervalos de tiempo iniciales de éste se genere una serie de variaciones de presión considerables en las diferentes secciones de la línea. Estas variaciones alcanzan tanto valores positivos como negativos de presión, resultando estos últimos importantes para la interpretación de los resultados del análisis.

Cuando la presión local en una sección de la conducción desciende a valores negativos que alcanzan la presión de vaporización del líquido conducido, se presenta el fenómeno que se conoce como "separación de columna", mismo que consiste en la formación de cavidades ó burbujas de vapor en el seno del líquido las cuales son arrastradas hacia aguas abajo en dirección del flujo. Cuando se incrementa la presión a que están sometidas estas burbujas es posible llegar al colapso de las mismas, lo que va acompañado de efectos instantáneos que involucran presiones y temperaturas altas así como ruido crepitante, que son característicos de la cavitación. Al resultar frecuente la ocurrencia de este fenómeno, con el paso del tiempo se llegan a causar daños a distintos elementos del sistema.
Al unir los niveles correspondientes a cada sección de la conducción donde teóricamente se presenta la formación de las cavidades mencionadas, se da lugar a la línea de vaporización.

Por lo general el nivel de esta línea se obtiene al restar al nivel del lecho superior del tubo la presión de vaporización del líquido. El programa maneja un valor para esta presión de 30 pies columna de agua, en caso de proponer un valor diferente para esta, es necesario hacer un ajuste en la tarjeta EXEC del programa.

Cálculo de coeficiente HLK.- Otro de los cálculos que deben ser desarrollados es la determinación del coeficiente de pérdida de carga requerida en las tarjetas de descripción de la tubería. Este coeficiente se calcula a partir de la fórmula expuesta en seguida:

$$HLK = \frac{H(FAC)}{Q^2}$$

Donde H es la pérdida de energía (en pies) desarrollada en el tramo de la conducción, FAC es un factor adimensional cuyo valor depende de la especificación en la tarjeta de control (SYSC), puede ser $1x10^6$, mientras que Q es el gasto conducido en el tramo (pie^3/s). Para una mayor explicación sobre este consultar la referencia 13 en el punto correspondiente a la tarjeta PIPE.

La pérdida desarrollada en cada tramo puede calcularse se determina de la diferencia de alturas entre un elemento frontera y el siguiente (ver el paquete de datos codificado que se presenta en páginas posteriores).

Ajuste de longitudes y celeridades.- La afirmación de que el método de las características es capaz de brindar una solución estable y precisa se desprende de la referencia 13 en el inciso 2.1, donde además se menciona la condicionante que requiere el programa para que esto se cumpla, es decir, que el incremento de tiempo (Δt) utilizado cumpla en todos los tramos con una relación en donde se asocia la longitud total del tramo con la cantidad de intervalos Δt que tarda en recorrer la onda de presión dicha longitud. Para lograr que se cumpla lo anterior es preciso aplicar las expresiones siguientes :

$$N_t = \frac{L_{tramo\,i}}{\Delta x}$$

$$\Delta x = (\Delta t)a$$

Donde N_i = Número de intervalos de tiempo tarda en recorrer la longitud del tramo la onda de presión.
L = Longitud total.
Δx = Longitud de tubería recorrida por la onda de presión en un tiempo Δt.
a = Celeridad o velocidad de la onda de presión.

Con las anteriores expresiones se busca obtener un valor entero de N_i, lo cuál puede ser obtenido modificando la longitud del tramo o la celeridad, procurando que el valor modificado no varíe un 10 % más o menos de la celeridad calculada originalmente. Es criterio personal orientar los ajustes hacia ambos parámetros o hacia uno de ellos, pero conviene mencionar que en la determinación del efecto del golpe de ariete la celeridad se convierte en un factor de influencia.

Por otra parte, existe una limitante en la cual el programa no acepta longitudes menores de tramo, a aquellas obtenidas de la siguiente condición :

$$\text{Longitud mínima} = (a)(\Delta t)$$

El valor de las literales corresponde a las mencionadas anteriormente.

A continuación se presenta la tabla IV.9 a partir de la cual se facilita el cálculo de estos ajustes y en la cuál se modifica la longitud de la conducción únicamente:

TRAMO	LONGITUD	CELERIDAD	Δt	Δx	N	$\Delta x'$	LONGITUD
PUM1-JUN1	3481.75	3300.71	0.10	330.07	10	348.12	3481.20
JUN1-JUN2	2603.14	3267.50	0.10	326.75	7	371.88	2603.16
JUN2-JUN3	5074.20	3244.38	0.10	324.44	15	338.28	5074.20
JUN3-CAD2	872.38	3707.63	0.10	370.76	2	436.19	872.38
CAD2-CAD3	353.61	3843.40	0.10	384.94	1	353.61	353.61
CAD3-DNST	557.74	4154.35	0.10	415.44	1	557.74	557.74
PUM2-CAD1	795.91	3331.03	0.10	333.10	2	397.95	795.90
CAD1-JUN1	1050.73	3322.84	0.10	332.28	3	350.24	1050.72
PUM3-JUN2	1839.30	3331.03	0.10	333.10	5	367.86	1839.30
PUM4-JUN4	2635.92	3331.03	0.10	333.10	7	376.56	2365.92
PUM5-JUN4	3391.03	3300.71	0.10	330.07	10	339.10	3391.00
JUN4-JUN3	2705.00	3322.84	0.10	332.28	8	338.13	2705.04

TABLA IV.9.- TABLA DE AJUSTE DE LONGITUDES DE CONDUCCION

Los valores presentados en cada columna se obtienen a partir de las siguientes observaciones:

COLUMNA 5 = (COLUMNA 3)(COLUMNA 4)
COLUMNA 6 = (COLUMNA 2)/(COLUMNA 5)
COLUMNA 7 = (COLUMNA 2)/(COLUMNA 6)
COLUMNA 8 = (COLUMNA 6)(COLUMNA 7)

b).- Cálculos para el equipo de bombeo.- El programa requiere que se le alimente con datos como son la velocidad especifica y el par nominal del motor de las bombas, así como también del momento polar de inercia de los elementos rotatorios de los mismos.

Cálculo de la velocidad especifica de la bomba.- La velocidad especifica de una bomba define la familia de máquinas cuya velocidad de rotación es capaz de hacer fluir un gasto de 1.0 m^3/s con una carga de un 1.0 m.c.a., y dependiendo de esta velocidad la bomba puede ser clasificada como de flujo radial, axial o mixto.

Por otra parte, de no contar con las curvas adimensionales (de Karman-Knapp) que proporcionan los fabricantes de las bombas, el valor de esta velocidad puede definir la utilización de la curva de una bomba cuya N_s resulte semejante. La fórmula a usar para obtener el valor de esta velocidad es:

$$N_s = \frac{H_R \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Donde N_s = Velocidad de rotación del motor de la bomba (RPM).
Q = Gasto impulsado por la bomba (GPM).
H_R = Carga correspondiente a un impulsor de la bomba (pies).

Cálculo del par nominal de la bomba.- Es este otro dato requerido por el programa y define momento-torque que debe vencer la bomba al arrancar, para las condiciones nominales de diseño de carga y gasto. Puede ser evaluado a través de la fórmula siguiente:

$$PN = \frac{30 \gamma H_R Q_R}{\pi H_R \eta}$$

Donde PN = Par nominal de la bomba
γ = Peso volumétrico del agua (62.428 lb/pie).
H_R = Carga dinámica de diseño de la bomba (pies)
Q_R = Gasto de diseño impulsado por la bomba (pie /s).

Determinación del momento polar de inercia .- Este parámetro define el valor que debe vencer la bomba para poner en movimiento los elementos rotatorios de que está constituida. Las igualdades presentadas a continuación son aquellas que se aplican para obtener su valor :

Momento Polar de Inercia $\omega R^2 = 2183.49 \left(\frac{P}{N_R} \right)^{1.253}$ para bombas de flujo radial

Momento Polar de Inercia $\omega R^2 = 3541.38 \left(\frac{P}{N_R} \right)^{1.319}$ para bombas de flujo axial

Momento Polar de Inercia $\omega R^2 = 3366.28\left(\frac{P}{N_R}\right)^{1114}$ para bombas de flujo mixto

Donde P = Potencia de la bomba (H. P.)
N_R = Velocidad de rotación de la bomba (RPM)

c).- Cálculos para los accesorios.- Dentro de los accesorios que toma en consideración el programa mencionado se encuentran las válvulas, las cajas de agua de condensadores, los tanques de alivio y otros mas. Cada uno de estos accesorios posee un formato particular de codificación, y en algunos casos es preciso realizar algunos cálculos para completar los datos con que se alimenta al programa. A continuación se describen brevemente los cálculos a realizar para cada uno de éstos.

Determinación del coeficiente de descarga (C_D) de las válvulas.- Dependiendo del ángulo de cierre de la válvula se tendrá un valor del coeficiente de descarga. Para evaluar la magnitud de este coeficiente es preciso contar con el nomograma propio de la válvula en donde se define a través de una gráfica diámetro-gasto-ángulo de cierre, el diferencial de presión generado por el ángulo mencionado. Obtenido este diferencial de presión se procede a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$C_D = \frac{Q}{A\sqrt{2g\Delta H}}$$

Donde C_D = Coeficiente de descarga de la válvula
Q = Gasto que pasará a través de la válvula
A = Area de la sección transversal de la válvula completamente abierta.
ΔH = Caída de presión originada por el ángulo de cierre de la válvula.
g = Valor de la constante de la gravedad.

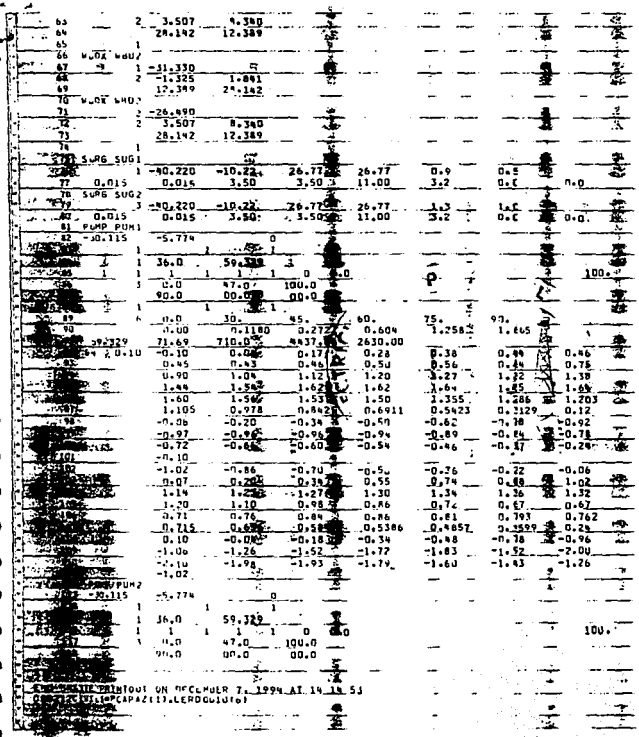
Este cálculo se lleva a cabo para las diferentes válvulas que se encuentran en el sistema y para los diferentes ángulos de cierre que le correspondan.

IV.2.3.- ALIMENTACION DE DATOS.- Una vez definida la nomenclatura de los diferentes componentes del sistema y asociados al elemento de frontera correspondiente, se procede a la alimentación de los datos a través de los paquetes de información, donde se introduce la información necesaria para definir características de corrida, y para información del manejo de equipos y accesorios.

Cada paquete de información esta constituido por dos tipos de tarjetas: una de control que sirve para la identificación del componente del sistema con el correspondiente elemento del programa y otra por medio de la cuál se definen los datos particulares de geometría y operación del elemento.
Para llevar a cabo este paso es preciso seguir al pie de la letra las indicaciones contenidas en el Manual del Usuario del Programa SURGE (referencia No. 13), haciendo la codificación respectiva respetando el formato establecido por el programa. En las hojas a continuación se presenta el formato con que se alimenta al programa para llevar a cabo una simulación de operación del sistema de agua de circulación de la C. T. Lerdo.

```
TITL SNEW
     ANALISIS TRANSITORIO HIDRAULICO PARA S.A.C. DE LA C.T. LERDO, DGO.
CMNT
           DESCRIPCION DEL SISTEMA
           ***************************************
           LO CONSTITUYEN DOS BOMBAS, LAS CUALES ALIMENTAN UN CONDUCTO Y
           Y SEPARAN EN CONDENSADOR DE UN SOLO PASO,POSTERIORMENTE SE UNE
           A UN SOLO CONDUCTO PARA DESCARGAR EN LA TORRE PARA ENFRIAMIENTO.
           ************************************************************
           "SIMULACION DEL FENOMENO TRANSITORIO"
           ************************************************************
           SIMULACION P.N.D.-

           SIMULACION DEL TRANSITORIO HIDRAULICO PARA EL PARO NORMAL DE
           LAS BOMBAS DEL S. A. C. .
           LA VALVULA EN LA TUBERIA DE DESCARGA DE LA BOMBA INICIAN SU
           CIERRE AL DISPARO DE LA BOMBA EN UN TIEMPO DE 47 SEG. .
           **************************************************************
SYSC
 60.0      10.0       0.010    32.2            1          0         0
PIPE
            PUM1 J012   3.000   [illegible].880  11[illegible].48   3488.080    59.329   65[illegible]
            J012 J013   4.500   31.53     19.3400 3151.710   118.657   61.253
            J013 J014   4.770   889.730  252.1300 3869.420   118.657   60.981
            J014 J015   4.500   [illegible].530  0[illegible].7960 3151.710   118.657   57[illegible]31
            J015 WBU1   3.500   33.630   4[illegible].1400 3364.030    59.329   57.392
            WBU1 WBD1   4.570   0081.060 59[illegible].2600 4052.990    59.329   55[illegible]53
            WBD1 J016   3.500   33.630   06[illegible].74    3364.030    59.329   34[illegible]06
            J016 J017   4.500   [illegible].53  [illegible].1650 3151.710   118.657   32[illegible]2
            J017 J018   4.770   10[illegible].110 [illegible].9100 3869.420   118.657   32[illegible]6
            J014 SUG1   4.500   31.530   001.6310 3151.710   118.657   28[illegible]2
            SUG1 SUG2   4.500   63.030   256.3200 3151.710    59.329   28[illegible]09
            PUM2 J012   3.000   00[illegible].880 11[illegible].4800 3488.080   59.329   65[illegible]
            J015 WBU2   3.500   [illegible].630  4[illegible].1400 3364.030    59.329   57[illegible]2
            WBU2 WBD2   4.570   0081.060 59[illegible].2600 4052.990    59.329   55[illegible]53
            WBD2 J016   3.500   33.630   06[illegible].74    3364.030    59.329   34[illegible]06
PLOT
   2       1     1
        PUM1 J012      1
        PUM1 J012      1
OUTP
        PUM1 J012      1
JUNC J012
-40.220
JUNC J013
-40.220
JUNC J014
-40.220
JUNC J015
-40.220
JUNC J016
-40.220
JUNC J017
-40.220
JUNC J018
-40.220
WBOX WBU1
             1 -31.330
             2  -1.325      1.841
                12.389     28.142
WBOX WBD1
             2 -26.490
```



IV.2.4.- INTERPRETACION DE RESULTADOS.- Resulta difícil que la primera corrida del programa proporcione resultados definitivos, por lo cuál es preciso corregir la información dada al programa.

El programa mencionado posee la ventaja de que en el caso de haber incurrido en errores durante la codificación, la corrida del programa será abortada sin presentar resultados, presentando mensajes de error que indican los puntos que deben ser corregidos. Una vez corregido el error, y si el programa presenta resultados es necesario verificar si la información codificada corresponde realmente a la operación que se pretende simular. Para verificar esto existen diferentes opciones. Dicho programa contiene algunas tarjetas por medio de las cuales se solicita impresión tanto gráfica como numérica del comportamiento de los equipos durante la ejecución de una corrida.

La tarjeta PLOT especifica la impresión gráfica de los efectos del transitorio. Deben definirse los puntos en donde se desea que el programa presente resultados. En estas gráficas es posible observar los gradientes de presiones máximas y mínimas, así como la línea de presiones de vaporización presentadas durante el tiempo de estudio definido y los gastos presentados.

La tarjeta OUTP se utiliza para solicitar datos numéricos de presión y flujo en los puntos de interés definidos a través de esta tarjeta. Esta permite observar la carga de presión y el flujo que tiene lugar en el punto definido durante el lapso de tiempo definido para el estudio. Con esto pueden detectarse fallas en la alimentación de datos ya que pueden presentarse distintos gastos (positivos, nulos o negativos), que al ser comparados con los que deben presentarse en la realidad permiten detectar la presencia de errores de codificación de datos.

Por otro lado, dentro de la tarjeta o elemento de frontera PUMP correspondiente a las unidades de bombeo es posible solicitar la historia del comportamiento de las bombas, tanto en forma numérica como gráfica al solicitar el formato de la corrida con la tarjeta 4 de este bloque, cuyas claves son IPRT e IPSD. Al observar estos resultados numéricos y gráficos es posible determinar si las bombas y válvulas se comportaron de acuerdo a lo establecido para la simulación en estudio, que puede ser arranque, disparo o una bomba con velocidad constante durante el intervalo de tiempo considerado. En los resultados numéricos es posible conocer el comportamiento de las válvulas con que cuenta la bomba.

La experiencia permite al ingeniero adoptar un criterio para definir las conclusiones derivadas de los resultados de comportamiento obtenidas y la detección de fallas o su aceptación de estos resultados como válidos.

Una vez realizada la verificación y con la certeza de que el programa maneja la información correcta y no requiere de alguna modificación, en la matriz de resultados de la corrida definitiva es posible observar la tabla en donde se presentan las presiones máximas y mínimas que tienen lugar en los diferentes puntos del sistema y los respectivos tiempos en que estas se presentan. Estos resultados están dados en unidades del sistema inglés, razón por la cual es preciso su conversión a unidades del sistema métrico, para comparar las sobrepresiones máximas y mínimas obtenidas de las simulaciones con las presiones de diseño de los conductos. En el caso de que las primeras resulten ser mayores deberán recomendarse la instalación de dispositivos de alivio de presión, eliminar por completo esa maniobra dentro del

manual de operación o en el caso de no contar aún con la conducción diseñarla de manera que soporte estas sobrepresiones.

IV.3.- ESTUDIOS EN LA ETAPA DE PROYECTO

Los estudios llevados a cabo durante esta fase de diseño involucran actividades que corresponden al concepto de ingeniería de detalle, las cuales parten del conocimiento de las características definidas en la fase de anteproyecto. En esta etapa es posible llevar a cabo modificaciones que se requieran de manera de optimizar el arreglo de las diferentes estructuras.

Por lo general estos estudios implican la aplicación de conceptos y procedimientos de cálculo descritos en la fase de anteproyecto, razón por la cuál no se abundará en ellos. Las líneas siguientes hacen mención de algunos aspectos comprendidos en cada una de las estructuras de interés.

IV.3.1.- SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El arreglo del sistema de abastecimiento de agua definido en la etapa de anteproyecto puede estar sujeta a modificaciones, mismas que dependen de diferentes parámetros (cambios en el volumen del agua de enfriamiento, requerimiento de homogenización de cargas y gastos en las bombas, problemas de afectación de predios, etc.). Además de estos cambios, pueden incluirse dentro de las actividades de proyecto aquellas que definen las características de zanja para cruces o dispositivos especiales que alojarán a la conducción o las estructuras de soporte requeridas en caso de que la tubería sea superficial. También el estudio para diseño de los atraques que formarán parte del sistema y la definición de las características de las estructuras que albergarán diferentes dispositivos (bombas y válvulas de aire, seccionadoras y de desagüe), así como la determinación de los diferentes accesorios y piezas especiales formarán parte de estas actividades.

IV.3.2.- OBRA DE TOMA

Las actividades que llegan a desarrollarse para la obra de toma en la etapa de proyecto están relacionadas con la modificación y/o detallamiento de los diferentes elementos que forman parte de ésta.

Dispositivo de protección y control.- Involucra la realización de cálculos de diseño para cambiar el tamaño o el peso de los elementos que la constituyen, así como las características de su geometría. Estos cálculos requieren de la aplicación de las bases técnicas mencionadas para la fase de anteproyecto.

Dispositivo de conducción.- Los cambios que pudieran afectar el diseño preliminar tendrían incidencia en la geometría del canal de acceso o de la conducción submarina, y podrá ser causado por diferentes factores, dentro de los cuales es posible mencionar: algún cambio en el volumen de agua requerido por la central, consideraciones de seguridad para el abastecimiento que obliguen a considerar un mayor número de conductos (en una toma submarina), o algún cambio en la orientación de este dispositivo. Los argumentos técnicos que se aplican en la solución de los problemas que involucran estos cambios han sido mencionados anteriormente.

Sistema de limpieza.- Las características de este sistema son definidas por el fabricante y en algunos casos resulta necesario realizar modificaciones en los puntos que servirán de recinto a estos equipos. Estas modificaciones no deben generar velocidades de flujo mayores a las definidas como límites en los estudios de anteproyecto.

IV.3.3.- OBRA DE DESCARGA

La obra de descarga está expuesta también a sufrir modificaciones, cuyo origen puede radicar en un cambio considerable en la temperatura de descarga del agua o en un incremento en el volumen descargado de agua. Al presentarse alguno de los casos mencionados u otro cualquiera que implique modificar geometría y longitud de esta obra, se requerirá de un diseño nuevo cuya metodología a seguir está descrita en los estudios correspondientes a la etapa de anteproyecto.

IV.3.4.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

Este elemento requiere en la fase de proyecto de la realización de diferentes actividades relacionadas con la definición de los arreglos finales de las conducciones necesarias para operación normal, de retrolavado y de choque térmico (en el caso de que se requiera), con sus correspondientes gradientes hidráulicos de operación y con las modificaciones en su instrumentación para resistir los fenómenos de transitorios hidráulicos.

Para definir los arreglos mencionados de la conducción se recomienda realizar un estudio económico semejante para al implementado para el sistema de abastecimiento de agua, en la etapa de anteproyecto. Por su parte, para la determinación de los gradientes hidráulicos se recomienda utilizar la metodología descrita en el inciso correspondiente a la definición del gradiente de operación para el sistema de agua de circulación. Por lo que se refiere a los cambios en la instrumentación del sistema para prevenir los transitorios, los estudios mencionados en la optimización de este sistema son el instrumento adecuado para definirlos.

Todos estos cambios tienen que ser plasmados en planos finales así como en especificaciones de construcción del sistema.

IV.3.5.- SISTEMA DE DRENAJES

Los cambios que tienen lugar en la localización de las diferentes estructuras de la central en la etapa de proyecto, así como el diseño de la red con una información incompleta (en la etapa de anteproyecto), traen como consecuencia la necesidad de llevar a cabo modificaciones en el arreglo de dicha red. Estos cambios en algunos casos implican el tener que realizar procesos de rediseño, para lo cuál se recomienda seguir las secuencias de cálculo descritas en la etapa de anteproyecto a partir de la información mas completa y reciente.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO V.- IMPORTANCIA DE LA INGENIERIA CIVIL EN ESTE TIPO DE OBRAS

De acuerdo a comentarios de los voceros del Gobierno la problemática situación económica en la que ha estado inmerso el país va quedando atrás, por lo que las perspectivas del futuro inmediato de México implican situaciones de crecimiento económico (lo que resulta significativamente bueno después de una larga etapa de recesión cuyas características fueron mencionadas en párrafos anteriores). Esto implica un mayor dinamismo en el campo y en la industria.

Por otra parte, el crecimiento de la población es un factor que tiene incidencia en los planes de desarrollo pues el estado debe responder a la demanda creciente de servicios y empleos.

Al aceptar el gobierno la implementación de un modelo económico que permite la participación de la inversión extranjera de manera abierta y la liberalización del comercio, éste busca la manera de hacerse recursos con los cuales podría responder a los distintos compromisos que se tienen. Si esta política es llevada adecuadamente podría ser efectiva para responder a las expectativas de toda la población.

Aunados a los problemas anteriores existen otros que se refieren a la prestación de servicios a la población creciente, como son salud, educación, vivienda, comunicaciones, agua potable, energía eléctrica, alimentación, etc., con lo que se da lugar a un marco de problemas cuya solución requiere de contar con diferentes obras de infraestructura.

V.I.- PAPEL DE LAS PLANTAS TERMOELECTRICAS DENTRO DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

Las obras de infraestructura constituyen un soporte fundamental para toda actividad económica, ya que sus objetivos radican en multiplicar la eficiencia de la capacidad productiva y propiciar nuevas inversiones, convirtiéndose de esta manera en un apoyo adecuado para el desarrollo económico. dentro de este tipo de obras se puede hacer mención de las escuelas, hospitales, unidades generadoras y transmisoras de electricidad, instalaciones de extracción y refinamiento de hidrocarburos, puertos, telecomunicaciones, etc., cada una de las cuales responde a una función determinada.

Aunque la actividad que realiza cada una de estas obras es de gran importancia, es posible ubicar en un lugar muy especial a aquellas que se encargan de dar movimiento al sistema productivo, como son las relacionadas con los hidrocarburos y con la energía eléctrica, pues conforme se incrementen las capacidades productiva de la industria y de consumo de la población, será necesario realizar las obras requeridas para satisfacer adecuadamente las demandas de energéticos que se presenten. Este último argumento puede ser reforzado al hacer la referencia de la necesidad de la reorientación industrial mencionada y al considerar la taza de crecimiento de la población.

Interés particular del presente trabajo es hacer mención de las instalaciones generadoras de electricidad por medio de la líneas siguientes.

En México se construyen y operan básicamente dos tipos de centrales que producen energía eléctrica (hidroeléctricas y termoeléctricas), por medio de las cuales el sector eléctrico ha venido desarrollándose. En 1937, año en que se promulgó la ley que creó la Comisión Federal de Electricidad, la capacidad total instalada era de 629.0 megawatts (Mw), de los cuales un

59.14 % (372 Mw) correspondió a las hidroeléctricas y un 40.86 % (257 Mw) a las termoeléctricas. En el año de 1985 la capacidad total instalada llegó a los 20 800 Mw, con un 31.40 % (6 530 Mw) correspondiendo a las hidroeléctricas y el 68.60 % a (14 270 Mw) a las termoeléctricas. En lo que se refiere a las perspectivas de crecimiento, los pronósticos indican un crecimiento mínimo de 9 117 Mw en el periodo comprendido entre 1988 y 1994, repartidos en un 17.90 % (1630 Mw) para las hidroeléctricas y con un 82.10 (7 487 Mw) para las termoeléctricas. Esta información se obtuvo de la referencia 14.

De acuerdo al Informe de Operación de 1993 de la CFE, en ese año la capacidad total instalada llegó a los 29 204 Mw, correspondiendo el 72.02% (21 033 Mw) a las termoeléctricas y el 27.98% (8 171Mw) a las hidroeléctricas. Para el presente año (1994) se cuenta con 32 000 Mw.

Al observar las anteriores cifras resulta notorio que el mayor desarrollo de la capacidad instalada ha sido encauzada hacia las termoeléctricas, debido quizás entre otras cosas a la capacidad de responder a la demanda, que resulta adecuada para generar la demanda base, misma que está asociada a las actividades de la industria.

La tendencia actual en la CFE respecto a a la construcción de plantas termoeléctricas, consiste en el diseño de plantas con gran capacidad de generación de energía y que puedan operar utilizando combustóleo o carbón. La C. T. Petacalco, inaugurada en Agosto de 1994 tiene una capacidad instalada de 2100 Mw, opera actualmente utilizando combustóleo, mientras que se trabaja en el diseño y construcción de los dispositivos de manejo de carbón y cenizas.

V.2.- ACTIVIDADES DE LA INGENIERIA CIVIL EN LAS CENTRALES TERMOELECTRICAS

Dada la importancia del papel que desempeñan las plantas termoeléctricas en la generación de electricidad, al hacer mención de las disciplinas técnicas que intervienen en su diseño y construcción resulta necesario comentar que la acción conjunta de estas busca el crear un complejo de instalaciones eficiente, seguro y económico. Dentro de estas disciplinas es posible destacar las actividades que desarrolla la ingeniería civil, ya que se encarga del diseño y construcción de un gran número de dispositivos valiéndose de diferentes principios de la física aplicada.

Las actividades de la ingeniería civil dentro del campo de diseño en este tipo de obras comprenden la búsqueda y el análisis de soluciones óptimas para los problemas que se presenten así como la correspondiente traducción de estas a planos y especificaciones, y resultan ser tan variadas que para su mejor desempeño pueden ser divididos en tres grupos. Esta división responde a las características constructivas de los dispositivos que se diseñan y son : Estructuras, Areas Exteriores e Hidráulica.

La estructuración esta asociada con el diseño de elementos estructurales cuya función es brindar un soporte seguro y confiable a los sitios donde se alojan los diferentes equipos y dispositivos, así como a todas las estructuras exteriores que forman parte de la central. De esta manera la estructuración resulta fundamental para el diseño de la casa de máquinas y de su cimentación, así como para las chimeneas que desalojan el humo producto de la quema del combustible y para otras estructuras más.

El grupo de áreas exteriores se encarga del diseño de dispositivos que se desempeñan como complemento para la operación de la central, tales como: oficinas, terraplenes, descargaderos de combustible, almacenes, vías de acceso para los diferentes vehículos, etc.

Por su parte, el grupo de hidráulica incluye actividades de diseño de sistemas de conducción de agua como son el de abastecimiento y el de agua de circulación, así como también cárcamos de bombeo, canales para toma y descarga, drenajes y otras estructuras más.

Por otro lado, una vez cumplidas las actividades de diseño, es responsabilidad de quienes construyen llevar acabo todas y cada una de las estructuras provenientes del proyecto, mismas que albergarán y soportarán los equipos y dispositivos requeridos en la central. Esto no debe interpretarse como si la entrega de planos y especificaciones fuera la única relación entre estas etapas, más bien, una buena coordinación entre estas genera una dependencia caracterizada por una retroalimentación de información que resulta útil para afinar los métodos de diseño y constructivo.

Dado que el alcance de las actividades de la ingeniería civil en este tipo de obras es muy amplio, esta disciplina técnica se ve revestida de gran importancia dentro del grupo de aquellas que intervienen en el proceso de diseño y construcción de una central. Por consecuencia entonces, resulta importante el papel que desempeña el ingeniero civil en dicho proceso.

Se deduce de lo anterior la necesidad de una preparación técnica adecuada, acorde a las necesidades del desarrollo nacional, donde al estudiante de esta carrera se le permita complementar su formación académica (después de conocer los fundamentos técnicos básicos), con elementos que la práctica profesional ha desarrollado en las diferentes áreas de la ingeniería civil, ya sea a través de material audiovisual y/o prácticas profesionales y de campo, de las diferentes actividades que se llevan a cabo en estas.

CAPITULO VI.- SITUACION ACTUAL DE LA HIDRAULICA

Sin duda alguna el agua es uno de los recursos de la naturaleza que resulta vital para la supervivencia de esta misma y de la humanidad, ya que la requieren la flora y la fauna además del hombre. La importancia que guarda el agua para el hombre queda manifestada en las ciudades antiguas representativas de las grandes culturas de la historia, que fueron fundadas en zonas cercanas a las márgenes de ríos, lagos o mares, tal como lo hicieron los egipcios en el río Nilo, los griegos en el Mar Egeo, los romanos en el río Tiber y los aztecas en el lago de Texcoco.

Hoy en día la sociedad padece una serie de problemas generalizados en el contexto mundial, dentro de los cuales pueden ser considerados los siguientes: alimentación, armamentismo, degradación ecológica, energéticos e inestabilidad económica. Todos estos problemas tienen su origen debido a la combinación de ciertos factores como son la desigual distribución de la riqueza, la aplicación de políticas de desarrollo formulados inadecuadamente y el afán de acaparar los mercados internacionales por parte de los países industrializados. Para fines del presente trabajo, del marco de problemas definidos anteriormente pueden ser escogidos como ejemplo de la necesidad que se tiene del agua aquellos que se refieren a la alimentación y a la degradación ecológica, ya que guardan una relación muy estrecha con este recurso natural.

Es cierto que desde la antigüedad el hombre le ha dado al agua diferentes usos encaminados a satisfacer algunas de las necesidades que ha padecido. Actualmente estos usos se han diversificado, resultando más comunes los que tienen aplicaciones en los servicios municipales, en la industria, en la producción de energía, en el riego agrícola y en los servicios domésticos.

De lo anterior se desprende la afirmación de que el agua es un elemento muy útil en la realización de las actividades productivas del campo y de la industria. Pero surge de esto también una inquietud. ¿Ha sido efectivo el uso del agua? Esta pregunta cuestiona si la explotación y contaminación a que se ha visto sometido este recurso, a seguido una política acorde a las necesidades del individuo. En un seminario llevado a cabo en Washsington, D.C. en Noviembre de 1986, auspiciado por el Banco Mundial, trascendió el hecho de que los problemas de degradación de los recursos naturales afectan mayor parte a los países en vías de desarrollo, dentro de los cuales se encuentra México incluido, donde la mayoría de los ríos están contaminados y sobrexplotados sus acuíferos (ver la revista de Ingeniería Hidráulica en México correspondiente al período Septiembre-Diciembre de 1986, página 89).

La observación anterior obligo al gobierno federal a adoptar una política hidráulica cuya tendencia radicase en el mejoramiento de la situación prevaleciente, y prever una proyección adecuada del futuro, que se encuentra comprendida dentro de las actividades que realiza el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA). Este organismo tiene como función el llevar a cabo estudios e investigaciones de acuerdo a la Política Hidráulica Nacional, cuyos objetivos radican en los siguientes puntos:

- Mejorar la administración del agua dando una orientación adecuada a su uso, considerando las posibilidades de reuso y ajustando criterios de evaluación de proyectos que incorporan aspectos ecológicos.

- Propiciar una mayor eficiencia del gasto público a través del aprovechamiento pleno de la infraestructura existente y reduciendo el consumo y desperdicio por parte de los usuarios.

- Impulsar el desarrollo tecnológico a través de la capacitación de los recursos humanos, apoyando e induciendo a jóvenes profesionistas al estudio e investigación de técnicas de control, aprovechamiento, uso, tratamiento y reuso de este valioso líquido.

Son diferentes las ramas que intervienen en estos estudios e investigaciones, dentro de las cuales es posible asignar a la hidráulica un lugar muy preponderante.

Por otro lado, en diferentes zonas del país aún se padece la carencia de una infraestructura que responda a las necesidades mínimas de aprovisionamiento de agua para potabilización y para riego agrícola. Aunado a esto el ritmo de crecimiento demográfico, se genera una condición que exige a las autoridades correspondientes la realización de actividades de proyección, diseño y construcción de obras nuevas o de la ampliación de las que ya existen, para abastecer de agua a la población para sus diferentes usos. Estas obras guardan una relación muy íntima con la hidráulica ya que esta disciplina técnica participa directamente en los procesos de diseño y construcción, mismos que deberán cumplir con condiciones pertinentes para evitar la contaminación y disminuir la explotación del agua que acarrean consigo. Resulta entonces preciso optimar los diseños de los sistemas de manera que se disminuyan o eliminen las fugas y desperdicios, procurando el pensar en el tratamiento y reuso del líquido.

Llevar a cabo esta optimización requiere contar con personal calificado cuyo conocimiento del tema sea mayor y mejor, capaz de realizar esas obras. La forma más directa de ser un especialista en hidráulica lo constituye el cursar programas de posgrado. Son diferentes las instituciones educativas en el país que imparten especializaciones, maestrías y doctorados. De acuerdo a una publicación hecha por la revista Ciencia y Desarrollo en el número correspondiente al mes de Abril de 1987, las estadísticas indican que para fines de 1985 la inscripción de alumnos a estos niveles de estudio fue de 83 con tiempo completo y 84 con tiempo parcial. Estas cifras permiten entrever la necesidad que se tiene de impulsar y promover estos estudios de nuevas generaciones de profesionistas.

La creación del IMTA le ha brindado un fuerte impulso a la investigación en hidráulica, hecho que refuerza el argumento manejado anteriormente, ya que del desarrollo que tenga esta disciplina técnica, dependerá la eficiencia que se obtenga de los proyectos que se vayan a llevar a cabo en futuro inmediato, en los cuales se basará el bienestar de la población y en consecuencia el desarrollo del país.

CONCLUSIONES

La necesidad de avance tecnológico que requiere el país para su desarrollo económico, obliga a realizar diferentes acciones ligadas con el otorgamiento de servicios a la población y a la industria. Dentro de estos servicios se encuentra la energía eléctrica, flujo cuya importancia es relevante para las actividades económicamente productivas. De acuerdo a datos obtenidos del al Informe de Operación de 1993 de la CFE, se tiene que el patrón de energía vendida tuvo un comportamiento tal como se describe a continuación: al Sector Industrial corresponde un consumo del 53.10%, mientras que al Sector Doméstico el 24.58%, por su parte al Sector Comercial se le asigna el 9.14%, y al Sector Agrícola el 5.70%. A Otros Servicios le corresponde el 7.48% (en este se incluyen usos propios no facturados, energía exportada y otros).

La electricidad puede ser generada a través de diferentes dispositivos, como son las plantas hidroeléctricos y las plantas termoeléctricas. El procesamiento del agua en el último de los medios generadores mencionados es muy usual, razón por la cual se requiere del diseño de diferentes estructuras de aprovechamiento hidráulico.

Al convertirse el agua un elemento de suma importancia para la operación de una central ganaradora de electricidad se requiere que estas estructuras cumplan de manera eficiente con la función para la cual han sido diseñadas. Esto a su vez implica un proceso de diseño confiable y adecuado, en el cual deben establecerse los criterios óptimos de diseño que hagan uso de todos los recursos técnicos disponibles, desde simples catálogos de material y equipos hasta la elaboración de modelos físicos y matemáticos, pasando por la aplicación de las guías de diseño, así como el aprovechamiento del acervo de software correspondiente.

Por otra parte, dentro del sector eléctrico se implementan actualmente políticas que modifican substancialmente la forma de financiamiento y los trabajos de diseño y construcción de las plantas generadoras, que van desde los llamados Proyectos Paquete, hasta la modalidad de Productor Independiente.

En la primera de estas el inversionista financia, diseña y construye la planta, para entregarla de manera simbólica a la CFE para su operación, misma que a partir del producto de las ventas de energía devuelve al primero su inversión mas la utilidad correspondiente. Una vez cumplido con lo anterior la planta pasa a ser propiedad de la CFE.

El Productor Independiente financia, diseña, construye y opera la central para satisfacer sus propias necesidades y los excedentes de su producción los vende a la CFE. La planta es propiedad del inversionista-productor.

Por lo general, la capacidad de financiamiento en obras de esta naturaleza la tienen las empresas trasnacionales poderosas (Mitsubishi, Bechtel, Alsthom, etc.), por lo que en las actividades de diseño y contrucción intervienen una gran cantidad de profesionistas extranjeros, lo cual implica una competencia profesional mucho más fuerte, que requiere de una preparación profunda por parte de los nacionales.

Al ser el agua además un elemento primer orden para la vida del ser humano los diseños deben de ser llevados a cabo buscando la máxima eficiencia y procurando racionar y optimar su uso. Obtener esto implica contar con personal técnico capaz de concebir proyectos adecuados que resuelvan las diferentes demandas que se presenten. Esto induce a pensar

que el nivel de preparación del profesionista hidráulico juega un papel muy importante, razón por la que se deberá cumplir con ciertos requisitos de profundidad y actualización de conocimientos.

El nivel de conocimientos es alcanzado a través de la experiencia profesional y de los estudios de posgrado. La experiencia profesional requiere por lo general de tiempo y condiciones especiales para que llegue a ser efectiva, mientras que los estudios de posgrado resultan idóneos para impulsar el conocimiento técnico a pesar de ser la alternativa a la que menos se recurre.

De lo anterior se concluye la importancia que guarda la hidráulica en el diseño de obras de infraestructura, y de la preparación técnica que deben poseer los proyectistas que participan en dicha área. Basados en esto último es posible hacer hincapié en la necesidad preparar profesionistas con capacidad para solucionar los problemas involucrados en el diseño y construcción a través del estímulo a estudiantes y a personal académico para llevar a cabo estudios de posgrado, que como consecuencia traerán una revisión y mejoramiento constante de los planes de estudio.

Por otra parte, considerando la política económica que actualmente se implementa no es aventurado predecir como resultado del tratado de libre comercio recién firmado, una competencia profesional más fuerte que tendrá su origen en la llegada de ingenieros que provienen de prestigiadas universidades e institutos del extranjero. Esto conduce a la necesidad de una preparación que tienda a niveles más competitivos, así como de una constante actualización profesional.

Asimismo, resulta notoria la necesidad de propiciar y mantener un contacto más directo entre las empresas de gobierno y privadas que llevan a cabo actividades de ingeniería civil, con las instituciones de educación superior, con el fin de llevar a cabo programas de acción conjunta que den oportunidad tanto a estudiantes como al personal académico de participar en los diseños de diferentes obras. Con esto el alumnado podría tener una idea más precisa sobre lo que es el ejercicio profesional y las instituciones educativas tendrían oportunidad de hacerse de recursos económicos para financiar sus programas internos de mejoramiento.

FIGURAS

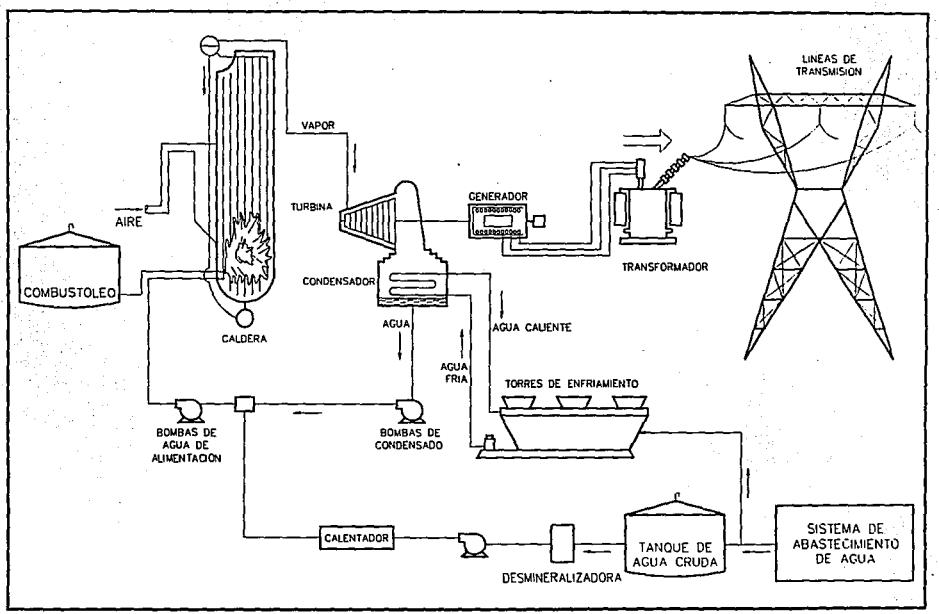


FIG. I.1.- ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL PROCESO DE TRANSFORMACION DE LA ENERGIA CALORIFICA EN ELECTRICIDAD EN UNA CENTRAL TERMOELECTRICA.

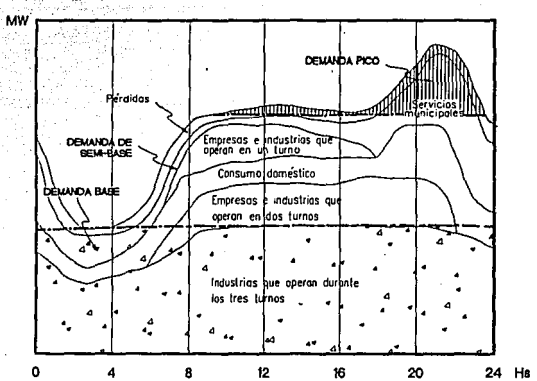


FIGURA II.1.- DIAGRAMA DE CARGA DIARIO

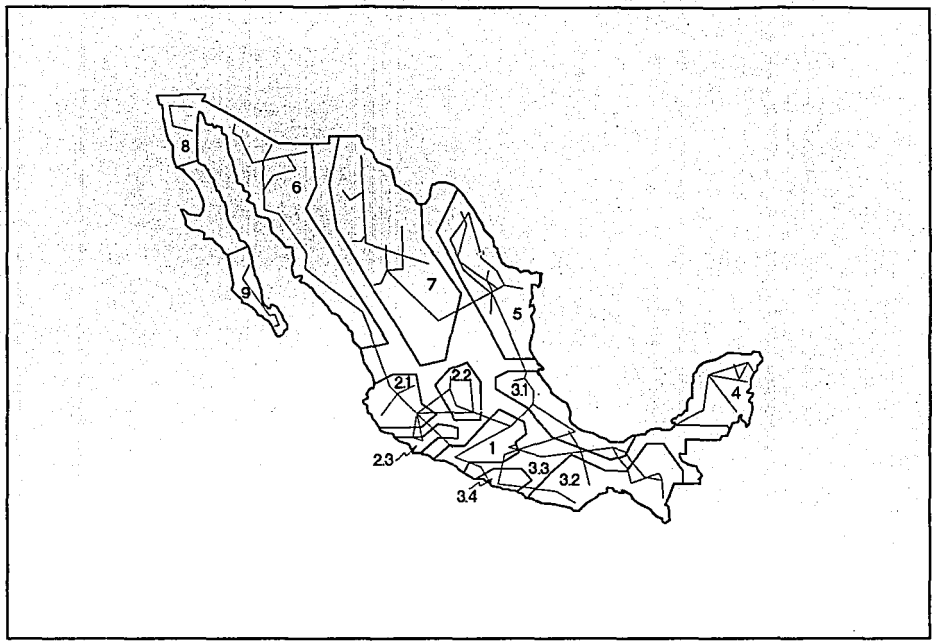
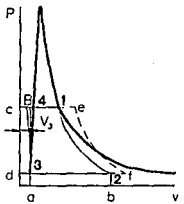
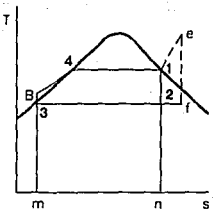


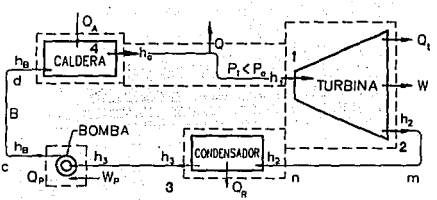
FIGURA II.2.- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL



a).- DIAGRAMA PRESION-VOLUMEN



b).- DIAGRAMA TEMPERATURA-ENTROPIA



c).- DIAGRAMA DE ENERGIA PARA UNA PLANTA DE POTENCIA

FIGURA III.- CICLO TERMODINAMICO DE RANKINE

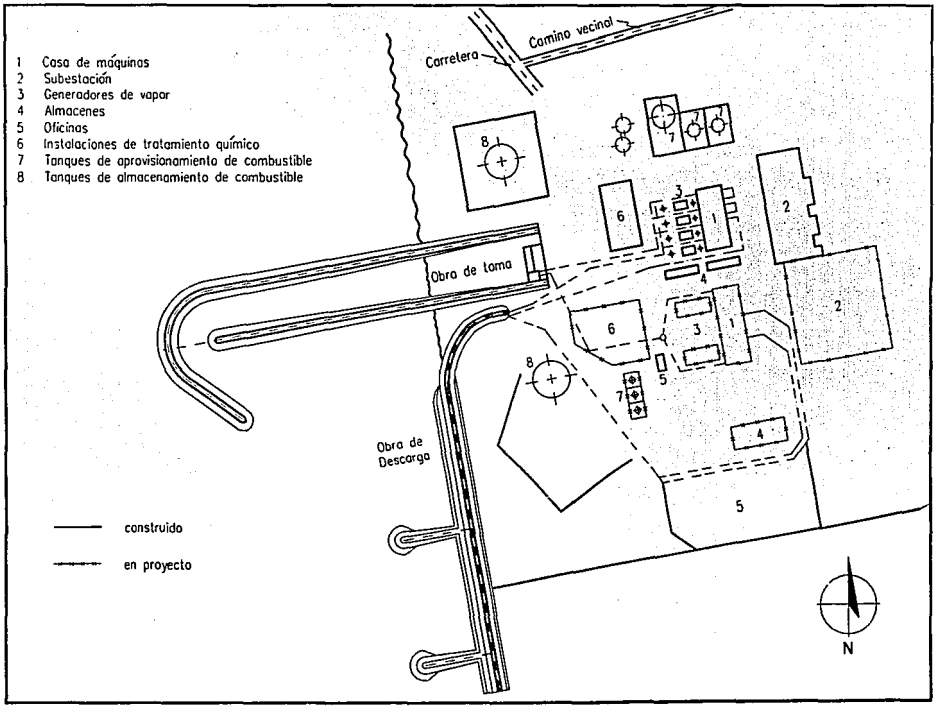


FIGURA III.2.- ARREGLO GENERAL DE LA CENTRAL TERMOELECTRICA TIJUANA (UNIDADES 1 Y 2)

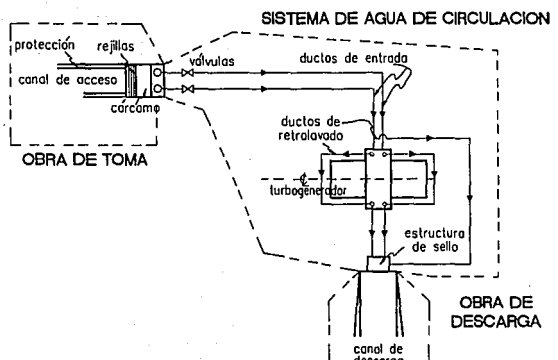


FIGURA III.3.- SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO (CICLO ABIERTO)

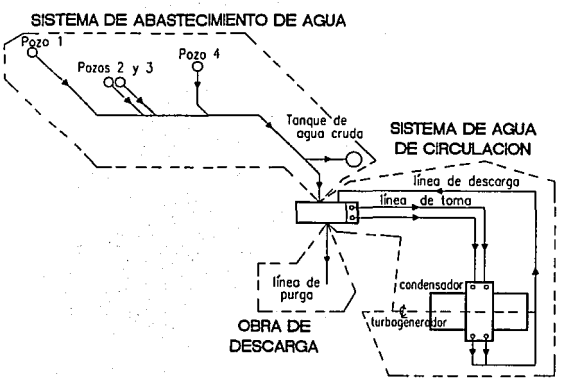


FIGURA III.4.- SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO (CICLO CERRADO)

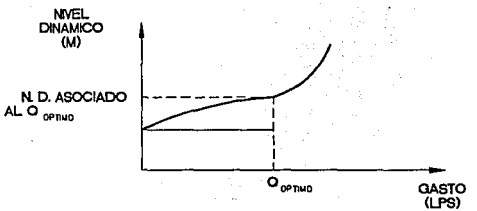


FIGURA IV.1.- CURVA DE ABATIMIENTO DE NIVEL DINAMICO VS GASTO DE EXTRACCION

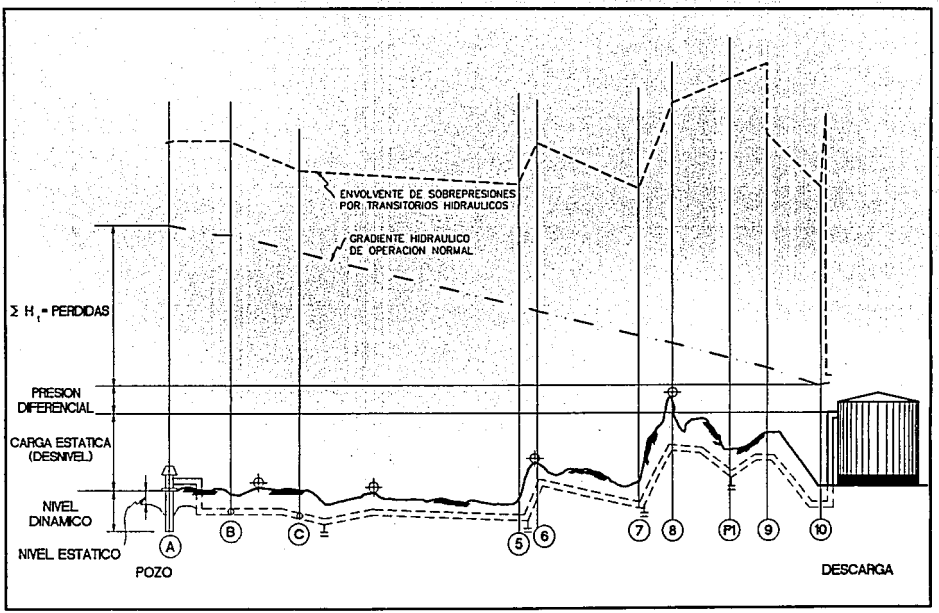


FIG IV.2.- CONDICIONES DE FLUJO ESTABLECIDO Y DE SOBREPRESIONES POR TRANSITORIOS HIDRAULICOS EN UNA LINEA DE CONDUCCION

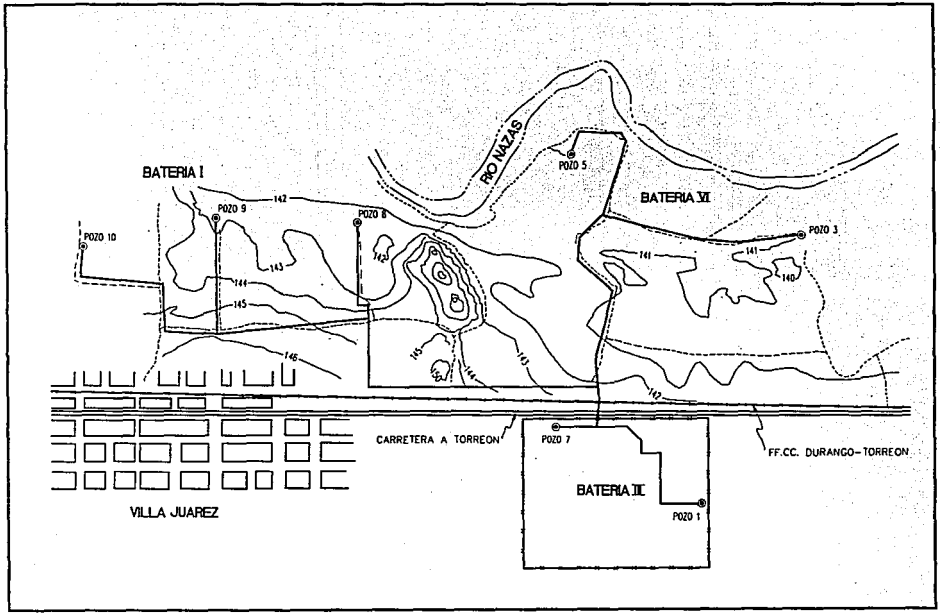


FIG IV.3.- ARREGLO GENERAL DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA C.T. LERDO

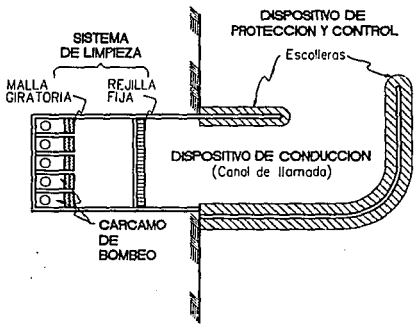


FIGURA IV.4.- OBRA DE TOMA MARINA SUPERFICIAL

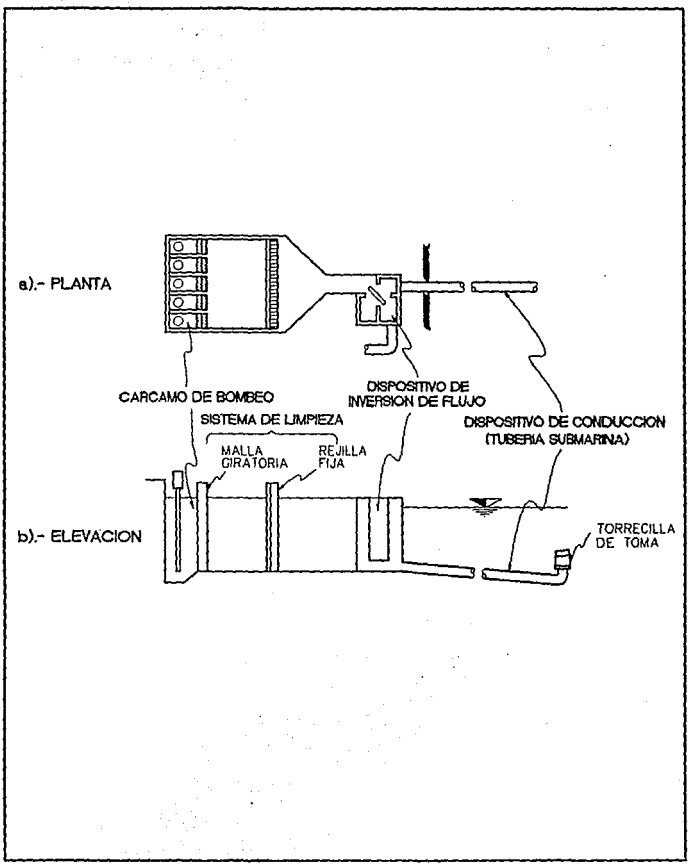


FIGURA IV.5.- OBRA DE TOMA SUBMARINA

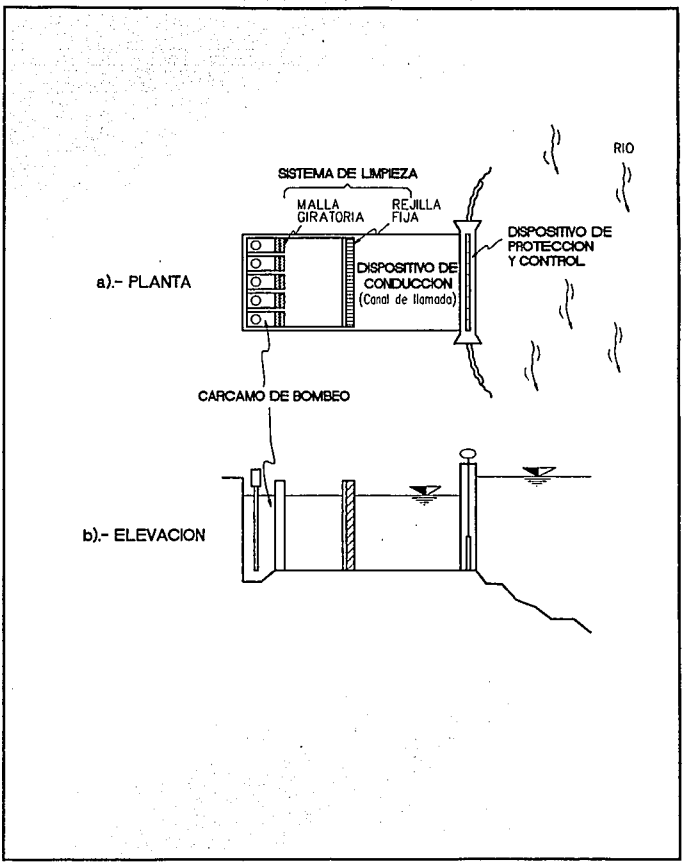


FIGURA IV.6.- OBRA DE TOMA FLUVIAL

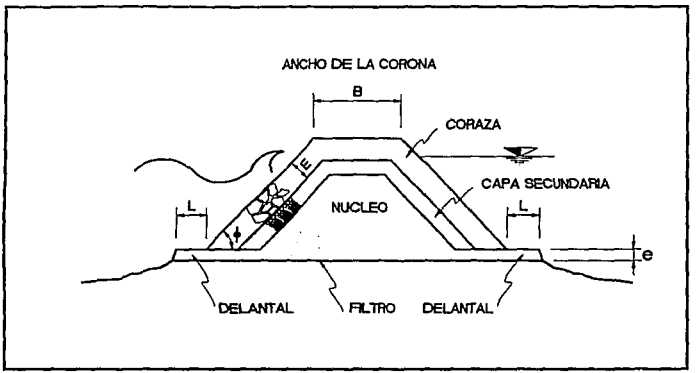


FIGURA IV.7.- SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UNA ESCOLLERA O ESPIGON

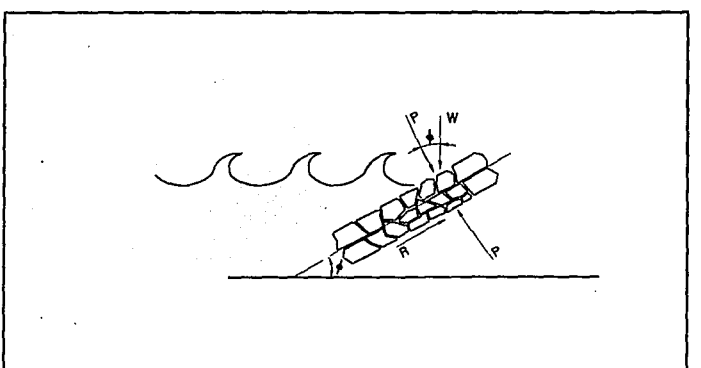
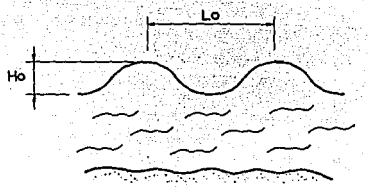
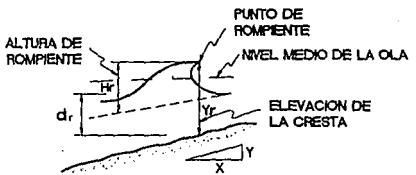


FIGURA IV.8.- FUERZAS QUE INTERVIENEN EN LA ESTABILIDAD DE LA CORAZA



a).- AGUAS PROFUNDAS



b).- AGUAS SOMERAS

FIGURA IV.9.- CONDICIONES CARACTERISTICAS DE OLEAJE
EN AGUAS PROFUNDAS Y SOMERAS

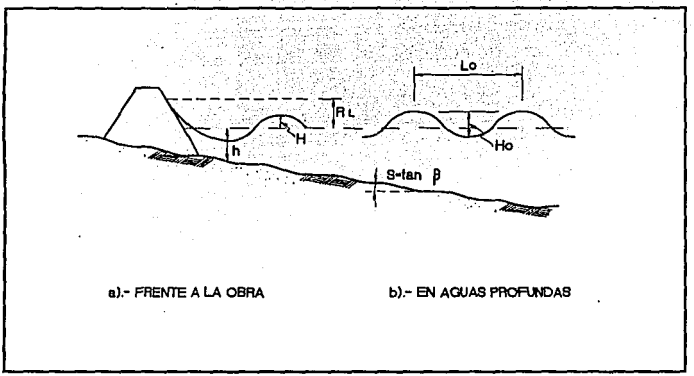


FIGURA IV.10.- CARACTERISTICAS DEL ALCANCE DE OLA

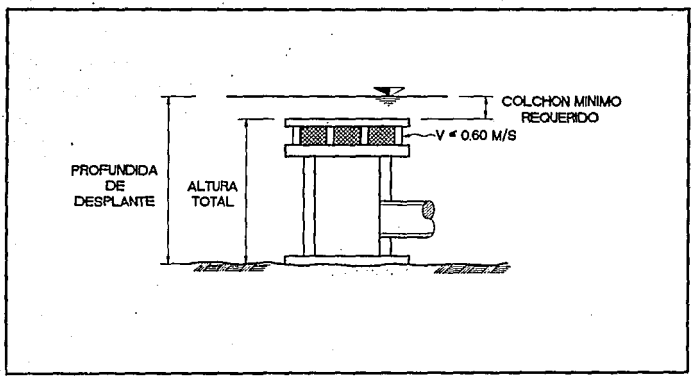


FIGURA IV.11.- TORRECILLA DE TOMA

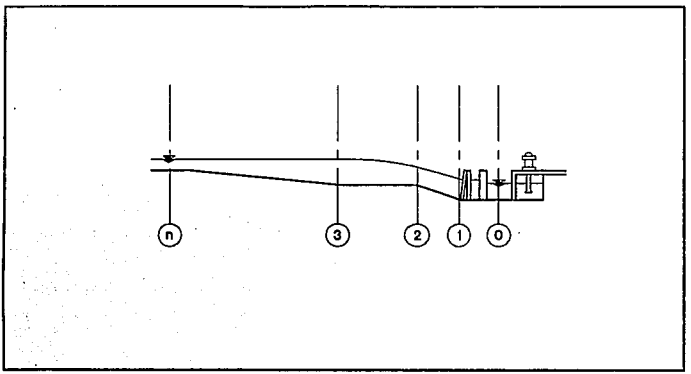


FIGURA IV.12.- PERFIL HIDRAULICO GENERADO POR FLUJO EN CANAL DE LLAMADA

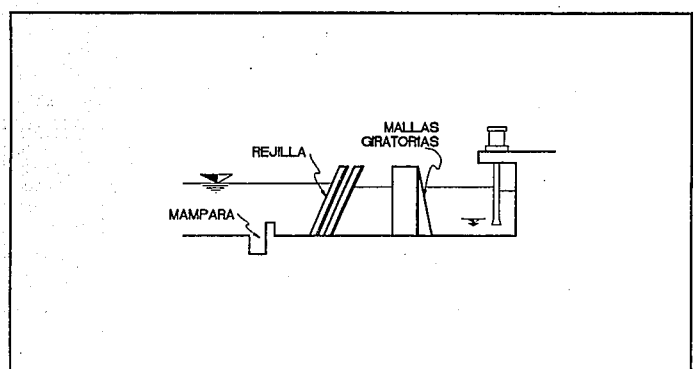
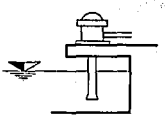
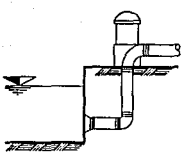


FIGURA IV.13.- DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE LIMPIEZA



a).- DE POZO HUMEDO



b).- DE POZO SECO

FIGURA IV.14.- CONFIGURACION DE ARREGLO DE CARCAMOS DE BOMBEO

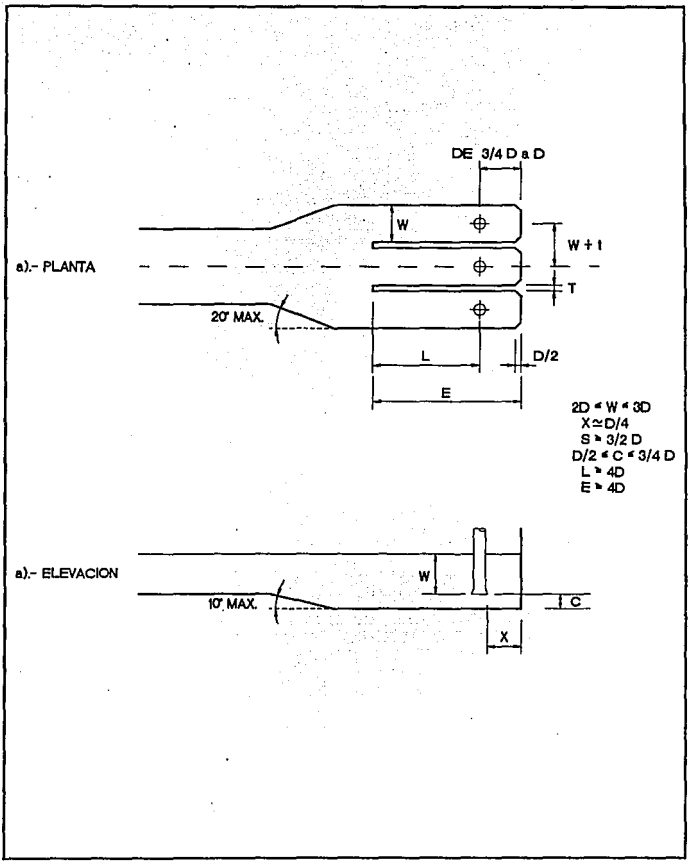


FIGURA IV.15.- DIMENSIONES ESTANDARIZADAS POR BHRA PARA CARCAMO DE BOMBEO

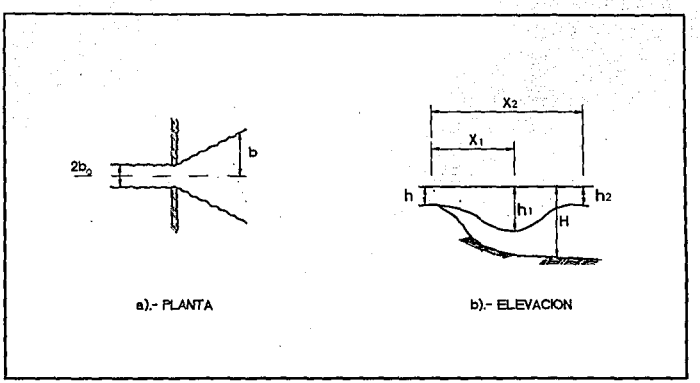


FIGURA IV.16.- CARACTERISTICAS DE UNA DESCARGA SUPERFICIAL MARINA DE AGUA CALIENTE

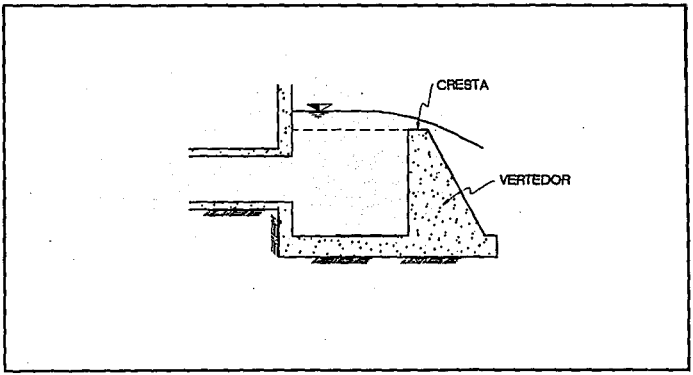
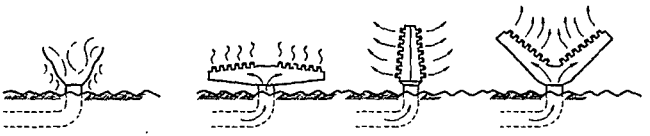


FIGURA IV.17.- CONFIGURACION DE LA ESTRUCTURA (O POZO) DE SELLOS



a).- SENCILLO

b).- MULTIPLE

FIGURA IV.18.- DISTINTOS TIPOS DE DIFUSORES

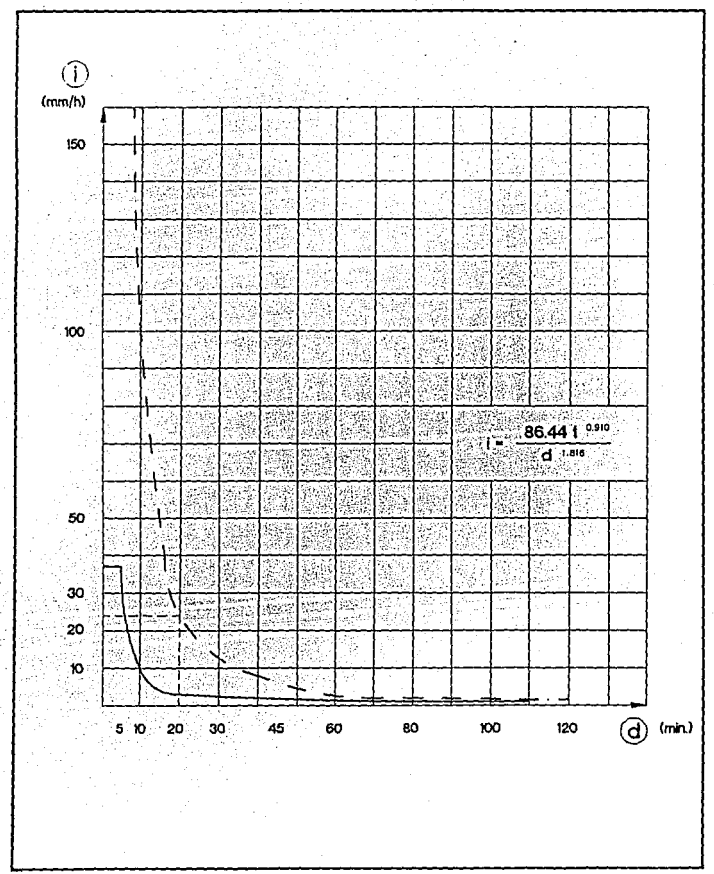


FIGURA IV.19.- CURVA INTENSIDAD-DURACION-PERIODO DE RETORNO

REFERENCIAS

1. V. YA RIZHKIN, Centrales Termoeléctricas, Tomos I y II, Editorial MIR, Moscú URSS, 1979.

2. GILBERTO SOTELO AVILA, Hidráulica General, Tomo I, Editorial Limusa, México D. F., 1979.

3. GILBERTO SOTELO AVILA, Apuntes del curso de Hidráulica II, UNAM, México D. F., 1979.

4. AUTORES VARIOS, Manual de Diseño de Obras Civiles, Fascículos A.2.3, A.2.5, A.2.6, A.2.11, A.2.13 y A.2.14, CFE-IIE, México D. F., 1981.

5. GUSTAVO A. PAZ SOLDAN C., Transitorios Hidráulicos en Sistemas de Agua de Circulación de Plantas Termoeléctricas, México D. F., 1979.

6. GUSTAVO A. PAZ SOLDAN C., La Hidráulica en Centrales Termoeléctricas (Ponencia para el 8vo. Congreso Nacional de Hidráulica), Toluca Edo. de Méx., 1984.

7. GUSTAVO A. PAZ SOLDAN C.-JAIME GALVAN D., Optimización de Sistemas de Bombeo considerando Flujo Transitorio (Ponencia para el 9o. Congreso Nacional de Hidráulica), Querétaro, Qro., 1986.

8. CARLOS RAMIREZ OTERO, Ahorros millonarios por la Construcción de Plantas Hidroeléctricas (Ponencia para el 8vo. Congreso Nacional de Hidráulica), Toluca Edo. de Méx., 1984.

9. CLAUDIO A. MATAIX, Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Editorial HARLA, México D. F., 1970.

10. SAHOP, Manual para Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable en Zonas Urbanas, México D. F., 1969.

11. Memoria de Cálculo del Sistema de Abastecimiento de Agua de la C. T. Lerdo U1 y U2, CFE.

12. Memoria de Cálculo del Análisis de Transitorios Hidráulicos del Sistema de Agua de Circulación de la C. T. Lerdo U1 y U2, CFE.

13. Manual del Usuario del Programa SURGE, CFE.

14. LEOPOLDO TELLEZ ARMENTA, Sector Eléctrico, CFE, México D. F., 1987.

15. M. HANIF CHAUDHRY, Applied Hydraulics Transients, VAN NOSTRAND REINHOLD Co., New York, N. Y., 1986.

16. ARMANDO FRIAS GONZALEZ-GONZALO MORENO CERVANTES, Ingeniería de Costas, AMIP, México D. F., 1986.

17. HARRY MILEAF, Electricidad Aplicada, Tomos III y IV, Editorial LIMUSA, México D. F., 1979.

18. VAN VALKENBURGH, NOOGER & NEVILLE, Electricidad Básica, Tomos I, II y III, Editorial CECSA, México D. F., 1954.

19. ERNESTO MURGUIA VACA, Apuntes del curso de Ingeniería Sanitaria.

20. COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, Shore Protection Manual, Vol. II, Dept. of the Army, Washington D. C., 1984.