

J-23

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería



**Proyecto General de una Planta de Bombeo
para Reutilización de Agua Residual**

T E S I S

Que para obtener el título de :
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a :
GERMAN A. MARTINEZ SANTOYO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-2

Al Pasante señor GERMAN A. MARTINEZ SANTOYO,
P r e s e n t e .

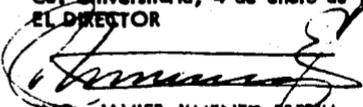
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el profeesor Ing. Oscar Vega Roldán, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"PROYECTO GENERAL DE UNA PLANTA DE BOMBEO PARA
REUTILIZACION DE AGUA RESIDUAL"

- I. Introducción
- II. Proyecto detallado de la obra de toma
- III. Proyecto funcional de la planta de bombeo de agua cruda
- IV. Presupuesto

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 4 de enero de 1979
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/Im

I N D I C E

	<u>Página</u> <u>No.</u>
I. INTRODUCCION	1
1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DEL DISTRITO DE REUTILIZACION	1
1.2 INVESTIGACION DE LA DEMANDA DE AGUA RESIDUAL TRATADA	2
1.3 CARACTERISTICAS DEL GRAN CANAL DE DESAGUE COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	3
1.4 ALTERNATIVAS ESTUDIADAS	6
1.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS Y SELECCION	8
1.5.1 <u>Dimensionamiento hidráulico preliminar</u>	8
1.5.2 <u>Dimensionamiento preliminar de las plantas de bombeo</u>	9
1.5.3 <u>Inversiones necesarias</u>	9
1.5.4 <u>Costos de operación, conservación y reemplazos</u>	10
1.5.5 <u>Costo del agua producida</u>	11
1.6 CONCLUSIONES	12
II. PROYECTO DETALLADO DE LA OBRA DE TOMA	14
2.1 PROYECTO FUNCIONAL	14
2.2 CALCULO HIDRAULICO	15
2.3 CALCULO ESTRUCTURAL	19
2.3.1 <u>Determinación de las cargas actuantes en la estructura</u>	22
2.3.2 <u>Análisis estructural de la obra de toma</u>	24
2.3.3 <u>Estabilidad de la estructura de toma</u>	54
2.3.4 <u>Diseño</u>	58
III. PROYECTO FUNCIONAL DE LA PLANTA DE BOMBEO DE AGUA CRUDA	67
3.1 GENERALIDADES	67

	<u>Página</u> <u>No.</u>
3.1.1 <u>Localización</u>	68
3.2 DESCRIPCION DE LA TRANSICION DE ENTRADA A LA PLANTA	68
3.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE REJILLAS DE LIMPIEZA AUTOMATICA	68
3.4 DESCRIPCION DE LOS DESARENADORES	69
3.5 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE BOMBEO	74
3.5.1 <u>Número de unidades requeridas</u>	75
3.5.2 <u>Naturaleza del equipo que se bombeará</u>	76
3.5.3 <u>Capacidad requerida</u>	76
3.5.4 <u>Condiciones de succión</u>	76
3.5.5 <u>Condiciones de descarga</u>	77
3.5.6 <u>Es el servicio continuo o intermitente?</u>	77
3.5.7 <u>Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical? en este último caso, en pozo húmedo o seco?</u>	79
3.5.8 <u>Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuáles son las características de ésta?</u>	79
3.5.9 <u>Qué limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse?</u>	79
3.5.10 <u>Localización de la instalación</u>	80
3.5.11 <u>Requerimientos especiales</u>	80
3.5.12 <u>Selección y características del equipo</u>	80
3.6 ENERGIA MOTRIZ	81
3.7 DESCRIPCION DE LA TRANSICION Y EL CARCAMO DE BOMBEO	87
3.8 COMENTARIOS	87
IV. PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE BOMBEO	89
BIBLIOGRAFIA	95

Capítulo I

INTRODUCCION

1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DEL DISTRITO DE REUTILIZACION

En la zona industrial Xalostoc-Santa Clara-Ecatepec, Estado de México, se utiliza agua proveniente de pozos que cada industria perfora para su explotación, lo que impide que cierta cantidad de agua de bastante pureza se pueda aprovechar en el medio urbano, para consumo humano.

Previendo las necesidades de mayores cantidades de agua en el Valle de México, para toda clase de servicios, desde el doméstico hasta el industrial se pensó, para un mejor aprovechamiento del agua, en darle el mayor uso posible. La finalidad del proyecto del Distrito de Reutilización de agua residual de Xalostoc es precisamente ésta; tomar agua del caudal del Gran Canal y, por medio de un tratamiento, dejarlo en condiciones tales, que el agua pueda ser aprovechada en la industria y liberar el agua de pozo para poder inyectarla a la red de distribución de agua potable, para ayudar a satisfacer la demanda de agua cada vez más grande.

El Gran Canal representa para la zona industrial del corredor Xalostoc-Santa Clara-Ecatepec, Estado de México, una fuente de abastecimiento segura para fines industriales.

El proyecto completo de ingeniería, comprende a grandes rasgos:

Primero.- La obra de toma en el Gran Canal, la cual se proyecta y diseña previendo un gasto máximo de 1.2 m³/s.

Segundo.- Conducción de agua cruda a la planta de bombeo por medio de tubos, con capacidad máxima de 1.2 m³/s.

Tercero.- Planta de bombeo que comprende un tratamiento preliminar, para evitar que el equipo de bombeo sea dañado. Este tratamiento consistirá en cribar el agua por un equipo de rejillas de limpieza automática, desarenación del agua para evitar que partículas de material silíceo de gran tamaño pasen a través de las bombas y las estropeen.

Cuarto.- Conducción del agua bombeada hasta la planta de tratamiento.

Quinto.- Planta de tratamiento, la cual debe estar equipada para darle al agua un tratamiento tal que la deje en condiciones de poderse aprovechar en la industria.

Sexto.- Planta de bombeo de agua tratada al tanque de regulación.

Séptimo.- Red de distribución de agua tratada.

El tema de la presente tesis se refiere fundamentalmente a los 3 primeros de los elementos descritos.

1.2 INVESTIGACION DE LA DEMANDA DE AGUA RESIDUAL TRATADA

Primeramente se estudió quiénes consumían más agua en enfriamiento, procesos y servicios, siempre y cuando el agua empleada no fuera para consumo humano, seleccionándose a los veinte mayores consumidores. Los industriales proporcionaron los datos de cantidad de agua residual tratada que usaban en sus industrias, datos que incluyen consumos medios, actuales y futuros, dando también presiones requeridas, volúmenes de regulación existentes, elevados y superficiales, y análisis del agua que actualmente utilizan en la industria.

Así se obtuvo que la demanda actual sería de 600 l/s, y se previó para el futuro una demanda de 1 200 l/s.

1.3 CARACTERISTICAS DEL GRAN CANAL DE DESAGÜE COMO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Sitio de muestreo y aforos: se escogieron como sitios de muestreo y aforos de agua residual el puente del kilómetro 4 del Gran Canal, aguas arriba del puente canal del Río de los Remedios, y aguas abajo de la planta de bombeo No. 6 del D.D.F., y el kilómetro 14 del mismo Gran Canal.

El programa definitivo de muestreo y aforo comprendió dos etapas: la primera en tiempo de lluvias y la segunda en el del estiaje, tomando en cada sitio una muestra compuesta, una muestra continua y una muestra simple, cada quince días durante los meses de la primera etapa, así como una muestra compuesta, una muestra continua y una muestra simple cada semana durante los dos meses de la segunda etapa.

Las muestras compuestas se formaron con partes proporcionales al gasto escurrido de muestras simples tomadas cada tercer hora durante 24 horas; las muestras continuas se llevaron a cabo tomando sucesivamente cuatro muestras compuestas en un periodo de 96 horas, todas las muestras se obtuvieron siguiendo las indicaciones y recomendaciones del laboratorio de la S.R.H. registrando en el campo: temperatura ambiente y del agua, condiciones meteorológicas, ph, materia flotante, olor, producción de burbujas y color.

Los aforos se llevaron a cabo con molinete hidráulico, obteniendo varias lecturas y promediándolas, dependiendo de la forma y profundidad del área hidráulica en cada sitio y hora de muestreo, registrando el tirante máximo en la sección, la profundidad de muestreo y el gasto escurrido.

Se determinaron en el laboratorio los siguientes parámetros: grasas y aceites, sólidos sedimentables, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.), demanda química de oxígeno (D.Q.O.), nitrógeno orgánico, fosfatos totales, sustancias activas al azul de metileno (detergentes), turbiedad, color, nitrógeno,

total, cobre, cadmio, cromo, níquel, mercurio, plomo, zinc, alcalinidad total, sólidos totales, fijos y volátiles, y conductividad del agua.

En el cuadro de la página siguiente se presenta un resumen de lo anteriormente escrito referente a las propiedades físicoquímicas del agua.

Como consecuencia de lo anterior se recomienda estudiar varios esquemas, captando agua residual cruda tanto aguas arriba como aguas abajo del río de Los Remedios, recomendándose en ambos casos un tratamiento constituido por:

Primero: Tratamiento preliminar que nos permitirá después conducir y bombear el agua cruda a la planta de tratamiento sin problemas y que consistirá en:

- Detención de sólidos flotantes y suspendidos de gran tamaño, por medio de rejillas gruesas en la obra de toma, con abertura de 20 cm.
- Impedimento de la acumulación de basura en los cárcamos y el paso de material que pueda estropear las bombas, mediante rejillas autolimpiables con aberturas de 2 cm.
- Desarenación antes de la planta de bombeo de agua cruda para evitar la abrasión de los impulsores de los equipos de bombeo.

Segundo: Tratamiento primario, que consistirá en la eliminación de sólidos sedimentables, la cual se hará por medio de sedimentadores primarios. Antes de estos sedimentadores se podrá disponer de unidades para adición de coagulantes, mezcla rápida y floculación, que pueden requerirse debido al alto contenido de sólidos suspendidos que se presenta en ciertas épocas del año, y para neutralizar el ph.

Tercero: Tratamiento secundario, que consistirá en un proceso biológico de lodos activados, con unidades de aereación por difusión de aire y posteriormente sedimentación secundaria por recirculación de lodos al tanque de aereación. Por último se clorará el agua tratada hasta obtener 0.2 mg/l como mínimo de cloro residual libre.

Cuarto: Tratamiento de lodos. Los lodos procedentes del sedimentador primario y los

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA

Determinación	Sitio No. 1, km 4			Sitio No. 2, km 14		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
ph	4.5	6.01	7.0	4.8	6.1	7.0
Grasas y aceites mg/l	3.5	62.15	321.2	2.0	82.68	393.9
Sólidos sedimentables mg/l	0.1	6.199	9.0	0.1	1.7	7.0
d.b.o. mg/l	40.2	252.9	597.0	6.6	234.7	603.0
d.q.o. mg/l	224.0	482.16	840	49	514.4	882
s.a.a.m. mg/l	1.2	7.76	14.2	.55	5.34	18.7
Sólidos suspendidos fijos mg/l	8	259.4	1485	4	229.9	960
Sólidos suspendidos volátiles mg/l	2	107.3	600	4	118.5	600
Sólidos disueltos volátiles mg/l	0	162.4	790	0	175.6	928
Sólidos disueltos fijos mg/l	199	773.8	1505	72.0	940.4	1828
Alcalinidad total mg/l	100	318.9	896	102.8	342	715
Turbiedad mg/l	75	211.52	825	80	271.74	825
Color pt-co	12.5	87.84	250	7.5	79.26	250

lodos activados excedentes se colectarán, se espesarán y digerirán para depositarlos por último en lechos de secado dentro del mismo predio de la planta de tratamiento y utilizarlos posteriormente como fertilizante o acondicionador de suelos o en filtros de vacío para disponer de ellos posteriormente.

Los gases producidos en el tratamiento de lodos se aprovecharán como fuente de energía para fuerza motriz o calefacción.

1.4 ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

Después de efectuar varios recorridos por la zona Industrial Xalostoc-Santa Clara-Ecatepec y analizar el mosaico aéreo y los resultados de las investigaciones de la demanda de agua residual tratada y de las características de las aguas del Gran Canal del Desagüe, se elaboraron cinco esquemas alternativos de proyecto, con el objeto de obtener el costo de agua tratada y distribuida para cada esquema, y así seleccionar el más conveniente.

- Alternativa 1. Consiste esta alternativa en captar el agua residual cruda en la margen derecha del Gran Canal del Desagüe, aproximadamente en el km 14, o sea frente el Cerro Gordo, y bombearla directamente atravesando la calle al predio en que se ubicarán las unidades de tratamiento descritas anteriormente.

El flujo de agua dentro de la planta de tratamiento será por gravedad hasta llegar a los cárcamos de la planta de bombeo de agua tratada ubicadas en el mismo predio; de ahí se bombeará a la red de distribución, enviando las excedencias a un tanque de regulación.

La red de distribución constará básicamente de un ramal central que comunicará la planta de tratamiento con el tanque de regulación, dos ramales norte; el primero del Cerro Gordo hasta Sosa Texcoco, y el segundo paralelo al anterior desde la fábrica de papel Santa Clara hasta Beneficiadora e Industrializadora, S.A. y un ramal sur que parte del ramal central igual que los otros dos pero en dirección opuesta, recorriendo desde Pennwalt hasta Empacadora Brener por las calles que en la actualidad tienen mayor densidad industrial.

Todos los ramales principales de la red de distribución se localizaron de

tal forma que pudiera abastecer directamente a los principales consumidores, sin excluir la posibilidad de construir en el futuro líneas secundarias que proporcionen agua a nuevas industrias o a pequeñas industrias existentes.

El tanque de regulación se localizó en la ladera que está frente a Cerro Gordo, al poniente de la autopista México-Pachuca, a una elevación tal que permita suministrar agua con una presión mínima de 1.5 kg/cm² en los puntos extremos de las líneas de conducción.

- Alternativa II. Está constituida básicamente por los mismos elementos de la Alternativa I, sólo que, con objeto de tener una mejor calidad de agua cruda, la obra de toma y la planta de bombeo de agua cruda se localizaron 950 m aguas arriba del río de Los Remedios sobre la margen derecha del Gran Canal del Desagüe, requiriéndose por lo tanto una línea de conducción que se localizó paralela al Canal por su margen derecha hasta el sitio elegido para la planta de tratamiento, de ahí en adelante es igual a la primera.

- Alternativa III. Debido a las condiciones adversas que presenta para la cimentación económica de grandes tanques, el sitio seleccionado en la planta de tratamiento de las Alternativas I y II, se propuso esta alternativa. Es semejante a la primera, pero localizando la planta de tratamiento en la ladera que está frente al Cerro Gordo, junto al sitio donde se ha localizado el tanque de regulación, de tal manera que sólo se tenga que bombear agua cruda, incluyendo el agua requerida para el manejo de lodos, colocando las unidades de la planta de tratamiento en cascada para llegar con el agua tratada por gravedad hasta el tanque de regulación y de ahí, también por gravedad, a la red de distribución.

- Alternativa IV. Esta alternativa contempla la posibilidad de captar agua de mejor calidad como la alternativa II y resolver el problema de asentamientos diferenciales de los tanques de la planta de tratamiento como en la Alternativa III, ubicando la obra de toma, el bombeo de agua cruda y la planta de tratamiento en los sitios descritos respectivamente en las Alternativas II y III, quedando las estructuras de regulación y distribución como se propuso en la Alternativa I.

- Alternativa V. Tomando en cuenta los resultados de las cuatro alter-

nativas estudiadas anteriormente y la factibilidad de adquisición de un predio para la planta de tratamiento sobre la margen derecha del Gran Canal del Desagüe, 500 m aguas abajo del río de Los Remedios, a continuación se presenta el estudio de una quinta alternativa de proyecto.

En esta alternativa, con el objeto de tener una mejor calidad de agua cruda, la obra de toma y la planta de bombeo de agua cruda se localizaron, como en la Alternativa II, ubicándose la planta de tratamiento aproximadamente 1 500 m aguas abajo de la obra de toma y bombeando después el agua tratada 2 200 m por la margen derecha y a continuación por la izquierda, hasta encontrar el nudo 18 del ramal sur de las alternativas anteriores, con el sistema de bombeo a la red y excedencias al tanque de regulación.

1.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS Y SELECCION

1.5.1 Dimensionamiento hidráulico preliminar

Una vez localizadas las principales industrias consumidoras y las líneas de distribución para abastecerlas, siguiendo el recorrido de las tuberías se acumularon los gastos medios afectados por los coeficientes de variación diaria y horaria y por un coeficiente para tomar en cuenta la instalación de nuevas industrias en los predios baldíos. Con los gastos máximos horarios futuros se dimensionaron preliminarmente, por tramo, las tuberías de cada uno de los ramales de distribución, obteniéndose diámetros económicos, velocidades, pendientes hidráulicas y pérdidas por fricción.

Acumulando las pérdidas por fricción en cada uno de los ramales, se obtuvo, con el más desfavorable, la altura a que debe construirse el tanque de regulación, para proporcionar presiones mínimas de 1.5 kg/cm² en los puntos más alejados de la red.

Se analizó también el funcionamiento de la red de distribución para el caso de mínima demanda, será 25% del gasto máximo diario, por lo que el gasto producido remanente deberá llegar al tanque de regulación; la tubería del ramal central de distribución se diseñó para el gasto que debe llegar al tanque de regulación a la hora de mínima demanda.

1.5.2 Dimensionamiento preliminar de las plantas de bombeo

Con los gastos máximos diarios acumulados, las pérdidas por fricción acumuladas y los desniveles topográficos entre plantas de bombeo y tanques, se obtuvieron en forma preliminar los gastos, cargas de diseño y potencias requeridas por las plantas de bombeo de agua tratada de las Alternativas I, II y V, ya que las Alternativas III y IV, distribuirán el agua tratada por gravedad.

Las plantas de bombeo de agua cruda se dimensionaron en todos los casos para el gasto máximo diario afectado de un coeficiente de 1.10 para tomar en cuenta el volumen de lodos que se va a extraer y el agua necesaria para su manejo; a las pérdidas por fricción se añadió el desnivel topográfico y 6 u 8 metros adicionales para tomar en cuenta las pérdidas en la planta de tratamiento de las Alternativas I, II y V ó III y IV, respectivamente, debido a la disposición de las unidades de tratamiento.

En todas las plantas de tratamiento se consideró que la construcción y operación de las mismas deberá ser modular, para satisfacer los requerimientos de los módulos de 300 l/s de la planta de tratamiento originalmente propuesta.

1.5.3 Inversiones necesarias

El presupuesto de las obras para cada una de las cinco alternativas, se elaboró con precios unitarios de la S.R.H., edición 1975 y con precios índice obtenidos de otros proyectos similares recientes, tomando en cuenta los siguientes grandes rubros de trabajo:

- Líneas de conducción
- Tanques de regulación
- Plantas de bombeo
- Planta de tratamiento

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos.

Alternativa No.	Inversión necesaria \$ x 10 ⁶	Gasto de diseño m3/s	Inversión unitaria \$/m3/s x 10 ⁶
I	106.309	0.60	177.182
II	120.148	0.60	200.247
III	110.038	0.60	183.397
IV	122.079	0.60	203.466
V	111.237	0.60	185.394

La Inversión en el tanque de regulación se obtuvo por medio de un precio índice para tanques superficiales de concreto de gran capacidad y las plantas de bombeo se valoraron en función de la potencia requerida, determinando por separado el costo del equipo de la obra civil; la planta de tratamiento se valuó por medio de una curva titulada "Inversión vs Capacidad de planta en el tratamiento de lodos activados", proveniente de graficar la fórmula de Shah y Reid, desarrollada por estos investigadores con base en estudios que realizaron sobre plantas de tratamiento, dando como resultado la publicación del artículo denominado "Técnicas para estimación de costos de construcción de plantas de tratamiento", en mayo de 1970.

1.5.4 Costos de operación, conservación y reemplazos

Primero.- Se determinaron las erogaciones anuales en personal, consumos de energía eléctrica y consumos de sustancias químicas, fijando los salarios del personal en función del salario mínimo y de la experiencia requerida para cada operación; el consumo de energía eléctrica se calculó partiendo de las potencias de cada uno de los motores que se va a utilizar, considerando un factor de potencia de 0.85 y un precio de \$ 0.50 kwh; la erogación por consumo de sustancias químicas se estimó en \$ 0.10/m3 de agua y el cloro a \$ 4.00/kg, suponiendo una dosificación media total de 8 mg.

Segundo.- Las erogaciones anuales por conservación se calcularon por medio de coeficientes en función de la Inversión (I) correspondiente, como sigue:

- Consumos para conservación de plantas de bombeo	0.030I
- Personal para conservación de planta de tratamiento	0.025I
- Personal para conservación de plantas de bombeo	0.006I

- Personal para conservación de planta de tratamiento	0.015I
- Consumos para conservación de tanque de regulación y líneas de conducción	0.002I
- Personal para conservación de tanque de regulación y líneas de conducción	0.001I

Tercero.- Las erogaciones por reemplazos de equipo se consideraron globales y cada quince años de operación, por ser la vida útil promedio de las bombas y motores, el monto de estas erogaciones será igual al importe de la inversión inicial en dichos equipos.

1.5.5 Costo del agua producida

El cálculo del costo del agua producida se llevó a cabo por el método de actualización de erogaciones y de los importes de los volúmenes de agua vendidos, efectuando el análisis para un periodo de 30 años de operación, utilizando una tasa de descuento o de actualización del 12% anual, considerando que la inversión inicial se efectúa durante el año cero y cargándose en el año 15 la inversión correspondiente al reemplazo del equipo que tiene esa vida útil, para que pueda entrar a operar el año 16 del análisis.

La fórmula empleada en el método de actualización es la siguiente:

$$\frac{C_0}{(1+i)^0} + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n} = \frac{XV_1}{(1+i)^1} + \frac{XV_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{XV_n}{(1+i)^n}$$

En donde:

C_n = erogación total en el año n , actualizada.

i = Tasa de descuento o de actualización (en este caso 12%)

V_n = Volumen de agua tratada producida en el año, actualizado.

X = Costo actualizado por m³ producido de agua tratada.

$$X = \frac{\sum_{n=0}^n C_n}{\sum_{n=1}^n V_n} = \frac{\text{Suma de erogaciones actualizadas}}{\text{Suma de volúmenes actualizados}}$$

Siguiendo el mismo procedimiento se calculó el costo del agua producida por la planta de tratamiento y distribuida a los usuarios.

A continuación se presenta el resumen de resultados del cálculo del costo del agua producida y entregada a los usuarios.

Alternativa	Gasto	Producción	Distribución	Producción y distribución
I	0.6 m3/s	1.22 \$/m3	0.32 \$/m3	1.54 \$/m3
II	0.6 m3/s	1.43 \$/m3	0.26 \$/m3	1.69 \$/m3
III	0.6 m3/s	1.49 \$/m3	0.09 \$/m3	1.58 \$/m3
IV	0.6 m3/s	1.66 \$/m3	0.01 \$/m3	1.67 \$/m3
V	0.6 m3/s	1.23 \$/m3	0.33 \$/m3	1.56 \$/m3

1.6 CONCLUSIONES

a) El Distrito de reutilización de agua residual en Xalostla-Santa Clara-Ecatepec, México, propuesto por la S.R.H., permitirá liberar inicialmente, para uso doméstico, 600 l/s de aguas subterráneas del Valle de México que actualmente se usan en la industria; su capacidad final será de 1 200 l/s.

b) Al darle un segundo uso al agua se disminuirá la generación de agua residual que es necesario manejar para el Gran Canal del Desagüe, lo que aunado a la aplicación del reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua, hará mejorar la calidad del agua de dicho canal, con el consiguiente beneficio para los usuarios de aguas abajo y para las personas que residen cerca del Gran Canal.

c) Aún cuando el costo del agua producida por la planta de tratamiento y entregada a los usuarios es un poco mayor que el costo del agua del pozo en la actuali-

dad, el rápido incremento de la demanda de agua potable y la mayor distancia de las fuentes de abastecimiento, hará que en un futuro cercano la tarifa por explotación de pozos en el Valle de México se incremente rápidamente, siendo muy atractiva la construcción del Distrito de reutilización del agua residual que aquí se propone.

d) Debido a que el costo del agua se mantuvo del mismo orden de magnitud en las alternativas I, III y V, y a los problemas de cimentación y futuros asentamientos que se pueden tener en los predios elegidos para la planta de tratamiento en las alternativas I y V, se seleccionó la alternativa III, con algunas modificaciones para efectuar el proyecto definitivo.

Capítulo II

PROYECTO DETALLADO DE LA OBRA DE TOMA

2.1 PROYECTO FUNCIONAL

Después de varias alternativas estudiadas para el proyecto funcional de la obra de toma, se seleccionó aquella que, por su geometría y disposición sobre el canal, no sea dañada por turbulencias de agua que puedan provocar socavaciones y con ello la falla de la estructura por el flanqueo del agua.

La alternativa seleccionada se describe a continuación. En la obra de toma se diseñó una rejilla constituida por rieles de 6 cm de ancho, colocados verticalmente con una separación libre de 20 cm siguiendo un alineamiento paralelo al eje del Gran Canal.

La obra de toma está constituida por un pequeño canal de llamada (losa de acceso) con muros verticales que encauzan al agua desde un ligero estrechamiento en el Gran Canal hacia cuatro compuertas de control que obturan otros tantos tubos de 61 cm de diámetro, por medio de los cuales se atraviesan perpendicularmente la calzada que va paralela al Gran Canal; la descarga de los tubos se realiza dentro del predio destinado para la planta de bombeo, en unos canales de transición a cielo abierto.

La plantilla del canal de llamada en la obra de toma se diseñó 1.0 m abajo de la plantilla de las tuberías con el objeto de eliminar los sólidos más pesados que conduce el Gran Canal.

Las compuertas de control de la obra de toma (que son de 61 cm β), se diseñaron tipo Miller y tienen como finalidad controlar el gasto que entra a la planta de bombeo debido al tirante que tenga el Gran Canal, en un momento dado, sirviendo también para aislar la planta de bombeo en el caso de tener que efectuar alguna reparación dentro de ella.

Las compuertas se operan manualmente desde una losa de manobras, la cual permitirá el acceso a peatones desde la calzada paralela al Gran Canal.

Los cuatro tubos que atraviesan bajo la calzada se diseñaron de asbesto-cemento, con una pendiente de plantilla de $S = 0.0001$ con el objeto de que al ponerlos fuera de servicio siempre se desagüen totalmente.

Estos tubos trabajarán a presión, ya que estarán más profundos que el nivel de aguas mínimas del Gran Canal, con el fin de evitar que una gran parte de grasas entre a la planta de bombeo. Cada uno de los tubos es capaz de conducir 900 l/s cuando el tirante en el Gran Canal alcance su nivel máximo normal, y 430 l/s para el nivel mínimo del agua.

Con los cuatro tubos y con las capacidades mencionadas anteriormente, nunca se tendrán deficiencias en los gastos de diseño que son de 600 l/s y 1 200 l/s para situación actual y futura, respectivamente, con lo cual lo único que restará será darle una operación de compuertas eficiente para regular los gastos de entrada a la planta de bombeo, atendiendo a la demanda requerida.

El proyecto funcional de esta alternativa seleccionada está representado en el plano número 1.

2.2 CALCULO HIDRAULICO

Consistirá en determinar la curva de gastos contra aberturas de compuerta para diferentes niveles en el Gran Canal del Desagüe. Estas curvas serán útiles para saber las capacidades que tienen los tubos y las posiciones de compuerta que se deben tener para dar aproximadamente el gasto requerido.

El cálculo consistió en aplicar el teorema de Bernoulli entre una sección localizada un poco antes de entrar al tubo y una un poco después de salir del tubo, a

las cuales se le denominaron secciones 1 y 2 respectivamente; en la figura 2.2.1 se presenta en forma esquemática la posición de los tubos con respecto a los niveles máximo y mínimo del Gran Canal del Desagüe.

La ecuación de Bernoulli quedaría de la siguiente manera:

$$H_1 = H_2 + Z + hv + K_e hv + h_f + K_s hv + K_c hv,$$

en donde:

H_1 = Nivel del agua en el Gran Canal del Desagüe

H_2 = Nivel del agua en el canal que descargan los tubos.

hv = Carga de velocidad.

h_f = Pérdida de carga por la fricción en el tubo.

K_e = Coeficiente para valorar las pérdidas a la entrada del conducto.

K_s = Coeficiente para valorar las pérdidas a la salida del conducto.

K_c = Coeficiente para valorar las pérdidas que provoca la compuerta.

Z = Diferencia de niveles entre el principio y el final del tubo.

El valor H_2 se valuó para diferentes gastos y corresponde al tirante normal en el canal de descarga; así como el H_1 que se estimó también para diferentes gastos aplicando la ecuación anterior, cuyos resultados se muestran en la tabla de cálculo para los siguientes valores: $K_e = 0.5$; $K_s = 0.2$; $Z = 0.0045$ m

Posición	1	2	3	4	5	6	7
Obstrucción de la compuerta	$\frac{D}{8}$	$\frac{D}{4}$	$\frac{3D}{8}$	$\frac{D}{2}$	$\frac{5D}{8}$	$\frac{3D}{4}$	$\frac{7D}{8}$
K_c	0.07	0.26	0.81	2.06	5.52	17.0	17.8

D = Diámetro del tubo



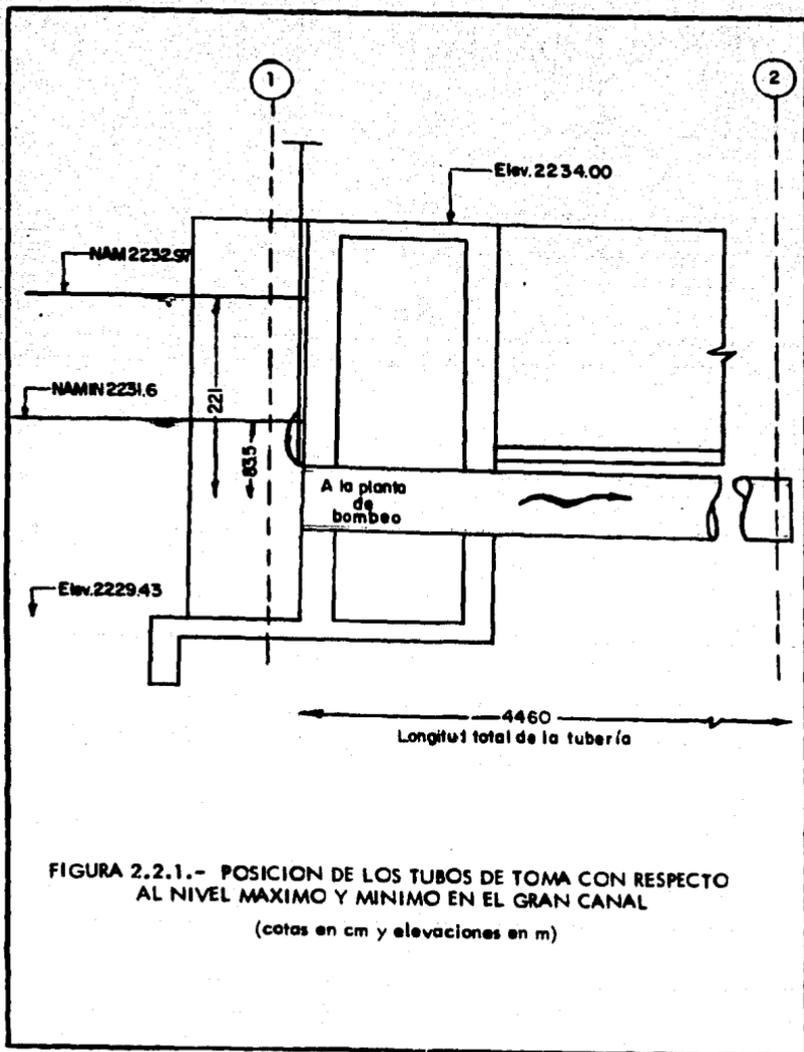


FIGURA 2.2.1.- POSICION DE LOS TUBOS DE TOMA CON RESPECTO AL NIVEL MAXIMO Y MINIMO EN EL GRAN CANAL

(cotas en cm y elevaciones en m)

TABLA DE CALCULO

					Valores de H ₁ para diferentes posiciones de compuerta abierta							
					Abertura total							
Gasto m ³ /s	H ₂ m	h _v m	h _f m	h _v + h _f m	H ₁ = K ₁ h _v + h _v + Z + h _f + H ₂	1 H ₁ m	2 H ₁ m	3 H ₁ m	4 H ₁ m	5 H ₁ m	6 H ₁ m	7 H ₁ m
1.2	1.09	0.86	0.93	1.79	3.50	3.56	3.72	4.20	5.28	8.27	18.2	18.89
1.1	1.02	0.73	0.78	1.51	3.04	3.09	3.23	3.63	4.54	7.05	15.4	15.98
1.0	0.95	0.60	0.65	1.25	2.62	2.66	2.78	3.11	3.86	5.94	12.83	13.31
0.9	0.87	0.49	0.52	1.01	2.23	2.26	2.35	2.62	3.23	4.91	10.50	10.89
0.8	0.80	0.38	0.41	0.79	1.87	1.90	1.97	2.18	2.66	3.99	8.41	8.71
0.7	0.72	0.29	0.32	0.61	1.54	1.56	1.62	1.78	2.15	3.17	6.58	6.78
0.6	0.64	0.22	0.23	0.45	1.24	1.26	1.30	1.42	1.69	2.44	4.92	5.09
0.5	0.56	0.15	0.16	0.31	0.98	0.99	1.02	1.10	1.29	1.81	3.53	3.65
0.4	0.47	0.10	0.10	0.20	0.74	0.75	0.77	0.82	0.94	1.27	2.38	2.45
0.3	0.39	0.05	0.06	0.11	0.54	0.55	0.56	0.59	0.66	0.84	1.46	1.51
0.2	0.29	0.02	0.03	0.05	0.36	0.36	0.37	0.38	0.41	0.49	0.77	0.79
0.1	0.18	0.006	0.006	0.01	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.23	0.30	0.31

-18-

NOTAS: - $h_v = \frac{v^2}{2g}$ en donde: v = velocidad = $\frac{\text{GASTO}}{\text{AREA DEL CONDUCTO}}$

g = aceleración de la gravedad terrestre

- $h_f = \left(\frac{vn}{r^{2/3}} \right)^2 L$ en donde: n = coeficiente de Manning = 0,01
 r = radio hidráulico del conducto
 L = longitud del tubo = 44,6 m

- $\Sigma K = K_e + K_s + K_c$ (varía dependiendo de la posición de compuerta)

- El diámetro del conducto es de 0.609 m.

Con los valores obtenidos en la tabla de cálculo, se formaron las gráficas de la figura 2.2.2 y se considerarán como válidas aquellas valores que quedan comprendidas entre los niveles máximo y mínimo del Gran Canal del Desagüe.

Las consideraciones que se hicieron en este cálculo fueron que un sólo tubo surtía la demanda actuante para determinar si los tubos son suficientes.

Se deduce que para la primera etapa, que es para un gasto de 600 l/s, un tubo sería suficiente para cubrir la variedad de gastos que se pudieran demandar, pero, pensando que el nivel del agua pudiera bajar más del previsto, se añade un tubo adicional para reforzar la dotación en caso de que se presente esta situación.

Para la etapa futura, que son 1 200 l/s, se añaden dos tubos de igual capacidad.

2.3 CALCULO ESTRUCTURAL

A continuación se detalla el cálculo estructural que se realizó en la obra de toma; éste consistió en determinar los elementos mecánicos actuantes en cada uno de los miembros estructurales que lo forman (análisis estructural), así como la determinación de sus dimensiones y áreas de acero necesarias para resistir dichos elementos mecánicos (diseño).

En el cálculo se siguió el fundamento de la teoría elástica del concreto reforzado, tomando como parámetros de diseño los siguientes:

$$\begin{aligned} f'c &= 200 \text{ kg/cm}^2 \\ f_c &= 0.45 \times f'c = 90 \text{ kg/cm}^2 \\ f_y &= 4\ 200 \text{ kg/cm}^2 \\ f_s &= 0.5 f_y = 2\ 100 \text{ kg/cm}^2 \\ n &= E_s / E_c = 9.43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{1 + f_s/n f'c} = 0.473 \\ j &= 1 - k/3 = 0.842 \\ K &= 1/2 \times f_c \times k j = 17.92 \end{aligned}$$

En la figura 2.3.1 se señalan los principales elementos que componen la obra de toma y, para el caso de la estructura de maniobras, los planos de análisis que se estudiaron.

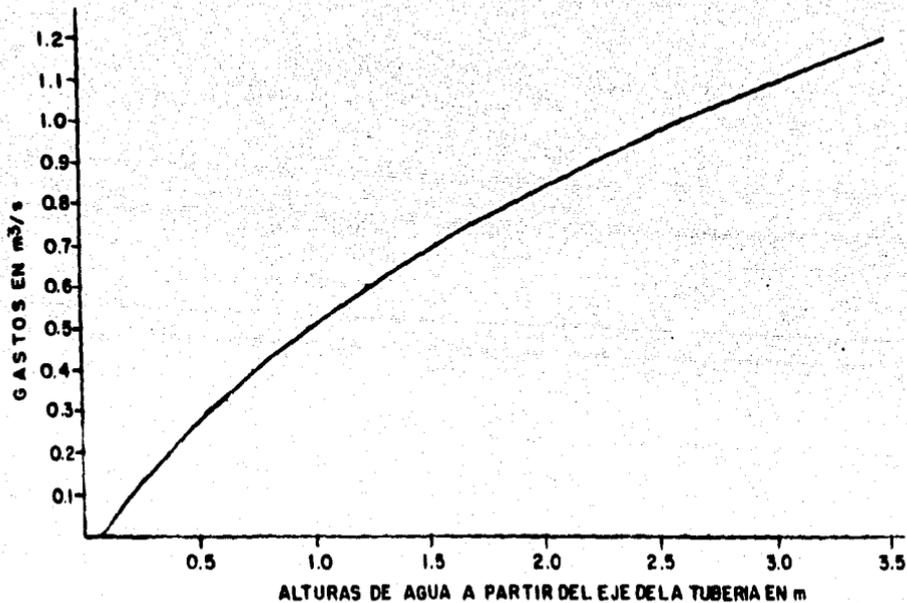
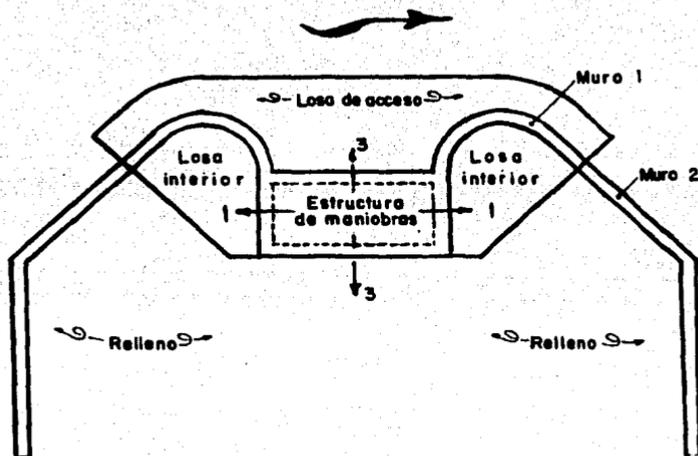
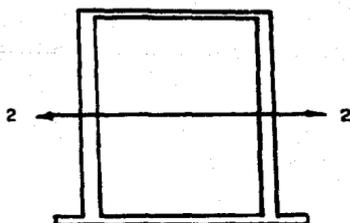


FIGURA 2.2.2.- GRAFICA DE GASTOS PARA DIFERENTES NIVELES DEL GRAN CANAL CUANDO ESTA LA COMPUERTA TOTALMENTE ABIERTA

GRAN CANAL DE DESAGÜE



P L A N T A



CORTE POR EL PLANO 1

FIGURA 2.3.1.- ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LA OBRA DE TOMA Y PLANOS DE ANALISIS PARA LA ESTRUCTURA DE MANIOBRAS

2.3.1

Determinación de las cargas actuantes en la estructura

a) Empuje del relleno sobre los muros

El cálculo del empuje provocado por el relleno se hará con el método semiempírico de Terzaghi (1).

Terzaghi, para la elaboración de su método, clasificó a los suelos en los cinco grupos siguientes:

- I.- Suelo granular grueso, sin finos.
- II.- Suelo granular grueso, con finos.
- III.- Suelo residual, con cantos, bloques de piedra, gravas, arenas finas y finos arcillosos en cantidad apreciable.
- IV.- Arcillas plásticas blandas, limos orgánicos o arcillas limosas.
- V.- Fragmentos de arcilla dura o medianamente dura, protegidos de modo que el agua proveniente de cualquier fuente no penetre en los fragmentos.

En lo que a geometría del relleno y a condición de cargas se refiere,

las clasifica en:

- 1o. La superficie del relleno es plana, inclinada o no y sin sobrecarga.
- 2o. La superficie del relleno es inclinada, a partir de la corona del muro, hasta un cierto nivel, en que se toma horizontal.
- 3o. La superficie del relleno es horizontal y sobre ella actúa una sobrecarga uniformemente distribuida.
- 4o. La superficie del relleno es horizontal y sobre ella actúa una sobrecarga lineal, paralela a la corona del muro y uniformemente distribuida.

El estudio de mecánica de suelos nos revela que es un terreno arcillo-limoso. Este tipo de suelo no es recomendable como material de relleno por lo que se sustituirá por uno que reúna las características del grupo III de la misma clasificación antes mencionada.

Con respecto a la geometría del terreno y características de la carga se escogerá el grupo 3, ya que éste incluye una sobrecarga, que en nuestro caso es debida a la existencia de carga viva para manobrar las compuertas sobre la losa de operación, y

en nuestro caso, se le asignó el valor de 0.5 T/m2.

La fórmula que nos da el empuje horizontal del relleno es

$$E_h = 1/2 K_h H^2 + cq,$$

en donde:

E_h = Empuje horizontal sobre el muro.

K_h = Constante que propone Terzaghi y depende del tipo de suelo y geometría del relleno, equivaldría al esfuerzo al nivel del desplante.

H = Altura del relleno desde el nivel del desplante del muro hasta el del terreno.

c = Constante para el cálculo de la sobrecarga.

q = Sobrecarga en el terreno.

De las gráficas que elaboró Terzaghi para valorar las constantes que en su método se presentan, se deducen los valores de $K_h = 0.7$ T/m2 y $c = 0.39$ que sustituyéndolos en la fórmula del empuje horizontal nos da un valor de:

$$E_h = 1/2 \times 0.7 \times 4.77^2 + 0.39 \times 0.5 \times 4.77; E_h = 8.89 \text{ T}$$

b) Carga sobre la losa superior

La losa superior estará soportando su peso propio más la carga viva existente, en total se le designó un valor de 1 T/m2.

c) Carga sobre la losa de cimentación

La reacción del terreno es la carga que estará actuando sobre la losa de cimentación y será igual a la suma de todas las fuerzas actuando directamente sobre ésta; las fuerzas consideradas son el peso propio de la estructura, el peso del relleno y la subpresión actuando en sentido contrario a las fuerzas gravitacionales. Se estimó el valor de la reacción en 1.91 T/m2.

d) Carga sobre el muro provocado por el empuje del agua

Se considerará el caso más desfavorable en el que el agua llegue al nivel de la losa, para esa condición la carga al nivel del desplante será igual a 4.61 T/m2.

Las cargas actuantes se denominarán como se apunta a continuación:

W_1 = Carga sobre la losa superior.

W_2 = Reacción del terreno en la losa de cimentación.

W_3 = Sobrecarga actuando en el lomo del relleno.

W_4 = Carga producida por el relleno al nivel de desplante.

W_5 = Carga producida por el empuje del agua al nivel del desplante.

En la figura 2.3.2 se esquematizan las cargas actuantes en la estructura de maniobras para los diferentes planos de análisis.

2.3.2 Análisis estructural de la obra de toma

Primero se hará el análisis de la estructura de maniobras, para lo cual, se calcularán los elementos mecánicos a partir de las cargas antes calculadas y aplicando para ello el método iterativo de Cross.

e) Análisis en el sentido del plano 1

Los momentos de empotramiento para las barras del marco analizado

son:

En la barra AB = BA

$$M_{AB} = \frac{W_1 l^2}{12} = \frac{1 \times 4.10^2}{12} = 1.4 \text{ T-m}$$

En la barra DC = CD

$$M_{DC} = \frac{W_2 l^2}{12} = \frac{1.91 \times 4.1^2}{12} = 2.68 \text{ T-m}$$

En la barra AD = BC

$$M_{AD} = M_{BC} = \frac{W_3 l^2}{12} + \frac{(W_4 - W_3) l^2}{30} = \frac{0.2 \times 4.61^2}{12} + \frac{(3.53 - 0.2) 4.61^2}{30}$$

$$M_{AD} = M_{BC} = 2.71 \text{ T-m}$$

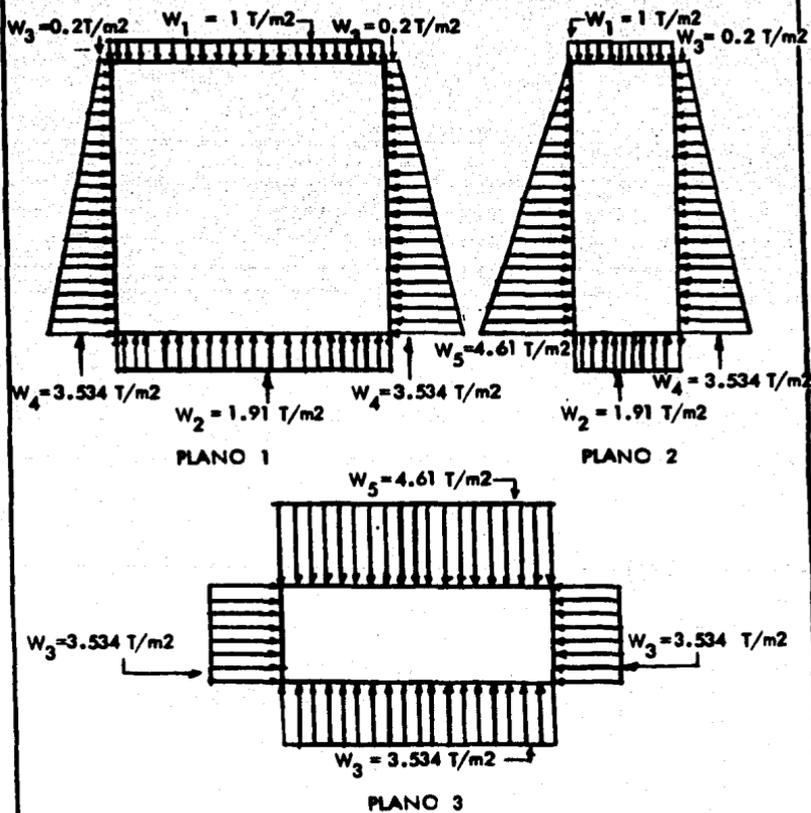


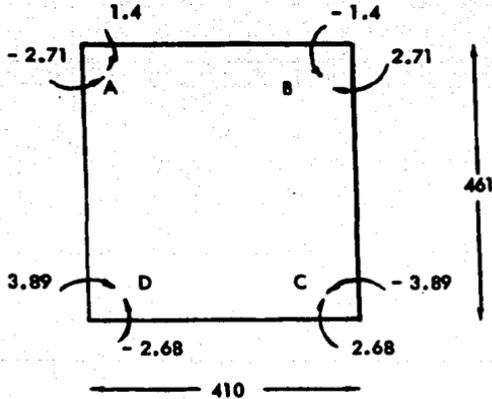
FIGURA 2.3.2.- CARGAS EN LA ESTRUCTURA DE MANIOBRAS PARA CADA UNO DE LOS PLANOS DE ANALISIS

En la barra DA = CB

$$M_{DA} = M_{CB} = \frac{W_3 l^2}{12} + \frac{(W_4 - W_3) l^2}{20} = \frac{0.2 \times 4.61^2}{12} + \frac{(3.53 - 0.2) 4.61^2}{20}$$

$$M_{DA} = M_{CB} = 3.89 \text{ T-m}$$

En forma esquemática los momentos de empotramiento quedarán de la siguiente manera:



Los momentos de inercia en las barras analizadas son:

$$I_{AB} = \frac{b h^3}{12} = \frac{100 \times 12^3}{12} = 14\,400 \text{ cm}^4$$

$$I_{AD} = I_{BC} = \frac{100 \times 30^3}{12} = 225\,000 \text{ cm}^4$$

$$I_{DC} = \frac{100 \times 20^3}{12} = 66\,667 \text{ cm}^4$$

$$\text{Hagamos } I_{AB} = I; \quad I_{AD} = I_{BC} = 15.63I; \quad I_{DC} = 4.63I$$

El cálculo de las rigideces se hará como sigue:

$$K_{AB} = \frac{4EI}{4.10} = 0.9756 EI$$

$$K_{AD} = \frac{4(15.63 EI)}{4.61} = 13.56 EI$$

$$K_{DC} = \frac{4(4.63 EI)}{4.10} = 4.52 EI$$

Los factores de distribución para los nudos superiores son:

$$F.D._{AB} = \frac{0.9756}{0.9756 + 13.56} = 0.0671$$

$$F.D._{AD} = \frac{13.56}{0.9756 + 13.56} = 0.9329$$

Los factores de distribución para los nudos inferiores son:

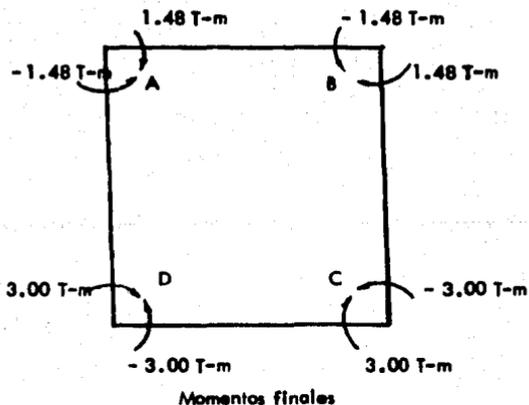
$$F.D._{DC} = \frac{4.52}{13.56 + 4.52} = 0.25$$

$$F.D._{DA} = \frac{13.56}{13.56 + 4.52} = 0.75 = F.D._{CB}$$

En el cuadro siguiente se presenta el desarrollo del método de Cross para distribuir los momentos en el marco del plano en estudio.

DISTRIBUCION DE MOMENTOS

NUDO BARRA	A		B		C		D	
	AD	AB	BA	BC	CB	CD	DC	DA
F.D.	0.9329	0.0671	0.0671	0.9329	0.75	0.25	0.25	0.75
M.E.	-2.71	1.4	-1.4	2.71	-3.89	2.68	-2.68	3.89
	-1.31			1.31	-1.21			1.21
	1.2221	0.0879	-0.0879	-1.2221	0.9075	0.3025	-0.3025	-0.9075
	-0.45375	-0.04395	0.45375	0.45375	0.61105	-0.15125	0.15125	0.61105
	-0.4977			0.4977	-0.7623			0.7623
	0.4643	0.03339	-0.03339	-0.4643	0.57173	0.19058	-0.19058	-0.57173
	-0.28586	-0.01669	0.01669	0.28586	-0.23215	-0.09529	0.09529	0.23215
	0.30255			0.30255	-0.3274			0.3274
	0.28224	0.02030	-0.0203	-0.28224	0.24558	0.08186	-0.08186	-0.24558
Suma:	-1.4809	1.4809	-1.4809	1.4809	-3.008	3.008	-3.008	3.008



Los cortantes finales, para cada una de las barras analizadas, se calcularán sumando las fuerzas cortantes isostáticas más las hiperestáticas, como se muestra a continuación

Cortante en la barra AB

Cortante isotático

$$V_A = V_B$$

$$V_A = \frac{W_1 \times l}{2} = \frac{1 \times 4.1}{2} = 2.05 \text{ T}$$

$$V_A = V_B = 2.05 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_A = V_B = 0$$

Cortante en la barra DC

Cortante isotático

$$V_D = V_C$$

$$V_D = \frac{W_2 \times l}{2} = \frac{1.91 \times 4.1}{2} = 3.92 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_D = V_C = 0$$

Cortante en la barra AD = barra BC

Cortante isotático

$$V_A = \frac{W_3 \times l}{2} + \frac{(W_4 - W_3) l}{6}$$

$$V_A = \frac{0.2 \times 4.61}{2} + \frac{(3.534 - 0.2) 4.61}{6}$$

$$V_A = V_B = 3.02 \text{ T}$$

$$V_C = \frac{W_3 \times l}{2} + \frac{(W_4 - W_3) l}{3}$$

$$V_C = \frac{0.2 \times 4.61}{2} + \frac{(3.534 - 0.2) 4.61}{3}$$

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_D - M_A}{l}$$

$$V_{Hip} = \frac{3 - 1.48}{4.61}$$

$$V_{Hip} = 0.33 \text{ T}$$

$$V_C = V_D = 5.58 \text{ T}$$

$$\text{Los cortantes resultantes son: } V_A = V_B = 3.02 - 0.33 = 2.69 \text{ T}$$

$$V_D = V_C = 5.58 + 0.33 = 5.91 \text{ T}$$

Los momentos positivos en cada una de las barras se calcularán como sigue:

Momento máximo positivo en la barra AB

La distancia "x" donde se presenta el mayor momento positivo está dada por:

$$x = \frac{V_A}{W_1} = \frac{2.05}{1} = 2.05 \text{ m}$$

El momento máximo positivo se calculará con la fórmula

$$M_{\text{máx}} = V_A x - \frac{W_1 x^2}{2} - M_A$$

$$M_{\text{máx}} = 2.05 \times 2.05 - \frac{1 \times 2.05^2}{2} - 1.48$$

$$M_{\text{máx}} = 0.62 \text{ T-m}$$

Momento máximo positivo en la barra DC

La distancia "x" donde se presenta el mayor momento positivo está dada por:

$$x = \frac{V_D}{W_2} = \frac{3.92}{1.91} = 2.05 \text{ m} \quad \text{y el}$$

$$M_{\text{máx}} = V_D x - \frac{W_2 x^2}{2} - M_D$$

$$M_{\text{máx}} = 3.92 \times 2.05 - \frac{1.91 \times 2.05^2}{2} - 3$$

$$M_{\text{máx}} = 1.02 \text{ T-m}$$

Momento máximo positivo en la barra AD = barra BC

La distancia "x", a partir del punto A, donde se presenta el mayor momento positivo está dada por:

$$x = \frac{-W_3 \pm \sqrt{W_3^2 + 2 V_A (W_4 - W_3)/l}}{(W_4 - W_3)/l}$$

$$x = \frac{-0.2 \pm \sqrt{0.2^2 + 2 \times 2.69 (3.534 - 0.2)/4.61}}{(3.534 - 0.2)/4.61}$$

x = 2.46 m el momento máximo positivo será:

$$M_{m\acute{a}x} = V_A x - \frac{W_3 x^2}{2} - \frac{(W_4 - W_3) x^3}{6l} - MA$$

$$M_{m\acute{a}x} = 2.69 \times 2.46 - \frac{0.2 \times 2.46^2}{2} - \frac{(3.534 - 0.2) 2.46^3}{6 \times 4.61} - 1.48$$

$$M_{m\acute{a}x} = 2.74 \text{ T-m}$$

El diagrama de fuerza cortante y el de momento flexionante, para este plano de análisis, se muestra en la figura 2.3.3.

b) Análisis en el sentido del plano 2

Para analizar el sentido 2, consideraremos las cargas máximas de los empujes de tierra y agua; se hará el análisis para la sección más desfavorable que será la más baja de la estructura, considerando la carga actuante uniformemente distribuida, como se muestra en la figura 2.3.2

Los momentos de empotramiento para las barras del marco analizado son:

En la barra EF = FE

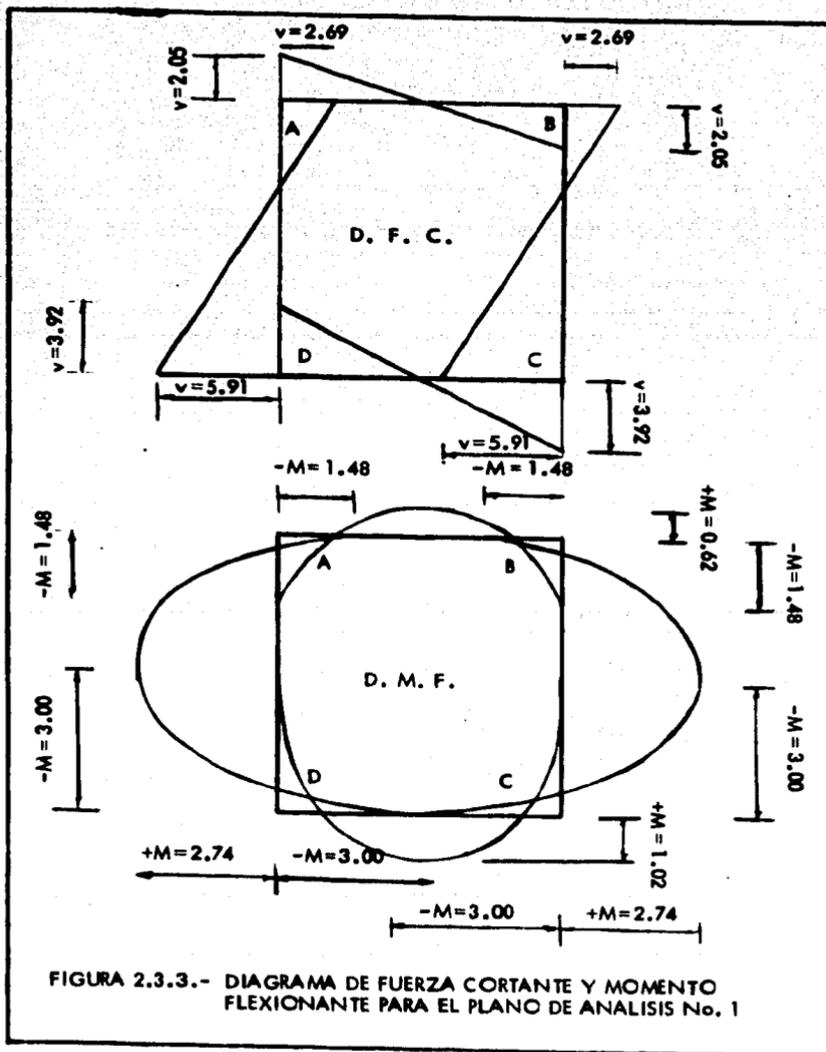


FIGURA 2.3.3.- DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE PARA EL PLANO DE ANALISIS No. 1

$$M_{EF} = \frac{W_5 l^2}{12} = \frac{4.61 \times 4.1^2}{12} = 6.46 \text{ T-m}$$

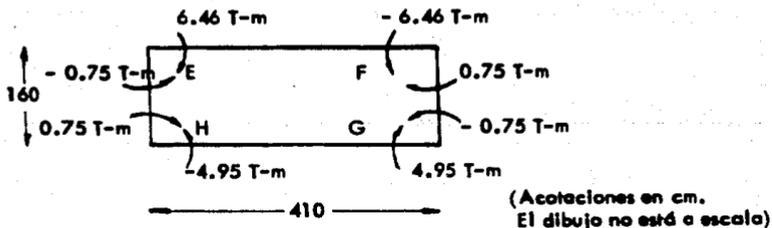
En la barra HG = GH

$$M_{HG} = \frac{W_4 l^2}{12} = \frac{3.534 \times 4.1^2}{12} = 4.95 \text{ T-m}$$

En la barra EH = FG

$$M_{EH} = M_{FG} = \frac{W_4 l^2}{12} = \frac{3.534 \times 1.6^2}{12} = 0.75 \text{ T-m}$$

En forma esquemática los momentos de empotramiento quedarían de la siguiente manera:



Los momentos de inercia, para las 4 barras, son iguales por lo que las rigideces serán:

$$K_{EF} = K_{HG} = \frac{4 EI}{l} = \frac{4 EI}{4.10}$$

$$K_{EH} = K_{FG} = \frac{4 EI}{l} = \frac{4 EI}{1.6}$$

Los factores de distribución son:

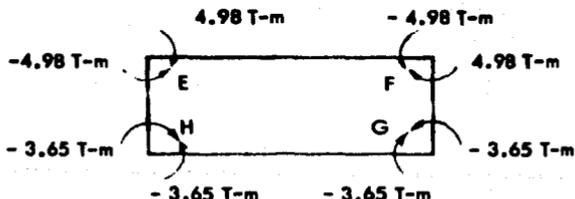
$$F.D._{EF} = \frac{0.9756}{0.9756 + 2.5} = 0.2807$$

$$F.D._{EH} = \frac{2.5}{0.9756 + 2.5} = 0.7193$$

En el cuadro siguiente se presenta el desarrollo del método de Cross para distribuir los momentos en el marco del plano en estudio.

DISTRIBUCION DE MOMENTOS

Nudo	E		F		G		H	
Barra	EH	EF	FE	FG	GF	GH	HG	HE
F.D.	0.7193	0.2807	0.2807	0.7193	0.7193	0.2807	0.2807	0.7193
M.E.	-0.75	6.46	-6.46	0.75	-0.75	4.95	-4.95	0.75
	5.71		-5.71		4.20		-4.20	
	-4.11	-1.60	1.60	4.11	-3.02	-1.18	1.18	3.02
	1.51	0.8	-0.8	-1.51	2.06	0.59	-0.59	-2.06
	2.31		-2.31		2.65		-2.65	
	-1.66	-0.65	0.65	1.66	-1.91	-0.74	0.74	1.91
	0.96	0.33	-0.33	-0.96	0.83	0.37	-0.37	-0.83
	1.29		-1.29		1.20		-1.20	
	-0.93	-0.36	0.36	0.93	-0.86	-0.34	0.34	0.86
Suma	-4.98	4.98	-4.98	4.98	-3.65	3.65	-3.65	3.65



Las cortantes finales, para cada una de las barras analizadas, se calcularán sumando las fuerzas cortantes isostáticas más las hiperestáticas, como se muestra a continuación.

Cortante en la barra EF

Cortante isostático

$$V_E = V_F$$

$$V_F = \frac{W_5 l}{2} = \frac{4.61 \times 4.10}{2} = 9.45 \text{ T}$$

$$V_E = V_F = 9.45 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_E = V_F = 0$$

Cortante en la barra HG

Cortante isostático

$$V_H = V_G$$

$$V_H = \frac{W_4 l}{2} = \frac{3.534 \times 4.1}{2} = 7.24 \text{ T}$$

$$V_H = V_G = 7.24 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_H = V_G = 0$$

Cortante en la barra EH = FG

Cortante isostático

$$V_E = V_H$$

$$V_E = \frac{W_4 l}{2} = \frac{3.534 \times 1.6}{2} = 2.83 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_E - M_H}{l}$$

$$V_{Hip} = \frac{4.98 - 3.65}{1.6}$$

$$V_E = V_H = 2.83 \text{ T}$$

$$V_{Hip} = 0.83 \text{ T}$$

Los cortantes resultantes son:

$$V_E = V_F = 2.83 + 0.83 = 3.66 \text{ T}$$

$$V_H = V_G = 2.83 - 0.83 = 2.00 \text{ T}$$

Los momentos positivos en cada una de las barras se calcularán como sigue:

Momento máximo positivo en la barra EF

La distancia "x" donde se presenta el mayor momento positivo está dada por:

$$x = \frac{V_E}{W_5} = \frac{9.45}{4.61} = 2.05 \text{ m}$$

El momento máximo positivo se calculará con la fórmula

$$+ M_{\text{máx}} = V_E x - \frac{W_5 x^2}{2} - M_E$$

$$+ M_{\text{máx}} = 9.45 \times 2.05 - \frac{4.61 \times 2.05^2}{2} - 4.98$$

$$+ M_{\text{máx}} = 4.71 \text{ T-m}$$

Momento máximo positivo en la barra HG

La distancia "x" donde se presenta el mayor momento positivo está dada por:

$$x = \frac{V_H}{W_4} = \frac{7.24}{3.534} = 2.05 \text{ m}$$

El momento máximo positivo se calculará con la fórmula

$$+ M_{\text{máx}} = 7.24 \times 2.05 - \frac{3.534 \times 2.05^2}{2} - 3.65$$

$$+ M_{\text{máx}} = 3.77 \text{ T-m}$$

Momento máximo positivo en la barra EH = FG

La ecuación de momentos, para este caso, está dada por:

$$M_E = V_E \times x - \frac{W_4 \times x^2}{2} - M_E'$$

derivando e igualando a cero nos queda:

$$V_E - W_4 \times x = 0$$

La distancia a la cual se presenta el momento máximo positivo, a partir de E es:

$$x = \frac{3.66}{3.534} = 1.04 \text{ m}$$

sustituyendo este valor en la ecuación de momentos tenemos el

$$+ M_{\text{máx}} = 3.66 \times 1.04 - \frac{3.534 \times 1.04^2}{2} - 4.98$$

$$+ M_{\text{máx}} = - 3.08 \text{ T-m}$$

No existe momento positivo.

El diagrama de fuerza cortante y el de momento flexionante, para este plano de análisis, se muestra en la figura 2.3.4.

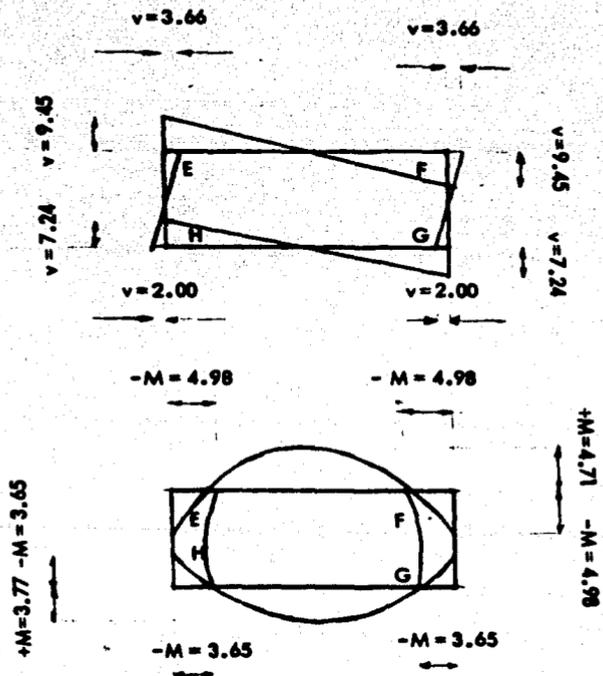


FIGURA 2.3.4.- DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE EN EL PLANO DE ANALISIS No. 2

c) Análisis en el sentido del plano 3

Los momentos de empotramiento para las barras del marco analizado son:

En la barra IJ

$$M_{IJ} = \frac{W_1 l^2}{12} = \frac{1 \times 1.60^2}{12} = 0.21 \text{ T-m}$$

En la barra LK

$$M_{LK} = \frac{W_2 l^2}{12} = \frac{1.91 \times 1.60^2}{12} = 0.41 \text{ T-m}$$

En la barra IL

$$M_{IL} = \frac{W_5 l^2}{30} = \frac{4.61 \times 4.61^2}{30} = 3.27 \text{ T-m}$$

En la barra LI

$$M_{LI} = \frac{W_5 l^2}{20} = \frac{4.61 \times 4.61^2}{20} = 4.90 \text{ T-m}$$

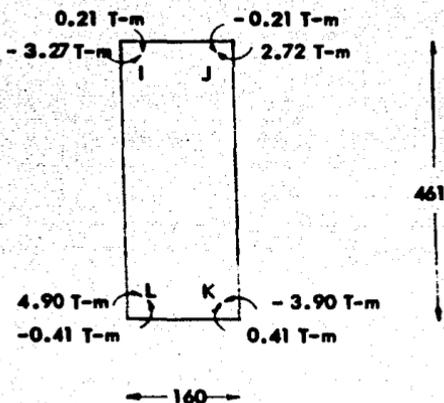
En la barra JK

$$\begin{aligned} M_{JK} &= \frac{W_3 l^2}{12} + \frac{(W_4 - W_3) l^2}{30} = \frac{0.2 \times 4.61^2}{12} + \frac{3.334 \times 4.61^2}{30} \\ &= 2.72 \text{ T-m} \end{aligned}$$

En la barra KJ

$$\begin{aligned} M_{KJ} &= \frac{W_3 l^2}{12} + \frac{(W_4 - W_3) l^2}{20} = \frac{0.2 \times 4.61^2}{12} + \frac{3.334 \times 4.61^2}{20} \\ &= 3.90 \text{ T-m} \end{aligned}$$

En forma esquemática los momentos de empotramiento quedarían de la siguiente manera:



Los momentos de inercia en las barras analizadas son:

$$I_{IJ} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 12^3}{12} = 14\,400 \text{ cm}^4$$

$$I_{LK} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 20^3}{12} = 66\,667 \text{ cm}^4$$

$$I_{IL} = I_{JK} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 30^3}{12} = 225\,000 \text{ cm}^4$$

$$\text{Si } I_{IJ} = I; \quad I_{LK} = 4.63I; \quad I_{IL} = I_{JK} = 15.63I$$

El cálculo de las rigideces se hará como sigue:

$$K_{IJ} = \frac{4EI}{l} = \frac{4EI}{1.6} = 2.5EI$$

$$K_{IJ} = \frac{4(15.63)EI}{4.61} = 13.56EI$$

$$K_{LK} = \frac{4(4.63)EI}{1.6} = 11.58EI$$

Los factores de distribución para los nudos superiores son:

$$F.D._{IJ} = \frac{2.5}{2.5 + 13.56} = 0.16$$

$$F.D._{IL} = \frac{13.56}{2.5 + 13.56} = 0.84$$

Los factores de distribución en los nudos inferiores son:

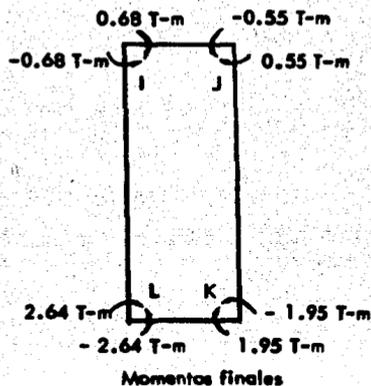
$$F.D._{LK} = \frac{11.58}{11.58 + 13.56} = 0.46$$

$$F.D._{LI} = \frac{13.56}{11.58 + 13.56} = 0.54$$

En el cuadro siguiente se presenta el desarrollo del método de Cross para distribuir los momentos en el marco del plano en estudio.

DISTRIBUCION DE MOMENTOS

Barra \ Nudo	Nudo							
	IJ	IJ	JI	JK	KJ	KL	LK	LI
F.D.	0.84	0.16	0.16	0.84	0.54	0.46	0.46	0.54
M.E.	-3.17	0.21	-0.21	2.72	-3.90	0.41	-0.41	4.90
	-3.06		2.52		-3.49		4.49	
	2.57	0.49	-0.40	-2.11	1.88	1.61	-2.07	-2.42
	-0.94	-0.20	0.25	0.94	-1.06	-1.04	0.81	1.30
	-1.14		1.19		-2.10		2.11	
	0.96	0.18	-0.19	-1.00	1.13	0.97	-0.97	-1.14
Suma	-0.68	0.68	-0.55	0.55	-1.95	1.95	-2.64	2.64



Los cortantes finales, para cada una de las barras analizadas, se calcularán sumando las fuerzas cortantes isostáticas más las hiperestáticas; como se muestra a continuación:

Cortante en la barra IJ

Cortante isostático

$$V_I = V_J$$

$$V_I = \frac{W_1 l}{2} = \frac{1 \times 1.6}{2} = 0.8 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_I - M_J}{l}$$

$$V_{Hip} = \frac{0.68 - 0.55}{1.6} = 0.08 \text{ T}$$

Los cortantes resultantes son:

$$V_I = 0.08 + 0.08 = 0.88 \text{ T}$$

$$V_J = 0.8 - 0.08 = 0.72 \text{ T}$$

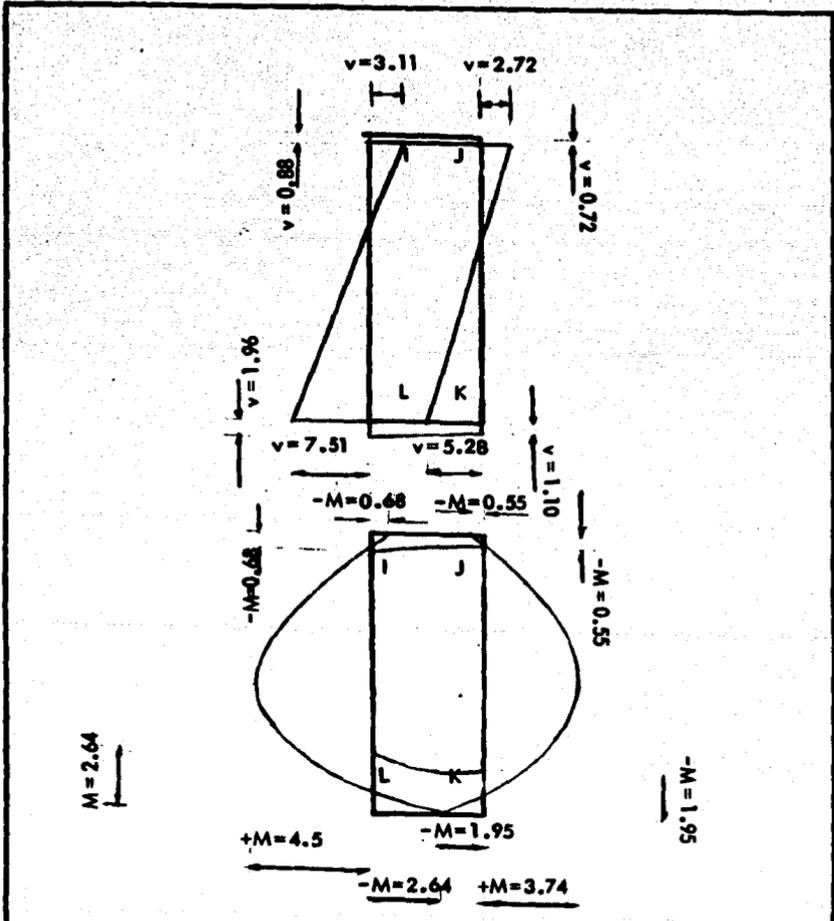


FIGURA 2.3.5.- DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTOS FLEXIONANTES PARA EL PLANO DE ANALISIS No.3

Cortante en la barra LK

Cortante isostático

$$V_L = V_K$$

$$V_L = \frac{W_2 l}{2} = \frac{1.91 \times 1.6}{2} = 1.53 \text{ T}$$

$$V_L = V_K = 1.53 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_L - M_K}{l}$$

$$V_{Hip} = \frac{2.64 - 1.95}{1.6} = 0.43 \text{ T}$$

Los cortantes resultantes son: $V_L = 1.53 + 0.43 = 1.96 \text{ T}$

$$V_K = 1.53 - 0.43 = 1.10 \text{ T}$$

Cortante en la barra JK

Cortante isostático

$$V_J = \frac{W_3 l}{2} + \frac{(W_4 - W_3)l}{6}$$

$$V_J = \frac{0.2 \times 4.61}{2} + \frac{3.334 \times 4.61}{6} = 3.02 \text{ T}$$

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_K - M_J}{l}$$

$$V_{Hip} = \frac{1.95 - 0.55}{4.61} = 0.3 \text{ T}$$

$$V_K = \frac{0.2 \times 4.61}{2} + \frac{3.334 \times 4.61}{3} = 5.58 \text{ T}$$

Los cortantes resultantes son: $V_J = 3.02 - 0.3 = 2.72 \text{ T}$

$$V_K = 5.58 + 0.3 = 5.28 \text{ T}$$

Cortante en la barra II

Cortante isostático

$$V_I = \frac{W_5 l}{2 \times 3} = \frac{4.61^2}{6}$$

$$V_I = 3.54 \text{ T}$$

$$V_L = \frac{W_5 l}{3} = \frac{4.61^2}{3} = 7.08 \text{ T}$$

Los cortantes resultantes son:

Cortante hiperestático

$$V_{Hip} = \frac{M_L - M_I}{l} = \frac{2.64 - 0.68}{4.61}$$

$$V_{Hip} = 0.43 \text{ T}$$

$$V_I = 3.54 - 0.43 = 3.11 \text{ T}$$

$$V_L = 7.08 + 0.43 = 7.51 \text{ T}$$

Los momentos positivos en cada una de las barras se calculará como sigue:

Momento máximo positivo en la barra IJ

El momento máximo positivo, para este caso, está dado por:

$$+ M_{máx} = \frac{V_I^2}{2W_1} - M_I; \quad + M_{máx} = \frac{0.88^2}{2 \times 1} - 0.68$$

$$+ M_{máx} = -0.29 \text{ T-m}$$

No existe el momento positivo.

Momento máximo positivo en la barra LK

$$+ M_{máx} = \frac{V_L^2}{2W_2} - M_L; \quad + M_{máx} = \frac{1.96^2}{2 \times 1.91} - 2.64$$

$$+ M_{máx} = -1.73 \text{ T-m}$$

No existe el momento positivo.

Momento positivo en la barra JK

La distancia "x", a partir del punto J, donde se presenta el mayor momento positivo, está dada por:

$$x = \frac{-W_3 \pm \sqrt{W_3^2 + 2 V_j (W_4 - W_3) / l}}{(W_4 - W_3) / l}$$

$$x = \frac{-0.2 \pm \sqrt{0.2^2 + 2 \times 2.72 (3.334) / 4.61}}{3.334 / 4.61}$$

$$x = 2.48 \text{ m}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación de momentos tendremos que el momento máximo positivo será igual a:

$$+ M_{\text{máx}} = 2.72 \times 2.48 - \frac{0.2 \times 2.48^2}{2} - \frac{3.334 \times 2.48^3}{6 \times 4.61} - 0.55$$

$$+ M_{\text{máx}} = 3.74 \text{ T-m}$$

Momento positivo en la barra IL

La distancia "x", a partir del punto I, donde se presenta el mayor momento positivo, está dado por:

$$x = \sqrt{2 V_i} = \sqrt{2 \times 3.11} = 2.49 \text{ m}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación de momento tendremos que el momento máximo positivo será igual a:

$$+ M_{\text{máx}} = 3.11 \times 2.49 - \frac{2.49^3}{6} = 0.68$$

$$+ M_{\text{áx}} = 4.5 \text{ T-m}$$

El diagrama de fuerza cortante y el de momento flexionante, para este plano de análisis, se muestra en la figura 2.3.5.

Después de haber calculado los elementos mecánicos actuantes en la estructura de maniobras se calcularán los momentos flexionantes máximos que se presentan en los demás elementos que forman la obra de toma.

En la losa de cimentación interior se calcularán los momentos idealizándola una losa rectangular; se utilizarán para el cálculo los coeficientes que recomienda el U.S.B.R.

La losa en estudio será de 2 x 2.5 m con una relación de la mitad del lado corto al lado largo de 0.4, que es aproximado al valor de 0.375.

Utilizando los coeficientes para esta relación y para una losa empotrada en tres lados, los coeficientes son: para el momento máximo negativo, de: $C = 0.0476$ y para el momento máximo positivo, de: $C = 0.0223$, que sustituidos en la fórmula

$M = cb^2W$ nos da el valor de los momentos buscados.

M = momento

c = coeficiente que se encontró en las correspondientes tablas

b = longitud del lado largo

W = carga actuante sobre la losa.

Sustituyendo los valores correspondientes, tenemos:

$$- M_{\text{máx}} = 0.0476 \times 2.5^2 \times 4.43 = 1.32 \text{ T-m}$$

$$+ M_{\text{máx}} = 0.0223 \times 2.5^2 \times 4.43 = 0.62 \text{ T-m}$$

Estos momentos son válidos en el otro sentido.

La losa de acceso también se idealizará a una rectangular cuya relación de la mitad de su lado corto a lado largo es de: $\frac{2.6}{2.1} = 1.24$; eso nos dice que la losa trabajará en el sentido corto y no se tendrá que hacer análisis en las dos direcciones.

El momento negativo se calculará pensando en que es una viga de ancho unitario y empotrada en un extremo soportando una carga uniformemente repartida que es $W = 2.0 \text{ T/m}^2$. El momento máximo negativo será:

$$- M_{\text{máx}} = \frac{Wl^2}{2}; \quad M_{\text{máx}} = \frac{2 \times 2.1^2}{2}$$

$$- M_{\text{máx}} = 4.41 \text{ T-m}$$

El muro 1 se calculará considerando que está colado monolíticamente con la losa de acceso y la interior, por lo que el cálculo consistirá en ver los momentos flectores en la base, causados por la fuerza resultante de empuje de agua y de relleno.

En la figura 2.3.6.a se muestran las cargas actuantes en este muro.

Como habíamos visto anteriormente, el empuje provocado por el relleno es de 8.89 T aplicado a 1/3 de la altura, por lo que el momento inducido es de 14.14 T-m. El momento producido por el agua cuando está en el NAM es de $M_{\text{agua}} = E_{\text{agua}} \frac{h}{3}$

donde: $E_{\text{agua}} =$ empuje de agua

$h =$ altura correspondiente al nivel estudiado

$$M_{\text{agua}} = \frac{3.54^2}{2} \times \frac{3.54}{3} = 7.4 \text{ T-m}$$

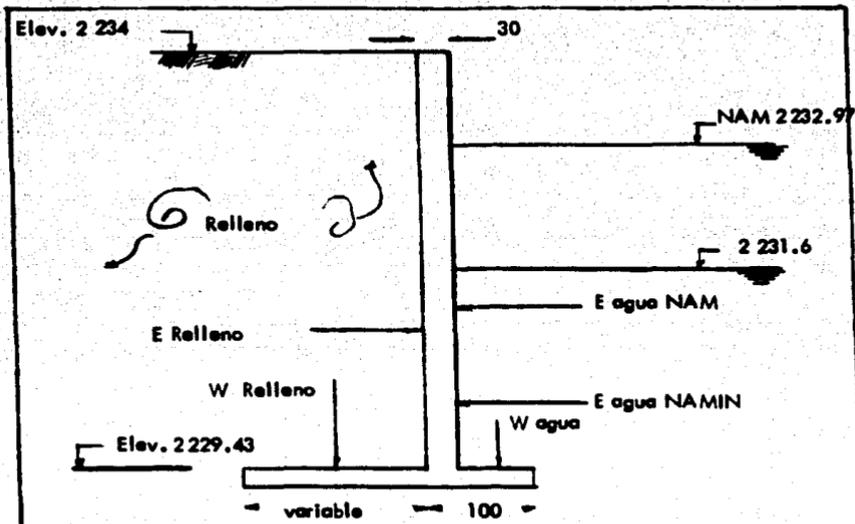
Para cuando el agua se encuentra en el NAMIN el momento será igual a:

$$M_{\text{agua}} = \frac{2.17^2}{2} \times \frac{2.17}{3} = 1.7 \text{ T-m}$$

Sumando algebraicamente los momentos, para la condición NAM y NAMIN, el momento resultante será:

$$\text{Para NAM} \quad M_{\text{resultante}} = 14.14 - 7.4 = 6.74 \text{ T-m}$$

$$\text{para NAMIN} \quad M_{\text{resultante}} = 14.14 - 1.7 = 12.44 \text{ T-m}$$



Elev. 2 234 FIGURA 2.3.6 a.- MURO 1

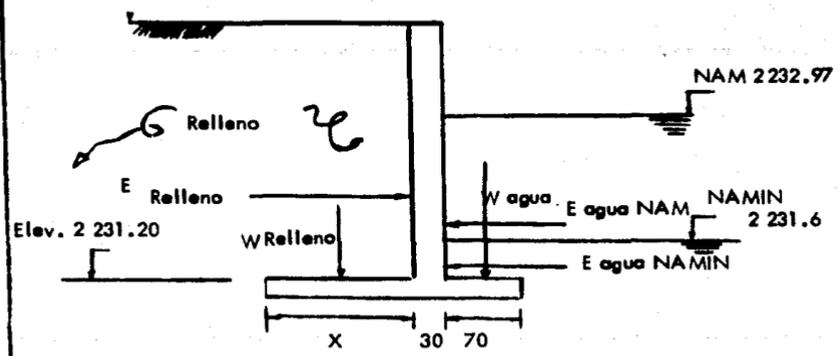


FIGURA 2.3.6 b.- MURO 2

La fuerza cortante en la base del muro es igual a:

$$\text{para NAM} \quad V = E_{\text{tierra}} - E_{\text{agua}} = 2.62 \text{ T}$$

$$\text{para NAMIN} \quad V = E_{\text{tierra}} - E_{\text{agua}} = 6.54 \text{ T}$$

El muro 2 está trabajando independientemente de lo que es la estructura de maniobras, la losa de acceso y la losa interior por lo que se tendrá una junta de construcción en el límite del muro y las demás estructuras.

En la figura 2.3.6.b se muestran las fuerzas actuantes en el muro.

En este análisis primero se calcularán los esfuerzos actuantes en la base de la zapata para ver si el muro es estable, como la longitud de la zapata no es conocida, se considerará con valor igual a "x" la parte que está del lado del relleno para calcular posteriormente la longitud mínima necesaria para que sea estable la estructura.

En el siguiente cuadro se resumen todas las fuerzas actuantes, los brazos de palanca considerados a partir del centro de la zapata y los momentos que provocan cada una de las fuerzas, todo esto en función de "x".

Planteando la ecuación de la escuadría:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M}{I} \quad y$$

Sustituyendo valores para NAM:

$$\sigma = \frac{4.07 X + 2.85}{1 + X} \pm \frac{- .89 X^2 / 6 - .91 X + 3.39}{\frac{1 (X + 1)^3}{12}} \frac{(X + 1)}{2}$$

$$\sigma = \frac{4.07 X + 2.85}{1 + X} \pm \frac{- .89 X^2 / 6 - .91 X + 3.39}{\frac{(X + 1)^2}{6}}$$

Fuerza	Magnitud	Brazo de palanca	Momente
Empuje del relleno	4.69 ton	1.13	+ 5.3 T-m
Empuje del agua (NAM)	1.57 ton	0.79 m	- 1.24 T-m
Empuje del agua (NAMIN)	0.08 ton	0.33 m	- 0.03 T-m
Peso del relleno	4.48 X ton	1/2 m	- 2.24 X ton-m
Peso del muro	2.02 ton	$\frac{X-0.7}{2}$ m	+ $\frac{(2.02X-0.71)}{2}$ ton
Peso de la zapata	0.48 + 48 X ton	0	0
Peso del agua (NAM)	1.24 ton	$\frac{X+1}{2} - 0.35$ m	$\frac{(1.24X+1.24-0.43)}{2}$ T-m
Peso del agua (NAMIN)	0.28 ton	$\frac{X+1}{2} - 0.35$ m	+ $\frac{(0.28X+0.28-0.10)}{2}$ T-m
Subpresión (NAM)	(0.89 + 0.89 X) ton	$\frac{X+1}{6}$ m	- $\frac{(.89X+0.89)}{6} +$ $\frac{.89X^2 + .89X}{6}$ T-m
Subpresión (NAMIN)	(0.2 + 0.2 X) ton	$\frac{X+1}{6}$ m	- $\frac{(.2X+.2)}{6} +$ $\frac{.2X^2 + .2}{6}$ T-m
Suma de momentos para el NAM			3.39 - 0.91 X - $\frac{.89 X^2}{6}$
Suma de fuerzas verticales para el NAM	4.07 X + 2.85		
Suma de momentos para el NAMIN			4.53 - 1.12 X - $0.2 X^2/6$
Suma de fuerzas verticales para el NAMIN	4.7 X + 2.58		

$$\sigma = \frac{4.07X + 2.85}{1 + X} \pm \frac{-.89X^2 - 5.46X + 20.34}{X^2 + 2X + 1}$$

$$X = 1$$

$$\sigma_1 = 6.96$$

$$\sigma_2 = -.04 \text{ Hay tensiones}$$

$$X = 1.5$$

$$\sigma_1 = 5.21 \text{ T/m}^2$$

correcto

$$\sigma_2 = 1.96 \text{ T/m}^2$$

Sustituyendo valores para NAMIN

$$\sigma = \frac{4.76X + 2.58}{1 + X} \pm \frac{-0.2X^2/6 - 1.12X + 4.53}{\frac{(X+1)^3}{12}} \frac{(X+1)}{2}$$

$$\sigma = \frac{4.76X + 2.58}{1 + X} \pm \frac{-0.2X^2 - 6.72X + 27.18}{X^2 + 2X + 1}$$

$$\text{Para } X = 1.5$$

$$= 6.55 \text{ T/m}^2$$

$$= 1.22 \text{ T/m}$$

Se acepta la Zapata con $X = 1.5 \text{ m}$; o sea que es la longitud de X necesaria para que la estructura sea estable.

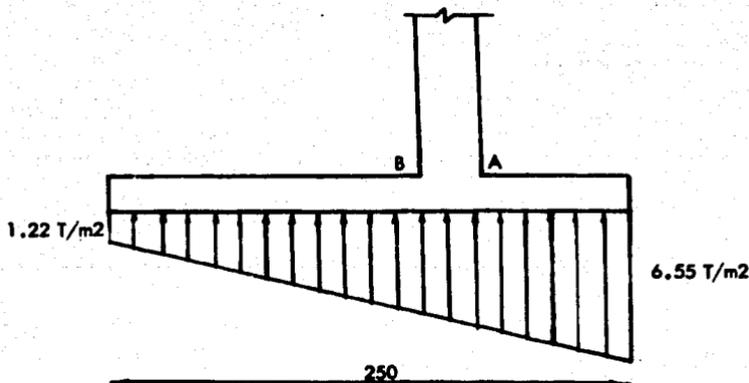
El momento flector máximo en la base del muro está dado por:

$$M_f = 4.69 \times 0.93 - .08 \times 0.13 = 4.35 \text{ T-m}$$

La fuerza cortante máxima en la base del muro es:

$$V_G = 4.69 - 0.08 = 4.61 \text{ T}$$

Los momentos, para el diseño de la zapata, son los que se presentan en los puntos A y B y son provocados por los esfuerzos que se muestran en la siguiente figura:



$$M_A = \frac{4.72 \times 0.7^2}{2} + \frac{1.83 \times 0.7^2}{3} = 1.46 \text{ T-m}$$

$$M_B = \frac{1.22 \times 1.5^2}{2} + \frac{2.62 \times 1.5^2}{6} = 2.36 \text{ T-m}$$

Las fuerzas cortantes son:

$$V_A = 4.72 \times 0.7 + \frac{1.83 \times 0.7}{2} = 3.94 \text{ T}$$

$$V_B = 1.22 \times 1.5 + \frac{2.62 \times 1.5}{2} = 3.80 \text{ T}$$

2.3.3 Estabilidad de la estructura de toma

La figura que representa la obra de toma, se dividirá en figuras geométricas conocidos para poder encontrar fácilmente el área y el centroide; así tenemos las figuras A1, A2, A3, A4, A5 que se muestran en el esquema de la figura 2.3.7.a

Figura	Área (A) (m ²)	Centroide (C.G.) (m)	Proyección con eje y (m)	Y (m) (distancia al eje X)	A ² Y (m ² x m)
A1	22.4	2		2	44.8
2x A ₂	2 x 1.73 = 3.46	1.36	1.26	3.16	10.93
2x A ₃	2 x 2.63 = 5.26	0.47	0.66	2.275	11.97
2x A ₄	2 x 2.1 = 4.2	1.75		2.25	9.45
2x A ₅	2 x 0.15 = 0.3	0.33		0.33	0.10
Σ	35.62				77.25

El C.G. de la figura que se presenta en el esquema "A" es:

$$\text{C.G.} = 2.17 \text{ m. a partir del eje x}$$

Para encontrar las fuerzas actuantes en la estructura debidas a peso propia, peso de rellenos, empuje de tierras, empuje de agua y subpresión se tomaron las figuras geométricas mostradas en el esquema de la figura 2.3.7.b.

Encontradas las fuerzas actuantes y su punto de aplicación se calcularon los momentos con respecto al C.G. de la estructura, resumido en el siguiente cuadro:

La convención de momentos es la siguiente:



Concepto	Fuerza (ton)	Brazo de palanca (m)	Momento (ton-m)
Empuje de tierra	77.51	1.59	- 123.24
Peso de relleno 1	7.90	1.25	+ 9.87
Peso de relleno 2	20.76	0.23	- 4.77
Peso de relleno 3	8.04	0.04	+ 0.32
Peso de relleno 4	43.40	1.06	+ 46.00
Peso del agua sobre la losa de acceso (NAMIN)	33.417	0.85	- 28.40
Peso del agua sobre la losa de acceso (NAM)	52.734	0.85	- 44.823
Peso de la estructura de maniobras	42.95	1.22	+ 52.4
Peso del muro 1	20.2	0.64	- 12.93
Peso del muro 2	6.86	0.25	- 1.72
Peso de la losa de acceso 1	3.83	0.75	- 2.87
Peso de la losa de acceso 2	1.345	1.2	- 1.61
Peso de la losa de acceso 3	0.92	1.4	- 1.29
Peso de la losa de acceso 4	0.672	0.6	- 0.4
Peso de la zapata 1	1.36	0.23	- 0.31
Peso de la zapata 2	0.528	0.04	+ 0.021
Peso de la zapata 3	2.84	1.06	+ 3.01
Subpresión (NAMIN)	45.03	0.5	+ 22.515
Subpresión (NAM)	71.06	0.5	+ 33.53
Empuje del agua (NAMIN)	26.68	0.79	+ 21.08
Empuje del agua (NAM)	66.44	1.25	+ 82.82
Suma de fuerzas y momentos (NAMIN)	150.00		- 22.324
Suma de fuerzas y momentos (NAM)	143.279		+ 36.016

El momento de inercia en la base de la estructura es $I = 41.9 \text{ m}^4$ ahora, aplicando la fórmula de la escuadría, podemos obtener los esfuerzos en la cimentación, si el resultado nos da que son positivos, diremos que la figura es estable al volteo.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{I} \quad y$$

σ = Esfuerzos en los extremos de la cimentación en la dirección y.

P = Suma de esfuerzos normales

M = Suma de momentos

I = Momento de inercia

y = Distancia a los puntos extremos de la cimentación en la dirección y.

Esfuerzos para la condición NAMIN

$$\sigma = \frac{150.00}{34.71} + \frac{22.324}{41.90} \times 1.83 = 5.3 \text{ T/m}^2$$

$$\sigma = \frac{150}{34.71} - \frac{22.324}{41.90} \times 2.17 = 3.17 \text{ Tm}^2$$

Esfuerzos para la condición NAM

$$\sigma = \frac{143.279}{34.71} - \frac{36.016}{41.90} \times 1.83 = 2.55 \text{ Tm}^2$$

$$\sigma = \frac{143.279}{34.71} + \frac{36.016}{41.90} \times 2.17 = 5.99 \text{ Tm}^2$$

En cualquier condición los esfuerzos son positivos, por lo que la estructura es estable.

2.3.4 Diseño

Con los elementos mecánicos calculados en el análisis, se calcularán las dimensiones y áreas de acero necesarias para cada uno de los elementos estructurales.

Las abreviaciones utilizadas en los siguientes cuadros son:

A_s	=	Área de acero requerido
d	=	Peralte necesario
h	=	Peralte total
s	=	Separación
$\sum \phi$	=	Suma de los diámetros
A	=	Esfuerzo por adherencia
A^p	=	Esfuerzo por adherencia permisible
v_c	=	Esfuerzo cortante permitido
v	=	Esfuerzo cortante
L	=	Longitud de anclaje.

En los siguientes cuadros se presenta un resumen del diseño que se hizo para cada uno de los elementos estructurales que forman la obra de toma.

a) Losa de maniobras

Elemento mecánico actuante	Momento máximo negativo en el sentido 1 M = 1.48 T	Momento máximo positivo en el sentido 1 M = 0.62 T	Momento máximo negativo en el sentido 3 M = 0.68	Momento máximo positivo en el sentido 3 M = 0	Fuerza cortante máxima v = 2.05 T
Cálculo de: $d = \sqrt{\frac{M}{kb}}$	9 cm h = 9 + 3 rec. h = 12 cm				
$A_s = \frac{M}{f_s d}$	9.29 cm ²	3.89 cm ²	4.27 cm ²	acero por temperatura	
Varilla propuesta	No. 4	No. 3	No. 3	No. 3	
$s = \frac{a_s}{A_s} \times 100$	14 cm	18 cm	17 cm	25 cm	
$M = \frac{V}{\sum \beta_i h}$	22.80 $\frac{kg}{cm^2}$	42.66 $\frac{kg}{cm^2}$	15.23 $\frac{kg}{cm^2}$	22.89 $\frac{kg}{cm^2}$	
$M^e = 2.25 \sqrt{\frac{f_c}{\beta}}$	28.24 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	
$v = \frac{V}{b \times h}$					1.71 $\frac{kg}{cm^2}$
$v_c = 7.07 \frac{kg}{cm^2}$					v < v _c se acepta
$L = \frac{f_s \beta}{4 M^e}$	24 cm	14 cm	14 cm	14 cm	

b) Muros laterales de la estructura de maniobras

Elemento mecánico actuante	Momento máximo negativo en el sentido 1 M = 3.0 T-m	Momento máximo positivo en el sentido 1 M = 2.74 T-m	Momento máximo negativo en el sentido 2 M = 4.98 T-m	Momento máximo positivo en el sentido 2 M = 0	Fuerza cortante máxima v = 5.91 T
Cálculo de:					
$d = \sqrt{\frac{M}{kb}}$	d = 12.95; se toma d = 25 y r = 5 cm h = 30				
$A_s = \frac{M}{f_s d}$	6.78 cm ²	6.20 cm ²	11.3 cm ²	acero por temperatura	
Varilla propuesta	No. 3	No. 3	No. 4	No. 3	
$s = \frac{as}{A_s} \times 100$	10 cm	11 cm	11 cm	25 cm	
$\mu = \frac{v}{2\beta i h}$	24.63 $\frac{kg}{cm^2}$	24.63 $\frac{kg}{cm^2}$	12.67 $\frac{kg}{cm^2}$	22.89 $\frac{kg}{cm^2}$	
$\mu^* = 2.25 \sqrt{\frac{f'_c}{\beta}}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	28.24 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	
$v = \frac{V}{bh}$					1.97 $\frac{kg}{cm^2}$
$vc = 7.07 \frac{kg}{cm^2}$					v < vc se acepta
$L = \frac{f_s \beta}{4 \mu^*}$	14 cm	14 cm	24 cm	14 cm	

c) Muro posterior a la toma en la estructura de manibras

Elemento mecánico actuante	Momento máximo negativo en el sentido 2 $M = 3.65 \text{ T-m}$	Momento máximo positivo en el sentido 2 $M = 3.77 \text{ T-m}$	Momento máximo negativo en el sentido 3 $M = 1.95 \text{ T-m}$	Momento máximo positivo en el sentido 3 $M = 3.74 \text{ T-m}$	Fuerza cortante máxima $v = 7.24 \text{ T}$
Cálculo de:					
$d = \sqrt{\frac{M}{kg}}$		$d = 14,5 \text{ cm; se toma } d = 25 \text{ cm}$ $y \text{ } r = 5 \text{ cm;}$ $h = 30 \text{ cm}$			
$A_s = \frac{M}{f_s j d}$	8.26 cm^2	8.53 cm^2	4.41 cm^2	8.46 cm^2	
Varilla propuesta	No. 4	No. 4	No. 3	No. 4	
$s = \frac{a_s}{A_s} \times 100$	15 cm	15 cm	16 cm	15 cm	
$\mu = \frac{V}{\sum \beta j h}$	$32.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$32.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$49.06 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$23.51 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	
$\mu^* = 2.25 \sqrt{\frac{f_c}{\beta}}$	$28.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$28.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$35.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$28.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	
$v = \frac{V}{bh}$					$2.41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
$v_c = 7.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$					$v < v_c$
$L = \frac{f_s \beta}{4 \mu^*}$	24 cm	24 cm	14 cm	24 cm	

d) Muro frontal a la toma en la estructura de manifiestos

Elemento mecánico actuante	Momento máximo negativo en el sentido 2 M = 4.98 T-m	Momento máximo positivo en el sentido 2 M = 4.71 T-m	Momento máximo negativo en el sentido 3 M = 2.64 T-m	Momento máximo positivo en el sentido 3 M = 4.5 T-m	Fuerza cortante máxima v = 9.45 T
Cálculo de:					
$d = \sqrt{\frac{M}{k_b}}$	d = 16.7; se toma d = 25 cm y r = 5 cm h = 30 cm				
$A_s = \frac{M}{f_s d}$	11.26 cm ²	10.65 cm ²	5.97 cm ²	10.18 cm ²	
Varilla propuesta	No. 4	No. 4	No. 3	No. 4	
$s = \frac{a_s}{A_s} \times 100$	11 cm	12 cm	12 cm	12 cm	
$\mu = \frac{V}{30 j h}$	32.73 $\frac{kg}{cm^2}$	32.73 $\frac{kg}{cm^2}$	34.77 $\frac{kg}{cm^2}$	29.26 $\frac{kg}{cm^2}$	
$\mu^* = 2.25 \sqrt{\frac{f_c}{f}}$	28.24 $\frac{kg}{cm^2}$	28.24 $\frac{kg}{cm^2}$	35.65 $\frac{kg}{cm^2}$	28.24 $\frac{kg}{cm^2}$	
$v = \frac{V}{b h}$					3.15 $\frac{kg}{cm^2}$
$v_c = 7.07 \frac{kg}{cm^2}$					$v_c > v$ se acepta
$L = \frac{f_s \beta}{4 \mu}$	24 cm	24 cm	14 cm	24 cm	

e) Losa de cimentación en la estructura de manobras

Elemento mecánico actuante	Momento máximo negativo en el sentido 1 $M = 3.0 \text{ T-m}$	Momento máximo positivo en el sentido 1 $M = 1.02 \text{ T-m}$	Momento máximo negativo en el sentido 3 $M = 2.64 \text{ T-m}$	Momento máximo positivo en el sentido 3 $M = 0$	Fuerza cortante máxima $v = 3.92 \text{ T}$
Cálculo de $d = \sqrt{\frac{M}{kb}}$	$d = 13$; se toma $d = 15 \text{ cm}$ $r = 5 \text{ cm}$ $n = 20 \text{ cm}$				
$A_s = \frac{M}{f_s d}$	11.31 cm^2	3.85 cm^2	9.95 cm^2	acero por temperatura	
Varilla propuesta	No. 4	No. 3	No. 4	No. 3	
$s = \frac{a_s}{A_s} \times 100$	11 cm	18 cm	13 cm	25 cm	
$\mu = \frac{V}{\sum \beta j h}$	$20.37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$27.23 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$7.64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$20.42 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	
$\mu^* = 2.25 \sqrt{\frac{f'_c}{\beta}}$	$28.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$35.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$28.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$35.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	
$v = \frac{V}{bh}$					$1.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
$v_c = 7.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$					$v_c > v$ se acepta
$l = \frac{f_s \beta}{4 \mu^*}$	24 cm	14 cm	24 cm	14 cm	

f) Losa Interior

El momento máximo negativo es $-M = 1.32 \text{ T-m}$ y el momento máximo positivo es $+M = 0.62 \text{ T-m}$.

$$\text{El peralte mínimo requerido por flexión es: } d = \sqrt{\frac{M}{kb}}$$

$d = 8.58 \text{ cm}$; que es menor al propuesto de 15 cm , se deja este último por congruencia con toda la losa de cimentación.

El área de acero requerida por flexión es: $A_s = \frac{132\ 000}{2\ 100 \times 0.842 \times 15}$
 $= 4.98 \text{ cm}^2$ que con varillas del No. 3 a un espaciamiento de 14 cm ; para el acero positivo se pondrán varillas del No. 3 a cada 25 cm que es el acero requerido por temperatura. Este armado se propone para los dos sentidos.

g) Losa de acceso

Esta losa trabaja en el sentido corto y el momento máximo negativo es igual a $-M = 4.41 \text{ T-m}$. El peralte mínimo necesario para la flexión es

$$d = \sqrt{\frac{441\ 000}{17.92 \times 100}} = 15.62 = 15 \text{ cm.}$$

$$\text{El área de acero requerida por flexión es: } A_s = \frac{441\ 000}{2100 \times .842 \times 15}$$

$A_s = 16.63 \text{ cm}^2$; utilizando varillas del No. 5 se tendrá un espaciamiento de 12 cm .

En el lecho inferior y en el otro sentido se armará por temperatura, que se da con varillas del No. 3 a cada 15 cm .

h) Muro 1

El momento máximo que presenta es de 12.44 T-m y el peralte mínimo requerido por flexión es de: $d = 26.3 \text{ cm}$; se considerará de 26 y se le proporcionará un recubrimiento de 4 cm .

El acero necesario por flexión es de: $A_s = 27 \text{ cm}^2$ y se dará el área

con varillas del No. 5 a cada 8 cm.

El otro lecho de este sentido se armará con la mitad del acero requerido por temperatura, según el párrafo 14.2, inciso g del A.C.I. y es igual a:

$$A_s = \frac{0.0012 \times t \times b}{2}$$

$$A_s = \frac{0.0012 \times 30 \times 100}{2} = 1.8 \text{ cm}^2; \text{ este acero se satisficaría}$$

con varillas del No. 3 a cada 40 cm.

El esfuerzo cortante nominal será igual a:

$$v = \frac{V}{0.8 \times b \times h} = \frac{8890 - 2350}{0.8 \times 100 \times 30} = 2.73 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}. \text{ Si consideramos que}$$

$$v_c = 0.5 \sqrt{f'c} = 7.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ que es el esfuerzo máximo que puede resistir el concreto; como } v < \frac{v_c}{2}$$

el sentido horizontal se armará según las especificaciones del capítulo 14 del A.C.I., en el cual se dice que el refuerzo no será menor de 0.002 veces del área del muro para el sentido longitudinal repartiéndose, cuando menos a la mitad, en los dos lechos. El armado horizontal de este muro será:

$$A_s \times \text{lecho} = \frac{0.002 \times 100 \times 30}{2} = 3 \text{ cm}^2 \text{ que se dará con varillas del No. 3 a cada 24 cm.}$$

i) Muro 2

El momento máximo que presenta es de 4.35 T-m y el peralte mínimo requerido por flexión es de $d = 16 \text{ cm}$, se considerará de 25 y se le proporcionará un recubrimiento de 5 cm.

El acero necesario por flexión es de $A_s = 9.84 \text{ cm}^2$ y se dará el área con varillas del No. 5 a cada 20 cm.

El otro lecho de este sentido se armará con la mitad del acero requerido por temperatura, según el párrafo 14.2, inciso g del A.C.I. y es igual a tener varillas del

No. 3 a cada 40 cm.

El esfuerzo cortante nominal será igual a

$$v = \frac{4610}{0.8 \times 100 \times 30} = 1.92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}; \quad \text{como } v < \frac{v_c}{2} \quad \text{el sentido horizontal se ar-}$$

mará, para cada lecho, con varillas del No. 3 a cada 24 cm como vimos en el Inclao anterior.

}) Zapata del muro 2

El momento máximo es de 2.36 T-m y el peralte mínimo para resistirlo es de $d = 12$ cm; se pondrá de 15 cm con 5 cm de recubrimiento.

El área de acero necesaria es $A_s = 8.9$ cm² que con varillas del No. 4 a cada 15 cm se satisface.

El lecho inferior de este sentido y en cada lecho del sentido longitudinal, se armará con acero por temperatura que es $A_s = 2.5$ cm² por lecho y que se satisface con varillas del No. 3 a cada 28 cm.

Capítulo III

PROYECTO FUNCIONAL DE LA PLANTA DE BOMBEO DE AGUA CRUDA

3.1 GENERALIDADES

En este capítulo se describirán las estructuras más importantes que constituyen la planta de bombeo. Pensando en que el bombeo de agua cruda debe hacerse con la mayor eficiencia posible, debe seleccionarse el equipo más apropiado y diseñar las estructuras convenientes para que el funcionamiento de la planta de bombeo sea lo mejor posible.

La planta de bombeo se proyectó en un predio rectangular de 45 m x 61 m, con una superficie de 2745 m².

Este predio tiene, en promedio, una elevación de 2238.5 m, que comparado con la elevación mínima del gran canal, que es la 2231.6 m, nos hace pensar en excavaciones del orden de 8 m a 10 m para poder conducir por gravedad el agua de la toma a la planta, lo que es realmente factible de realizar.

Como ya se había dicho en páginas anteriores, la planta de bombeo fue diseñada para surtir una demanda de 600 l/s en condiciones actuales y de 1200 l/s para el futuro.

Con estos lineamientos se diseñó la planta de bombeo, la cual se muestra en el plano No.2; sobresalen como estructuras y equipo importantes :

- a) Canales de transición en la entrada de la planta
- b) Equipo de rejillas de limpieza automática
- c) Desarenadores
- d) Cárcamo de bombeo y transición de llegada
- e) Equipo de bombeo
- f) Caseta de operación y equipo de energía motriz .

3.1.1 Localización

La planta de bombeo de agua cruda se localizó en dos predios agrícolas de la margen derecha del gran canal del desagüe, 360m aguas arriba del puente localizado en el km 14 del mismo, enfrente de las instalaciones de Perwalt, S.A. de C.V.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA TRANSICIÓN DE ENTRADA A LA PLANTA

Dentro de la planta de bombeo se procuró subdividir la capacidad nominal total de 1200 l/s en dos módulos de 600 l/s cada uno, por lo que la descarga que realizan los tubos de la obra de toma a la planta, se hace a dos canales curvos rectangulares a cielo abierto, que son la transición a los desarenadores.

El diseño de los canales estuvo condicionado a la topografía y localización del predio, teniendo cada uno capacidad para poder conducir 1200 l/s en el caso extraordinario en que un canal no funcione y se tenga que surtir esta demanda. También están capacitados para poder conducir un gasto adicional que podría presentarse si el gran canal del desagüe subiera de nivel más de lo que se tiene previstos (N.A.M.) y no se hubieran operado las compuertas .

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE REJILLAS DE LIMPIEZA AUTOMÁTICA

El Gran Canal del Desagüe, por sus características, lleva en suspensión gran cantidad de basura que pasará por la toma y, si no se extrae antes de llegar al cárcamo de bombeo, provocará el atascamiento y rápida inutilización de las bombas ,

por lo cual se instalarán en el extremo aguas abajo de cada uno de los canales, unas rejillas finas para recolectar la basura que traiga el agua, con una separación entre barras de 2 cm.

Las rejillas tendrán un rastrillo para limpieza, accionado por un motor eléctrico de operación continua, que descargará la basura en una pequeña tolva que la hará caer a un carrito transportador que a su vez la descargará hasta una tolva con capacidad de 10 m³, localizada en la parte superior de los taludes de la excavación. Esta tolva podrá descargar la basura directamente a los camiones que la retirarán de la planta.

Este sistema de remoción de basura se pensó de esta manera ya que la limpieza manual sería muy difícil de realizar por la acumulación continua de basura; se estimó que el material cribado para esta abertura será de 34.5×10^{-6} m³ de basura por cada metro cúbico de flujo, o sea, si se tiene el gasto en condiciones actuales se colectarán, en promedio, alrededor de 1.2 m³ por día si la planta trabajase las 24 horas, y alrededor de 2.4 m³ para condiciones futuras, lo que quiere decir que si se efectuase la limpieza manual (para condiciones actuales) tendría que bajar un hombre al lugar de las rejillas cada hora para extraer 50 litros de basura o 100 litros en condiciones futuras, lo que haría incosteable y poco práctico el mantenimiento y operación de la planta.

Con este razonamiento, se pensó en hacer más eficiente el cribado y transportación de basura a la parte alta, dando la automatización y rapidez por medio del sistema antes descrito.

La rejilla automática se escogió de los modelos comerciales que hay en el mercado, sin embargo, el carro transportador fue diseñado para este caso específico, al igual que la tolva de recolección.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS DESARENADORES

Se contará en la planta de bombeo con dos desarenadores que tra bajarán, en condiciones máximas normales, para un gasto de 600 l/s cada uno.

El objetivo de los desarenadores es eliminar las partículas de alta densidad, haciendo que el agua circule por ellos con velocidad suficiente para provocar su sedimentación. El sistema de desarenación está constituido de la siguiente manera:

Son dos canales rectangulares en el fondo de los cuales tienen tres tolvas cada uno para colector la arena que se sedimente, la limpieza de las tolvas se hará por medio de tres bombas centrífugas con impulsores recubiertos de neopreno, cada una con succión selectiva para dos tolvas, operándose manualmente dos válvulas Valflex en la succión de cada bomba. Las tres tuberías de descarga de las bombas desarenadoras se unirán a una tubería de conducción que transportará la arena hasta una tolva de 10 m³ de capacidad, la cual podrá descargar directamente a camiones de volteo.

En la parte inferior de la tolva de 10 m³, se colocará un dren para regresar el agua bombeada con la arena, ya libre de ella, que descargará en el canal de tracción al cárcamo de bombeo.

Las dimensiones del desarenador fueron calculadas a partir de la velocidad del agua dentro de la estructura, el gasto de diseño y la velocidad de sedimentación de las partículas, que son de 30 cm/s, 600 l/s y 2.7 cm/s respectivamente .

$$Q = AV \text{ --- (1)}$$

$$L = \frac{d}{M} \times V \text{ --- (2)}$$

$$L' = L \times 1.4 \text{ --- (3)}$$

donde:

Q = Gasto de diseño

A = Area hidráulica

V = Velocidad del agua en el desarenador

L = Longitud del desarenador

d = Tirante hidráulico

M = Velocidad de sedimentación de las arenas (para este caso, partículas con diámetro de 0.18 mm.

De la ecuación (1)

$$0.6 = A \times 0.3$$

$$A = 2 \text{ m}^2.$$

Considerando un ancho de plantilla igual a 2 m tenemos un tirante $d = 1 \text{ m}$.

De la ecuación (2)

$$L = \frac{1}{0.027} \times 0.3 = 11.11 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación (3) encontramos la longitud de diseño.

$$L' = 11.11 \times 1.4 = 15.5 \text{ m.}$$

La altura de la cámara de desarenación, debido a la topografía, quedó con una profundidad de 2.7 m más la profundidad de las tolvas de fondo.

Al final de cada desarenador habrá un vertedor proporcional que regulará la velocidad a través de la estructura, para cualquier gasto inferior al de diseño.

Los vertedores fueron calculados de la siguiente manera :

Si pensamos que las tolvas del desarenador forman parte del canal, tenemos que considerar entonces la profundidad de estas, que es de 80 cm, pero como no es constante su sección la supondremos un promedio de 40 cm, entonces, si el tirante en la cámara de desarenación es un metro, tendremos una carga sobre el vertedor proporcional de aproximadamente 60 cm.

Para calcular el contorno del vertedor se utilizará el criterio de Rettger, utilizando la fórmula de descarga que es :

$$Q = C \frac{1}{2} \sqrt{2g} \quad b \pi h$$

donde :

$Q =$ Gasto (ft^3/s)

$h =$ Carga sobre la cresta del vertedor (ft)

$c =$ Coeficiente de descarga

$g =$ Aceleración de la gravedad (ft/seg^2)

$b =$ Constante que está en función de las coordenadas de la curva que forma la sección del vertedor

Si consideramos que $h = 0.60$ m, $Q = 0.6$ m³/s, $C = 0.62$ y $g = 64.2$ ft/seg y sustituyendo estos valores (en las unidades inglesas antes descritas) en la fórmula de descarga tenemos que

$$b = \frac{21.18}{0.62 \times 0.5 \sqrt{64.2 \times 1.97}} = 1.38$$

El contorno del vertedor se calculará con la siguiente fórmula :

$$Z = \frac{b}{2\sqrt{X}}$$

donde :

Z = Abscisa (ft) al eje central vertical del vertedor

X = Ordenada (ft) a la cresta teórica del vertedor.

Partiendo de la anterior fórmula y suponiendo un ancho de 1.00 m para la base del vertedor se calcularán las coordenadas que se describen en la tabla 3.4.1.

X (m)	Z (m)	X (m)	Z (m)
0.0539	0.5000	0.4267	0.1778
0.0610	0.4703	0.4877	0.1663
0.0914	0.3840	0.5486	0.1568
0.1220	0.3325	0.6096	0.1487
0.1524	0.2974	0.6706	0.1418
0.1829	0.2715	0.7315	0.1358
0.2134	0.2513	0.7925	0.1304
0.2438	0.2351	0.8534	0.1257
0.2743	0.2217	0.8839	0.1235
0.3048	0.2103	0.9144	0.1214
0.3658	0.1920	0.9754	0.1176

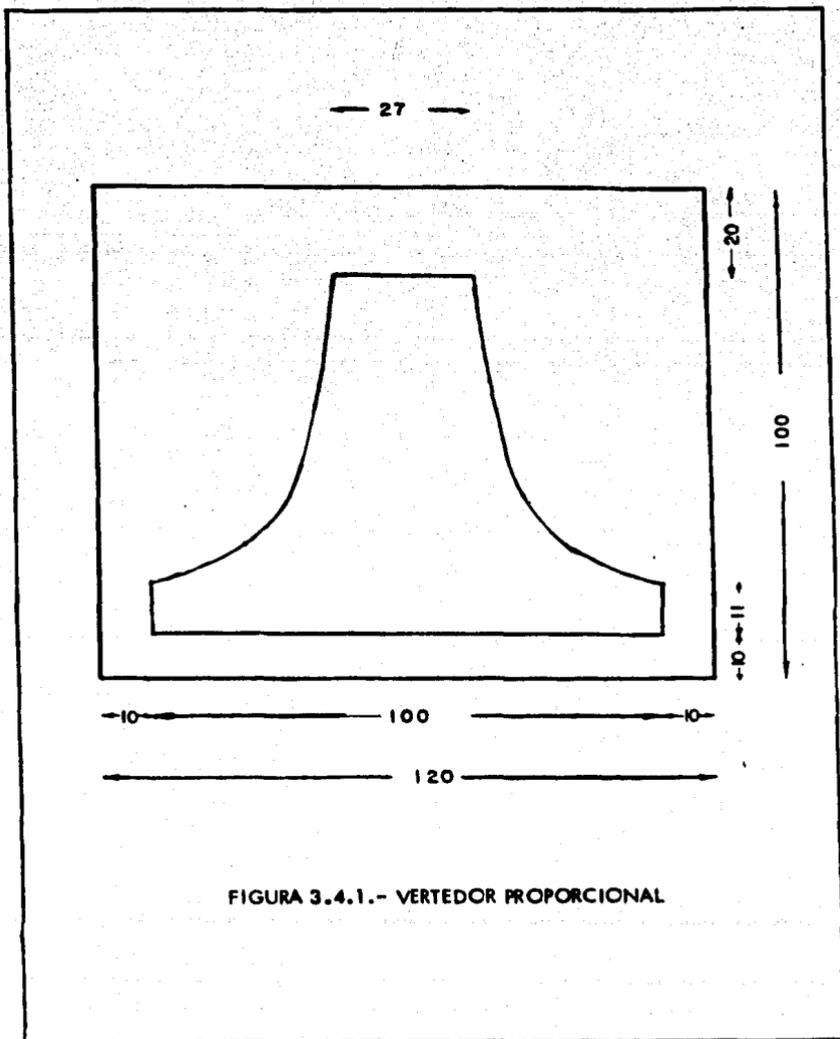
TABLA 3.4.1.- COORDENADAS DEL CONTOURNO DEL VERTEDOR

Como hemos fijado el ancho del vertedor igual a un metro, se compen_sará el área faltante poniéndola en la base del vertedor.

$$A = 2 (.00015 \times 3.401 + .0003 \times 2.404 + .0006 \times 1.701 + .0009 \times 0.4333 + .00125 \times 0.67384 + .00225 \times 0.8780 + .004 \times 0.4778 + .007 \times 0.41814 + .0095 \times .0628 + .0117408 \times 0.16111 + 0.172408 \times 0.19876 + .0225 \times .05175 + .027 \times 0.7914 + .04 \times 0.1511 + .051963 \times .01926)$$

$$A = .063855$$

El vertedor quedará como se muestra en la figura 3.4.1



3.5 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

Después de que el agua ha recibido el pretratamiento para evitar daños a las bombas, se conducirá a la planta de tratamiento, donde se dejará en condiciones tales que la pueda aprovechar la industria.

Esta planta de tratamiento se localizó en la ladera que está frente al carro Gordo.

El problema a resolver ahora, es el de seleccionar el equipo de bombeo que sea adecuado para el sistema que está en proyecto.

Para la selección del equipo se pueden utilizar varias formas a saber, una sería proporcionar a varios fabricantes los datos del problema de bombeo y que ellos den la recomendación y ofertas de sus productos, quedando el cliente con el único camino de seleccionar la más económica; otra alternativa sería que el proyectista efectúe todo el cálculo del sistema de bombeo y seleccionar de catálogos y gráficas correspondientes a las bombas que hoy en el mercado, la que satisfaga las necesidades.

Otra manera de seleccionar el equipo de bombeo sería combinar las dos formas antes descritas.

Antes de escoger el camino a seguir para la selección del equipo de bombeo, debemos saber cuáles son los datos más necesarios, para que, con base en ellos, se pueda proceder a la selección. Tyler G. Hider (2) propone el siguiente cuestionario :

- a) Número de unidades requeridas
- b) Naturaleza del líquido que se bombeará
- c) Capacidades
- d) Condiciones de succión
- e) Condiciones de descarga
- f) ¿ Es el servicio continuo o intermitente ?
- g) ¿ Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical ? , en este último caso ¿ en pozo húmedo o seco ? .

- h) ¿ Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuáles son las características de ésta ?
- i) ¿ Qué limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse ?
- j) Localización de la instalación
- k) ¿ Existen algunos requisitos o preferencias marcadas con respecto al diseño, construcción o características de las bombas ? .

3.5.1 Número de unidades requeridas

Las demandas de agua no son constantes en el transcurso del día, sino que varían en forma irregular, por lo que se debe pensar en tener en la planta el suficiente número de bombas para que, en operación combinada, puedan surtir la demanda instantánea.

Si por ejemplo, pensamos que la variación de gastos (según las demandas) es de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 l/s en condiciones actuales y hasta 1200 l/s en condiciones futuras, podemos dar una posible solución que se muestra en la tabla 3.5.1.1.

Demanda l/s	Número de bombas	Capacidades l/s
100	1	100
200	1	200
300	2	100 y 200
400	1	400
500	2	100 y 400
600	2	200 y 400
700	3	100 , 200 y 400
800	2	400 y 400
900	3	100 , 400 y 400
1000	3	200 , 400 y 400
1100	4	100 , 200 , 400 y 400
1200	5	100 , 100 , 200 , 400 y 400

TABLA 3.5.1.1 .- NUMERO DE BOMBAS REQUERIDAS PARA SURTIR LA DEMANDA

Resumiendo, el número de bombas que pueden dar suficiente flexibili

dad en una operación combinada, son : dos de 100, uno de 200 y dos de 400 l/s, con siderando una bomba adicional de 400 l/s que servirá como reserva para los casos en que otro equipo pueda fallar.

3.5.2 Naturales del líquido que se bombea

En el capítulo I se dieron algunas de las propiedades físico-químicas del agua que se bombea, y por su composición sabemos que son altamente corrosivas y con bastantes sólidos en suspensión, por lo que las bombas que se seleccionen deben ser resistentes a la acción de este tipo de agua, además deben tener la posibilidad de aceptar algunos sólidos en suspensión.

Dadas estas características, se pidió a un fabricante que sugiriera las bombas que reúnan estas características, dando como resultado la selección de un tipo de bomba que existe en el mercado y trabaja con aguas de desechos industriales, también sugirió que los impulsores de las bombas sean semicubiertos para que puedan aceptar partículas hasta de 0.2 mm de diámetro, que está dentro de la realidad ya que en el desa renador quedarán sedimentadas las partículas de mayor diámetro.

3.5.3 Capacidad requerida

Como se sabe, las bombas centrífugas no son tan flexibles en las variaciones de capacidad sin que afecten la eficiencia de la bomba, por lo que las capacidades quedan restringidas a las que se seleccionaron en el inciso anterior, prefiriendo que la eficiencia máxima de la bomba ocurra con las condiciones normales de operación. El bombeo de emergencia queda restringido a una demanda media de 400 l/s, que es la capacidad de la bomba de emergencia, por lo que no habrá bombeo de sobrecapacidad para situaciones extraordinarias.

3.5.4 Condiciones de succión

Las condiciones de succión juegan un papel muy importante en el diseño de sistemas de bombeo, así pues, las bombas centrífugas verticales, para que estén dentro de los rangos óptimos de funcionamiento, deben tener una carga de suersión míni-

ma que se calculará a continuación.

Como se verá en el inciso 3.5.12 las bombas seleccionadas tienen diámetros, en la campana de succión, de 9 3/8", 14" y 18" para las capacidades de 100 l/s, 200 l/s y 400 l/s respectivamente.

Para encontrar la altura mínima de sumersión se buscó en la gráfica que proporcionó el fabricante, la cual se muestra en la fig.3.5.4.1 y a partir de ella se encontraron los siguientes resultados :

Para la bomba de 100 l/s ; $H_{min} = 1.25$ m

Para la bomba de 200 l/s ; $H_{min} = 2.01$ m

Para la bomba de 400 l/s ; $H_{min} = 2.44$ m .

En la misma figura 3.5.4.1 se pueden apreciar las restricciones recomendadas por el fabricante respecto a las dimensiones mínimas de separación entre bombas y paramentos de las paredes que forman el cárcamo.

3.5.5 Condiciones de descarga

Este párrafo se refiere principalmente a la carga de descarga, que es la carga estática total más la carga estática de succión, para este tipo de bombeo.

Para no tener en el sistema cargas de fricción excesivas (la carga de fricción está incluida en la carga estática total) se realizó un estudio detallado para determinar el tamaño más económico de la tubería, ésto dió también como resultado las pérdidas por fricción en los tubos de descarga.

El total de la carga de descarga fue de 54 m, dato que también es indispensable para la selección de la bomba más adecuada.

3.5.6 ¿ Es el servicio continuo o intermitente?

La demanda de agua por parte de los usuarios en el Distrito de Reutilización no es constante a lo largo del día por lo que el sistema de bombeo no puede estar operando en forma continua.

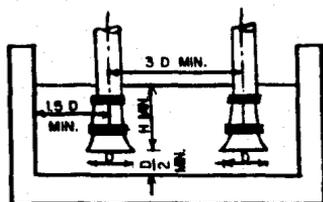
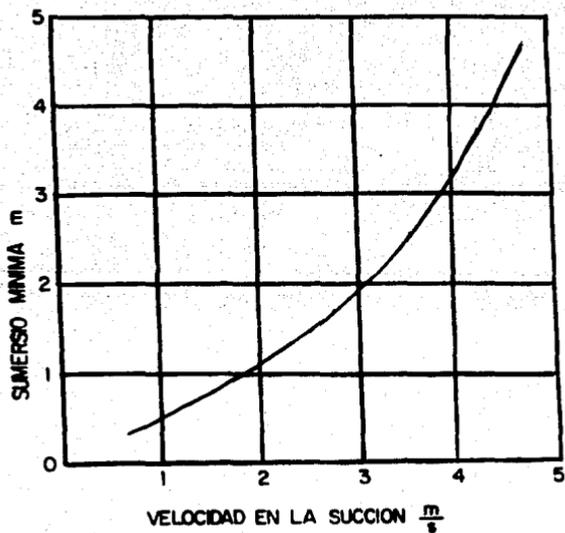


FIGURA 3.5.4.1.- SUMERSON MINIMA Y ESPACIAMIENTOS MINIMOS EN EL CARCAMO

Debido a la manera de como se planeó el funcionamiento de las bombas se tendrá un servicio intermitente, que influye de manera considerable para seleccionar a la bomba de mayor eficiencia disponible.

3.5.7 ¿ Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical? en este último caso ¿ en pozo húmedo o seco?

El agua proveniente de la toma circulará a unas 8 m bajo el nivel del terreno natural por lo que una bomba horizontal sería un tanto inconveniente, ya que su instalación tendría que estar a la profundidad del agua y el sistema de descarga tendría necesidad de bastantes accesorios que elevarían el costo de la unidad, por lo cual se pensó que sería más económico seleccionar bombas verticales tipo pozo profundo; éstas estarán operando en pozo húmedo.

3.5.8 ¿ Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuáles son las características de ésta?

La fuerza motriz seleccionada para mover las bombas es la electricidad, para lo cual se proyectó una caseta de operación desde la cual se pondrán en funcionamiento las bombas, de manera automática, según las necesidades que se tengan.

Se tendrá un generador de emergencia accionado con motor de combustión interna para los casos extraordinarios en que falte la energía eléctrica.

3.5.9 ¿ Qué limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse?

La planta de bombeo está localizada en una zona urbana donde el transporte no es problema para poder instalar el equipo. La distancia del sitio de abastecimiento, tanto de las bombas como de los accesorios, al sitio de la planta es relativamente corta, además de que se cuenta con buenas vías de comunicación, dando oportunidad para que se utilicen los medios más adecuados para el transporte del equipo, de lo cual deducimos que su peso no influye en el transporte. En el sitio de la planta se cuenta con suficiente espacio para su colocación.

3.5.10 Localización de la instalación

Es de suma importancia saber el lugar de la instalación de las bombas, ya que geográficamente, por ejemplo, el efecto de un lugar a otro influye en el funcionamiento de la bomba, principalmente la altitud con respecto al nivel del mar.

En nuestro caso la planta de bombeo está localizada a unos 2230 metros sobre el nivel del mar.

La localización de las bombas dentro de la planta de bombeo no tiene problema ya que hay el suficiente espacio y accesibilidad tanto para su colocación como para el futuro mantenimiento.

3.5.11 Requerimientos especiales

El único requerimiento especial que se le pidió al fabricante fue el de que la descarga de todas las bombas se hiciera bajo la superficie del terreno natural.

3.5.12 Selección y características del equipo

Después de haber reunido todos los datos se seleccionó el equipo de bombeo de la siguiente manera :

Cuando se dedujo cuales iban a ser las capacidades de la bomba y con la carga que iban a trabajar, se les dieron a varios fabricantes de bombas estos datos, además de las características de las aguas por bombear. Paralelamente a esta actividad se buscó en las diferentes curvas características de las bombas de diferentes fabricantes, aquellas que se adaptarían más a nuestro problema y satisficieran nuestras necesidades.

En el mercado mexicano no hay mucha variedad de bombas que puedan trabajar con aguas negras y con la elevación de descargas semejante a la que nosotros requeríamos, por lo que el proceso de eliminación fue rápido y se llegó a un tipo de bomba vertical capacitada para funcionar con desechos industriales y aguas negras, que es precisamente nuestro caso específico.

Las curvas características de las bombas seleccionadas se muestran en

las figuras 3.5.12.1, 3.5.12.2 y la 3.5.12.3, de las cuales se deduce lo siguiente :

Para la bomba seleccionada de capacidad igual a 100 l/s, se obtendrá una eficiencia de 81.5% para una carga de 18m por impulsor, lo que obliga a tener tres impulsores en la bomba. El diámetro de los impulsores para esta condición es de 10 3/8" .

La bomba con capacidad para 200 l/s tendrá una eficiencia de 82% para una carga también de 18m por impulsor, por lo que será menester solicitarla con tres impulsores para dar la carga requerida. El diámetro de los impulsores será de 9 7/8" .

Por último, la bomba con capacidad de 400 l/s tendrá una eficiencia del 78% para una carga de 27m por impulsor, por lo que se diseñará con dos impulsores de 11 1/2" .

La potencia de los motores para cada una de las bombas será de 100 H.P., 200 H.P. y 400 H.P. respectivamente.

Las velocidades a la que trabajarán las bombas seleccionadas es de 1770 R.P.M. De los accesorios con que contarán las bombas en la descarga son :válvulas de compuerta y de no retorno, que serán del tipo de cierre amortiguado (silent check) para evitar la necesidad de válvulas contra golpe de ariete .

A la descarga de las bombas se diseñó un múltiple de tuberías de acero, de tal forma que permita en el futuro enviar el agua de la bomba de repuesto por cualquiera de las dos líneas de conducción en forma total o parcialmente, ya que la línea de conducción inicial tendrá capacidad para 600 l/s proyectándose otra de igual capacidad para las condiciones futuras.

Con respecto a los impulsores de la bomba, estos serán del tipo semi-abierto para poder aceptar los sólidos que no se sedimentaron en el desarenador.

El tipo de bomba seleccionada se muestra en las figuras 3.5.12.4 y 3.5.12.5.

3.6 ENERGIA MOTRIZ

La energía que se proporcionará a los motores se tomará de dos fuentes

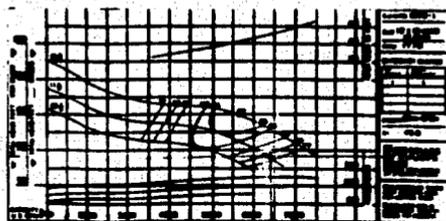


FIGURA 3.5.12.1 PARA LA BOMBA DE 400 l/s

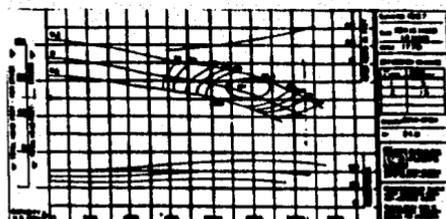


FIGURA 3.5.12.2 PARA LA BOMBA DE 200 l/s

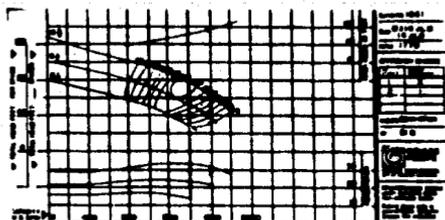


FIGURA 3.5.12.3 PARA LA BOMBA DE 100 l/s

CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS SELECCIONADAS

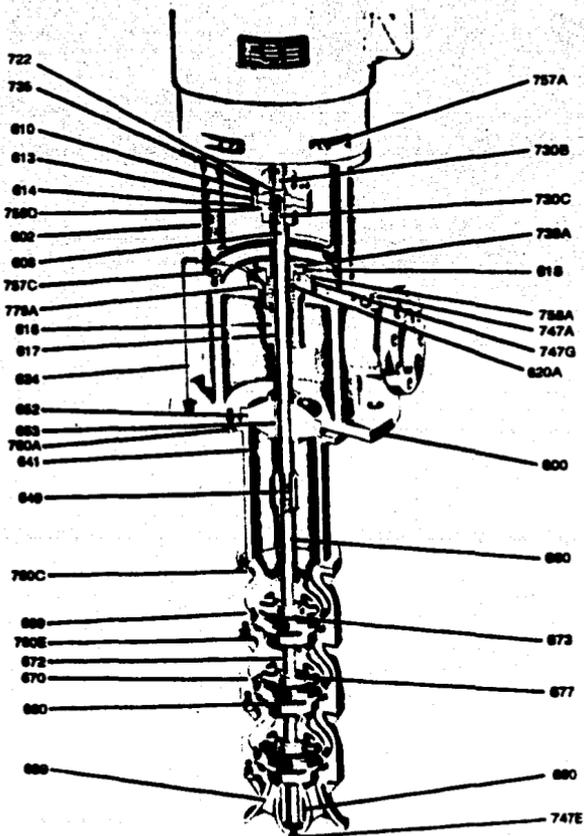
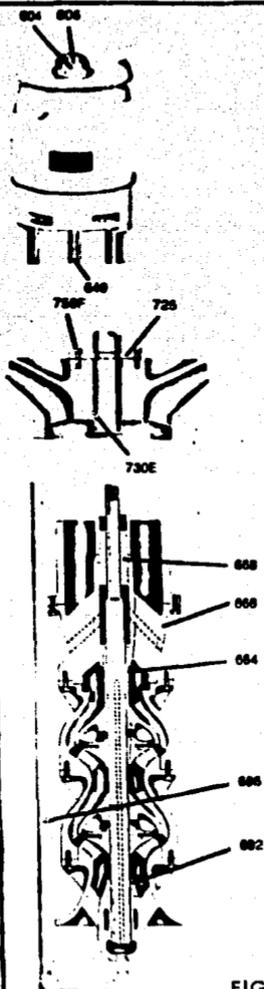


FIGURA 3.5.12.4 a) PARTES DE LA BOMBA SELECCIONADA



ITBM NO.	NO. REG'S PER PUMP	PART NAME
800	1	Discharge Head
802	1	Driver Support
804	1 (n)	Adjusting Nut
805	1 (n)	Washer
806	1	Washer
810	1 (b)	Driver Coupling Hub
813	1 (b)	Adjusting Ring
814	1 (b)	Pump Coupling Hub
818	1	Yoke Nut
817	1	Yoke Pin
816	1 (a)	Split Locking Box Gland
880A	1 set	Packing
884	1	Support Line
835	1 (m)	Yoke Yarnon Pipe
836	1 (m)	Yoke Yarnon Nut
838	1 (m)	Washer Nut
839	1 (m)	Yoke Yarnon Nut
841	(a)	Coupling Pin
842	(a)	Intermediate Column (R)
843	(a)	Yarnon Column (R)
844	(a)	Washer Nut
845	(a)	Washer Nut
848A	(a)	Intermediate Coupling
842	(a)	Bearing Retainer
843	(a)	Intermediate Bearing
844	(a) (m)	Split Retaining Tube
848	(a) (m)	Lock Wash Bearing
850	1	Washer
854	1 (m)	Washer Split Yarnon Bearing
848	1	Washer Split w/Part
858	1 (m)	Yoke Adjuster Bearing
859	1 (p)	Yoke Nut
870	1 (g) (p)	Intermediate Bolt
872	1 (b)	Split Nut
873	1 (b)	Washer
877	1 (b) (a)	Insulator Yoke Lock
869	1	Section Bolt
867	1	Section Bolt Bearing
862	1	Split Nut
868	1 (m)	Push Line
738	1 (h) (a)	Split Ring - Driver Half Cyls
739	1 (b) (f) (b)	Split Ring - Impeller
739	1 (m)	Yarnon Nut Split Gland (R)
730B	1 (b)	Key - Impeller
730C	1 (b)	Key - Headshaft
730E	1 (b) (f)	Key - Impeller
736	(g)	Nut Nut
738A	2	Gland Bolt
747A	1	Pipe Flange - Discharge Nozzle
747B	1	Pipe Flange - Driver Support Drain (R)
747E	1	Pipe Flange - Section
747D	1	Pipe Flange - Locking Box
787A	(g)	Cap screw - Driver to Driver Support
787C	(g)	Cap screw - Driver Support to Discharge Head
788A	(g)	Cap screw - Locking Box
788E	(g)	Cap screw - Locking Plate (R)
788D	(g)	Cap screw - Coupling Assy
788F	4 (b) (f)	Cap screw - Split Ring Retainer
788A	(g)	Cap screw - Column to Discharge Head
788B	(g) (g)	Cap screw - Column to Column (R)
788C	(g)	Cap screw - Bolt to Column
788E	(g)	Cap screw - Bolt Assy
778A	1	Packing Box Gasket
786	(n) (m)	Tube Stabilizer (R)

NI - Not Illustrated

FIGURA 3.5.12.4 b).- PARTES DE LA BOMBA SELECCIONADA

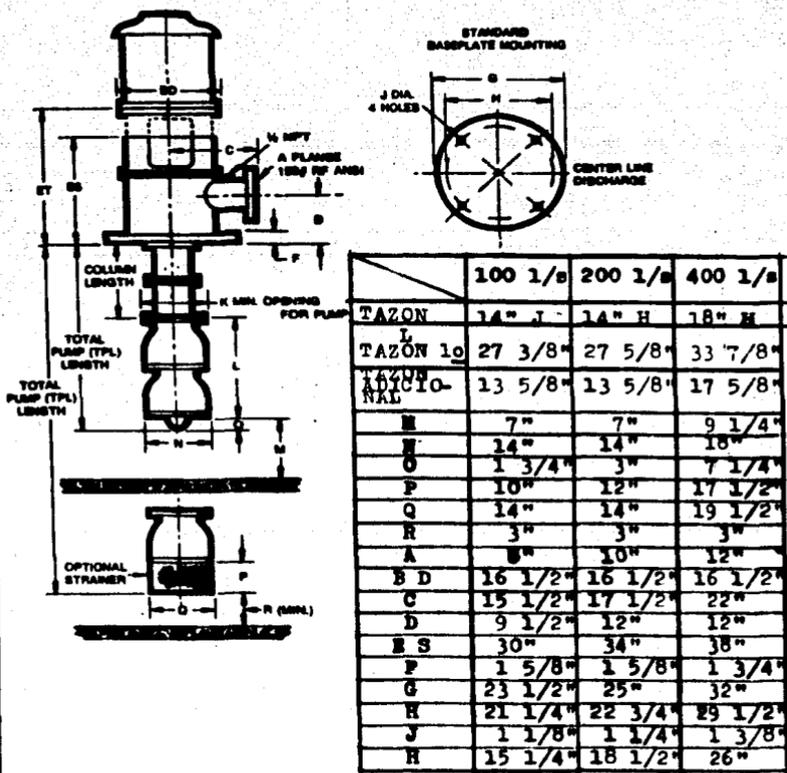


FIGURA 3.5.12.5 DIMENSION DE LAS BOMBAS SELECCIONADAS

para la situación normal de funcionamiento será proporcionado por medio de una sub-estación eléctrica que estará compuesta por un transformador con capacidad de - - 500 KVA, el cual reducirá la tensión disponible de 13200 volts a 440 volts. Esta sub-estación estará conectada al servicio general de la Comisión Federal de Electricidad.

La otra fuente que será utilizada para casos de emergencia, será proporcionada por una planta eléctrica con capacidad en servicio normal de 950 Kw .

En la segunda etapa, para la demanda máxima de 1200 l/s se dispondrá de otro transformador en la subestación y una segunda planta de emergencia con las mismas características de los de la primera etapa.

Las bombas serán accionadas por motores con potencia de 100, 200 y 400 HP, que serán del tipo vertical para servicio en intemperie y se controlarán manual o automáticamente.

Para el manejo automático se contará con un tablero de control, el cual estará formado esencialmente de estaciones de control y de relevadores instantáneos y de tiempo.

Dentro de la planta de bombeo se proyectó una caseta de operación en la cual se tendrán los servicios de mantenimientos y control de equipo eléctrico o mecánico. Dentro de ella se localiza el centro de control de los motores que estará formado por arrancadores del tipo de arranque de baja tensión por medio de un autotransformador. Estos arrancadores se colocarán uno al lado del otro estando en la parte central un gabinete, el cual contendrá el centro de control, así como el interruptor de doble tiro, que se utilizará para conectar a la subestación eléctrica en servicio normal o a la planta eléctrica para casos de emergencia. También alojará un transformador de los conocidos como "tipo seco" que se utilizará para alumbrado y servicio propios.

En la puerta el gabinete de control tendrá colocadas las estaciones de control para el manejo automático de las bombas para proporcionar un gasto específico, al centro de cargas de alumbrado, el selector para encendido automático o manual del alumbrado exterior y finalmente el equipo de medición de la energía que proporcionará la planta eléctrica para servicio de emergencia.

3.7

DESCRIPCION DE LA TRANSICION Y EL CÁRCAMO DE BOMBEO

También como medida de protección a las bombas y para que el agua se distribuya uniformemente en el cárcamo de bombeo, se diseñó una transición que hará que el agua llegue al cárcamo con una velocidad menor a los 30 cm/s. La transición es un canal que va ampliando su sección de 4.20 a 8.80 m .

El cárcamo de bombeo estará dividido en seis compartimientos para alojar, cada uno, una bomba vertical tipo pozo profundo. Los compartimientos podrán aislarse por medio de obturadores con objeto de reparar o dar mantenimiento a las bombas.

Las bombas estarán soportadas por una losa de operación que estará al nivel del terreno natural ; también habrá una pequeña losa de operación a la elevación 2234.45 m, la cual servirá para maniobras en la obturación de los compartimientos en el cárcamo.

En la parte superior del cárcamo se tendrá adosada una caja para alojar las válvulas dispuestas en la descarga de las bombas.

3.8

COMENTARIOS

El constante aumento de la demanda de agua, para todas las necesidades, agota los recursos naturales cercanos y el hombre se ve en la necesidad de valerse exhaustivamente de la ingeniería para obtener el preciado líquido de fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas.

Actualmente las necesidades de agua son tantas que, en México, se ha visto la necesidad de optimizar el uso de agua para que alcance a abastecer todas las demandas posibles.

De ello, se ve que el darle un uso repetitivo al agua, jerarquizándolo según la calidad, puede llevar a ahorros que, además de ser económicos, permiten mejoras en la explotación de las fuentes de abastecimiento, que es la principal preocupación.

El tratamiento del agua negra e industrial es ahora uno de los recursos más socorridos, y por lo visto, la solución a uno de los grandes problemas que se le presentan a México.

El proyecto de reutilización de agua residual en Xalostoc, Estado de México, no es de ninguna manera la solución a los problemas de agua de la región, pero sí es el principio de algunas actividades, de cuyos resultados se obtendrá la pauta para mejorar los futuros sistemas de tratamiento y dar el apoyo económico, por parte de la empresa privada y pública, para que estas obras de ingeniería se multipliquen.

El tratar el agua tiene la finalidad, además de lo antes dicho, de evitar la contaminación masiva de los acuíferos y escurrimientos, evitando de esta manera la causa de enfermedades y la inutilización de aguas limpias.

Como se ha dicho en el primer capítulo de este trabajo, el distrito de reutilización de agua residual en Xalostoc, Santa Clara, Ecatepec, Estado de México, tiene como una de sus principales finalidades el que la industria de esa zona utilice agua tratada en sus procesos de enfriamiento y de esta manera no se exploten, para este fin, los acuíferos de agua potable, como se venía haciendo.

Así pues, de llevarse a cabo esta obra, se contribuirá enormemente al ahorro de agua en la región.

Capítulo IV

PRESUPUESTO

A continuación se presenta el presupuesto calculado para la planta de bombeo de agua cruda, el cual se realizó tomando como base el catálogo de precios unitarios de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Los precios que el catálogo no especificaba se dedujeron para cada caso particular, tomando en cuenta las condiciones de salarios en la región y los precios de los productos para las condiciones económicas del momento de elaborar el proyecto.

El presupuesto se expone englobándolo en conceptos generales, que son:

- Fontanería y equipo de la obra de toma
- Obra civil de la obra de toma
- Rejillas de limpieza automática
- Fontanería y equipo del desarenador
- Obra civil del desarenador
- Estructura de apoyo y tolva para recolección y distribución de la basura y la arena
- Obra civil de los canales de conducción de agua cruda
- Fontanería y equipo de la planta de bombeo
- Obra civil de los cárcamos de bombeo
- Caseta de control y predio
- Sistema de generación y control de energía eléctrica.

El resultado del presupuesto, dio un monto de \$ 12'620,454.00 que tiene ya incluidos los conceptos de Ingeniería y administración, que se consideró del 7% y también los imprevistos, que fueron considerados en un 15%.

**PRESUPUESTO DE LA OBRA DE TOMA, OBRA CIVIL,
FONTANERIA Y EQUIPO**

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Importe \$
Excavaciones para desplante de estructuras o sonjas	1 650	m3	67.08	110 682.00
Rellenos, filtros y plantillas apisonadas	1 422	m3	42.18	59 980.00
Fabricación y colado de concreto simple	55	m3	773.37	42 535.35
Cimbra y tablasacado de madera	439	m2	130.00	57 070.00
Suministro y colocación de fierro de refuerzo	7 539	kg	12.90	97 253.10
Suministro y colocación de rieles de acero	5 570	kg	12.35	68 789.50
Bombeo de achique con bomba autocebante	1 000	hora	33.65	33 650.00
Suministro, instalación, junteo y prueba de tuberías de asbesto-cemento de 61 cm de diámetro	220	m	666.27	146 579.40
Suministro e instalación de piezas especiales de fierro fundido	856	kg	16.21	13 875.76
Suministro e instalación de compuertas tipo Miller de 61 cm de diámetro	4	pieza	7 500.00	30 000.00
Suministro de juntas universales de 61 cm de diámetro	8	pieza	2 590.00	20 720.00
TOTAL:				<u>681 135.11</u>
Ingeniería y administración, 7%:				<u>47 679.46</u>
SUMA:				<u>728 814.57</u>
Imprevistas, 15%:				<u>109 322.18</u>
TOTAL:				<u><u>838 136.75</u></u>

**PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE BOMBEO
EQUIPO Y FONTANERIA**

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Importe \$
Suministro e instalación de rejillas autolimpiables de 1.00 m de ancho y 2.70 m de profundidad	1	lote	213 600.00	213 600.00
Suministro e instalación de carro transportador de basura; incluye guías, mecanismo de elevación, soporte y motor	1	lote	189 000.00	189 000.00
Suministro e instalación de bombas horizontales para la extracción de arena en los desarenadores	3	pieza	35 064.00	105 192.00
Suministro e instalación de válvulas de seccionamiento "Valflex" de 5.1 cm de diámetro	6	pieza	997.95	5 567.70
Suministro e instalación de válvulas de no retorno (check) de 5.1 cm de diámetro	3	pieza	1 242.65	3 727.95
Suministro e instalación de bomba centrífuga vertical, tipo turbina con descarga bajo superficie para 100 l/s y motor vertical de 100 H.P.	1	pieza	193 813.00	193 813.00
Suministro e instalación de bomba centrífuga vertical, tipo turbina con descarga bajo superficie para 200 l/s y motor vertical de 200 H.P.	1	pieza	286 189.00	286 189.00
Suministro e instalación de bomba centrífuga vertical, tipo turbina con descarga bajo superficie para 400 l/s y motor vertical de 400 H.P.	2	pieza	423 739.00	847 478.00
Suministro e instalación de válvulas de seccionamiento de:				
20.3 cm de diámetro	1	pieza	7 966.40	7 966.40
25.4 cm de diámetro	1	pieza	13 251.00	13 251.00
30.5 cm de diámetro	2	pieza	19 059.00	38 118.00
Suministro e instalación de válvula de no retorno (check) de:				
20.3 cm de diámetro	1	pieza	38 116.70	38 116.70
25.4 cm de diámetro	1	pieza	51 284.75	51 284.75
30.5 cm de diámetro	2	pieza	67 182.15	134 364.30

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Importe \$
Suministro e instalación de compuerta bajo la tolva de recolección de 50 x 50 cm	2	pieza	12 600.00	25 200.00
SUBTOTAL EQUIPO:				2'152 868.70
Suministro e instalación de tubería de fierro galvanizado con sus piezas especiales	48.5	m	119.89	5 814.67
Suministro, instalación, junteo y prueba de tubería lisa de acero soldada de 9.5 mm de espesor para los siguientes diámetros:				
20.3 cm	1.5	m	635.77	983.66
25.4 cm	1.5	m	903.32	1 354.98
30.5 cm	5.05	m	1 093.91	5 524.24
40.6 cm	1.50	m	1 396.91	2 095.37
76.2 cm	19.50	m	2 879.35	56 147.33
Piezas especiales, juntas Dresser, empaques, codos y tornillos	1	lote	46 477.60	46 477.60
SUBTOTAL FONTANERÍA:				118 397.85
S U M A :				2'271 266.50
Ingeniería y administración, 7%				158 988.65
S U M A :				2'430 255.10
Imprevistos, 15%				364 538.26
T O T A L :				2'794 793.30

**PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE BOMBEO
OBRA CIVIL**

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Importe \$
Excavación para desplante de estructuras o zanjas	4 955.36	m3	45.53	225 617.54
Rellenos, filtros y plantillas apisonadas	730.28	m3	48.95	35 747.21
Fabricación y colado de concreto simple	445.13	m3	774.57	344 784.34
Cimbra, edema o tabloestacado de madera	2 164.15	m2	111.48	241 259.44
Suministro y colocación de acero de refuerzo	36 511.68	kg	12.90	471 000.67
Suministro y colocación de acero estructural	6 861.24	kg	17.41	119 454.18
Bombeo de achique con bomba autocebante	1 415.60	horas	33.65	47 634.95
Impermeabilizantes con todas las materiales y mano de obra	270.85	m3	121.00	32 772.85
Adquisición, limpia y trazo del terreno	2 745.0	m2	178.50	489 982.50
Albillería para caseta de operación sin incluir cimbra, concreto y acero de refuerzo	1	lote	71 614.10	71 614.10
Jardinería, herrería, plomería, pintura, carpintería y vidriería	1	lote	141 528.00	141 528.00
S U M A :				2'221 395.60
Ingeniería y administración, 7%				155 497.69
S U M A :				2'376 893.20
Imprevistos, 15%				356 533.98
T O T A L :				<u>2'733 427.18</u>

**PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE BOMBEO DE AGUA CRUDA
SISTEMA DE GENERACION Y CONTROL DE ENERGIA ELECTRICA**

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$	Importe \$
Diagrama eléctrico de fuerza y control	1	lote	2'353 693.80	2'353 693.80
Instalación eléctrica de fuerza y control	1	lote	89 925.40	89 925.40
Alumbrado	1	lote	62 220.05	62 220.05
Subestación eléctrica	1	lote	276 726.65	276 726.65
Generador de emergencia	1	lote	2'300 000.00	2'300 000.00
S U M A :				5'082 565.90
Ingeniería y administración, 7%				355 779.63
S U M A :				5'438 345.53
Imprevistos, 15%				815 751.83
T O T A L :				6'254 097.36

BIBLIOGRAFIA

- (1).- **MECANICA DE SUELOS**
Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos
Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez.
- (2).- **BOMBAS, SU SELECCION Y APLICACION**
Tyler A. Hicks.
- (3).- **BOMBAS CENTRIFUGAS**
Igor J. Karasik y Roy Carter.
- (4).- **NOTAS SOBRE HIDRAULICA ELEMENTAL**
Raúl Gómez Rosas.
- (5).- **CATALOGO DE BOMBAS GOULDS**
Bombas Goulds, S.A.
- (6).- **EL CONCRETO ARMADO**
Vicente Pérez Alamó.
- (7).- **CONCRETO**
M. Aurelio Torres H.
- (8).- **CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS**
S.R.H.
- (9).- **REGLAMENTO DE LAS CONSTRUCCIONES
DEL CONCRETO REFORZADO**
A.C.I.
- (10).- **APUNTES DE LA CLASE DE ALCANTARILLADO
Y AGUA POTABLE.**

