

118
2 Gen



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"ANALISIS HIDRAULICO DE UN
CONDUCTO TRABAJANDO A
SUPERFICIE LIBRE"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

ANGEL MONTAÑO ORTIZ

MEXICO, D. F.

1985



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

PAG.

1.	ASPECTOS GENERALES	
1.1	Antecedentes.	1
1.2	Objetivos y alcances.	3
1.3	Actividades realizadas.	3
1.4	Desarrollo de la revisión.	4
1.5	Conclusiones y recomendaciones.	9
2.	REVISION HIDRAULICA	
2.1	Memoria de cálculo.	18
3.	SECCIONAMIENTO DEL ACUEDUCTO	
3.1	Aspectos generales.	49
3.2	Procedimiento constructivo.	50
3.3	Determinación del acero de refuerzo para la caja de compuertas de deslizamiento de 1.22 X 1.52 m en tramo de acueducto con sección ovoide.	54
3.3.1	Análisis de la caja debido a cargas interiores.	56
3.3.2	Análisis de la caja debido a cargas exteriores.	62
3.4	Determinación del acero de refuerzo para la caja de compuertas de deslizamiento de 1.22 X 1.22 m en tramo de acueducto con sección circular.	71
3.4.1	Análisis de la caja debido a cargas interiores.	74
3.4.2	Análisis de la caja debido a cargas exteriores.	79
3.5	Determinación del acero de refuerzo del conducto de transición para ligar caja de compuertas con acueducto en tramo con sección ovoide.	82
3.5.1	Análisis del conducto a sección llena.	85

**3.5.2 Análisis del conducto vacío y sujeto a cargas
exteriores.**

101

4. CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones y recomendaciones.

112

4.2 Bibliografía.

113

C A P I T U L O 1

1. ASPECTOS GENERALES

- 1.1 Antecedentes.
- 1.2 Objetivos y alcances.
- 1.3 Actividades realizadas.
- 1.4 Desarrollo de la revisión.
- 1.5 Conclusiones y recomendaciones.

1.1

ANTECEDENTES

El acueducto viejo Xochimilco-Xotepingo es una conducción por gravedad que parte del pueblo de San Luis y llega a la planta de bombeo Xotepingo. En su trayecto es alimentado por diversos pozos y dos ramales y, también en ciertos puntos se extrae el agua necesaria mediante rebombes, para el abastecimiento de algunos de los pueblos que atraviesa.

Este acueducto posee una longitud total de 21, 800 m, que puede dividirse en cinco tramos principales (ver plano AP-C-X-AXX-PG-03)

- 1.- Un acueducto circular de concreto colado en el sitio de 1.372 m(54") de diámetro y 5, 534 m de longitud, que parte del pueblo de San Luis y llega a una caja ubicada en el pueblo de Santa Cruz Alcapixca.
- 2.- Un sifón a base de tres tubos de acero de 0.914 m(36") de diámetro y 690 m de longitud, que se inicia en la caja mencionada y termina en otra ubicada en el mismo pueblo de Santa Cruz Alcapixca.
- 3.- Un conducto circular con sección transversal igual a la del primer tramo y 301 m de longitud, que empieza en la -

caja anterior y termina en otra localizada en el pueblo de Nativitas.

4.- Una sustitución ("By-pass") a base de un conducto de -- concreto tipo lock-joint, de 1.93 m(72") de diámetro y 4450 m de longitud, que comienza en la caja anterior y concluye en la caja "La Conchita". Esta conducción fue construida para reemplazar un tramo del acueducto que se encontraba en malas condiciones.

5.- Un conducto de concreto colado en sitio, con sección -- ovoide (ver figura 1 de la memoria de cálculo), de 10,825 m de longitud, que parte de la caja "La Conchita" y llega a la Planta de Bombeo de Xotepingo.

Adicionalmente, a lo largo del recorrido del acueducto, se manejan dos cadenamientos que van de la planta de Bombeo Xotepingo al pueblo de San Luis (en sentido inverso al flujo, ver plano AP-X-C-AXX-PG-03).

- El primero tiene su origen en la planta de bombeo y es -- aplicable a toda la longitud del acueducto.
- El segundo considera que la planta se localiza en la estación 10+150 y sólo es válido hasta la caja "La Conchita" (quinto tramo antes mencionado), ya que originalmente continuaba por el tramo sustituido cuya longitud difiere de la del By-pass.

De acuerdo con lo anterior, los cadenamientos de inicio y -- término de los cinco tramos antes referidos se han incluido en la tabla 1.

Es conveniente hacer notar, que el conducto en cuestión fue construido hace más de cincuenta años y al cabo de ese lapso ha sufrido asentamientos diferenciales notorios que le han restado capacidad de descarga y que han provocado la presencia de grietas.

tas, mismas que han favorecido la ocurrencia de fugas.

Por otro lado, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del D.D.F., plantea perforar una serie de pozos a lo largo del acueducto viejo. El gasto aportado por dichas pozos podría ser conducido por los acueductos existentes, en caso de contar con suficiente capacidad, o en forma total o parcial por uno de proyecto cuyo trazo sería paralelo al del viejo.

1.2

OBJETIVOS Y ALCANCES

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto y considerando la importancia de evitar al máximo las interrupciones en el abastecimiento a través del mencionado acueducto se consideró necesario revisar el acueducto viejo, a fin de determinar su capacidad de conducción actual (por gravedad) y con base en ello determinar sus condiciones futuras de operación.

1.3

ACTIVIDADES REALIZADAS

En primer término se recopiló la información disponible en la D.G.C.O.H. que podría ser útil para el desarrollo del proyecto. De esta manera se logró contar con los planos del perfil topográfico del "lomo" del acueducto, del quinto tramo (sección - ovide ver plano AP-X-C-AXX-PG-03), el plano de la sección transversal del mismo (ver figura 1 de la memoria de cálculo), los planos del proyecto del By-pass, los gastos aportados por los pozos y ramales y los extraídos por los rebombes.

Con base en los datos recolectados, se procedió a efectuar los trabajos de campo necesarios para obtener los datos faltantes. De acuerdo con esto se efectuó la nivelación del By-pass (para co

regir la información contenida en los planos por la D.G.C.O.H.) la del tercer tramo, la del terreno natural sobre el sifón y la del primer tramo (ver plano AP-X-C-AXX-PG-03), a fin de conocer los perfiles respectivos. Así mismo, se determinó la ubicación de los pozos, ramales y rebombes y fue posible conocer sus condiciones actuales de operación, las cuales, en algunos casos, habían variado con respecto a las originales, contenidas en la información antes mencionada.

Una vez hecho lo anterior se procedió a llevar a cabo la revisión del acueducto, cuyas actividades específicas se detallan a continuación.

1.4

DESARROLLO DE LA REVISIÓN

Según ya se ha establecido, el objetivo de la revisión por reseñar era la determinación de la capacidad máxima de conducción a superficie libre del acueducto, con el objetivo de definir sus condiciones futuras de operación, tomando en cuenta el proyecto de un nuevo acueducto cuyo trazo será paralelo al del viejo y la perforación de nuevos pozos a lo largo de éste.

La revisión se efectuó pensando en un escurrimiento a superficie libre, considerando que esa fue la condición del diseño original del acueducto, y que debido a los notables asentamientos diferenciales que acusa su perfil (ver plano AP-X-C-AXX-PG-03), el funcionamiento a presión del mismo redundaría en una probable ocurrencia de fugas.

A fin de proceder a estudiar el funcionamiento hidráulico del acueducto fue necesario en principio estudiar las propiedades geométricas e hidráulicas de la sección ovoide. Esto permitió definir

las curvas de área, perímetro mojado, radio hidráulico y condiciones de escurrimiento normal y crítico. Estas últimas permitieron definir las posibles secciones de control para las distintas condiciones de operación probadas. Ahora bien, de acuerdo con lo anteriormente establecido, se efectuó la revisión del funcionamiento del acueducto mediante el cálculo de perfil hidráulico realizado por medio de un programa de computadora elaborado exprofeso para tres condiciones de operación en principio:

- a) Gasto variable, de acuerdo con las condiciones actuales de operación (tabla 2).
- b) Gasto constante igual a $2\text{m}^3/\text{s}$.
- c) Gasto constante igual a $1.5\text{m}^3/\text{s}$.

Para el efecto se supuso que la planta de bombeo de Xotepingo ya había sido rehabilitada y se emplearon los datos comprendidos en el informe del "Proyecto Ejecutivo de la Rehabilitación de la Planta de Bombeo de Xotepingo", considerando la condición más favorable de operación esta es, Nivel de Aguas máximo en el cargamo nuevo a fin de determinar el tirante o carga de presión inicial para cada gasto (ver memoria de cálculo).

La metodología utilizada y los resultados obtenidos para el cálculo del perfil se detallan en la memoria de cálculo y las hojas de los resultados anexas.

De acuerdo con los resultados obtenidos para las tres condiciones de operación referidas, pueden anotarse las conclusiones siguientes (ver memoria de cálculo).

- a) Debido a los asentamientos sufridos por el acueducto, un buen número de tramos están en la contrapendiente y se detectaron por numerosas secciones funcionando a presión para las condiciones actuales de operación, hecho que per-

mite afirmar que a pesar de que el gasto de diseño original del acueducto fue cercano a los $3\text{m}^3/\text{s}$, la capacidad actual del mismo se ha visto reducida sensiblemente. Las máximas cargas de presión (medidas desde la plantilla de conducto) fueron 2.885 m en la est. 6+611 (sección ovoide) y 1.615 m en la est. 18+306 (en la sección circular). Los cadenamientos están referidos a la est. 0+000 en Xotepingo.

- b) Para el gasto constante de $2\text{m}^3/\text{s}$ se encontró que aún un mayor número de secciones trabajaba a presión, por lo que el funcionamiento del acueducto se juzgó inadecuado en este caudal.
- c) El perfil de flujo correspondiente al gasto de $1.5\text{m}^3/\text{s}$ resultó satisfactorio, ya que en el quinto tramo (sección ovoide), sólo se registró una sección trabajando con una pequeña presión (1.957 m desde la plantilla correspondiente a 0.057 m sobre el punto inferior de máxima altura). En los tramos de sección circular sí se identificaron otras secciones funcionando a presión; sin embargo, para las condiciones actuales de operación el gasto conducido en ellas es menor que $1.5\text{m}^3/\text{s}$.

Con base en lo anteriormente asentado, puede afirmarse que es evidente que el acueducto trabaja actualmente con un gasto mayor que el que le sería posible conducir a superficie libre. Esta condición de operación es la que debe buscarse en un futuro, considerando que el propio acueducto no fue diseñado originalmente para funcionar a presión y, adicionalmente tomando en cuenta el tiempo de operación del mismo y el mal estado en que se encuentra, como es obvio la recomendación anterior tiene por objeto evitar, en lo posible la ocurrencia de fugas.

En adición a lo antes mencionado los cálculos efectuados sugieren que el gasto de operación futura debe ser cercano a $1.5\text{m}^3/\text{s}$, - por lo menos que el quinto tramo, que por otra parte, comprende -- aproximadamente la mitad de la longitud total del acueducto.

Según información recibida de las oficinas de proyecto de Agua Potable y Sistemas de Agua Potable indicando una creciente demanda de agua de los pueblos ya mencionados, se decidió conectar los nuevos pozos al acueducto viejo, con el objeto de que el caudal excedente pudiera ser conducido a la planta de bombeo Xotepingo, y que se tradujera en nueva aportación de gasto proveniente de los pozos que están ubicados en los pueblos de Tepepan, Santiago Tepalcatlalpan, San Lucas Xochimanca, San Lorenzo Atempaya, Santa Cruz Acalpixca, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiátemalco. Asimismo, tomando en cuenta que los multicitados pozos bastarían para cubrir la demanda total de ciertos pueblos, el personal de la D.G.C.O.H. pensó en cancelar los rebombes de Tepepan, Santiago Tepalcatlalpan y San Gregorio Atlapulco, lo que implicaría también un incremento en el caudal por conducir.

Idealmente el gasto resultante de los excedentes sumado a alguna fracción del gasto actualmente conducido por el acueducto viejo con objeto de aliviarlo, debería ser conducido desde un principio por el acueducto a proyectar. Sin embargo, tomando en consideración la prioridad asignada por la D.G.C.O.H. a la entrada de operación de los nuevos pozos, no es factible lograrlo. Por este motivo, el acueducto viejo deberá funcionar, transitoriamente (mientras sea construido el proyecto), de acuerdo con los gastos aportados - en la tabla 3.

Tomando en cuenta lo anterior, se efectuó el cálculo del perfil de flujo correspondiente a esta condición de operación (ver memoria de cálculo). De acuerdo con éste pudo concluirse que el acueducto tra

bajará a presión en aproximadamente la mitad de su longitud, siendo la máxima carga de presión calculada, medida desde la plantilla, de 4.153 m (2.253 m sobre el punto interior de máxima altura), en la est. 6+611 (sección Ovoide). Considerando lo antes mencionado, es evidente que deben ser tomadas ciertas medidas a fin de evitar que el agua salga por los registros ubicados al pie de las chimeneas -- que existen a lo largo del quinto tramo del acueducto. De acuerdo con esta idea, se consultaron los planos obtenidos en la memoria -- del proyecto original del acueducto, pudiéndose determinar que la diferencia de altura entre la plantilla del acueducto y la parte inferior de las tapas de los registros es de 2.596 m. Entonces, este valor se tomó igual al de la máxima carga de presión admisible en las estaciones con chimenea, medida desde la plantilla del acueducto. Con base en esta consideración se definieron las estaciones de los registros cuyas tapas deben sellarse, tal como se muestra en la tabla 4.

Finalmente tomando como base los resultados obtenidos para los perfiles de flujo correspondientes a las condiciones actuales de operación y para los gastos constantes de $2\text{m}^3/\text{s}$ y $1.5\text{m}^3/\text{s}$, se procedió a definir las condiciones futuras de operación teniendo en mente que el acueducto debería ser aliviado. Considerando adicionalmente que el acueducto se comportaría satisfactoriamente conduciendo un caudal de $1.5\text{m}^3/\text{s}$ se buscó que en el quinto tramo se tuviera un gasto similar. Sin embargo dado que los ramales Xochimilco y Emiliano Zapata se encuentran muy cercanos a la planta Xotepingo y aportar gastos considerablemente grandes (325 y 420 l.p.s., respectivamente), se llegó a tener un gasto aproximadamente igual a $2\text{m}^3/\text{s}$ en los últimos 4Km del acueducto. Los pozos, ramales y rebombes considerados para las condiciones futuras de operación se muestran en la tabla 5. El gasto de los resultantes pozos, así como al de los excedentes, será conducido

por el acueducto de proyecto, tal como se muestra en la tabla 6. Puede observarse que con lo anterior, los pozos Periférico 1, La Noria 1, La Noria 2, y La Noria 3, deberán desconectarse del acueducto viejo a fin de conectarse al de proyecto.

Los resultados obtenidos para las condiciones futuras de operación, definidas anteriormente, fueron satisfactorias. En efecto, se redujo notablemente el número de secciones que trabajarían llenas así como las magnitudes de las cargas de presión, con respecto a lo que ocurra en las condiciones actuales (ver memoria de cálculo). De hecho, la máxima carga de presión calculada fue de 0.611m sobre el perfil interior de máxima altura (en el quinto tramo, sección ovoide), misma que se considera puede ser soportada sin problema por el acueducto, dada su magnitud pequeña.

En la memoria de cálculo se detallan los procedimientos empleados y se incluyen las hojas de resultados del programa de cómputo referido, para las cinco condiciones de operación consideradas. Asimismo, se ha anexado el plano al cual se ha hecho referencia en este estudio.

1.5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones de este estudio ya han sido esbozadas a lo largo del texto precedente; sin embargo, vale la pena recalcar las más importantes:

- El acueducto viejo debe ser aliviado, dado que su capacidad de descarga se ha reducido notablemente y no se juzga recomendable que funcione a presión por largos lapsos, ya que esto favorecería a la ocurrencia de fugas.
- De acuerdo con la recomendación anterior, es necesario desconectar los pozos Periférico 1, Periférico 3, Emiliano Zapata, Periférico 8, Periférico 9, La Noria 1, La Noria 2, y La No-

ría 3, del acueducto viejo con el objeto de conectarlos al nuevo, en las condiciones futuras de operación (ver tablas 5 y 6).

- Las condiciones transitorias de operación (tabla 3) no deben sostenerse por largo tiempo, si se desea evitar la presencia de fugas. Esto invita a acelerar los programas de construcción del acueducto nuevo.
- En la tabla 4 se muestran las tapas que deben ser selladas para evitar la fuga de agua en las condiciones transitorias de operación.

TABLA 1

CADENAMIENTOS INICIALES Y FINALES DE LOS TRAMOS PRINCIPALES QUE CONSTITUYEN EL ACUEDUCTO VIEJO.

TRAMO	CADENAMIENTO INICIAL (km)		CADENAMIENTO FINAL (km)	
	PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO
Primero	21+900	-----*	16+366	-----
Segundo	16+366	-----	15+676	-----
Tercero	15+676	-----	15+325	-----
Cuarto	15+325	-----	10+925	21+075
Quinto	10+925	21+075	0+100	10+250

* Nota: La ausencia del kilometraje para el segundo tipo de cadenamiento obedece a que el tramo no pertenece a su zona de validez.

TABLA 2

POZOS, RAMALES Y REBOMBEO UBICADOS A LO LARGO DEL ACUEDUCTO EN LAS
CONDICIONES ACTUALES DE OPERACION.

NOMBRE	GASTO APORTADO O EXTRAIDO (l.p.s.)	GASTO ACUMULA- DO (l.p.s.)	ESTACION DE LA CONEXION
Pozo Periférico 1	60	2429.1	1+530
Pozo Periférico 3	109	2369.1	3+040
Pozo Emiliano Zapata	65	2260.1	4+130
Ramal Emiliano Zapata	420	2195.1	4+210
Rebomdeo Garza de Huipulco	- 30	1775.1	4+516
Ramal Xochimilco	325	1805.1	5+240
Pozo Periférico 8	50	1480.1	6+820
Pozo Periférico 9	127.3	1430.1	7+732
Rebomdeo Tepepan	- 100	1302.8	7+850
Rebomdeo La Noria	- 90	1402.8	8+930
Pozo La Noria 1	33.5	1492.8	9+186
Pozo La Noria 2	87.5	1459.3	9+875
Pozo La Noria 3	46	1371.8	10+514
Rebomdeo Jardines del Sur	- 20	1325.8	10+530
Pozo La Noria 4	143	1345.8	10+925
Pozo La Noria 6	128.7	1202.8	10+925
Rebomdeo Santiago Tepalca- tlalpan	- 60	1074.1	10+925
Rebomdeo Nativitas	- 80	1134.1	13+840
Pozo San Luis 20	92.5	1214.1	14+350
Pozo San Luis 19	52.4	1121.6	15+325
Rebomdeo Santa Cruz Acapulco-30		1069.2	16+530
Pozo San Luis 18	103	1099.2	16+540
Pozo San Luis 17	85.4	996.2	16+720

Pozo San Luis 16	61.2	910.8	16+780
Rebombeo San Gregorio Atlapulco	- 30	849.6	17+300
Pozo San Luis 13	42	879.6	17+390
Pozo San Luis 11	107	837.6	17+700
Pozo San Luis 12	87	730.6	17+780
Pozo San Luis 8	158.4	643.6	17+930
Pozo San Luis 9	148	485.2	18+490
Pozo San Luis 7	163	337.2	18+760
Planta de bombeo de San Luis	174.2	174.2	21+900

Nota: Los cadenamientos anotados en esta tabla y los siguientes corresponden al sistema de referencia que considera su origen (0+000) en la Planta de Rebombeo de Xotepingo, y se refiere a la sección en la que los pozos ramales o rebombes se conectan al acueducto.

TABLA 3

POZOS, RAMALES, EXCEDENTES Y REBOMBES UBICADOS A LO LARGO DEL ACUEDUCTO EN LAS CONDICIONES TRANSITORIAS DE OPERACION.

NOMBRE	GASTO APORTADO O EXTRAIDO (l.p.s.)	GASTO ACUMULADO (l.p.s.)	ESTACION DE LA CONEXION
Pozo Periférico 1	60	2995.3	1+530
Pozo Periférico 3	109	2935.3	3+040
Pozo Emiliano Zapata	65	2826.3	4+130
Ramal Emiliano Zapata	420	2761.3	4+210
Rebombeo Garza de Huipulco - 30		2341.3	4+516
Ramal Xochimilco	325	2371.3	5+240
Pozo Periférico 8	50	2046.3	6+820

Pozo Periférico 9	127.3	1996.3	7+732
Excedente Tepepan	80	1869.0	8+203
Rebomboa La Noria	- 90	1789.0	8+930
Pozo La Noria 1	33.5	1879.0	9+186
Pozo La Noria 2	87.5	1845.5	9+875
Pozo La Noria 3	46	1758.0	10+514
Rebomboa Jardines del Sur	- 20	1712.0	10+530
Pozo La Noria 4	143	1732.0	10+925
Pozo La Noria 6	128.7	1589.0	10+925
Excedente Santiago Tepalca-			
tlalpan	38.1	1460.3	10+925
Excedente de San Lucas			
Xochimanca	40.1	1422.2	10+925
Excedente de San Lorenzo			
Atempaya	73.1	1382.1	10+925
Rebomboa Nativitas	- 80	1309.0	13+840
Pozo San Luis 20	92.5	1389.0	14+850
Pozo San Luis 19	52.4	1296.5	15+325
Excedente Santa Cruz Acalpix-			
ca	49.2	1244.1	15+658
Rebomboa Santa Cruz Acalpix-			
ca	- 30	1194.9	16+530
Pozo San Luis 18	103	1244.9	16+540
Pozo San Luis 17	85.4	1121.9	16+720
Pozo San Luis 16	61.2	1036.5	16+780
Excedente de San Gregorio			
Atlapulco	22.5	975.3	17+340
Pozo San Luis 13	42	952.8	17+390
Pozo San Luis 11	107	910.8	17+700
Pozo San Luis 12	87	803.8	17+780

Pozo San Luis 8	158.4	761.8	17+930
Excedente de San Luis			
Tlaxialtemalco	73.2	558.4	18+200
Pozo San Luis 9	148	485.2	18+490
Pozo San Luis 7	163	337.2	18+760
Planta de Bombeo de San Luis	174.2	174.2	21+900

TABLA 4

CADENAMIENTOS DE LOS REGISTROS CUYAS TAPAS DEBEN SELLARSE
(CONDICIONES DE OPERACION TRANSITORIAS)

ESTACION (0+000 EN XOTEPINGO)	ESTACION*	CARGA DE PRESION (m)
4+183	14+333	2.672
4+516	14+666	3.173
4+850	15+000	2.698
5+183	15+333	2.725
5+516	15+666	2.919
5+850	16+000	3.043
6+183	16+333	3.373
6+516	16+666	3.929
6+850	17+000	2.794

Nota: En este caso se incluyó este sistema de diferencia para los cadenamientos por ser el que está anotado en las chimeneas a cuyo pie se localizan los registros.

TABLA 5

POZOS, RAMALES Y REBOMBEO PARA LAS CONDICIONES FUTURAS DE OPERACION

NOMBRE	GASTO APORTADO O EXTRAIDO (l.p.s.)	GASTO ACUMULA- DO (l.p.s.)	ESTACION DE LA CONEXION
Ramal Emiliano Zapata	420	2040.8	4+210
Rebomdeo Garza de Huipilco	- 30	1620.8	4+516
Ramal Xochimilco	325	1650.8	5+240
Rebomdeo La Noria	- 90	1325.8	8+930
Rebomdeo Jardines del Sur	- 20	1415.8	10+530
Pozo La Noria 4	143	1435.8	10+925
Pozo La Noria 6	128.7	1292.8	10+925
Rebomdeo Nativitas	- 80	1164.1	13+840
Pozo San Luis 20	92.5	1244.1	14+350
Pozo San Luis 19	52.4	1151.6	15+325
Rebomdeo Santa Cruz Acapulca	- 30	1099.2	16+530
Pozo San Luis 18	103	1129.2	16+540
Pozo San Luis 17	85.4	1026.2	16+720
Pozo San Luis 16	61.2	940.8	16+780
Pozo San Luis 13	42	879.6	17+390
Pozo San Luis 11	107	837.6	17+700
Pozo San Luis 12	87	730.6	17+780
Pozo San Luis 8	158.4	643.6	17+930
Pozo San Luis 9	148	485.2	18+490
Pozo San Luis 7	163	337.2	18+760
Planta de Rebomdeo San Luis	174.2	174.2	21+900

TABLA 6

POZOS Y EXCEDENTES CUYO GASTO SERA CONDUCIDO POR EL ACUEDUCTO DE
PROYECTO EN CONDICIONES NORMALES

NOMBRE	GASTO APORTADO O EXTRAIDO (l.p.s.)	GASTO ACUMULA- DO (l.p.s.)	ESTACION DE LA CONEXION
Pozo Periférico 1	60	954.6	1+530
Pozo Periférico 3	109	894.6	3+040
Pozo Emiliano Zapata	65	785.6	4+130
Pozo Periférico 8	50	720.6	6+820
Pozo Periférico 9	127.3	670.6	7+732
Excedente Tepepan	80	543.3	8+213
Pozo La Noria 1	33.5	463.3	9+186
Pozo La Noria 2	87.5	429.8	9+875
Pozo La Noria 3	46	242.3	10+514
Excedente Santiago Tepalca- tlaipan	38.1	296.3	10+925
Excedente San Lucas Xochi- manca	40.1	258.1	10+925
Excedente San Lorenzo Atempaya	73.1	218.1	10+925
Excedente Santa Cruz Acalpixca	49.2	144.9	15+658
Excedente San Gregoria Atlapul- co	22.1	95.7	17+340
Excedente San Luis Tlaxialte- malco	73.2	73.2	18+200

C A P I T U L O 2

2. REVISION HIDRAULICA

2.1 Memoria de cálculo.

MEMORIA DE CALCULO

La revisión del acueducto viejo Xochimilco-Xotepingo implicó el cálculo de los perfiles de flujo para las cinco condiciones de operación mencionadas en la memoria descriptiva. Para tal efecto, fue necesario en principio efectuar un estudio de la sección transversal ovoide del quinto tramo (ver fig. 1) con el objeto de obtener las relaciones geométricas área-tirante, perímetro mojado-tirante, radio hidráulico-tirante y ancho de la superficie libre-tirante, así como las relaciones hidráulicas que determinan las condiciones de escurrimiento normal y crítico, esto es:

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{S_0^{1/2}} \text{ para escurrimiento normal}$$

$$\frac{A^3}{B} = \frac{Q^2}{g} \text{ para escurrimiento crítico}$$

donde:

A área hidráulica, en m^2

B ancho de la superficie libre, en m

g aceleración de la gravedad, en m/s^2

n coeficiente de rugosidad de Manning

Q gasto, en m^3/s

R radio hidráulico, en m

S_0 pendiente de la plantilla

Se requería hacer lo anterior, debido a que no se tenían antecedentes sobre las propiedades de la sección ovoide y principalmente para poder definir las posibles secciones de control sobre

el quinto tramo de acueducto para las diferentes condiciones de operación consideradas.

De acuerdo a lo anterior y mediante consideraciones de tipo geométrico, se obtuvieron las relaciones siguientes:

$$A = f_1(y)$$

$$P = f_2(y)$$

$$R = f_3(y)$$

$$B = f_4(y)$$

$$AR^{2/3} = f_5(y)$$

$$A^3 / B = f_6(y)$$

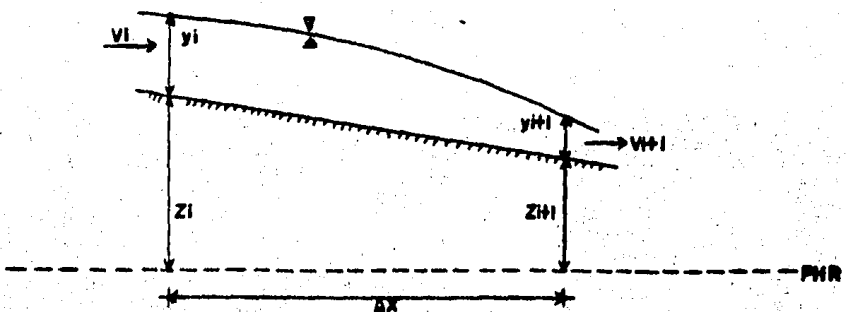
donde: P perímetro mojado, en m

y tirante, en m

$f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, y f_6$ funciones del tirante

Con base en esto se desarrolló un programa de computadora para obtener las gráficas de las relaciones anteriores, mismas que se muestran en las figuras 2 a 7.

Por otra parte el escurrimiento por analizar en el acueducto corresponde a un flujo permanente a superficie libre, susceptible de convertirse en un flujo a presión en ciertas secciones. Así que para el cálculo de los perfiles de flujo se aplicó la ecuación de la energía por incrementos finitos de longitud Δx , es decir, haciendo referencia a la figura siguiente:



$$Z_i + Y_i + \frac{v_{i+1}^2}{2g} = Z_{i+1} + Y_{i+1} + \frac{v_{i+1}^2}{2g} + S_f \Delta x \dots (1)$$

donde: Z_i , cota de la plantilla de la sección i , en m

Y_i , tirante o carga de presión medida desde la plantilla en la sección i , en m

v_i , velocidad de flujo en la sección i , en m/s

S_f , pendiente de fricción media entre las secciones i e $i+1$

Δx , intervalo de longitud, en m

Dado que $V = Q/A$ y que

$$S_f = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{Qn}{A_i R_i^{2/3}} \right)^2 + \left(\frac{Qn}{A_{i+1} R_{i+1}^{2/3}} \right)^2 \right], \text{ si se usa la fórmula de fricción de Manning, la ecuación (1) puede escribirse como :}$$

ción de Manning, la ecuación (1) puede escribirse como :

$$Z_i + Y_i + \frac{Q^2}{2g A_i^2} - \frac{\Delta x}{2} \left(\frac{Qn}{A_i R_i^{2/3}} \right)^2 = Z_{i+1} + Y_{i+1} + \frac{Q^2}{2g A_{i+1}^2} + \frac{\Delta x}{2} \left(\frac{Qn}{A_{i+1} R_{i+1}^{2/3}} \right)^2 \dots (2)$$

La ecuación (2) es válida tanto para escurrimiento a superficie libre como a presión con la única salvedad de que:

$$\left. \begin{array}{l} A=A_0 \\ R=R_0 \end{array} \right\} \text{ para } Y \geq Y_T$$

donde: A_0 área para tubo lleno, en m^2

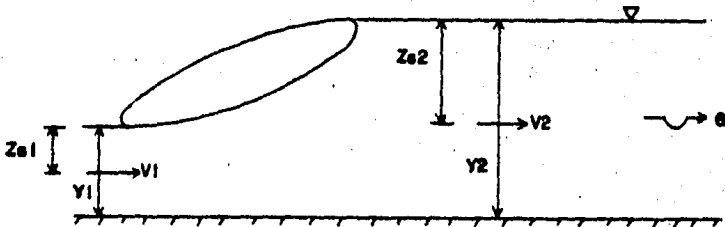
R_0 radio hidráulico para tubo lleno, en m

Y_T máximo tirante, en m

Cuando el flujo se desarrolla a presión.

Por otro lado en los perfiles de flujo correspondientes a conducciones con cambios de pendiente, como es el caso del acueducto viejo (ver plano AP-X-C-AXX-P6.-1), es factible que se presenten saltos hidráulicos. De donde fue necesario hacer uso también de la ecuación (referida a la figura siguiente) de conservación de la can-

tividad de movimiento.



$$Z_{G1}A_1 + \frac{Q^2}{g A_1} = Z_{G2}A_2 + \frac{Q^2}{g A_2} \quad (3)$$

donde: Z_{G1} , Z_{G2} , profundidades del centro de gravedad de las secciones 1 y 2

Y_1 , Y_2 tirantes conjugados menor y mayor. De donde, llamando función momentum a:

$$M = Z_G A + \frac{Q^2}{g A}$$

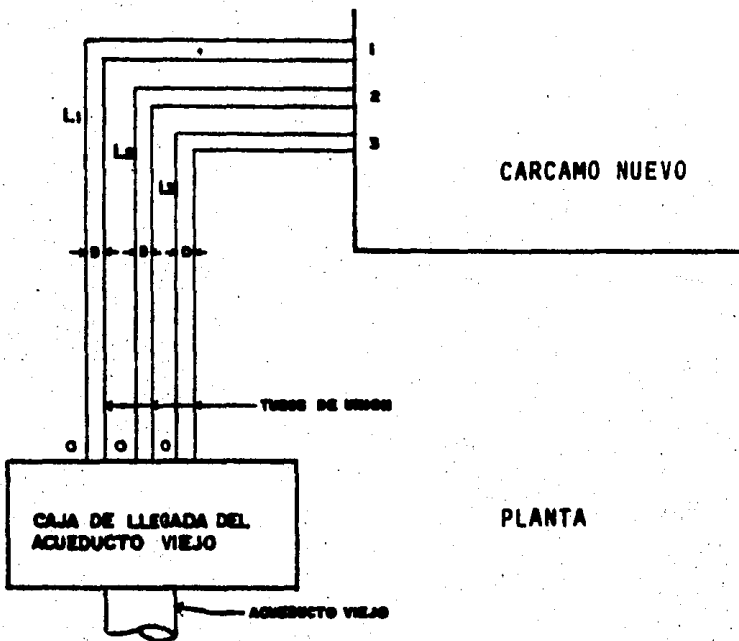
la ecuación (3) representa la igualdad de las funciones momentum aguas abajo y aguas arriba de un salto hidráulico.

Ahora bien es necesario mencionar que la ecuación (2) se aplica en dirección aguas arriba (Y_{i+1} conocido, Y_i desconocido) si el flujo es subcrítico y en dirección aguas abajo (Y_i conocido Y_{i+1} desconocido) si el flujo es supercrítico.

De acuerdo con la teoría presentada se desarrolló un programa de computadora para cálculo de perfiles de flujo, con opciones de funcionamiento en escurrimientos subcrítico y supercrítico, que además incluyera el cálculo de la función momentum en cada sección para evaluar la ocurrencia de saltos hidráulicos.

Sin embargo vale la pena mencionar que los valores que adquiere la pendiente a lo largo del acueducto son pequeños por lo que se presumió que en la mayor parte de su longitud el escurrimiento resultaría subcrítico. para todas las condiciones de operación consideradas.

Así que con base en lo anterior, se procedió a calcular el tirante o carga de presión inicial en el acueducto para las cinco condiciones de operación definidas en la memoria descriptiva que serviría como primera sección de control para el cálculo (en caso de que la hipótesis de flujo subcrítico pudiera ser comprobada). Para tal efecto se revisaron los informes del "Proyecto de la Rehabilitación de la planta de bombeo de Xatepingo" con el objeto de conocer la disposición de las tuberías de unión de la caja de llegada del acueducto con el cárcamo nuevo (de la plante rehabilitada). De acuerdo con esto fue posible establecer que dicha disposición es como la mostrada en el esquema siguiente:



Como puede apreciarse, la caja de llegada esta unida al cárcamo, por medio de tres tubos de acero, con diámetro $D = 48"$ (1.22m). Por otro lado, las longitudes de los mismos son:

$$L_1 = 77.50 \text{ m.}$$

$$L_2 = 70.10 \text{ m.}$$

$$L_3 = 62.65 \text{ m.}$$

Adicionalmente, cada uno de ellos un codo de 90° .

Dado que se deseaba que este cálculo sirviera de base al del perfil de flujo, un procedimiento conservador indicaría tomar coeficientes de pérdida grandes.

De acuerdo con lo anterior y con las recomendaciones del capítulo 8 del libro "Hidráulica General" (vol. I) del Ing. Gilberto Sotelo A., se seleccionó una rugosidad absoluta de $\epsilon = 0.7\text{mm}$. para los tubos en cuestión. De donde, la rugosidad relativa correspondiente resultó ser:

$$\epsilon/D = 0.0007/(1.22) = 0.0006$$

Al entrar con este valor al diagrama universal de Moody, para flujo totalmente turbulento, se obtiene un valor del coeficiente de Fanning, de:

$$f = 0.017$$

Por otra parte, considerando un tubo reentrante, el coeficiente de pérdida por entrada máxima es de:

$$K_e = 1$$

Y el de codo:

$$K_c = 1.23$$

Así que, tomando adicionalmente (en plan conservador) una pérdida por salida con coeficiente $K_s = 1$, se puede plantear la ecuación de la energía entre los puntos "0" (caja de llegada) y 1, 2, 3 (conexión de cada tubo al cárcamo), esto es:

$$H_0 = H_1 + \frac{8 Q_1^2}{g\pi^2 D^4} \left(f \frac{L_1}{D} + K_e + K_c + K_s \right)$$

$$H_0 = H_2 + \frac{8 Q_2^2}{g\pi^2 D^4} \left(f \frac{L_2}{D} + K_e + K_c + K_s \right)$$

$$H_0 = H_3 + \frac{8 Q_3^2}{g\pi^2 D^4} \left(f \frac{L_3}{D} + K_e + K_c + K_s \right)$$

Pero además $H_1 = H_2 = H_3 = H$, de donde, si $\Delta H = H_0 - H$, las ecuaciones anteriores se pueden escribir como:

$$\Delta H = CQ_1^2 \left(fL_1/D + \Sigma K \right)$$

$$\Delta H = CQ_2^2 \left(fL_2/D + \Sigma K \right)$$

$$\Delta H = CQ_3^2 \left(fL_3/D + \Sigma K \right)$$

siendo H_0 , cota de la superficie libre del agua (SLA) en la caja de llegada

H , cota de la SLA en el cárcamo

Q_1, Q_2, Q_3 , gastos circundantes por los tubos

$$C = \frac{8}{g \cdot 20^4}$$

$$\Sigma K = K_e + K_c + K_s$$

De donde:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H}{C(fL_1/D + \Sigma K)}}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{H}{C(fL_2/D + \Sigma K)}}$$

$$Q_3 = \sqrt{\frac{H}{C(fL_3/D + \Sigma K)}}$$

Por otra parte, el principio de continuidad establece que

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

donde Q , gasto total (igual al caudal del acueducto) por lo que:

$$\frac{\sqrt{\Delta H}}{C} \left[\frac{1}{(fL_1/D + \Sigma K)^{1/2}} + \frac{1}{(fL_2/D + \Sigma K)^{1/2}} + \frac{1}{(fL_3/D + \Sigma K)^{1/2}} \right] = Q$$

esto es:

$$Q = C^1 \sqrt{\Delta H}$$

siendo

$$C^1 = \frac{1}{\sqrt{C}} \left[\frac{1}{(fL_1/D + \Sigma K)^{1/2}} + \frac{1}{(fL_2/D + \Sigma K)^{1/2}} + \frac{1}{(fL_3/D + \Sigma K)^{1/2}} \right]$$

$$\delta \Delta H = C^{11} Q, \text{ siendo } C^{11} = (1/C^1)^2$$

Entonces sustituyendo los valores antes referidos se tiene que

$$C = \frac{8}{(9.81)^2 (1.2192)^4} = 0.0374$$

$$C^1 = \frac{1}{\sqrt{0.0374}} \left[\frac{1}{\left[\frac{0.017(77.50)}{1.2192} + 3.25 \right]^{1/2}} + \frac{1}{\left[\frac{0.017(70.10)}{1.2192} + 3.23 \right]^{1/2}} + \frac{1}{\left[\frac{0.017(2.65)}{1.2192} + 3.23 \right]^{1/2}} \right]$$

$$C^1 = 7.5645$$

$$C^{11} = \left(\frac{1}{7.5645} \right)^2 = 0.01748$$

de donde:

$$H = 0.01748 Q^2$$

Se conoce que la cota de la superficie libre del cárcamo que corresponde a la situación más conservadora (Nivel de Aguas Máximo) es de $H = 2241.415\text{m}$. Por lo que, de acuerdo con lo anterior la cota del agua en la caja de llegada será:

$$H_0 = 2241.415 + 0.01748 Q^2$$

Y sabiendo además que la cota de la plantilla de la sección de llegada del acueducto es de $Z_0 = 2238.894\text{m}$, entonces el tirante o carga de presión en esa sección será:

$$Y_0 = H_0 - Z_0 = 2.521 + 0.01748 Q^2$$

Aplicando la expresión anterior y haciendo uso de los gastos de llegada relativos a las cinco condiciones de operación analizadas, se obtuvieron los tirantes o cargas de presión (si $Y_0 > 1.90\text{m}$) respectivos, mismos que se han anotado en la tabla siguiente:

CONDICION	GASTO DE LLEGADA (m^3/s)	CARGA DE PRESION DE LLEGADA (m.)*
1 ^a ACTUAL	2.429	2.624
2 ^a $Q = 2 m^3/s$	2.000	2.591
3 ^a $Q = 1.5 m^3/s$	1.500	2.560
4 ^a TRANSITORIA	2.995	2.678
5 ^a FUTURA	2.041	2.594

* Medida desde la plantilla

Puede observarse que en las cinco condiciones de operación consideradas la primera sección del acueducto trabaja a presión. Al funcionar el tubo lleno, es evidente que el flujo de llegada será subcrítico.

Por otra parte, en colaboración con el personal de la D.G.C.O.H., se efectuaron una serie de aforos, en distintas secciones del acueducto, los cuales permitieron determinar un coeficiente de rugosidad de Manning promedio para la conducción, que resultó ser $n = 0.014$.

Posteriormente se definieron una serie de "nudos" sobre el perfil del acueducto ubicándolos de acuerdo con los siguientes criterios.

- Donde hubiera un cambio sensible de pendiente
- Donde existiera una conexión (ramal pozo o rebombeo)

El sentido de la numeración fue congruente con el de los cadenamientos (inverso al flujo) y se seleccionó como nudo 1 la sección de llegada a la caja antes mencionada. Lo anterior hizo posible la definición de tramos entre los nudos cuyas características se anotan en la tabla siguiente:

TRAMO	COTA INICIAL (m)	NUM. SECC.	LONG. (m)	ESTACION INICIAL (Km)	TIRANTE O CARGA DE PRESION (m)			
					ACTUAL	2m ³ /s	1.5m ³ /s	FUTURA
1-2	2239.694	9	419	0+519	1.989*	1.903*	1.823	1.910*
2-3	2239.794	7	325	0+844	2.017*	1.888	1.766	1.901*
3-4	2240.594	7	336	1+180	1.347	1.182	1.022	1.199
P 4-5	2239.994	8	350	1+530	2.087*	1.890	1.022	1.909*
5-6	2239.794	3	105	1+635	2.326*	2.118*	1.141	2.138*
6-7	2240.144	3	105	1+740	2.016*	1.796	0.805	1.818
7-8	2240.269	3	103	1+843	1.929*	1.695	0.763	1.718
8-9	2240.544	4	145	1+988	1.705	1.458	0.641	1.482
9-10	2240.569	3	72	2+060	1.705	1.454	0.745	1.478
10-11	2240.694	3	100	2+160	1.615	1.359	0.723	1.384
11-12	2240.694	3	108	2+268	1.654	1.394	0.841	1.420
12-13	2240.869	3	82	2+350	1.508	1.247	0.710	1.272
13-14	2240.494	5	215	2+565	1.960*	1.690	1.143	1.716
14-15	2240.719	5	280	2+845	1.832	1.537	1.005	1.565
15-16	2240.844	3	56	2+901	1.731	1.420	0.898	1.456
16-17	2240.844	3	67	2+968	1.754	1.448	0.933	1.476
17-18	2240.894	3	44	3+012	1.719	1.411	0.905	1.439
P 18-19	2240.919	3	28	3+040	1.703	1.395	0.894	1.423
19-20	2240.994	4	133	3+173	1.670	1.362	0.892	1.391
20-21	2241.094	3	50	3+223	1.586	1.279	0.811	1.308
21-22	2241.094	3	100	3+323	1.620	1.316	0.881	1.345
22-23	2241.190	3	47	3+370	1.535	1.233	0.799	1.262
23-24	2241.269	3	50	3+420	1.478	1.179	0.765	1.207
24-25	2241.194	3	52	3+472	1.571	1.276	0.899	1.304
25-26	2241.144	3	45	3+517	1.637	1.343	0.972	1.371
26-27	2241.219	3	49	3+566	1.578	1.285	0.918	1.317
27-28	2241.219	3	45	3+611	1.593	1.301	0.940	1.329
28-29	2241.144	3	54	3+665	1.685	1.395	1.039	1.423
29-30	2241.194	3	55	3+720	1.653	1.363	1.008	1.391
30-31	2241.319	3	45	3+765	1.543	1.253	0.896	1.281
31-32	2241.144	3	50	3+815	1.734	1.446	1.008	1.474
32-33	2241.219	3	35	3+850	1.670	1.382	0.947	1.410
P 33-34	2241.219	7	280	4+130	1.759	1.468	1.058	1.497
34-35	2241.219	3	60	4+190	1.776	1.485	1.078	1.514
P 35-36	2241.269	3	20	4+210	1.732	1.441	1.034	1.470
36-37	2241.494	6	237	4+447	1.554	1.294	0.908	1.294

TRAMO	COTA		NUM. SECC.	LONG. (m)	ESTACION INICIAL(Km)	TIRANTE O CARGA DE PRESION(m)			
	INICIAL(m)					ACTUAL	2m ³ /s	1.5m ³ /s	FUTURA
R 37-38	2240.844		3	69	4+516	2.218*	1.976*	1.605	1.958*
38-39	2241.169		3	122	4+638	1.920*	1.682	1.299	1.654
39-40	2241.444		3	60	4+698	1.657	1.422	1.031	1.390
40-41	2241.369		3	57	4+755	1.743	1.514	1.125	1.477
41-42	2241.444		3	95	4+850	1.687	1.466	1.078	1.421
42-43	2241.469		5	169	5+019	1.696	1.490	1.105	1.431
43-44	2241.544		5	167	5+186	1.655	1.463	1.081	1.391
P 44-45	2241.594		3	54	5+240	1.616	1.428	1.048	1.353
45-46	2241.644		3	108	5+348	1.581	1.411	1.035	1.319
46-47	2241.444		3	84	5+432	1.793	1.636	1.150	1.531
47-48	2241.494		3	50	5+432	1.750	1.599	1.114	1.487
48-49	2241.344		3	110	5+592	1.914*	1.777	1.293	1.650
49-50	2241.069		3	54	5+646	2.197*	2.065*	1.436	1.931*
50-51	2241.594		3	55	5+701	1.608	1.554	0.897	1.413
51-52	2241.394		3	100	5+801	1.893	1.780	1.154	1.625
52-53	2241.419		3	54	5+855	1.876	1.786	1.143	1.607
53-54	2241.269		4	145	6+000	2.046*	1.953*	1.328	1.773
54-55	2241.494		3	49	6+049	1.829	1.741	1.114	1.553
55-56	2241.169		4	138	6+187	2.173*	2.100*	1.236	1.893
56-57	2241.069		3	69	6+256	2.283*	2.219*	1.351	2.001
57-58	2241.119		3	100	6+356	2.248*	2.195*	1.320	1.963*
58-59	2240.894		3	45	6+401	2.479*	2.432*	1.553	2.193*
59-60	2240.719		3	54	6+455	2.662*	2.622*	1.736	2.374*
60-61	2240.719		3	60	6+515	2.617*	2.638*	1.749	2.381*
61-62	2240.594		3	43	6+558	2.802*	2.774*	1.875	2.511*
62-63	2240.519		3	53	6+611	2.285*	2.863*	1.957*	2.593*
63-64	2241.394		3	120	6+731	2.028*	2.020*	1.090	1.732
P 64-65	2241.794		3	89	6+820	1.640	1.643	0.687	1.342
65-66	2241.969		20	35	6+855	1.470	1.477	salto	1.173
66-67	2242.244		20	65	6+920	1.206	1.215	0.432	0.916
67-68	2242.669		20	51	6+971	0.800	0.737	0.540	5
68-69	2242.744		3	53	7+024	0.764	0.760	0.540	9
69-70	2242.719		3	49	7+073	0.832	0.887	0.760	
70-71	2242.869		3	50	7+123	0.696	0.765	0.630	0.505
71-72	2242.844		3	57	7+180	0.797	0.901	0.630	0.732
72-73	2242.869		5	190	7+370	0.899	1.032	0.848	0.839

	TRAMO	COTA		NUM.	LONG.	ESTACION	TIRANTE O CARGA DE PRESION(m)		
		INICIAL (m)	SECC.				(m)	INICIAL (Km)	ACTUAL 2m ³ /s
	73-74	2242.944	4	148	7+518	0.899	1.050	0.866	0.841
	74-75	2243.069	4	131	7+649	0.835	1.007	0.824	0.789
	75-76	2243.019	3	61	7+710	0.924	1.096	0.919	0.879
P	76-77	2242.969	3	22	7+732	0.983	1.158	0.929	0.933
	77-78	2242.719	3	98	7+830	1.259	1.459	1.273	1.226
OR	78-79	2242.869	3	20	7+850	1.112	1.315	1.127	1.089
	79-80	2243.169	3	50	7+900	0.804	1.012	0.818	0.719
	80-81	2243.269	3	45	7+945	0.724	0.938	0.741	0.691
	81-82	2243.319	3	55	3+080	0.727	0.934	0.746	0.690
	82-83	2243.294	3	55	8+055	0.810	1.008	0.832	0.982
	83-84	2243.169	3	65	8+120	0.810	0.184	0.832	0.195
	84-85	2242.869	3	63	8+183	1.171	1.520	1.197	1.285
	85-86	2242.494	3	56	8+239	1.557	1.910*	1.583	1.663
	86-87	2242.494	3	43	8+282	1.562	1.921*	1.590	1.672
	87-88	2242.844	3	114	8+390	1.229	1.500	1.258	1.306
	88-89	2243.194	3	54	8+450	0.872	1.257	0.901	0.987
	89-90	2243.494	3	66	8+516	0.596	0.961	0.578	0.683
	90-91	2243.544	3	108	8+624	0.743	0.943	0.763	0.742
	91-92	2243.644	3	116	8+740	0.745	0.976	0.769	0.739
	92-93	2243.669	3	50	8+790	0.762	0.988	0.787	0.749
	93-94	2243.644	3	110	8+900	0.870	1.087	0.898	0.853
R	94-95	2243.869	3	30	8+930	0.602	0.844	0.631	0.586
	95-96	2243.719	3	70	9+000	0.919	0.984	0.926	0.900
	96-97	2243.719	3	99	9+099	0.566	1.052	0.972	0.945
	97-98	2243.669	3	60	9+161	1.041	1.138	1.047	1.019
	98-99	2243.699	3	25	9+186	1.025	1.125	1.031	1.002
	99-100	2243.719	3	40	9+226	1.014	1.120	1.020	1.991
	100-101	2243.669	8	50	9+276	1.130	1.244	1.137	1.105
	101-102	2243.544	3	120	9+396	1.235	1.365	1.244	1.212
	102-103	2244.019	3	144	9+540	0.779	0.921	0.789	0.756
	103-104	2243.969	3	60	9+600	0.883	1.032	0.894	0.862
	104-105	2243.419	3	60	9+660	1.478	1.646	1.489	1.457
	105-106	2243.519	3	70	9+730	1.389	1.564	1.401	1.384
	106-107	2243.419	3	120	9+550	1.509	1.698	1.521	1.987
P	107-108	2243.419	3	25	9+875	1.512	1.702	1.525	1.490
	108-109	2243.419	3	35	9+960	1.517	1.711	1.530	1.495

TRAMO	COTA		NUM. SECC.	LONG. (m)	ESTACION INICIAL (Km)	TIRANTE O CARGA DE PRESION (m)			
	INICIAL (m)					ACTUAL	2m ³ /s	1.5m ³ /s	FUTURA
109-110	2243.869		3	121	10+031	1.079	1.286	1.095	1.088
110-111	2243.994		3	58	10+089	0.971	1.183	0.989	0.952
111-112	2244.069		3	94	10+138	0.930	1.151	0.953	0.908
112-113	2244.044		3	65	10+248	0.980	1.206	1.006	0.969
P113-114	2244.169		5	266	10+514	0.950	1.195	0.985	0.945
114-115	2244.169		3	2	10+516	0.951	1.196	0.986	0.949
R115-116	2244.169		3	14	10+530	0.956	1.202	0.992	0.954
116-117	2244.144		3	17	10+547	0.987	1.234	1.023	0.986
117-118	2244.244		3	118	10+665	0.927	1.183	0.968	0.932
118-119	2244.244		3	120	10+785	0.973	1.235	1.018	0.982
119-120	2244.319		3	65	10+850	0.921	1.187	0.968	0.933
120-121	2244.369		3	40	10+890	0.887	1.155	0.895	0.981
PPR121-122	2244.419		3	35	10+925	0.853	1.122	0.902	0.835
R122-123	By-Pass		2	2915	13+840	-	-	-	-
P123-124	By-Pass		2	510	14+350	-	-	-	-
P124-125	By-Pass		2	975	15+325	-	-	-	-
125-126	2248.086		2	50	15+375	0.535	0.754	0.631	0.549
126-127	2248.203		20	165	15+540	0.769	1.090	0.924	0.783
127-128	2248.300		3	136	15+676	0.822	1.204	0.998	0.836
128-129	Sifón		2	54	15+730	-	-	-	-
129-130	2249.400		2	636	16+366	0.535	0.254	0.831	0.549
P130-131	2249.524		20	164	16+530	0.764	1.083	0.917	0.995
P131-132	2249.532		3	10	16+540	0.769	1.091	0.923	0.790
132-133	2249.600		3	90	16+630	0.790	1.161	0.971	0.893
133-134	2249.625		3	10	16+640	0.775	1.150	0.957	0.887
P134-135	2249.691		3	80	16+720	0.788	1.198	0.986	0.890
P135-136	2249.749		3	60	16+780	0.785	1.229	1.004	0.799
136-137	2249.770		3	36	16+816	0.780	1.247	1.012	0.794
137-138	2249.800		3	54	16+870	0.788	1.287	1.038	0.803
138-139	2250.070		10	426	17+296	0.802	1.629*	1.148	0.819
+R139-140	2250.080		3	4	17+300	0.794	1.625*	1.141	0.811
140-141	2250.170		3	36	17+336	0.722	1.589*	1.082	0.758
141-142	2250.157		3	54	17+390	0.756	1.653*	1.113	0.768
142-143	2250.200		3	40	17+430	0.773	1.700*	1.134	0.783
143-144	2250.220		3	76	17+506	0.805	1.793*	1.176	0.813
P144-145	2250.338		4	194	17+700	0.807	1.966*	1.208	0.813
145-146	2250.350		3	20	17+720	0.804	1.984*	1.211	0.810

TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	TIRANTE O CARGA DE PRESTION (m)			
					INICIAL (m)	SECC.	(m)	INICIAL (Km)
145-146	2250.350	3	20	17+720	0.804	1.984*	1.211	0.810
146-147	2250.400	3	6	17+726	0.757	1.943*	1.176	0.763
P147-148	2250.497	3	54	17+780	0.694	1.926*	1.112	0.699
148-149	2250.670	3	96	17+876	0.580	1.897*	1.025	0.583
P149-150	2250.695	3	54	17+930	0.612	1.953*	1.054	0.614
+150-151	2250.820	6	276	18+206	0.626	2.241*	1.171	0.627
151-152	2249.570	3	100	18+306	1.615*	3.340*	2.215*	1.616
152-153	2250.870	3	50	18+356	0.603	2.415*	1.257	0.604
153-154	2250.970	3	50	18+406	0.526	2.390*	1.194	0.527
P154-155	2250.970	3	84	18+490	0.846	2.768*	1.522	0.847
155-156	2250.670	3	16	18+506	0.895	2.840*	1.574*	0.896
156-157	2250.820	5	200	18+706	0.763	2.989*	1.602*	0.764
P157-158	2251.063	3	54	18+760	0.523	2.827*	1.404*	0.524
158-159	2251.270	3	46	18+806	0.316	2.689*	1.234	0.317
159-160	2251.370	6	250	19+056	0.367	2.963*	1.317	0.367
160-161	2251.620	5	200	19+256	0.286	3.012*	1.213	0.283
161-162	2252.120	3	50	19+306	0.206	2.587*	0.631	0.206
162-163	2252.370	7	300	19+606	0.318	2.786	1.000	0.318
163-164	2252.570	8	350	19+956	0.346	3.109*	1.132	0.346
164-165	2252.720	3	50	20+006	0.236	3.024*	1.019	0.236
165-166	2252.820	5	200	20+206	0.350	3.233*	1.110	0.350
166-167	2253.070	6	250	20+456	0.303	3.357*	1.080	0.303
167-168	2253.320	4	150	20+606	0.266	3.332*	0.978	0.266
168-169	2253.320	4	150	20+756	0.395	3.556*	1.135	0.395
169-170	2253.570	12	550	21+306	0.370	4.129*	1.303	0.370
170-171	2253.720	3	90	21+396	0.280	4.114*	1.219	0.280
171-172	2253.670	3	40	21+936	0.381	4.224*	1.298	0.381
172-173	2253.920	15	190	21+626	0.273	4.258*	1.189	0.287
173-174	2254.220	5	200	21+826	0.273	4.258*	1.055	0.273
P174-175	2254.070	3	74	21+900	0.490	4.519*	1.055	0.490

NOTAS: -P significa pozo, ramal o planta de bombeo (aporte de gasto)

-R significa rebombeo (extracción de gasto)

-La cota, (segunda columna) y la estación (quinta columna) se refieren al nudo inicial en el sentido del flujo.

-Los números marcados con asterisco (*) en las últimas columnas

implican flujo a tubo lleno.

Según puede observarse en la tabla anterior aparece un resumen de los perfiles de flujo correspondientes a las 1ª, 2ª, 3ª y 5ª condiciones de operación consideradas. Esto se obtuvo de los resultados completos del programa de cómputo antes referido (anexos a esta memoria). De hecho aparecen los valores de tirante o carga de presión en los nudos definidos sobre el acueducto, sin embargo, el método de incrementos finitos para resolver la ecuación de la energía se aplicó definiendo secciones sobre los tramos de tal manera que el valor máximo del incremento de longitud utilizado fuese de aproximadamente 50m.

Por otra parte, en cierto nudos se detectó, la presencia de saltos hidráulicos, tal como se ha anotado en la tabla. Asimismo, no se incluyen los valores de la carga de presión en el By-pass, ni en el sifón, ya que fue posible comprobar que no tenían influencias sobre el flujo teniéndose un control (tirante crítico) al inicio de ellos, según se mostrará después.

Las hojas de los resultados completos del programa de cómputo para todas las condiciones de operación consideradas se han anexado a esta memoria.

En la tabla anterior no se ha incluido el resumen de resultados del perfil de flujo de la cuarta condición de operación (transitoria) ya que esta incluye más aportaciones de gasto que la primera (actual), lo cual hizo necesario definir más nudos (esto no se requirió en la 2ª y 3ª condiciones por tratarse de caudales constantes, ni en la 5ª ya que esta incluye sólo aportaciones y extracciones contempladas en la 1ª), eliminando los referentes a los rebombos cancelados. De acuerdo con lo anterior, la tabla siguiente incluye dicho resumen, y se le aplican las mismas observaciones, comentarios y notas que a la tabla precedente.

TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.O.C.	TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.O.C.	
	INICIAL (m)	SECC.	(m)	INICIAL (Km)	DE P (m)		INICIAL (m)	SECC.	(m)	INICIAL (Km)	DE P (m)	
	4-2	2239.614	9	419	0+519	2.129	29-30	2241.194	3	55	3+720	2.451*
	2-3	2239.794	7	325	0+844	2.223*	30-31	2241.319	3	45	3+765	2.350*
	3-4	2240.594	7	336	1+180	1.418	31-32	2241.166	3	50	3+815	2.552*
P	4-5	2239.994	8	350	1+530	2.421*	32-33	2241.219	3	35	3+850	2.496*
	5-6	2239.794	3	105	1+635	2.681*	P33-34	2241.219	7	250	4+130	2.145*
	6-7	2240.144	3	105	1+740	2.392*	34-35	2241.219	3	60	4+190	2.676*
	7-8	2240.669	3	103	1+843	1.926*	P35-36	2241.269	3	20	4+210	2.636*
	8-9	2240.544	4	145	1+988	2.134*	36-37	2241.494	6	237	4+447	2.498*
	9-10	2240.569	3	72	2+060	2.151*	P37-38	2240.844	3	69	4+516	3.173*
	10-11	2240.694	3	100	2+160	2.053*	38-39	2241.169	3	122	4+635	2.894*
	11-12	2240.694	3	108	2+208	2.145*	39-40	2241.474	3	60	4+698	2.641*
	12-13	2240.867	3	82	2+350	2.017*	40-41	2241.369	3	57	4+755	2.739*
	13-14	2240.494	5	215	2+565	2.516*	41-42	2241.444	3	95	4+850	2.698*
	14-15	2240.719	5	280	2+845	2.452*	42-43	2241.469	5	169	5+019	2.737*
	15-16	2240.844	3	56	2+901	2.359*	43-44	2241.544	5	67	5+180	2.249*
	16-17	2240.844	3	67	2+968	2.317*	44-45	2241.514	3	54	5+340	2.690*
	17-18	2240.894	3	44	3+012	2.373*	45-46	2241.144	3	68	5+348	2.754*
P	18-19	2240.919	3	28	3+040	2.364*	46-47	2241.149	3	56	5+420	2.765*
	19-20	2240.994	4	133	3+173	2.360*	47-48	2241.494	3	50	5+482	2.863*
	20-21	2241.094	3	50	3+223	2.294*	48-49	2241.344	3	110	5+592	3.043*
	21-22	2241.094	3	100	3+323	2.340*	49-50	2241.059	3	54	5+646	3.633*
	22-23	2241.194	6	47	3+370	2.265*	50-51	2241.594	3	55	5+701	2.824*
	23-24	2241.264	3	50	3+420	2.216*	51-52	2241.394	3	100	5+801	3.052*
	24-25	2241.184	5	52	3+472	2.319*	52-53	2241.419	3	54	5+855	3.042*
	25-26	2241.144	3	45	3+517	2.393*	53-54	2241.269	4	145	6+000	3.232*
	26-27	2241.219	3	49	3+566	2.344*	54-55	2241.494	3	47	6+049	3.021*
	27-28	2241.219	3	45	3+611	2.363*	55-56	2241.169	4	138	6+187	3.384*
	28-29	2241.144	3	54	3+655	2.472*	56-57	2241.069	3	69	6+256	3.504*

TRAMO	COTA INICIAL (m)	NUM. SECC.	LONG. (m)	ESTACION INICIAL (Km)	T.OC. DE P(m)	TRAMO	COTA INICIAL (m)	NUM. SECC.	LONG. (m)	ESTACION INICIAL (Km)	T.OC. DE P(m)
57-58	2241.119	3	103	6+356	3.482*	85-86	2242.994	3	261	8+231	2.851*
58-59	2240.894	3	45	6+401	3.719*	86-87	2242.494	3	43	8+282	2.600*
59-60	2240.719	3	54	6+455	3.904*	87-88	2242.844	3	114	8+396	2.274*
60-61	2240.719	3	60	6+515	3.926*	88-89	2243.164	3	54	8+450	1.936*
61-62	2240.594	3	43	6+568	4.068*	89-90	2243.491	3	66	8+516	1.649*
62-63	2240.591	3	53	6+611	4.153*	90-91	2243.544	3	105	8+624	1.621*
63-64	2241.319	3	120	6+731	3.311*	91-92	2243.241	3	116	8+740	1.545*
64-65	2241.794	3	59	6+820	2.936*	92-93	2243.669	3	50	8+790	1.531
65-66	2241.969	3	35	6+855	2.774*	93-94	2243.664	3	110	8+900	1.580
66-67	2242.244	3	65	6+920	2.513*	R94-95	2243.869	3	30	8+930	1.361
67-68	2242.669	3	51	6+971	2.101*	95-96	2243.719	3	70	9+000	1.530
68-69	2242.741	3	53	7+024	2.049*	96-97	2243.791	3	99	9+049	1.554
69-70	2242.719	3	49	7+073	2.079*	97-98	2243.669	3	62	9+161	1.619
70-71	2242.869	3	50	7+123	1.742*	98-99	2243.694	3	25	9+136	1.599
71-72	2242.544	3	57	7+180	1.982*	99-100	2243.719	3	40	9+226	1.583
72-73	2242.869	5	140	7+730	2.007*	100-101	2243.619	3	50	9+276	1.694
73-74	2242.994	4	184	7+581	1.972*	101-102	2243.544	3	120	9+396	1.794
74-75	2242.069	4	131	7+649	1.881*	102-103	2243.019	3	144	9+540	1.350
75-76	2243.019	3	60	7+710	1.947*	103-104	2243.969	3	60	9+600	1.416
76-77	2242.969	3	22	7+732	2.253*	104-105	2243.491	3	60	9+660	1.981*
77-78	2242.711	3	92	7+830	2.236*	105-106	2243.519	3	70	9+703	1.896
78-79	2242.169	3	70	7+900	1.842	106-107	2243.419	3	120	9+850	2.023*
79-80	2243.269	5	45	7+945	1.752	P107-108	2243.419	3	25	9+875	2.029*
80-81	2243.319	3	55	8+000	1.713	108-109	2243.419	3	35	9+910	2.036*
81-82	2243.249	3	55	8+055	1.750	109-110	2243.869	3	121	10+031	1.672
82-83	2243.169	3	65	8+120	1.889	110-111	2243.994	3	58	10+089	1.497
83-84	2243.869	3	63	8+133	2.203*	111-112	2243.069	3	94	10+183	1.442
84-85	2243.668	3	30	8+213	2.411*	112-113	2243.044	3	65	10+249	1.482

TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.OC.	TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.OC.
	INICIAL(m)	SECC.	(m)	INICIAL(Km)	DE P(m)		INICIAL(m)	SECC.	(m)	INICIAL(Km)	DEP(m)
P113-114	2244.169	5	266	10+514	1.417	141-142	2250.187	3	50	17+390	0.816P
114-115	2244.169	3	2	10+516	1.417	142-143	2250.200	3	40	17+430	0.831
R115-116	2244.169	3	14	10+530	1.421	143-144	2250.220	3	76	17+506	0.860
116-117	2244.144	3	17	10+547	1.448	144-145	2250.338	4	197	17+700	0.859P
117-118	2244.244	3	118	10+655	1.366	145-146	2250.350	3	20	17+720	0.850
118-119	2244.244	3	120	10+785	1.384	146-147	2250.400	3	6	17+726	0.809
119-120	2244.319	3	65	10+850	1.319	147-148	2250.497	3	54	17+780	0.745P
120-121	2244.369	3	40	10+890	1.276	148-149	2250.670	3	96	17+876	0.628
PPPPP121-122	2244.419	3	35	10+925	1.233	149-150	2250.695	3	54	17+930	0.657P
R122-123	By-pass	2	2915	13+840	-	150-151	2250.817	6	270	18+200	0.675
P123-124	By-pass	2	510	14+350	-	151-152	2250.807	3	106	18+306	0.662
P124-125	By-pass	2	975	15+325	-	152-153	2250.870	3	50	18+356	0.681
125-126	2248.086	2	50	15+375	0.576	153-154	2250.900	3	50	18+406	0.593
126-127	2248.203	20	165	15+540	0.835	154-155	2250.718	3	84	18+490	0.893
P127-128	2248.210	3	18	15+658	0.844	155-156	2250.670	3	16	18+506	0.942
128-129	2248.300	3	118	15+676	0.884	156-157	2250.820	5	200	18+706	0.807
129-130	Sifón	2	54	15+730	-	157-158	2251.063	3	54	18+760	0.567
130-131	2249.400	2	636	16+366	0.562	158-159	2251.270	3	46	18+806	0.362
R131-132	2249.542	20	164	16+503	0.812	159-160	2251.370	6	250	19+056	0.375
P132-133	2249.532	3	10	16+540	0.817	160-161	2251.620	5	200	19+256	0.287
133-134	2249.625	3	100	16+640	0.829	161-162	2252.120	3	50	19+306	0.206
134-135	2249.691	3	80	16+720	0.844P	162-163	2252.370	7	300	19+606	0.318
135-136	2249.740	3	60	16+780	0.845P	163-164	2252.570	8	350	19+956	0.361
136-137	2249.770	3	36	16+816	0.841	164-165	2252.720	3	50	20+006	0.236
137-138	2249.800	3	54	16+870	0.831	165-166	2252.820	5	200	20+206	0.350
138-139	2250.070	10	226	17+296	0.853	166-167	2253.070	6	250	20+456	0.303
139-140	2250.130	3	36	17+316	0.783	167-168	2253.302	4	250	20+606	0.266
140-141	2250.171	3	4	17+340	0.791P	168-169	2253.328	4	150	20+756	0.395

TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.OC.	TRAMO	COTA	NUM.	LONG.	ESTACION	T.OC.
	INICIAL(m)	SECC.	(m)	INICIAL(Km)	DE P(m)		INICIAL(m)	SECC.	(m)	INICIAL(Km)	DE P(m)
169-170	2253.570	12	550	21+360	0.370	170-171	2253.660	3	90	21+396	0.280
171-172	2253.670	3	40	21+436	0.381	172-173	2253.920	5	190	21+626	0.283
173-174	2254.220	5	200	21+826	0.273	174-175	2254.070	3	74	21+900	0.491

A continuación se revisa el funcionamiento del By-pass en las distintas condiciones de operación.

Debido al perfil topográfico que posee, es de suponerse que el By-pass funciona a tubo lleno (como sifón invertido). Por tanto, la ecuación de la energía establece que:

$$Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \frac{V^2}{2g}$$

donde, Z_1 elevación a la entrada del By-pass, en m

Y_1 y Y_2 tirante a la entrada y a la salida del By-pass, en m

$V_1^2/2g$ carga de velocidad a la entrada del By-pass, en m

Z_2 elevación a la salida del By-pass, en m

$V_2^2/2g$, carga de velocidad a la salida del By-pass, en m

f factor de fricción de fanning

L longitud del By-pass, en m

D diámetro del By-pass, en m

ΣK suma de factores de pérdida local

$V^2/2g$ carga de velocidad a tubo lleno, en m

Se sabe que: $Z_1 = 2248.086$ m

$Z_2 = 2244.419$ m

$L = 4450$ m

$D = 1.83$ m

Por otro lado, los coeficientes de pérdida local son:

Entrada $K_e = 0.50$

Dos codos de 90° $2K_{c90} = 2(0.2) = 0.40$

Tres codos de 45° $2K_{c45} = 3(0.34) = 1.02$

$\Sigma K = 0.50 + 0.40 + 1.02 = 1.92$

El material del tubo es acero, de donde, si $E = 0.5$ mm

$E/D = 0.5 \times 10^{-3} / 1.88 = 0.0027$

De donde, para flujo turbulento: $F = 0.015$

Así que el coeficiente de pérdida por fricción será:

$$f \frac{L}{D} = \frac{0.015(4450)}{1.83} = 36.48.$$

Por otro lado,

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{8Q^2}{9.8m^2(1.83)^4} = 0.0074Q^2$$

Así que:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -3.667 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + 0.27 Q^2$$

Aplicando la fórmula anterior, se calcularon los valores de la energía específica requerida $Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$ para las condiciones $Q=1.5m^3/seg$ y

$Q=2m^3/seg$

Para $Q=1.5m^3/seg$, $Y_2=0.902m$, $V_2 = 1.007 m/s$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -3667 + 0.902 + \frac{(1.007)^2}{19.62} + 0.27(1.5)^2$$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -2.106 < 0$$

Para $Q = 2m^3/s$, $Y_2 = 1.22 m$, $V_2 = 1.055 m/s$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -3667 + 1.22 + \frac{(1.055)^2}{19.62} + 0.2 + (2)^2$$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -1.408m < 0$$

Puede observarse que ambos resultados fueron negativos. Por otro lado, en el tramo (By-pass) en las restantes condiciones de operación los gastos manejados son menores que $1.5 m^3/seg$ de donde la observación de la ecuación anterior, la energía específica resultante $Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$ también será negativa (al ser $Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$ y Q^2 funciones crecientes del gasto) como interpretación física de este resultado se tiene que el solo desnivel es sumamente grande, por lo que el tubo no se llena, presentándose el tirante crítico, a la entrada del By-pass en todas las condiciones de operación.

En el caso del sifón, se aplica la misma ecuación, variando solo los

datos.

$$\text{Elevaciones: } Z_1 = 2249.400 \text{ m}$$

$$Z_2 = 2248.300 \text{ m}$$

$$\text{Longitud: } L = 690 \text{ m}$$

$$\text{Tubería tres conductos con } D = 0.914 \text{ m}$$

$$\text{Gasto por conducto } Q_c = Q/3$$

$$\text{Material acero liso } E = 0.1 \text{ mm, } \epsilon/D = 0.0001$$

$$\text{Factor de fricción } f = 0.012$$

$$\text{Coeficiente de pérdida por fricción } f \frac{L}{D} = 9.06$$

Entonces, la ecuación de la energía toma el aspecto

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -1.1 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + 0.013 Q^2$$

Para la primera condición: $Q=1.069\text{m}^3/\text{s}$, $Y_2 = 0.882 \text{ m}$, $V_2 = 1.156 \text{ m/s}$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.195 \text{ tirante crítico a la entrada}$$

Para la segunda condición $Q = 1.5\text{m}^3/\text{s}$, $Y_2 = 0.928 \text{ m}$, $V_2=1.303 \text{ m/s}$

$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.013\text{m} < Y_{cr} = 0.631\text{m}$, tirante crítico de entrada (ya que la energía específica mínima posible, desde el punto de vista físico es la crítica)

Para la tercera condición $Q=2\text{m}^3/\text{s}$, $Y_2 = 1.204 \text{ m}$, $V_2=1.455 \text{ m/s}$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.264 \text{ m} < Y_{cr}=0.754 \text{ m, tirante crítico a la entrada}$$

Para la cuarta condición $Q=1.195\text{m}^3/\text{s}$, $Y_2= 0.884 \text{ m}$, $V_2=1.186 \text{ m/s}$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -0.126 \text{ m, Tirante crítico a la entrada}$$

Para la quinta condición $Q=1.099\text{m}^3/\text{s}$, $Y_2= 0.836 \text{ m}$, $V_2=1.166 \text{ m/s}$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = -0.179 \text{ m, tirante crítico a la entrada.}$$

Por último se determinarán los cadenamientos de las cajas (al pie de chimenea) cuyos registros deben sellarse.

De acuerdo con lo expuesto en la memoria descriptiva, la carga de presión máxima admisible en las secciones con registro es de 2.546m.

De la observación de las tablas-resumen antes presentadas y de las hojas de resultados anexas, se concluye que la condición de operación más desfavorable (tirantes o cargas de presión mayores) es la transitória.

Con base en lo anterior se determinará por interpolación lineal las cargas de presión en aquellas chimeneas, en las que podrían ser mayores que 2.596m (ver segunda tabla-resumen) esto es: chimenea en la Est. 14+333 (4+183)

$$\frac{P}{\gamma} = 2.645 + \frac{(4183-4130)}{(4190-4130)} (2.676-2.645) = 2.672 \text{ m}$$

chimenea en la estación 14+666 (4+516)

$$\frac{P}{\gamma} = 3.173 \text{ m}$$

chimenea en la estación 15+000 (4+850)

$$\frac{P}{\gamma} = 2.698 \text{ m}$$

chimenea en la estación 15+333 (5+183)

$$\frac{P}{\gamma} = 2.737 + \frac{(5183-5019)}{(5186-5019)} (2.724-2.737) = 2.725$$

chimenea en la estación 15+666 (5+516)

$$\frac{P}{\gamma} = 2.863 + \frac{(5516-5482)}{(5592-5482)} (3.043-2.863) = 2.919$$

chimenea en la est. 16+000 (5+850)

$$\frac{P}{\gamma} = 3.052 + \frac{(5850-5801)}{(5855-5801)} (3.042-3.052) = 3.043 \text{ m}$$

chimenea en la estación 16+333 (6+183)

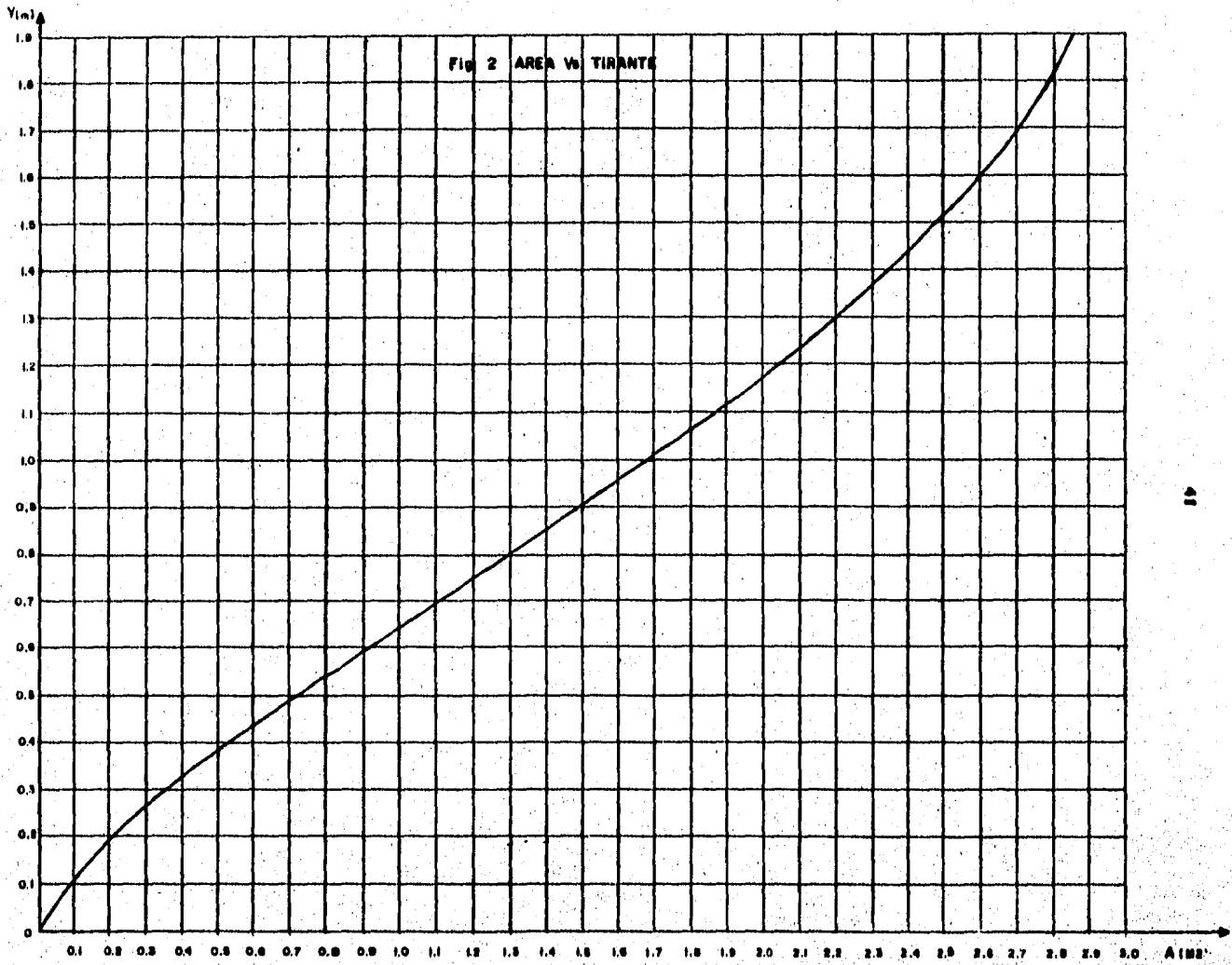
$$\frac{P}{\gamma} = 3.021 + \frac{(6183-6049)}{(6187-6049)} (3.384-3.021) = 3.373 \text{ m}$$

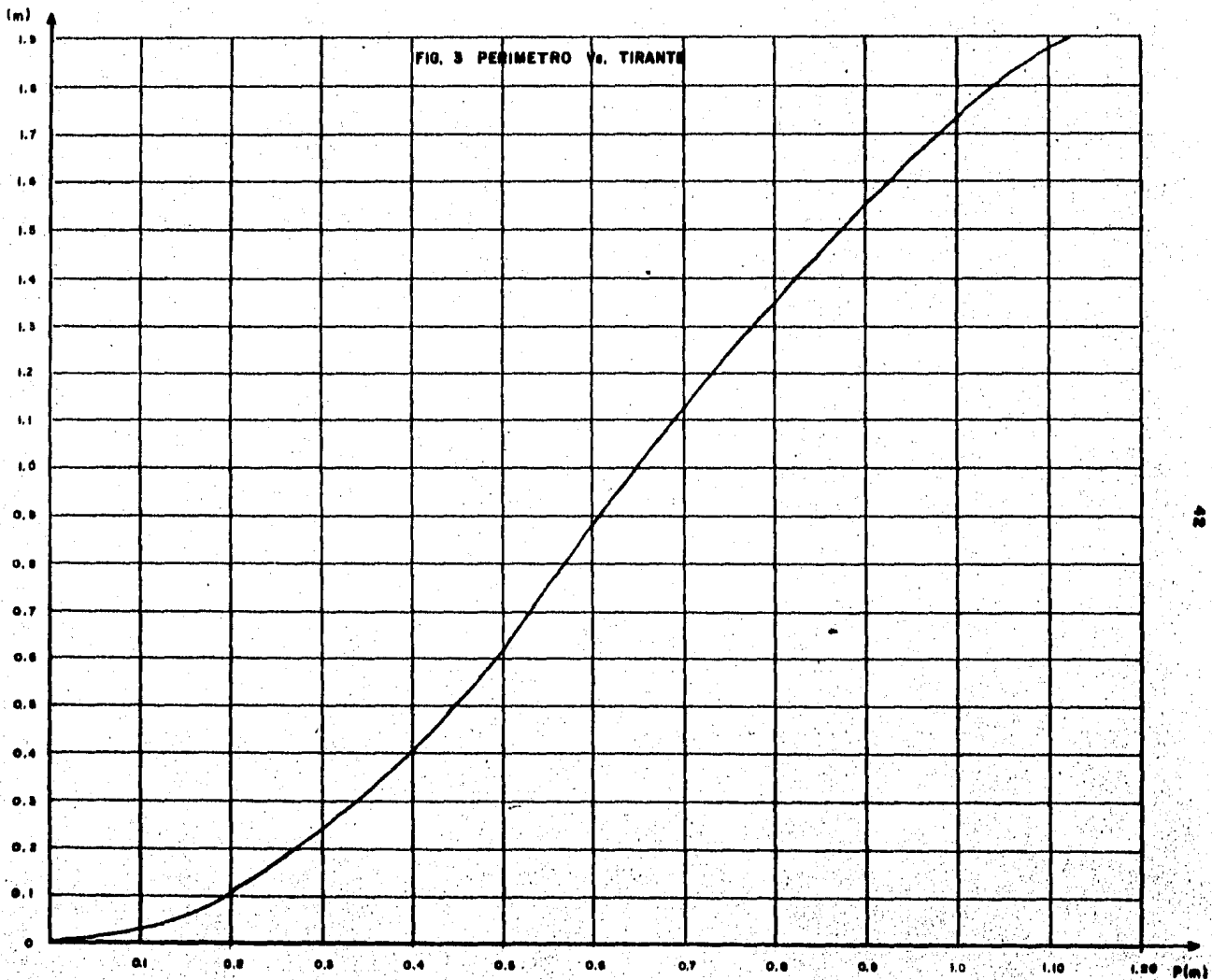
chimenea en la est. 16+666 (6+516)

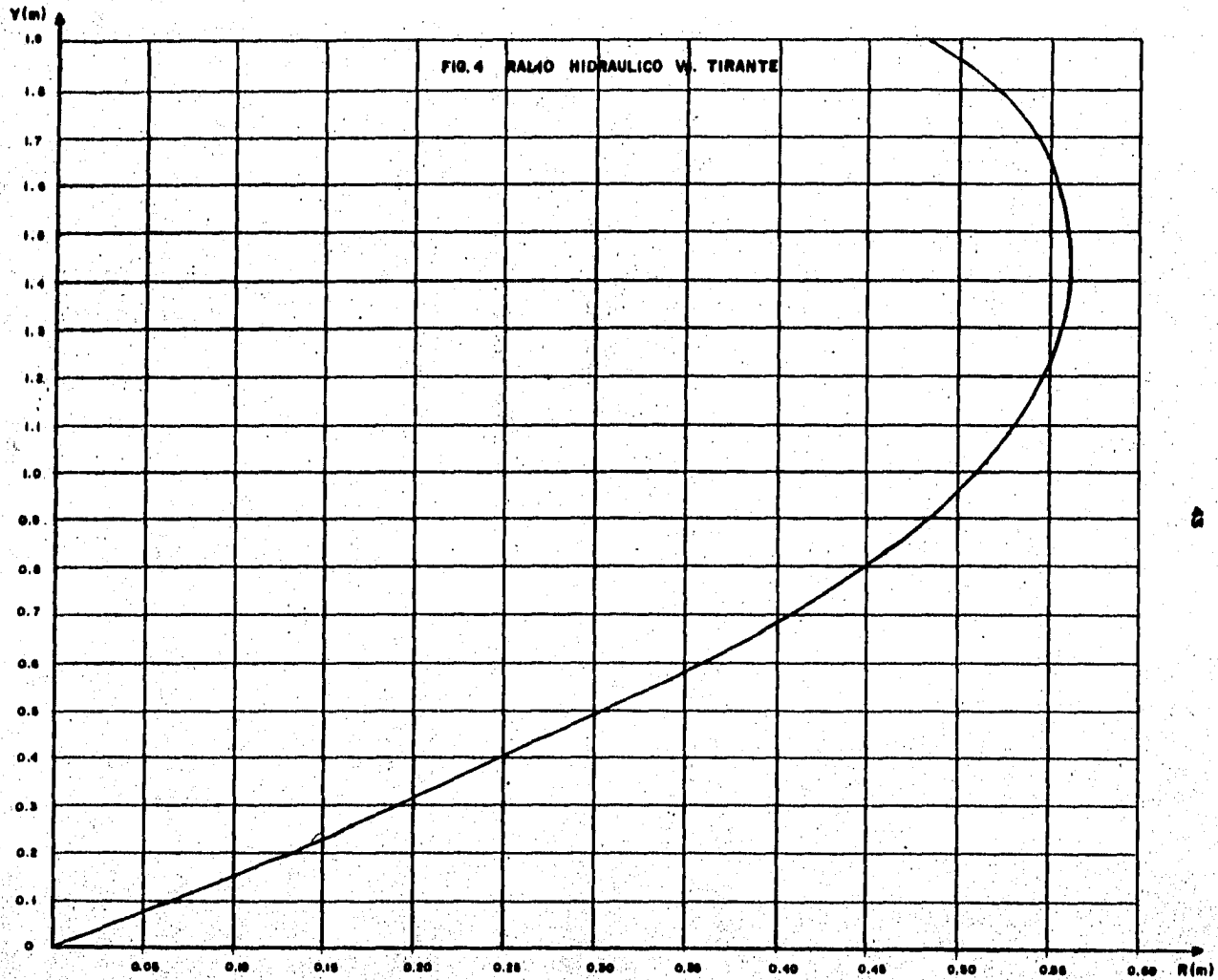
$$\frac{P}{\gamma} = 3.926 + \frac{(6516-6515)}{(6558-6515)} (4.063-3.926) = 3.929$$

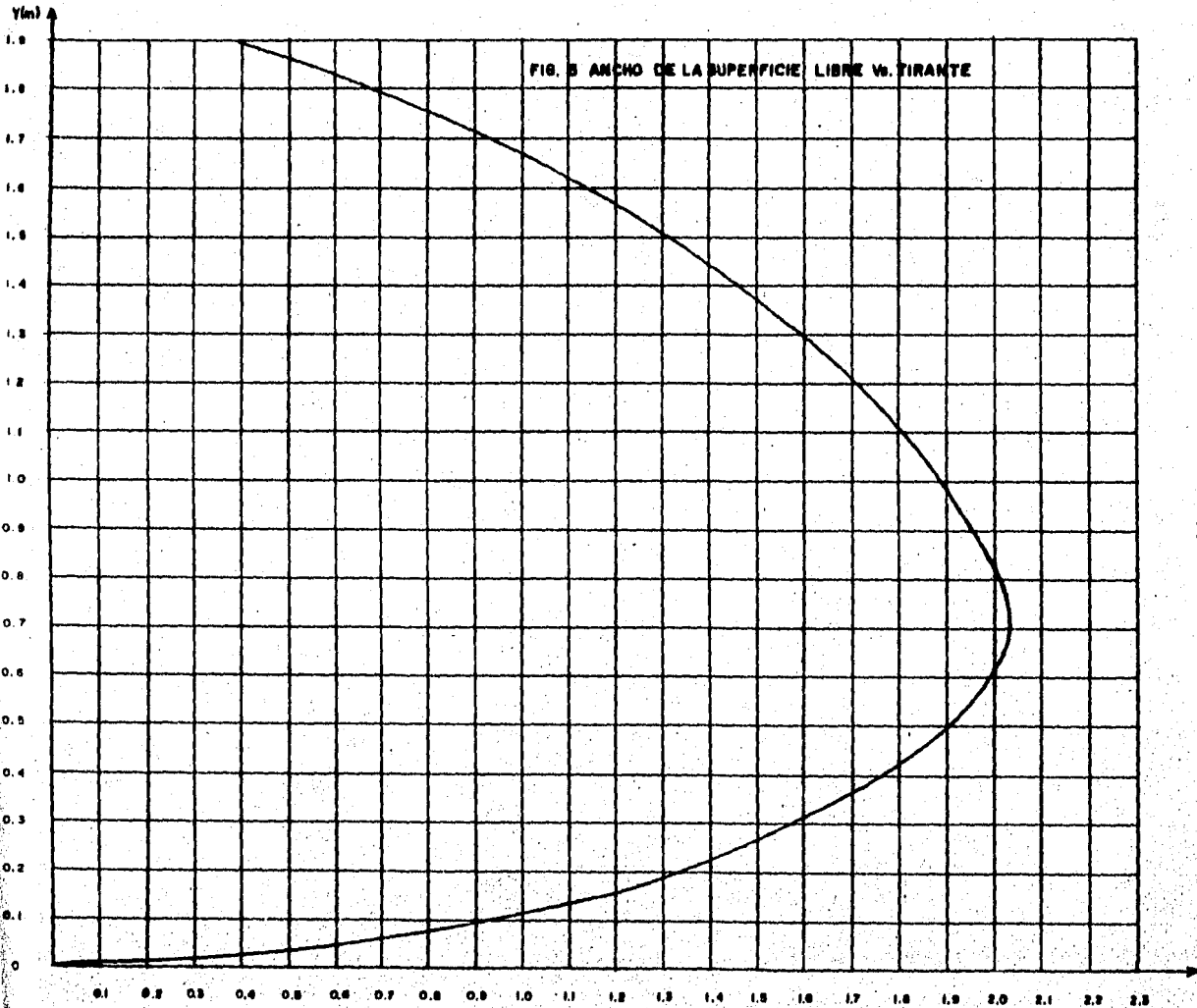
chimenea en la est. 17+000 (6+850)

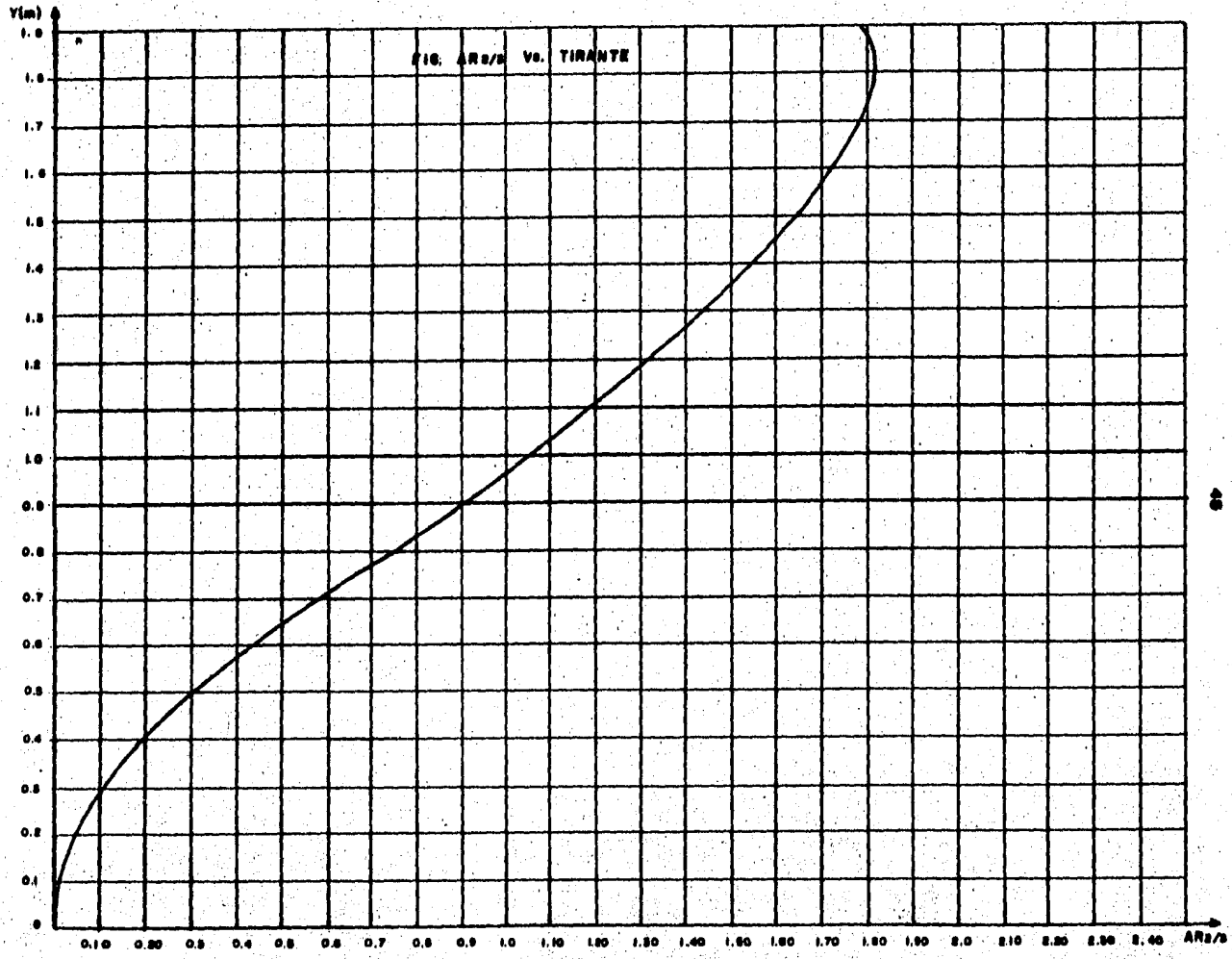
$$\frac{P}{\gamma} = 2.936 + \frac{(6850-6820)}{(6855-6820)} (2.770-2.936) = 2.794 \text{ m}$$



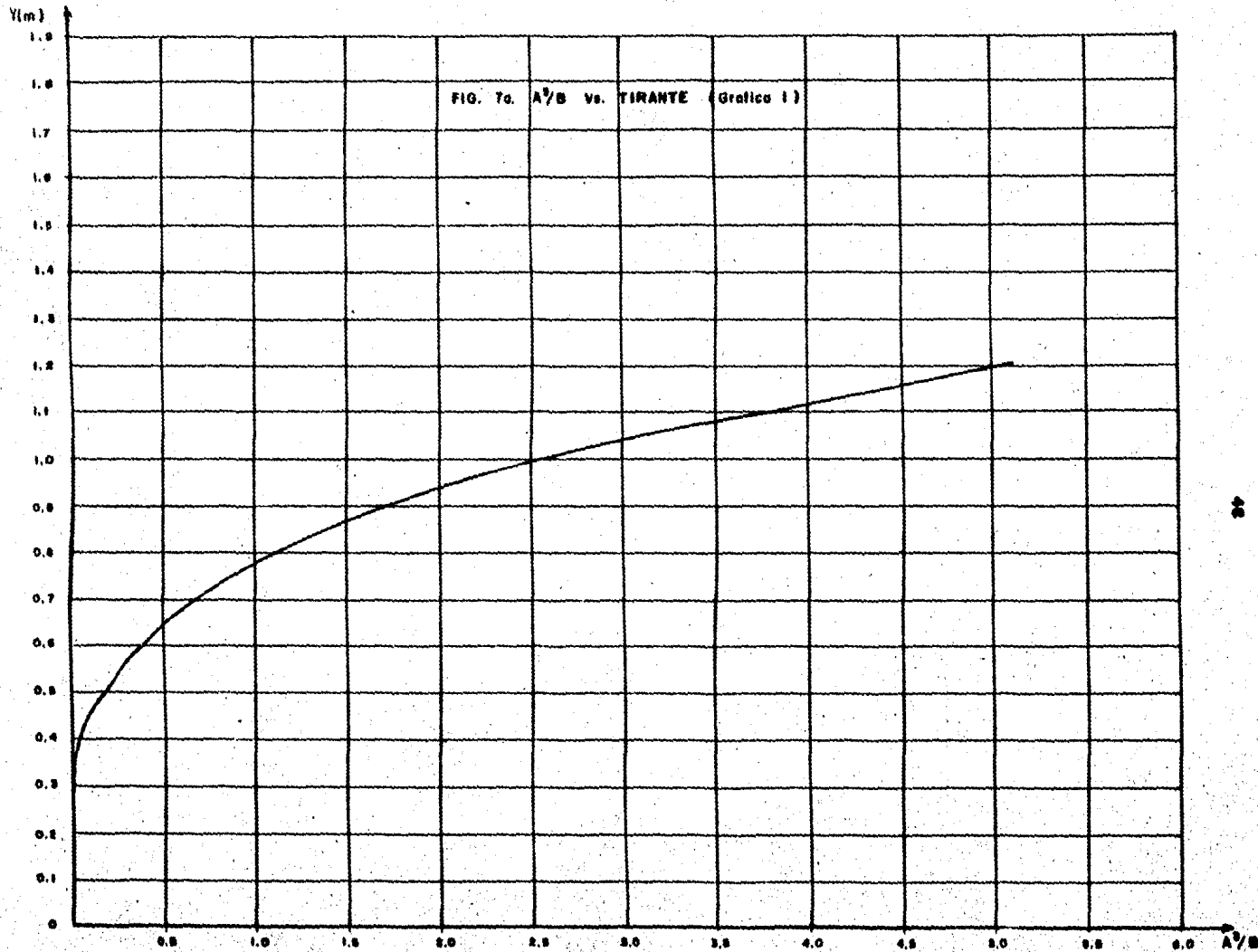


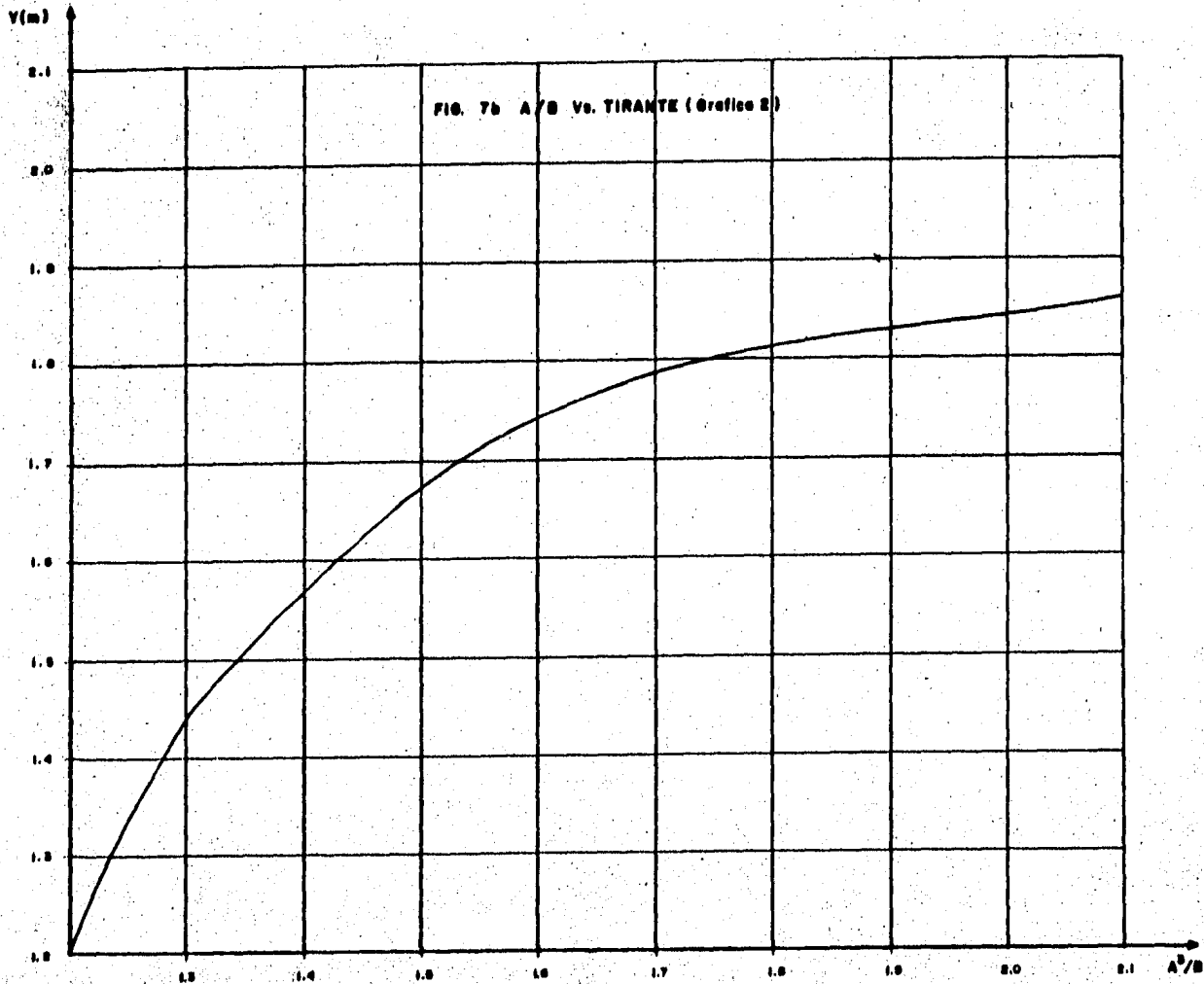






2
8





C A P I T U L O 3

3. SECCIONAMIENTO DEL ACUEDUCTO

3.1 Aspectos generales

3.2 Procedimiento constructivo.

3.1 ASPECTOS GENERALES

Para la determinación de las dimensiones de la caja tipo, donde se alojarán las compuertas deslizantes a utilizar en el seccionamiento, fue necesario conocer con anterioridad las dimensiones de las -- compuertas.

Para la determinación del acero de refuerzo en la caja, se supuso inicialmente el espesor de los elementos estructurales y se revisaron los mismos obteniendo los elementos mecánicos en cada elemento estructural y posteriormente el acero de refuerzo. Para la primera - condición de carga (cargas interiores), se consideró un tirante de - 2.50 m sobre la plantilla de tubo en cada seccionamiento y que se obtuvo de los resultados de la revisión hidráulica del mismo acueducto "viejo", siendo el valor máximo que resultó a lo largo del acueducto. Con ello se obtuvo cierto margen de seguridad ya que existirán seccionamientos sobre el acueducto donde no se presente dicho tirante.

El análisis también se hizo considerando el caso en que la caja se encuentre vacía y sujeta a cargas exteriores al trabajar como muros de retención, por lo que fue necesario suponer un coeficiente de empuje activo $K_H = 0.286$ (coeficiente promedio) del material, así como un peso volumétrico del mismo y un peso sumergido (todos en base a las observaciones realizadas en campo). En cuanto a las losas inferior y superior, se conocían todas las cargas posibles sobre cada -- una de ellas (ver memoria de cálculo). Para determinar el acero de - refuerzo en el conducto de transición, se tomaron en cuenta (igual que para la caja, las dos condiciones de carga ya mencionadas, un espesor de terreno promedio sobre la losa superior del conducto y un nivel - freático promedio.

3.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Antes de iniciar cualquier trabajo para el seccionamiento, es necesario construir una obra de desvío para poder realizar los trabajos y no interrumpir el abastecimiento del acueducto. Después se procederá a la demolición del tramo del acueducto donde se alojará tanto la caja de compuertas como el acueducto de transición.

Para fijar el marco de las compuertas en el muro, se dejará un hueco en éste, de manera que el marco quede bien centrado, alineado y bien plomeado; esto último es muy importante, ya que de esto depende el que la compuerta se deslice sin ningún problema a la hora de hacer las maniobras respectivas. Cuando las actividades de alinear, fijar y plomear se hayan realizado, se procederá a colar el hueco mencionado.

La selección del mecanismo elevador se hizo en función del peso de la compuerta, el peso de su vástago, así como del empuje del agua sobre la compuerta, considerando que la compuerta vertical a vencer por el mecanismo elevador que produce el empuje del agua (E_A) es $0.35 E_A$ (ver memoria de cálculo).

El montaje de la compuerta y el mecanismo elevador debe ser realizado por personal calificado.

Para el desplante de la caja de compuertas y del conducto de transición, será necesario mejorar el terreno con material de banco autorizado. El mejoramiento se efectuará en capas no mayores de 30 cm de espesor compactadas al 95% prueba proctor.

Para los rellenos se utilizará material producto de la excavación en zonas donde no haya tránsito pesado, de lo contrario los rellenos se realizarán con material seleccionado compactado al 100% prueba proctor.

En la selección de la ubicación de los seccionamientos sobre el acueducto viejo se hicieron las siguientes consideraciones:

- 1.- Gasto acumulado a lo largo del acueducto. Con esto se trató de que en las zonas donde el gasto es considerablemente --- grande el acueducto no llegue a trabajar a presión.
- 2.- Algunas seccionamientos se ubican aguas abajo del rebombeo y conexiones donde el acueducto tiene extracciones considerables; por lo tanto para proteger las zonas de población que se abastecen de dichas extracciones en el caso de que haya necesidad de efectuar reparaciones u otro tipo de maniobra que pudiera ocasionar un corte en el suministro, - los seccionamientos están ubicados (ver cadenamientos de seccionamientos) aguas abajo de cada rebombeo, que fue considerado de importancia por el gasto extraído.
- 3.- También fueron considerados los cruces con calles en donde actualmente se registra un tránsito pesado de vehículos, es decir, en cada cruce como el mencionado se ubica un seccionamiento siempre aguas arriba de dicho cruce.

Por lo tanto para efectuar reparaciones en seco y no interrumpir el servicio se optó por ubicar de la forma ya descrita cada seccionamiento.

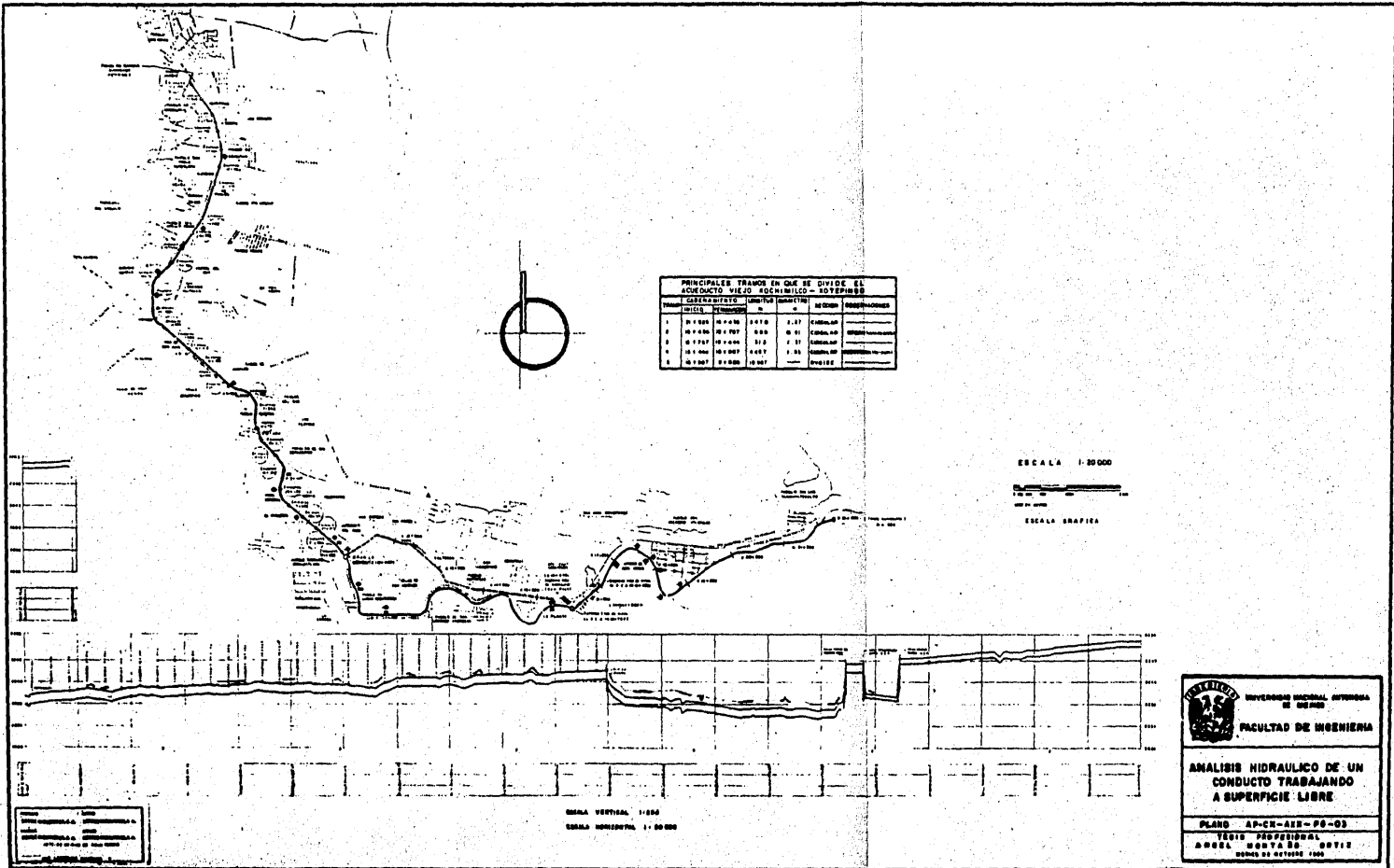
Las elevaciones de plantilla del acueducto, tanto a la llegada como a la salida de la caja de cada seccionamiento, se pueden obtener del plano AP-X-C-AXX-PG-03.

Debido a la singularidad de las diferentes secciones que presenta el acueducto viejo se eligieron dos compuertas deslizantes de 1.22 X 1.52 m para los seccionamientos donde el acueducto presenta una sección ovoide, construyéndose un conducto de transición desde la zona de deslizamiento de la compuerta hasta ligar con el acueducto (ver planos respectivos). La elección de dos compuertas para cada seccionamiento se puede justificar debido a que el área hidráulica de la sección ovoide es aproximadamente igual a la de las dos compuertas, detalle que es conveniente considerarlo ya que las pérdidas de carga por cambio de sección no se hacen muy notorias; sin embargo tales pérdidas si se presentan no provocarían -- cambiar considerablemente las condiciones del flujo en el acueducto una vez que se hayan construido la caja y transición.

Se cuenta también con un tramo de acueducto de sección circular de 1.40 m Ø en cuyo seccionamiento se utilizarán para cada uno, una compuerta de 1.22 X 1.22 m.

LOCALIZACION DE SECCIONAMIENTOS

Cadenamientos	Tipo de sección
1 + 800	Sección ovoide
4 + 500	Sección ovoide
5 + 200	Sección ovoide
8 + 850	Sección ovoide
10 + 450	Sección ovoide
16 + 750	Sección circular



PRINCIPALES TRAMOS EN QUE SE DIVIDE EL CONDUCTO HIDR. AEREA-BOLIC - AEREA-BOLIC

INDICE	DESCRIPCION	LONGITUD (M)	DIAMETRO (CM)	MATERIAL	ESTADO
1	0+000 - 0+100	100	150	CONCRETO	BUENO
2	0+100 - 0+200	100	150	CONCRETO	BUENO
3	0+200 - 0+300	100	150	CONCRETO	BUENO
4	0+300 - 0+400	100	150	CONCRETO	BUENO
5	0+400 - 0+500	100	150	CONCRETO	BUENO


ESCALA 1:20000



ESCALA GRAFICA

ESCALA VERTICAL 1:200
ESCALA HORIZONTAL 1:20000

Autor: []
 Revisor: []
 Aprobado: []
 Fecha: []

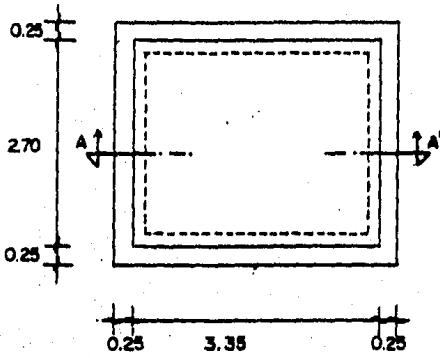

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DEL PERU
FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS HIDRAULICO DE UN CONDUCTO TRABAJANDO A SUPERFICIE LIBRE

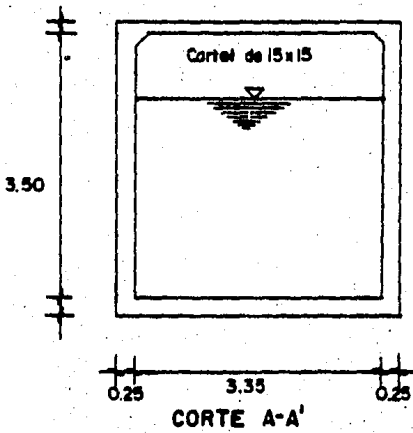
PLANO AP-CR-AER-PO-03
TESIS PROFESIONAL
ALBOL BUSTOZO
SECCION DE AGRICULTURA

- 3.3 Determinación del acero de refuerzo para la caja de compuertas de deslizamiento de 1.22 X 1.52 m- en tramo de acueducto con sección ovoide.
- 3.3.1 Análisis de la caja debido a cargas interiores.
- 3.3.2 Análisis de la caja debido a cargas exteriores.

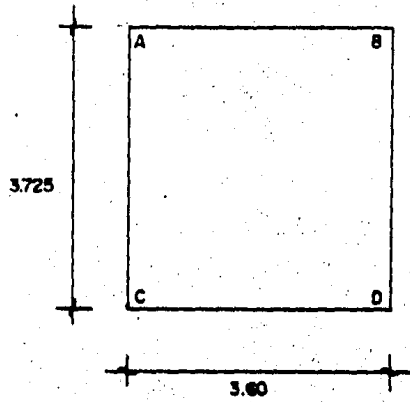
GEOMETRIA DE CAJA DE COMPUERTAS



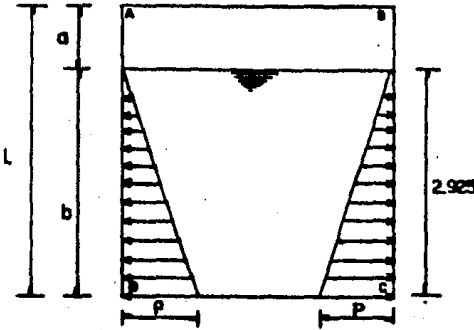
PLANTA



CORTE A-A'



3.3.1. ANALISIS DE LA CAJA DEBIDO A CARGAS INTERIORES



$$P = \gamma h = 1000 \times 2.925 = 2925 \text{ kg/m}^2$$

$$E_A = \gamma h A = 1000 \times \frac{2.925}{2} \times 2.925 \times 1$$

$$E_A = 4277.81 \text{ kg.}$$

Al analizar la barra (A-B) por cargas interiores se observa que sobre ella no actúa carga alguna por lo tanto el acero de refuerzo para el armado superior será con el porcentaje mínimo de acero. (P_{\min}).

BARRA A-D

$$M_{AD} = \frac{Pb^3}{60L} \left(5 - 3 \frac{b}{L} \right) = 864.63 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = \frac{Pb^2}{60} \left(3 \frac{b^2}{L^2} + 10 \frac{a}{L} \right) = M_{DA} = 1668.36 \text{ Kg-m}$$

$$V_A = \frac{Pb^3}{20L^2} \left(5 - \frac{2b}{L} \right) = 904.73 \text{ Kg}$$

$$V_D = \frac{Pb}{20} \left(10 - \frac{b^2}{L^2} \left(5 - \frac{2b}{L} \right) \right) = V_D = 3368.08 \text{ Kg}$$

Carga sobre losa inferior: la carga sobre la losa inferior es la diferencia entre la reacción del terreno y las cargas verticales de arriba hacia abajo.

Carga sobre lecho superior de losa inferior:

$$\text{Peso del agua } P_w = 1000 \times 2.925 = 2925 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso de la caja } P_c = 3.85 \times 3.95 + 3.35 \times 3.50 + 0.15 \times 0.15 \times 2400 = 8412 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso del agua } P' = \text{Area hidráulica} \times 1000 \text{ Kg} = 2.925 \times 3.60 \times 1000 = 10530 \text{ Kg/m}$$

*Se consideran 5 cm de concreto simple sobre la losa como protección de la misma.

$$\text{Reacción del terreno } R_T = \frac{P_c + P'_w}{3.60} = 5261.67 \text{ Kg}$$

W_{pp} : Peso propio de losa inferior, $0.25 \times 2400 = 600 \text{ Kg/m}^2$

\therefore Carga sobre losa inferior $W_2 = R_T - P_W - W_{pp}$

$W_2 = 5261.67 - 2925 - 600 = 1736 \text{ Kg/m}^2$

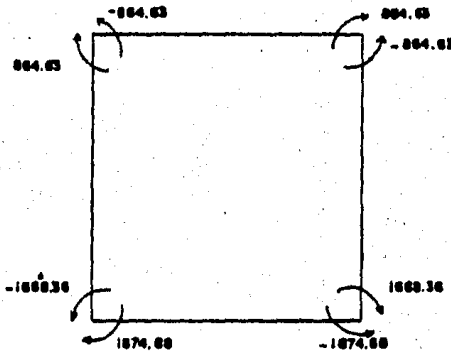
MOMENTOS INICIALES DE EMPOTRAMIENTO

$M_{AD} = M_{BC} = 864.63 \text{ Kg-m}$

$M_{AB} = M_{BA} = 864.63 \text{ Kg-m}$

$M_{DA} = M_{CB} = 1668.36 \text{ Kg}$

$M_{DC} = M_{CD} = \frac{WL^2}{12} = \frac{1736 \times 3.60^2}{12} = 1874.88 \text{ Kg-m}$



RIGIDECES Y FACTORES DE DISTRIBUCION

$K = \frac{4EI}{L}$

$4E = \text{CONSTANTE}$

$K = \frac{I}{L}$

$FD = \frac{K}{\sum K}$

MOMENTOS DE INERCIA DE LAS SECCIONES

BARRA A-B $I = \frac{1}{12} (100)(20)^3 = 66666.67 \text{ cm}^4$

BARRAS (B-C), (C-D) y (D-A)

$I = \frac{1}{12} (100)(25)^3 = 130208.33 \text{ cm}^4$

NUDO

K

F.D

A-B = $\frac{66666.67}{3.60} = 18518.52$ 0.35

A-D = $\frac{130208.33}{3.725} = 34955.26$ 0.65

$\sum K = 53473.78$

$\sum F.D = 1.00$

NUDO D

58

F.D

$$K_{DA} = \frac{4EI}{L} = \frac{4EI}{3.725} = 1.07EI$$

0.49

$$K_{DC} = \frac{4EI}{L} = \frac{4EI}{3.60} = 1.11EI$$

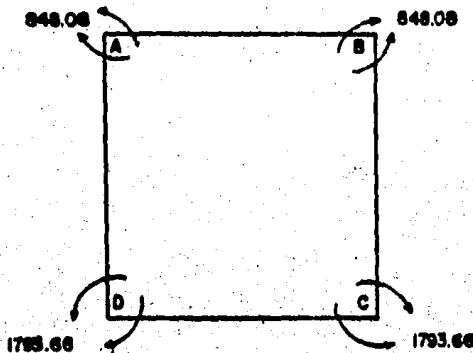
0.51

$$EK = 2.18 EI$$

EF.D = 1.00

NUDO	A		B		C		D	
BARRA	A-D	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C	D-A
F.D	0.65	0.35	0.35	0.65	0.49	0.51	0.51	0.49
M.I	864.63	-864.63	864.63	-864.63	1668.36	-1874.88	1874.88	-1668.36
	0	0	0	0	101.19	105.33	-105.33	-101.19
	-50.60	0	0	50.60	0	-52.67	52.67	0
	32.89	17.71	-17.71	-32.89	25.81	26.86	-26.86	-25.81
	-12.91	-8.86	8.86	12.91	-16.45	-13.43	13.43	16.45
	14.15	7.62	-7.62	-14.15	14.64	15.24	-15.24	-14.64
	-7.32	-3.81	3.81	7.32	-7.08	-7.62	7.62	7.08
	7.23	3.90	-3.90	-7.23	7.20	7.50	-7.50	-7.20
	-3.60	-1.95	1.95	3.60	-3.62	-3.75	3.75	3.62
	3.61	1.94	-1.94	-3.61	3.61	3.76	-3.76	-3.61
M.F	-1.81	-0.97	0.97	1.81	-1.81	-1.88	1.88	1.79
	1.81	0.97	-0.97	-1.81	1.81	1.88	-1.88	-1.81
	848.08	-848.08	848.08	-848.08	1793.66	-1793.66	1793.66	-1793.66

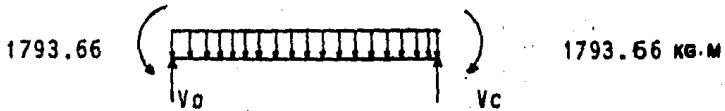
MOMENTOS FINALES



Obtención de los cortantes a los ejes y al paño así como de los momentos a los paños y momentos positivos.

Barra C-D

$$W = 1736 \text{ Kg/m}^2$$



Cortante a los ejes:

$$\text{Cortante Isostático } V_i = \frac{1736 \times 3.60}{2} = 3124.80 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Cortante Hiperestático } V_H = 0$$

Momentos a los paños:

$$M_{DP} = 3124.8 \times 0.125 - 1736 \left(\frac{0.125}{2} \right)^2 - 1793.66 = -1416.62 \text{ Kg-m}$$

$$M_{CP} = 3124.8 \times 3.475 - 1736 \left(\frac{3.475}{2} \right)^2 - 1793.66 = -1416.62 \text{ Kg-m}$$

Cortantes al cartel:

$$V_{AC} = 3124.80 - 1736 (0.275) = 2647.40 \text{ Kg}$$

$$V_{OC} = 3124.80 - 1736 \times 3.325 = -2647.40 \text{ Kg}$$

Momento Positivo:

$$M_+ = 3124.80 \times x - 1736 \frac{x^2}{2} \pm M_A$$

$$x = \frac{3124.80}{1736} = 1.80 \text{ m}$$

$$M_+ = 3124.8 \times 1.80 - 1736 \left(\frac{1.80}{2} \right)^2 - 1793.66 = 1018.66 \text{ Kg-m}$$

Barras (A-D) y (B-C)

Obtención de los cortantes a los ejes:

$$a = 0.80 \text{ m}$$

$$b = 2.925 \text{ m}$$

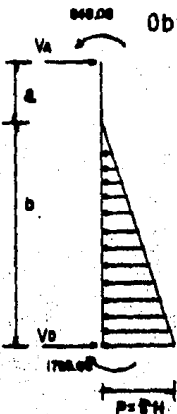
Cortante Isostático V_i

$$V_{A1} = 904.73 \text{ Kg (calculado en hoja No. 2)}$$

$$V_{D1} = 3366.63 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático V_H

$$V_H = \frac{1793.66 - 848.08}{3.725} = 253.85 \text{ Kg}$$



$$V_A = 904.73 - 253.85 = 650.88 \text{ Kg}$$

$$V_D = 3368.08 + 253 = 3619.36 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel:

$$V_{AC} = V_A = 650.88 \text{ Kg}$$

$$V_{DC} = 650 \times 3.45 - \frac{2925 (2.65)^2}{2(2.925)} = 2242.50 - 3511.25 = -126.75 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños:

$$M_{Ap} = M_A = -848.08 \text{ Kg-m}$$

$$M_{Dp} = V_A X - \frac{P(X-a)^3}{6(L-a)} + M_A = 650.08 (3.60) - \frac{2925 (3.45 - 0.80)^3}{6(3.725 - 0.80)} - 848.08$$

$$M_{Dp} = -1609.39 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo:

$$V = \frac{dM}{dX} = V_A - \frac{3 P(X-a)^2}{6(L-a)} = V_A - \frac{P(X-a)^2}{2(L-a)}$$

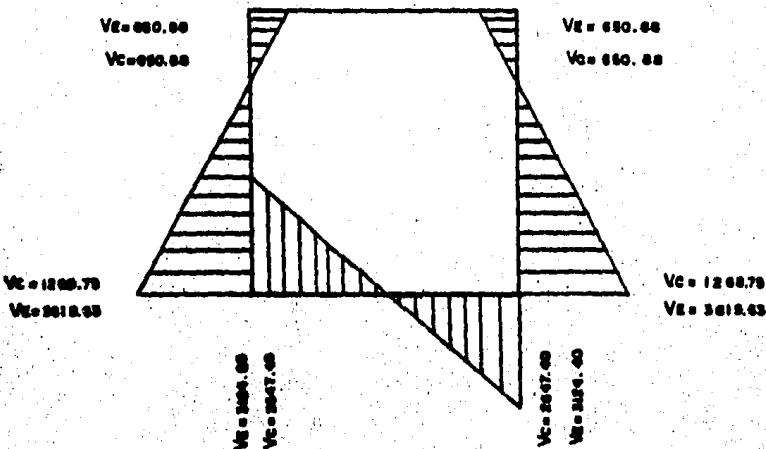
$$V = 0 \text{ si } V_A - \frac{P(X-a)^2}{2(L-a)} = 0$$

$$650.88 - \frac{2925 (X-0.80)^2}{2(3.725-0.80)} = 650.88 - 500 (X-0.80)^2$$

$$X = 242 + \frac{\sqrt{(-2.42)^2 - 4(1.51)(-1)}}{2 \times 1.51} = 1.94 \text{ m}$$

$$M+ = 167.71 \text{ Kg-m}$$

DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES



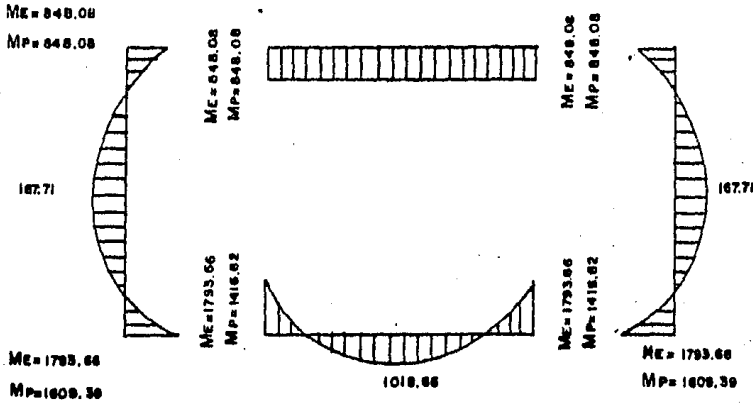


DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTE

DISEÑO

CONSTANTES DE CALCULO

$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$

$FR = 0.9$

$f^*c = 0.8f'c = 0.8(200) = 160 \text{ Kg/cm}^2$

$f''c = 0.85f^*c = 0.85(160) = 136 \text{ Kg/cm}^2$

$P_{Max} = 0.75P_B$ $P_{Min} = \frac{0.7 f'c}{f_y}$ $P_B = \frac{f''c}{f_y} \cdot \frac{4800}{f_y + 6000}$; $q = \frac{P f_y}{f''c}$

$V_{CR} = 0.5 FR bd\sqrt{f^*c}$ si $P < 0.01$

$V_{CR} = FR bd(0.2 + 30P)\sqrt{f^*c}$ si $P > 0.01$

$P_B = \frac{136}{4000} \cdot \frac{4800}{4000 + 6000} = 0.034(0.48) = 0.01632$

$P_{Max} = 0.75 (0.01632) = 0.01224$; $P_{Min} = \frac{0.7\sqrt{200}}{4000} = 0.0025$

$V_{CR} = F_B bd(0.2 + 30P)\sqrt{f^*c} = 0.9 \times 100 \times 20(0.2 + 30 \times 0.0025) 160 = 6231 \text{ Kg}$

Revisión por cortante : con el cortante máximo al cartel

$V_C = 2647 \text{ Kg}$ V_{CR}

Momento máximo negativo al paño = 1609.39 Kg-m

Momento máximo positivo = 1018.66 Kg-m

Acero de refuerzo negativo (parrilla interior)

$M_R = F_R bd^2 f''c q(1-0.5q)$

$16.0939 - 489.6 q + 24.48 q^2 = 0$

$q_1 = \frac{489.6 + \sqrt{(489.6)^2 - 4(244.8)(16.0939)}}{2(244.8)} = 1.97$

$$q_2 = \frac{489.6 - 473.23}{489.6} = \frac{16.37}{489.6} = 0.0334354$$

$$p = q_2 \frac{f''c}{f_y} = 0.0334354 \frac{136}{4000} = 0.0011 \quad P_{\text{Min}}$$

El acero con refuerzo en la parrilla interior será con el porcentaje de acero mínimo $P_{\text{Min}} = 0.0025$

$$A_s = P_{\text{Min}} bd = 0.0025 \times 100 \times 25 = 6.25 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación } S = \frac{100Ab}{A_s} = \frac{100 \times 1.27}{6.25} = 20.32 \text{ cm}^2$$

Vars. # 4 A.C. 20cm en dos direcciones

Acero positivo : como se observa el momento máximo negativo es mayor que el máximo positivo, por lo tanto para el armado exterior se tendrá el acero mínimo: Vars. # 4 A.C. 20 cm

3.3.2 ANALISIS DE LA CAJA DEBIDO A CARGAS EXTERIORES:

Carga sobre la losa superior W_1

Carga uniformemente repartida (peso propio de la losa W_{pp}) =
 $= 0.20 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}$

Cargas concentradas debido a las compuertas, mecanismo elevador, etc.

Peso de la compuerta de 1.22 X 1.52 m

Hoja de la compuerta (fundición) 349.00 Kg

Marco de deslizamiento (fundición) 240.00 Kg

Solera de apoyo y de gufas (acero) 35.00

Herrajes anclajes y pernos (acero) 15.00

Vastago 50.00

689.00 Kg

Obtención de la capacidad del mecanismo elevador (C.M.E.)

C.M.E. = Peso de compuerta + 0.35(empuje del agua)

C.M.E. = 689 + 0.35 (3226.66) = 1818.33 Kg

Peso del mecanismo elevador 250.00 Kg

2068.33 Kg

Considerando un factor de carga $F.C = 1.4$

La carga concentrada de diseño será:

$P_1 = F.C \times 2068.33 = 1.4 \times 2068.33 = 2895.66 \text{ Kg} = 2.9 \text{ Ton}$

La carga uniformemente repartida resulta:

$$1.4 (CM + CV) = 1.4(0.20 \times 2400 + 300) \quad W_1 = 1092 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre la losa inferior W_2

$$\text{Peso propio de la caja: } (3.95 \times 3.85 - 3.35 \times 3.50 + 0.15 \times 0.15) 2400 - 0.20 \times 3.85 \times 2400$$

$$W_2 = (15.21 - 11.73 + 0.0225)2400 - 1848 = 6558 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del agua } 3.35 \times 2.80 \times 1000 = 9380 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Cargas concentradas } 2 \times 2900 = 5800 \text{ Kg/m}$$

La reacción del terreno resulta:

$$R_T = \frac{6558 + 9380 + 5800}{3.85} + 1092 = 6738.23 \text{ Kg/m}^2$$

Peso propio de la losa inferior:

$$W_{ppi} = 0.25 \times 2400 = 600 \text{ Kg/m}^2$$

Subpresión = 0

$$\text{Por lo tanto, } W_2 = R_T - W_{ppi} = 6738.23 - 600 = 6138.23 \text{ Kg}$$

Carga sobre muros laterales

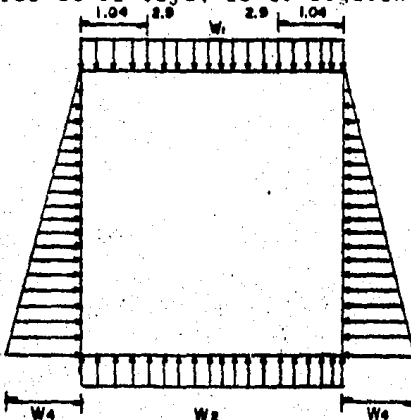
Considerando un coeficiente de empuje $K_H = 0.286$

$$W_y = K_H \gamma H = 0.286 \times 1800 \times 3.725 = 1917.63 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma = 1800 \text{ Kg/m}^3 \text{ (peso volumétrico del material)}$$

$$W_3 = 0$$

De lo obtenido anteriormente, el diagrama de cargas sobre el marco rígido de la caja, es el siguiente.



$$W_1 = 1092 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = 6138.23 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 0$$

$$W_4 = 1917.63 \text{ Kg/m}^2$$

Momentos iniciales de empotramiento:

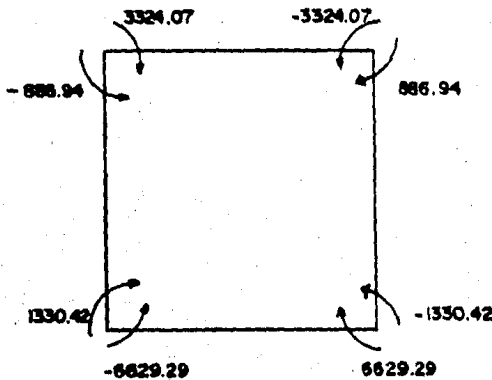
$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{WL^2}{12} + \frac{2900 \times 1.04(360 - 1.04)}{3.60} = 1179.36 + 2144.71 =$$

$$M_{AB} = 3324.07 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = M_{BC} = \frac{WL^2}{30} = \frac{1917.63 \times 3.725^2}{30} = 886.94 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DB} = M_{CB} = \frac{WL^2}{20} = \frac{1917.63 \times 3.725^2}{20} = 1330.42 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DC} = M_{CD} = \frac{6138.23 \times (3.60)^2}{12} = 6629.29 \text{ Kg-m}$$



Rigideces y factores de distribución

$$K = 4EI \quad 4E = \text{constante}$$

$$K = \frac{I}{L} \quad F.D. = \frac{K}{\sum K}$$

Momentos de inercia de las secciones

$$I_{20} = \frac{1}{12} (100)(20)^3 = 66666.67 \text{ cm}^4$$

$$I_{25} = \frac{1}{12} (100)(25)^3 = 130208.33 \text{ cm}^4$$

Nudo A:

K

F.D

A - B $\frac{66666.67}{3.60} = 18518.52$ 0.35

A - D $\frac{130208.83}{3.725} = \frac{34995.26}{\Sigma K = 53473.78}$ FD = $\frac{0.65}{1.00}$

$K_{DA} = K_{CB} = 0.49$

$K_{DC} = K_{CD} = 0.51$

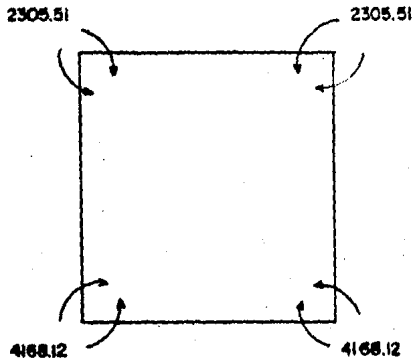
$K_{AB} = K_{BA} = 0.35$

$K_{AD} = K_{BC} = 0.65$

Distribución de momentos por el método de Cross:

NUDO	A		B		C		D		
BARRA	A-D	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C	D-A	
F.D	0.65	0.35	0.35	0.65	0.49	0.51	0.51	0.49	
M.I	-886.94	3224.07	-3224.07	886.94	-1330.42	6629.29	-6629.29	1330.42	
	-1584.13	-853.00	853.00	1584.13	-2596.45	-2702.42	2702.42	-2596.45	
	1298.23	426.50	-426.50	-1298.23	792.07	1351.21	-1351.21	-792.07	
	-1121.07	-603.66	603.66	1121.07	-1050.21	-1093.07	1093.07	1050.21	
	525.11	301.83	-301.83	-525.11	560.54	546.54	-546.54	-560.54	
	-537.51	-289.43	289.43	537.51	-542.47	-564.61	564.61	542.47	
	271.24	144.72	-144.72	-271.24	268.76	282.31	-282.31	-268.76	
	-270.37	-145.59	145.59	270.37	-270.02	-281.05	281.05	270.02	
	135.01	72.80	-72.80	-135.01	135.19	140.53	-140.53	-135.19	
	135.08	-72.73	72.73	135.01	-135.10	-140.62	140.62	135.10	
	67.55	36.37	-36.37	-67.55	67.54	70.31	-70.31	-67.54	
	-67.55	-36.37	36.37	67.55	-67.55	-70.30	70.30	67.55	
	33.78	18.19	-18.19	-33.78	33.78	35.15	-35.15	-33.78	
	-33.78	-18.19	18.19	33.78	-33.78	-35.15	35.15	33.78	
	MF	-2305.51	2305.51	-2305.51	2305.51	-4168.12	4168.12	-4168.12	4168.12

Diagrama de momentos finales



Obtención de los cortantes a los ejes y al cartel, así como de los momentos a los paños y momentos positivos.

Barra A - B

Cortantes a los ejes

Cortante isostático V_i

$$V_i = \frac{1092 \times 3.60}{2} + 2900 = 4865.60 \text{ kg}$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

$$V_A = 4865.60 \text{ Kg}$$

$$V_B = 4865.60 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel

$$V_{AC} = V_A - 1092x = 4865.60 - 1092 \times 0.275 = 4565.30 \text{ Kg}$$

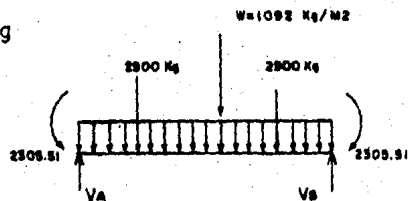
$$V_{BC} = V_A - 2(2900) - 1092(3.325) = -4565.30 \text{ Kg}$$

Momento a los paños:

$$M_{Ap} = V_A x - \frac{Wx^2}{2} - 2305.51 = -1705.84 \text{ Kg-m}$$

$$M_{Bp} = V_A x - \frac{Wx^2}{2} - 2900(x-1.04) - 2900(x-2.56) \pm M_A$$

$$M_{Bp} = 16907.96 - 18613.80 = -1705.84 \text{ Kg-m}$$



Momento positivo

$$M = V_A x - \frac{Wx^2}{2} - 2900(x - 1.04) \pm M_A$$

$$\frac{dM}{dx} = V_A - Wx - 2900$$

$$V = 0 \text{ si } V_A - Wx - 2900 = 0$$

$$4865.6 - 1092x - 2900 = 0$$

$$x = 1.80$$

$$M+ = 4865.60 (1.80) - \frac{1092(1.80)^2}{2} - 2900(1.80 - 1.04) - 2305.51$$

$$M+ = 2479.53 \text{ Kg}$$

Barra C - D

Cortante isostático V_i

$$V_i = \frac{6138.23 \times 3.60}{2} = 11048.81$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

$$V_D = 11048.81 \text{ Kg}$$

$$V_C = 11048.81 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel (en la parte inferior de la caja no tiene cartel)

$$V_C = 9360.80$$

Momentos a los paños

$$M_{Dp} = V_i x - \frac{Wx^2}{2} \pm M_A = 1048.81(0.125) - 6138.23 \frac{(0.125)^2}{2} - 4168.12 = -2834.97$$

$$M_{Cp} = 2834.97 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo : $M+ = 5775.81 \text{ Kg-m}$

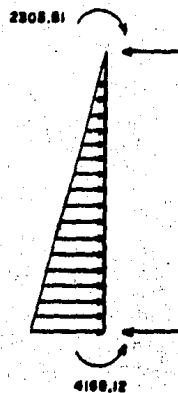
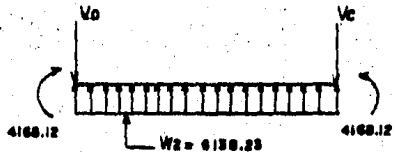
Barras (A - D) y B - C)

Cortantes a los ejes :

Cortante isostático V_i

$$V_{Ai} = \frac{W_4 L}{6} = \frac{1917.63 \times 3.725}{6} = 1190.53 \text{ Kg}$$

$$V_{Di} = \frac{W_4 L}{3} = \frac{1917.63 \times 3.725}{3} = 2381.06 \text{ Kg}$$



Cortante hiperestático V_H

$$V_H = \frac{4168.12 - 2305.51}{3.725} = 500.03 \text{ Kg}$$

$$V_A = 1190.53 - 500.03 = 690.50 \text{ Kg}$$

$$V_D = 2381.06 + 500.03 = 2881.09 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel

$$V_{AC} = V_A - \frac{W_4 X^2}{2L} = 690.50 - \frac{1917.63 \times (0.275)^2}{2(3.725)} = 671.03 \text{ Kg}$$

$$V_{DC} = V_A - W_4 \frac{(3.45)^2}{2L} = -2373.20$$

Momentos a los paños

$$M_{AD} = V_A X - \frac{W_4 X^3}{6L} \pm M_A = -2219.37 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DP} = 690.50(3.60) - \frac{1917.63(3.60)^3}{6(3.725)} - 2305.51 = -3822.79 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo

$$V = \frac{dM}{dX} = V_A - \frac{W_4 X^2}{2L} = 690.50 - \frac{1917.63 X^2}{2 \times 3.725} = 690.50 - 257.40 X^2$$

$$V = 0 \text{ si } 257.40 X^2 - 690.50 = 0$$

$$X_1^2 = \frac{690.50}{257.40} = 1.64 \text{ m}$$

$$M+ = 690.50(1.64) - \frac{1917.63(1.64)^3}{6(3.725)} - 2305.51 = 1132.378.46 - 2305.51 = 1551.55 \text{ Kg (-)}$$

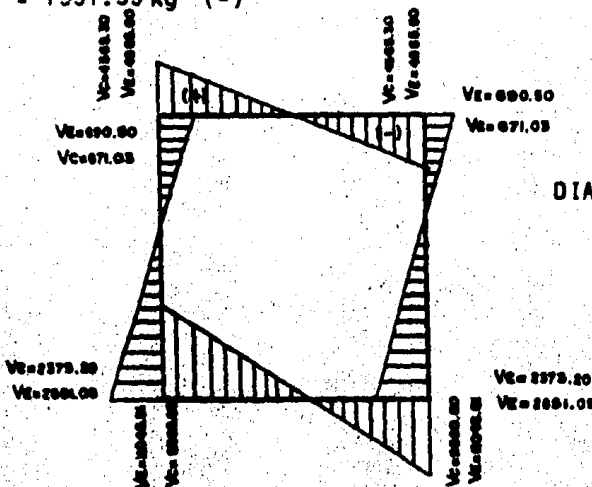
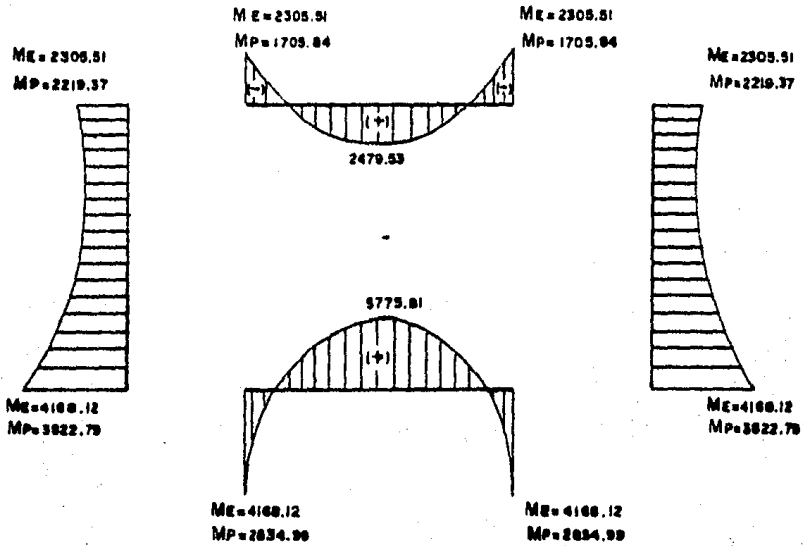


DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES

DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES



Diseño:

Constantes de cálculo:

$$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*c = 0.8 f'c = 0.8(200) = 160 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''c = 0.85 f^*c = 0.85(160) = 136 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{MAX} = 0.75 P_B \quad P_{min} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{f_y} \quad P_B = \frac{f''c}{f_y} \cdot \frac{4800}{f_y + 6000}$$

$$V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c} \quad \text{debido a que } P < 0.01$$

$$P_B = 0.01632$$

$$P_{max} = 0.75(0.01632) = 0.01224$$

$$P_{min} = 0.0025$$

$$V_{CR} = 0.9 \times 100 \times 25(0.2 + 30 \times 0.004284) \sqrt{160} = 9349.84 \text{ Kc} \approx V_{cartel} = 9360 \text{ Kg}$$

Momento máximo negativo = 4168.12 Kg-m

Momento máximo positivo = 5775.81 Kg-m

Acero de refuerzo negativo (parrilla interior)

$$M_R = F_R b d^2 f'' c q (1 - 0.5 q) = 0.9 \times 100 (20)^2 \times 136 q (1 - 0.5 q) =$$

$$= 489.6 \times 10^4 q - 244.8 \times 10^4 q^2$$

$$41.6812 \times 10^4 = 489.6 \times 10^4 q - 244.8 \times 10^4 q^2$$

$$41.6812 - 489.6 q + 244.8 q^2 = 0$$

$$q^2 = 0.0890931$$

$$p = q_2 = \frac{f'' c}{f_y} = 0.0890931 \frac{136}{4000} = 0.0030291 \quad p_{\min}$$

$$A_s = p b d = 0.0030291 \times 100 \times 20 = 6.60 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación } S = \frac{100 \times A_b}{A_s} = \frac{100 \times 1.27}{6.06} = 20.96 \text{ cm}$$

El armado será con varilla # 4 A.C. 20 cm

Acero positivo

$$57.7581 \times 10^4 = 0.9 \times 100 \times (20)^2 \times 136 q (1 - 0.5 q) = 489.60 \times 10^4 q - 244.8 \times 10^4 q^2$$

$$57.7581 - 489.60 q + 244.8 q^2 = 0$$

$$q^2 = \frac{489.60 - (-489.60) \pm \sqrt{(-489.60)^2 - 4(244.80)(57.7581)}}{2 \times 244.8} = \frac{489.60 - 427.96}{489.60} =$$

$$= \frac{61.64}{489.6} = 0.126$$

$$p = q_2 = \frac{f'' c}{f_y} = 0.126 \frac{136}{4000} = 0.004284$$

$$A_s = p b d = 0.004284 \times 100 \times 20 = 8.57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación } S = \frac{100 A_b}{A_s} = \frac{100 \times 1.27}{8.57} = 14.82 \text{ cm} = 15 \text{ cm}$$

Vars. # 4 A.C. 15 cm

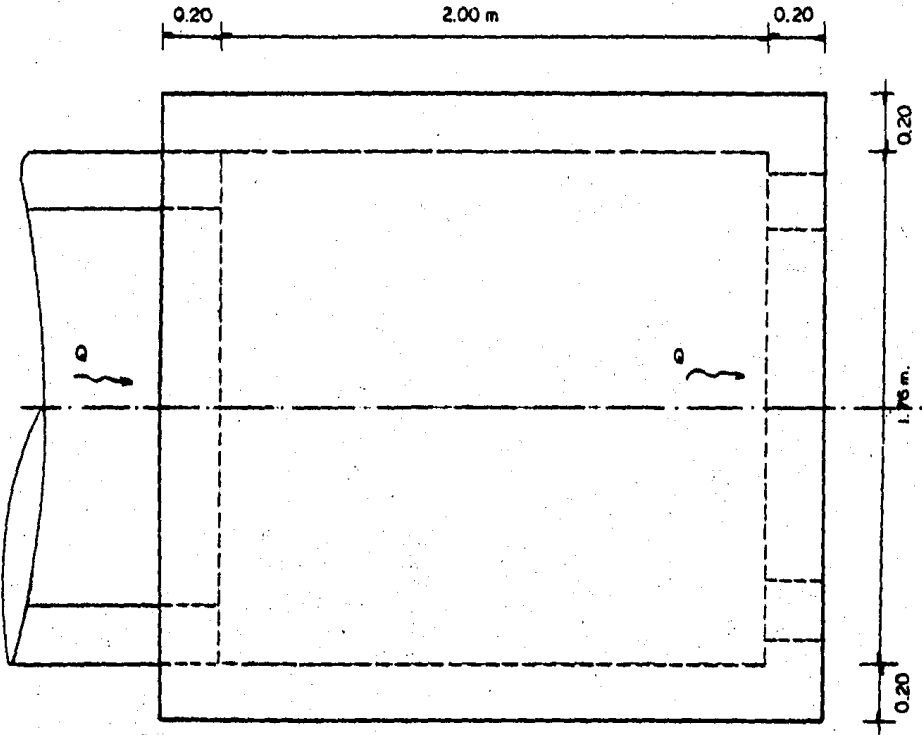
Analizando los armados para condiciones de cargas interiores y exteriores, el armado resultante para la segunda condición es el indicado.

3.4 Determinación del acero de refuerzo para la caja de compuertas de deslizamiento de 1.22 X 1.22 m en tramo de acueducto con sección circular.

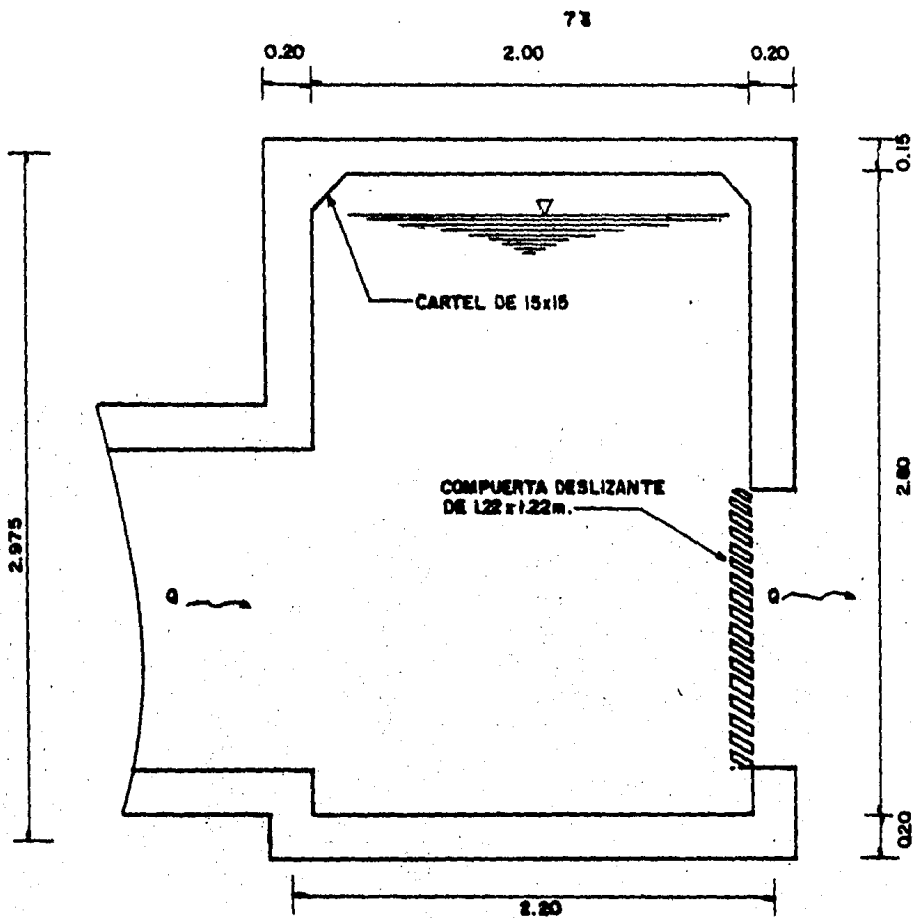
3.4.1 Análisis de la caja debido a cargas interiores.

3.4.2 Análisis de la caja debido a cargas exteriores.

EN LA OBTENCION DEL ACERO DE REFUERZO PARA LA CAJA DE COMPUERTAS Y DESLIZANTES DE 1.22 X 1.22 m SE SUPONEN LOS PERALTES DE LAS LOSAS Y MUROS.

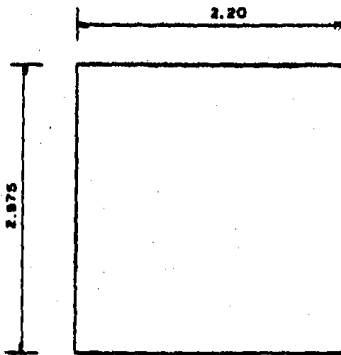


P L A N T A



PARA EL ANALISIS SE TOMARON EN CUENTA DOS CONDICIONES DE CARGA: CARGAS INTERIORES Y CARGAS EXTERIORES, ANALIZANDO LA 1^a CONDICION SE TIENE EMPUJE DEL AGUA SOBRE LOS MUROS Y LOSA INFERIOR Y DEBIDO A LA 2^a CONDICION EMPUJE DEL TERRENO SOBRE LOS MUROS Y -- LOSA INFERIOR.

CARGA SOBRE LA LOSA SUPERIOR DEBIDO AL MECANISMO ELEVADOR Y LA COMPUERTA, ASI COMO DE LA INFLUENCIA DEL EMPUJE DEL AGUA SOBRE LA COMPUERTA.



3.4.1 ANALISIS DE LA CAJA POR CARGAS INTERIORES

Debido a las cargas interiores la barra A-B no trabaja.

Barra C-D

Para obtener la carga sobre la barra C-D se determina la resultante de las fuerzas que actúan sobre ella, que son la reacción del terreno y el peso del agua.

$$\text{Reacción del terreno } R_T = \frac{\text{Peso de la caja} + \text{peso del agua}}{2.20}$$

$$\text{Peso de la caja} = 2.40 \times 3.15 - 2.80 \times 2.00 + 0.15 \times 0.15 \quad 2400 = \\ = 4758 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso del agua} = 2.00 \times 2.68 \times 1000 = 5360 \text{ kg/m}$$

Por lo tanto:

$$R_T = \frac{4758 + 5360}{2.20} = 4599.09 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso de la losa inferior} = 0.20 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2 = W_{LI}$$

$$P_w = \text{Presión del agua} = 2975 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre la barra C-D: W_2

$$W_2 = R_T - P_w - W_{LI} = 4599.09 - 2975 - 480 = 1144.09 \text{ Kg/m}^2$$

Determinación de la carga sobre los muros : para determinar la carga sobre los muros se observa la distribución triangular de carga quedando la distribución de cargas como sigue:

$$W_1 = 0$$

$$W_2 = 1144.09 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 2975.00 \text{ Kg/m}^2$$

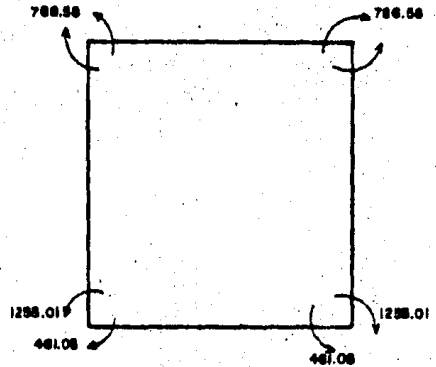
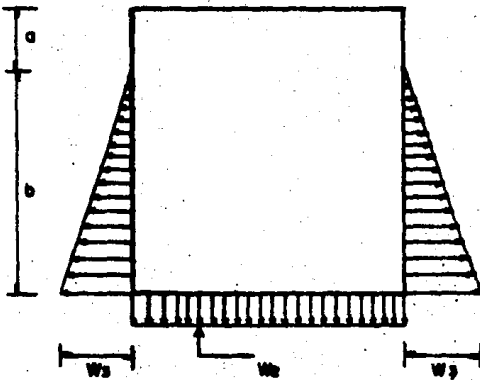
Momentos iniciales de empotramiento

$$M_{AD} = M_{BC} = \frac{Pb^3}{60L} \left(5 - 3 \frac{b}{L} \right) = \frac{2975(2.78)^3}{60 \times 2.975} \left(5 - 3 \left(\frac{2.78}{2.975} \right) \right) = 786.58 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = M_{CB} = \frac{Pb^2}{60} \left(3 \frac{b^2}{L^2} + 10 \frac{a}{L} \right) = \frac{2975(2.78)^2}{60} \left(3 \frac{(2.78)^2}{(2.975)^2} + 10 \frac{0.195}{2.975} \right) = 1255.01 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DC} = M_{CD} = \frac{WL^2}{12} = 1144.09 \times \frac{2.2^2}{12} = 461.45 \text{ Kg-m}$$

$$M_{AB} = M_{BA} = 786.58 \text{ Kg-m}$$



Rigideces y factores de distribución:

$$K = \frac{4EI}{L}$$

4E = Constante

$$K = \frac{I}{L}$$

$$RD = \frac{K}{EK}$$

Momento de inercia de las secciones

Barra A-B:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{100(15)^3}{12} = 28125 \text{ cm}^4$$

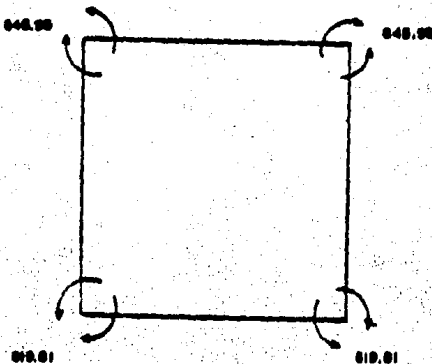
Barras B-C, C-D y D-A

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{100(20)^3}{12} = 66666.67 \text{ cm}^4$$

Nudo A	K	F.D
A-B	$\frac{4E(28125)}{2.20} = 12284.09 (4E)$	0.36
A-D	$\frac{4E(66666.67)}{2.975} = 22408.96 (4E)$	0.64
	EK = 35193.05 (4E)	F.D = 1.00

Nudo D	K	F.D
D-A	$\frac{66666.67(4E)}{2.975} = 22408.96(4E)$	0.43
D-C	$\frac{66666.67(4E)}{2.20} = 30383.03(4E)$	0.57
	EK = 52711.99(4E)	F.D = 1.00

A continuación se anotan los momentos finales:



Obtención de los cortantes a los ejes y al cartel, así como de los momentos a los paños y momentos positivos.

Barra A-B

Cortantes a los ejes $V_A = V_B = 0$

Cortantes al cartel $V_{AC} = V_{BC} = 0$; cortante al cartel

Momentos a los paños $M_{AP} = M_{BP} = 845.93 \text{ Kg-m}$

Barra C-D

Cortantes a los ejes

Cortante isostático (V_i)

$$V_i = \frac{1144.09 \times 2.20}{2} = 1258.50 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

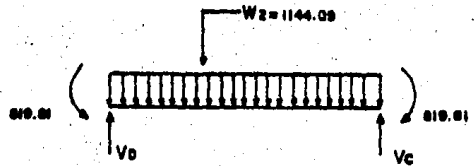
por lo tanto $V_A = V_B = 1258.50 \text{ Kg}$

Nota: en la parte inferior de la caja no tiene cartel.

Momentos a los paños

$$M_{DP} = 1258.50 (0.10) - \frac{Wx^2}{2} - M_A = -699.68 \text{ Kg-m}$$

$$M_{CP} = 1258.50 (2.10) - 1144.09 \frac{(2.10)^2}{2} - 819.81 = -619.68$$



Momento positivo

$$X_{(+)} = \frac{1258.50}{1144.09} = 1.10$$

$$M_{(+)} = 1258.50 (1.10) - 1144.09 \frac{(1.10)^2}{2} - 819.81 = -127.63 \text{ Kg-m}$$

Barras A-D y B-C

Cortantes a los ejes y al cartel:

Cortante isostático V_i

$$V_{iA} = \frac{w_3 b^2}{6L} = \frac{2975 (2.78)^2}{6(2.975)} = 1288.07 \text{ Kg}$$

$$V_{iD} = w_3 b \frac{(3L - b)}{6L} = 2975 \times 2.78 \frac{(3 \times 2.975 - 2.78)}{6 \times 2.975} = 2847.18$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

$$V_H = \frac{845.93 - 819.81}{2.975} = 8.78 \text{ Kg-m}$$

$$V_A = 1288.07 + 8.78 = 1296.85 \text{ Kg}$$

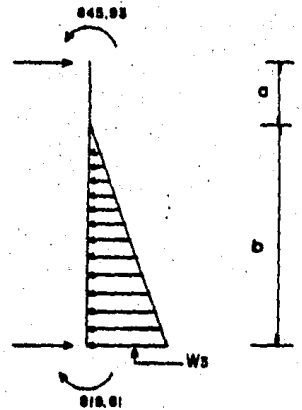
$$V_D = 2847.18 - 8.78 = 2838.40 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel $V_{AC} = V_A = 1296.85 \text{ Kg}$

Momentos a los paños

$$M_{AP} = V_A x - w_3 \frac{(x - a)^2}{6(L - a)} \pm M_A = 1296.85 (0.075) - \frac{0(x - a)}{6(L - a)} - 845.93 =$$

$$= -748.67 \text{ Kg-m}$$



$$M_{Dp} = 1296.85(2.875) - 2975 \frac{(2.875 - 0.195)^3}{6(2.975 - 0.195)} - 845.93 = -550.66$$

Momento positivo

Ecuación que proporciona el valor del momento en cualquier sección de la barra analizando esta de "A" hacia "D".

$$M = V_A X - W_3 \frac{(x-a)^3}{6(L-a)} \pm M_A$$

$$\frac{dM}{dx} = \text{cortante} = V - V_A - 3W_3 \frac{(x-a)^2}{6(L-a)} + 0 = 1296.85 - W_3 \frac{(x-a)^2}{2(L-a)}$$

$$V = 0 ; \text{ si } 1296.85 - W_3 \frac{(x-a)^2}{2(L-a)} = 0$$

$$535.07x^2 - 208.68x - 1276.50 = 0$$

$$x_1 = \frac{208.68 + 1666.02}{1070.14} = 1.75$$

$$M_{(+)} = 1296.85(1.75) - 2975(1.75 - 0.195)^3 - 845.93 = 752.93 \text{ Kg-m}$$

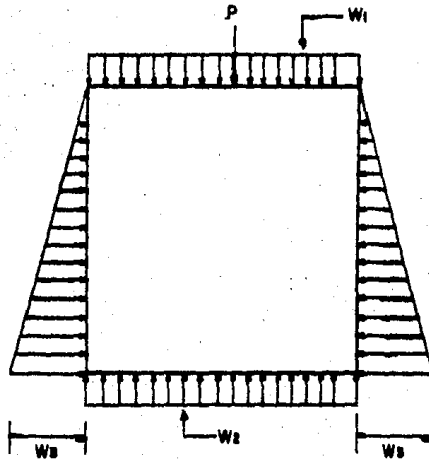
3.4.2 ANALISIS DE LA CAJA SUJETA A CARGAS EXTERIORES Y ADEMAS COMPLETAMENTE VACIA.

Para el caso se hacen las siguientes consideraciones en base a las observaciones hechas durante los recorridos realizados a lo largo del acueducto existente, esto es, para estimar el empuje sobre los muros de la caja:

$$\text{Peso volumétrico del material} = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso volumétrico sumergido} = 800 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Coeficiente de empuje } K_a = 0.315$$



La carga P es la correspondiente a la carga transmitida por el mecanismo elevador.

Capacidad del mecanismo elevador (C.M.E.)- La capacidad del mecanismo elevador se determina con el peso de la compuerta y la fuerza de fricción entre el marco de deslizamiento y la compuerta provocada por el empuje del agua, el coeficiente de fricción recomendado es de 0.35

$$E_A = \text{Empuje del agua} = hA = 1000 \times 1.89 \times 1.22 \times 1.22 = 2813.08 \text{ Kg}$$

- Hoja de la compuerta	(fundición)	280.00
- Marco de deslizamiento	(fundición)	211.00
- Soleras de apoyo y de guías	(acero)	29.00
- Herrajes, anclajes y pernos	(acero)	13.00
- Vástago		<u>25.00</u>

558.00

$$\text{C.M.E.} = 558.00 + 0.35(2813.08) = 1542.58 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del mecanismo elevador} = 150.00 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga concentrada } P = 1542.58 + 150 = 1692.58 \text{ Kg}$$

Carga uniformemente repartida sobre la losa superior W_1

$$W_{LS} = 0.15 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 360 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre la losa inferior W_2

$$W_2 = R_T - W_{LI}$$

$$\text{Donde } W_{LI} = \text{Peso de la losa inferior} = 0.20 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso de la caja} = 3.15 \times 2.40 - 2.0 \times 2.80 + 0.15 \times 0.15 \times 2400 = 4758.00 \text{ Kg/m} = P_c$$

$$\text{Peso del agua} = 2.20 \times 3.78 \times 1000 = 8316.00 \text{ KG} = P_w$$

$$\text{Efecto de la carga } P = 1692.58 \text{ Kg}$$

$$\text{Reacción del terreno } R_T = \frac{4758 + 8316 + 1692.58}{2.40} = 6152.74 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = 6152.74 - 480 = 5672.74 \text{ Kg/m}^2$$

Nota : no se considera la subpresión debido a que en la zona donde construirá la caja el nivel freático se localiza abajo del desplante de la caja.

Determinación de la carga sobre los muros.

$$W_3 = K h = 0.315 \times 1800 \times 3.00 = 1701.00 \text{ Kg/m}^2$$

Se puede observar que para la segunda condición de carga las cargas resultantes en cada elemento de la caja, resultan mayores que para la primera condición de carga a excepción de la W_3 que resultó menor en la segunda condición.

Considerando un factor de carga F.C = 1.4 finalmente se tiene:

$$W_1 = 1.4 \times 360 = 504.00 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = 1.4 \times 5672.74 = 7941.84 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 1.4 \times 1701.00 = 2381.40 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = 1.4 \times 1692.58 = 2369.61 \text{ Kg/m}^2$$

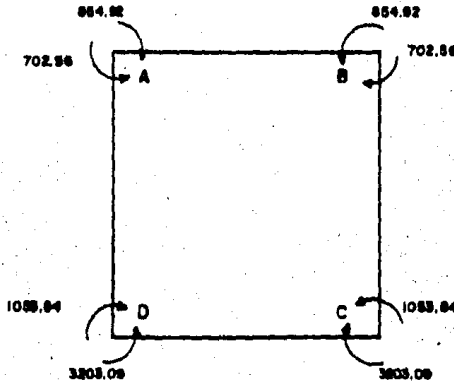
Momentos iniciales de empotramiento:

$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{W_1 L^2}{12} + \frac{P L}{8} = \frac{504.00(2.20)^2}{12} + \frac{2369.61 \times 2.20}{8} = 854.922 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DC} = M_{CD} = 3203.09 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = M_{CB} = 1053.84 \text{ Kg-m}$$

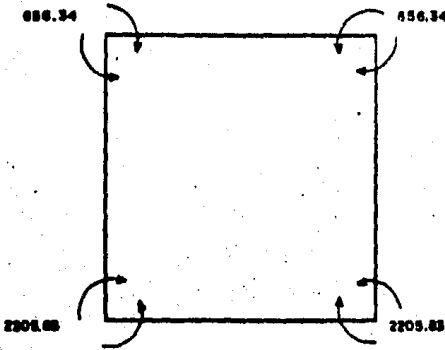
$$M_{AD} = M_{BC} = \frac{W_3 l^2}{30} = \frac{2381.40 (2.975)^2}{30} = 702.56 \text{ Kg-m}$$



Aplicando el método de Cross se obtienen los momentos finales.

NUDO	A		B		C		D	
BARRA	A-D	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C	D-A
F. D	0.64	0.36	0.64	0.43	0.57	0.57	0.57	0.43
MI	-702.56	+854.92	-854.92	+702.56	-1053.84	3203.09	-3203.09	1053.84
	-97.51	-54.85	54.85	97.51	-924.18	-1225.07	+1225.07	924.18
	462.09	27.43	-27.43	-462.09	48.76	612.54	-612.54	-48.76
	-313.29	-176.23	176.23	313.29	-284.36	-376.94	+376.94	284.36
	142.18	88.12	-88.12	-142.18	156.25	188.47	-188.47	-156.65
	-147.39	-82.91	82.91	147.39	-148.23	-196.49	+196.49	148.23
	74.12	41.46	-41.46	-74.12	73.70	98.25	-98.25	-73.70
	-73.97	-41.61	+41.61	+73.97	-73.94	-98.01	98.01	73.94
	36.97	20.81	-20.81	-36.97	36.99	49.01	-49.01	-36.99
	-36.98	-20.80	20.80	36.98	-36.98	-49.02	49.02	36.98
M _F	18.49	10.40	-10.40	-18.49	18.94	24.51	-24.51	-18.49
	-18.49	-10.40	10.40	18.49	-18.49	-42.51	24.51	18.49
M _F	-656.34	656.34	-656.34	656.34	-2205.83	2205.83	-2205.83	2205.83

Momentos finales de empotramiento



Obtención de los cortantes a los ejes y al cartel así como de los momentos a los paños y momento positivo.

Barra A-B

Cortante isostático V_i

$$V_i = \frac{504 \times 2.20}{2} + \frac{2369.61}{2}$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

$$V_A = 1739.21 \text{ Kg}$$

$$V_B = 1739.21 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel

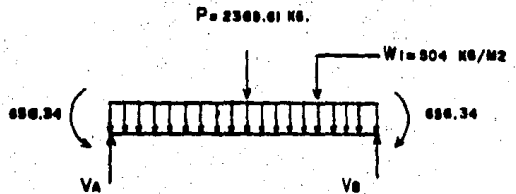
$$V_{AC} = 1739.21 - W_x = 1739.21 - 504(0.25) = 1613.21; \quad V_{BC} = -1613.21 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños:

$$M = V_A X - W \frac{X^2}{2} + M_A \quad \text{para cero } X = 1.10$$

$$M_{AP} = 1739.21(0.10) - 504 \frac{(0.10)^2}{2} - 656.34 = -484.94 \text{ Kg-m}$$

$$M_{BP} = 1739.21(2.10) - 504 \frac{(2.10)^2}{2} - 2369.61(2.10 - 1.1) - 656.34 = -484.93$$



Momento positivo

$$M_{(+)} = 1739.21(1.10) - 504 \frac{(1.10)^2}{2} - 2369.61(1.10 - 1.10) - 656.34 = 951.87$$

Barra C-D

Cortantes a los ejes y al cartel

Cortante isostático V_i

$$V_i = \frac{7941.84 \times 2.20}{2} = 8736.02 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático $V_H = 0$

$$V_D = 8736.02 \text{ Kg}$$

$$V_C = 8736.02 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel

$$V_{DC} = 8736.02 - W_x = 8736.02 - 7941(0.25) = 6750.56 \text{ Kg (si existiera cartel).}$$

$$V_{CC} = 8736.02 - 1.95(7941.84) = -6750.56 \text{ Kg (si existiera cartel)}$$

Momentos a los paños

$$M_{Dp} = 8736.02(0.10) - 7941.84 \frac{(0.10)^2}{2} - 2205.83 = -1371.94 \text{ Kg-m}$$

$$M_{Cp} = 8736.02(2.10) - 7941.84 \frac{(2.10)^2}{2} - 2205.83 = -1371.95 \text{ Kg-m}$$

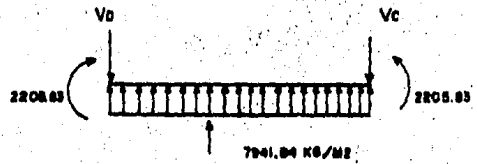
Momento positivo

$$M_{+} = 8736.02(1.10) - 7941.84 \frac{(1.10)^2}{2} - 2205.83 = \pm 2598.98 \text{ Kg-m}$$

Barra A-D cortantes a los ejes

Cortante isostático V_i

$$V_{iA} = \frac{W_3 L}{6} = \frac{2381.40 \times 2.975}{6} = 1180.78 \text{ Kg}$$



$$V_{ID} = \frac{W_3 L}{3} = \frac{2381.40 \times 2.975}{3} = 2361.56$$

Cortante hiperestático V_H

$$V_H = \frac{2205.83 - 656.34}{2.975} = 520.84 \text{ Kg}$$

$$V_A = 1180.78 - 520.84 = 659.94 \text{ Kg}$$

$$V_D = 2361.56 + 520.84 = 2882.40 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel

$$V_{AC} = V_A - W_3 \frac{x^2}{2L} = 659.94 - 2381.40 \frac{(0.25)^2}{2(2.975)} = 634.93 \text{ Kg}$$

$$V_{DC} = 659.94 - 2381.40 \frac{(2.725)^2}{2(2.975)} = -2312.06 \text{ Kg (en caso de que se construya cartel en la parte inferior)}$$

Momentos a los paños

$$M_{AP} = V_A x - \frac{W_3 x^3}{6L} - M_A = 659.94(0.10) - 2381.40 \frac{(0.10)^2}{6(2.975)} - 656.34 = -590.48 \text{ Kg}$$

$$M_{DP} = 659.94(2875) - 2381.40 \frac{(2.875)^3}{6(2.975)} - 656.34 = -1929.37 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo M_+

De la ecuación que proporciona el valor del momento al analizar la barra de A hacia D se tiene :

$$V = \frac{dM}{dx} = V_A - \frac{3W_3 x^2}{6L} + 0 = 659.94 - \frac{W_3 x^2}{2L} = 659.94 - \frac{2381.40 x^2}{5.95}$$

$$V = 659.94 - 400.24x^2, \quad V = 0 \text{ si } 659.94 - 400.24x^2$$

$$x^2 = \frac{659.94}{400.24} = 1.65, \quad x = 1.28 \text{ m}$$

$$M_+ = 659.94(1.28) - 2381.40 \frac{(1.28)^3}{6(2.975)} - 656.34 = -91.40 \text{ Kg}$$

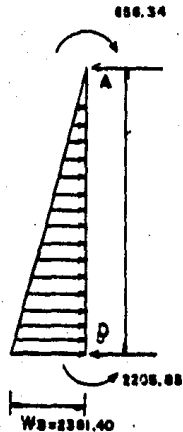


DIAGRAMA DE ELEMENTOS MECANICOS PARA LA PRIMERA CONDICION DE CARGA
(CARGAS INTERIORES)

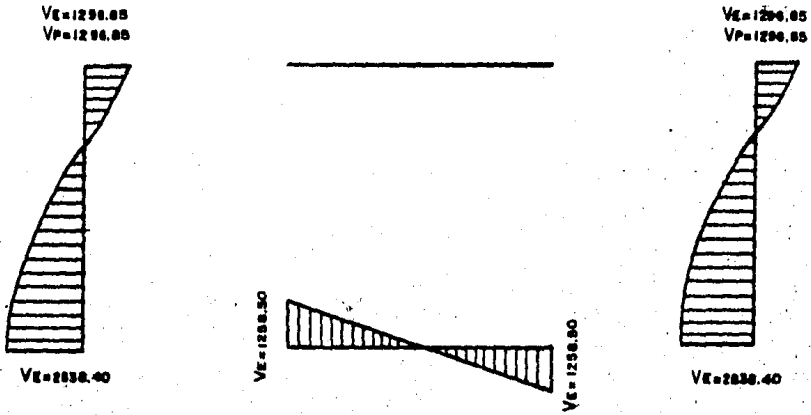


DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES

DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES

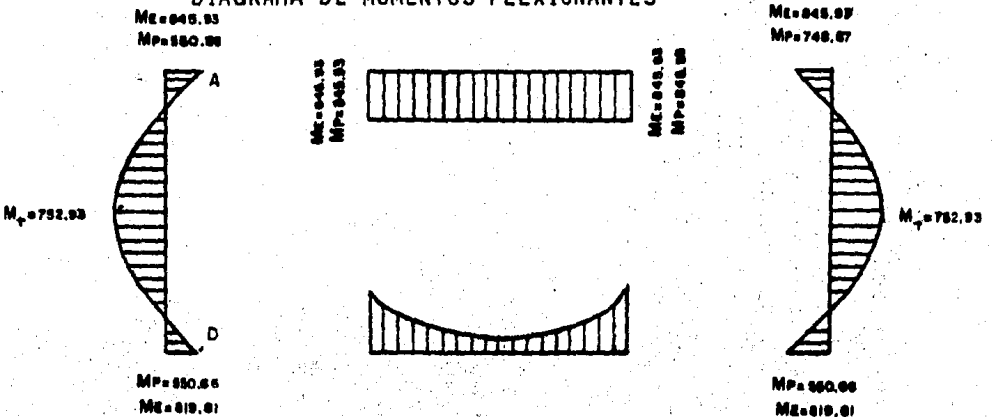


DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES POR CARGAS EXTERIORES.

VE=659.94
VC=634.75



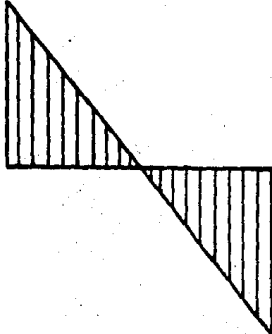
VE=2882.40

VE=1739.21
VC=1613.21



VC=1613.21
VE=1739.21

VE=8756.02
VC=1003.21



VE=8756.02
VC=8756.02

VE=659.94
VC=634.93



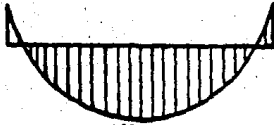
VE=2882.40

ME=688.34
MP=590.48



MP=1029.37
ME=2208.88

ME=688.34
MP=484.83

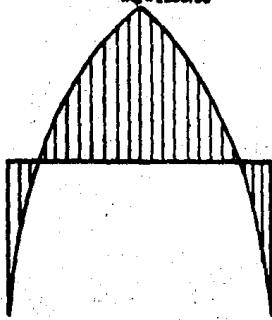


M_c = 681.87

M_c = 2208.88

MP=484.83
ME=598.34

ME=2208.88
MP=1371.84



MP=1371.84
ME=2208.88

ME=688.34
MP=590.48



MP=1029.37
ME=2208.88

DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTE

El acero de refuerzo se puede calcular en base a los momentos máximo positivo y negativo o en base a los valores máximos de los mismos referidos a los paños de la misma manera la revisión por cor tante se puede tomar el cortante máximo a los ejes o al cartel. Para el caso, el cálculo del acero de refuerzo se efectuará con los obtenidos a los ejes.

Momento máximo negativo para la primera condición de carga ,

$$M_{(-)} = 845.93 \times 1.4 = 1184.30 \text{ Kg-m}$$

Momento máximo positivo para la primera condición de carga

$$M_{+} = 752.93 \times 1.4 = 1054.10 \text{ Kg-m}$$

Momento máximo negativo para la segunda condición de carga

$$M_{(-)} = 2205.83 \text{ Kg-m}$$

Momento máximo positivo para la segunda condición de carga

$$M_{+} = 2598.98 \text{ Kg-m}$$

Cortante máximo al cartel para la primera condición de carga

$$V = 2838.40 \text{ Kg} \times 1.4 = 3973.76 \text{ Kg}$$

Cortante máximo al cartel para la segunda condición de carga

$$V = 8736.02 \text{ Kg}$$

Se observa que para la segunda condición de carga se tienen las condiciones críticas. Por lo tanto, el acero de refuerzo se calculará con los valores ya conocidos.

Constantes de Cálculo:

$$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*c = 0.8 f'c = 0.8(200) = 160 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''c = 0.85 f^*c = 0.85(160) = 136 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_b = \frac{f''c}{f_y} = \frac{4800}{f_y + 6000} = \frac{136}{4000} \frac{4800}{10000} = 0.01632$$

$$P_{MAX} = 0.75 P_b = 0.75(0.01632) = 0.01224$$

$$P_{\min} = \frac{0.7 f'c}{f_y} = \frac{0.7 \cdot 200}{4000} = 0.0025$$

$$M_R = F_R b d^2 f'c \cdot 4(1 - 0.5q) \quad F_R = 0.9 \text{ para flexión}$$

$$220583 = 0.9 \times 100(12)^2 136q(1 - 0.5q)$$

$$0 = 88.128q^2 - 176.256q + 22.0583$$

$$q_2 = \frac{176.256 - \sqrt{(-176.256)^2 - 4(88.128)(22.0583)}}{2 \times 88.128} = \frac{176.256 - 152.61}{176.256} = 0.134$$

$$P = q \frac{f'c}{f_y} = 0.134 \frac{136}{4000} = 0.0046 \quad P_{\min}$$

$$A_s = P b d = 0.0046 \times 100 \times 12 = 5.52 \text{ cm}^2$$

$$\text{Escogiendo varias varillas del } \# 4 \text{ } A_b = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación } S = \frac{100 A_b}{A_s} = \frac{127}{5.52} = 23 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Por lo tanto la losa superior, el armado exterior (parrilla exterior) se hará con vars. del # 4 A.C. 20 cm

Para los muros y la losa inferior

$$22.0583 \times 10^4 = 0.9 \times 100 \times 16^2 \times 136 q(1 - 0.5q) = 3133440q - 1566720q^2$$

$$22.0583 = 313.344q - 156.672q^2$$

$$0 = 313.344q - 156.672q^2 - 22.0583$$

$$0 = 156.672q^2 - 313.344q + 22.0583$$

$$q_2 = \frac{313.344 - \sqrt{(-313.344)^2 - 4(156.672)(22.0583)}}{2 \times 156.672} = \frac{313.344 - 290.45}{313.344} = 0.0731$$

$$P = 0.0731 \frac{136}{4000} = 0.0025 = P_{\min}; \quad A_s = 0.0025 \times 100 \times 16 = 4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación} = \frac{100 \times 1.27}{4} = 31.75 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}; \text{ Vars. } \# 4 \text{ A.C. } 30 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo para momento positivo (parrilla interior)

$$259898 = 0.9 \times 100(12)^2 136q(1 - 0.5q) = 1762560q - 881280q^2$$

$$0 = 88.128q^2 - 176.256q + 25.9898$$

$$q_2 = \frac{176.256 - (-176.256)^2 - 4(88.128)(25.9898)}{2 \times 88.128} = \frac{176.256 - 148.00}{176.256} = 0.1603$$

$$P = 0.1603 \frac{136}{4000} = 0.0055 \quad P_{\min}$$

$$A = Pbd = 0.0055 \times 100 \times 12 = 6.60 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación} = \frac{100 \times 1.27}{6.60} = 19.24 \text{ cm} \pm 20 \text{ cm}$$

Vars. # 4 A.C. 20 cm para el armado de la losa superior (armado interior)

Armado interior en muros y losa inferior

$$259898 = 0.9 \times 100(16)^2 136q(1 - 0.5q) = 313344q - 1566720q^2$$

$$0 = 156.672q^2 - 313.344q + 25.9898$$

$$q_2 = \frac{313.344 - (-313.344)^2 - 4(156.672)(25.9898)}{2 \times 156.672} = \frac{313.344 - 286.18}{313.344} = 0.087$$

$$P = 0.087 \frac{136}{4000} = 0.003 \quad ; \quad A = Pbd = 0.003 \times 100 \times 16 = 4.80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación } S = \frac{100 \times 1.27}{4.80} = 26.45 \pm 25 \text{ cm}$$

Vars. # 4 A.C. 25 cm

Revisión por cortante

Debido a que en todos los casos el porcentaje de acero obtenido $P = 0.01$, el cortante que toma el concreto se obtiene con la fórmula siguiente:

$$V_{CR} = F_R bd(0.2 + 30p) \sqrt{f'_c} = 0.8 \times 100 \times 12 [0.2 + 30(0.0046)] 12.65 = 4104.67 \text{ Kg}$$

El cortante máximo sobre la losa resultó = 1613.21 V_{CR}

$$\text{Muros : } V_{CR} = 0.8 \times 100 \times 16 [0.2 + 30(0.0025)] 12.65 = 4452.80 \text{ Kg}$$

2882.40

$$\text{Losa inferior : } V_{CR} = 8763.02 \text{ Kg}$$

Se propone incrementar el peralte de la losa inferior a 25 cm

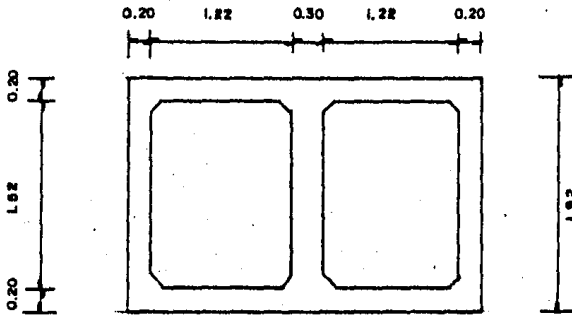
Para el acero de refuerzo del conducto de transición este ten-

drá un armado correspondiente al porcentaje de acero mínimo $P_{\min} = 0.0025$

El cálculo se efectuó en el caso en que se utilizan dos compuertas, ver memoria de cálculo respectiva, el cálculo en este caso se omite por la similitud que existe en los dos casos.

- 3.5 Determinación del acero de refuerzo del conducto de transición para ligar caja de compuertas con acueducto en tramo con sección ovoide.
- 3.5.1 Análisis del conducto a sección llena.
- 3.5.2 Análisis del conducto vacío y sujeto a cargas exteriores.

3.5.1 ANÁLISIS DEL CONDUCTO A SECCIÓN LLENA - Se supone para el cálculo un espesor de 20 cm y carteles de 0.10 X 0.10 m



CARGA SOBRE LA LOSA SUPERIOR : W_1 (presión hidrostática)

Elevación del agua a la entrada 2.50 m (elevación relativa)

Elevación del lecho inferior de la losa superior 1.52 m

Carga hidrostática = 2.50 - 1.52 = 0.98 m

$$P = \gamma h = 1000 \times 0.98 = 980 \text{ Kg/m}^2$$

Peso propio de la losa superior

$$W_p = 0.20 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{por lo tanto } W_1 = P - W_p = 980 - 480 = 500 \text{ Kg/m}^2$$

CARGA SOBRE LA LOSA INFERIOR :

La resultante de las cargas se obtiene de la diferencia entre la reacción del terreno y las cargas verticales de arriba hacia abajo.

Presión hidrostática:

Elevación del agua a la entrada 2.50 m

Elevación del lecho superior de la losa inferior 0.00

Carga hidrostática = 2.50 m

$$\text{Presión hidrostática} = h = 2500 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Area hidr\u00e1ulica} = \left[(1.22 \times 1.52) - \frac{0.10 \times 0.10}{2} \times 4 \right] = 1.83 \text{ m}^2$$

$$W_A = 1000 \times 1.83 = 1830 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Peso propio del conducto} : (1.57 \times 1.92 - 1.83) = 2842.56 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Reacci\u00f3n del terreno (R}_T\text{)} ; R_T = \frac{\text{PESO DEL AGUA} + \text{PESO DEL CONDUCTO}}{\text{ANCHO DEL CONDUCTO}}$$

$$R_T = \frac{1830 + 2842.56}{1.57} = 2976.15 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Peso propio de la losa inferior } W_{pp} = 0.20 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Carga sobre la losa inferior } W_2 = R_T - 2500 = 476.15 \text{ Kg/m}^2$$

CARGA SOBRE LAS PAREDES LATERALES :

Los valores de las cargas en los dos muros son iguales y son equivalentes a las presiones hidrost\u00e1ticas en los lechos inferior y superior de la losa inferior.

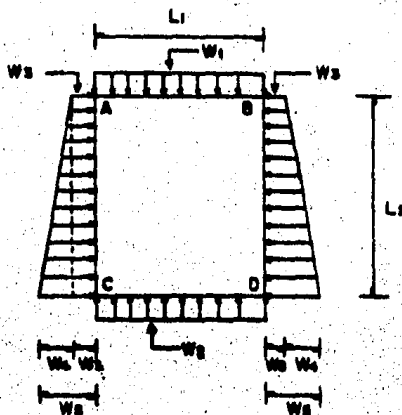
$$W_1 = 500 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = 476.15 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 980 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_5 = 2500 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_4 = W_5 - W_3 = 2500 - 980 = 1520 \text{ Kg/m}^2$$



OBTENCION DE LOS MOMENTOS INICIALES DE EMPOTRAMIENTO

Barra A-B

$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{W_1 L_1^2}{12} = 500 \frac{(1.47)^2}{12} = 90.04 \text{ Kg-m}$$

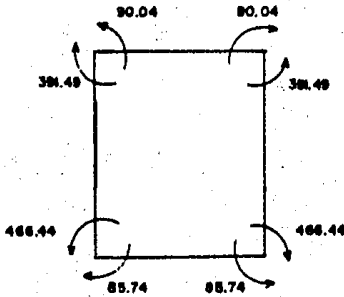
Barra C-D

$$M_{CD} = M_{DC} = \frac{W_2 L_2^2}{12} = 476.15 \frac{(1.47)^2}{12} = 85.74 \text{ Kg-m}$$

Barras A-D y B-C

$$M_{AD} = M_{BC} = \frac{W_3 L_2^2}{12} + \frac{W_4 L_2^2}{30} = 980 \frac{(1.72)^2}{12} + 1520 \frac{(1.72)^2}{30} = 391.49 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = M_{CB} = \frac{W_3 L_2^2}{12} + \frac{W_4 L_2^2}{20} = 980 \frac{(1.72)^2}{12} + 1520 \frac{(1.72)^2}{20} = 466.44 \text{ Kg-m}$$

MOMENTOS INICIALES
DE EMPOTRAMIENTO

Otención de rigideces aplicando el método de Cross al cálculo del marco rígido.

Otención de rigideces y factores de distribución.

$$K = 4EI$$

$$4E = \text{CONSTANTE}$$

$$K = \frac{I}{L}$$

$$F.D = \frac{K}{\sum K}$$

Momentos de inercia de las secciones.

Barras A-B, C-D y A-D

$$I = \frac{1}{12} (100)(20)^3 = 66666.67 \text{ cm}^4$$

Barra B-C

Barra B-C

$$I = \frac{1}{12} (100)(30)^3 = 225000.00 \text{ cm}^4$$

Nudo A

F.D

$$K_{AB} = \frac{4EI}{L} = \frac{4EI}{1.47} = 2.72 EI \quad 0.67$$

$$K_{AD} = \frac{4EI}{L} = \frac{4EI}{1.72} = 4.05EI \quad 0.33$$

$$K = EI \quad F.D = 1.00$$

Nudo B

K

F.D

$$\text{Barra B-A} \quad \frac{66666.67}{147} = 453.51 \quad 0.26$$

$$\text{Barra B-C} \quad \frac{225000.00}{172} = 1308.14 \quad 0.74$$

$$K = 1761.65 \quad F.D = 1.00$$

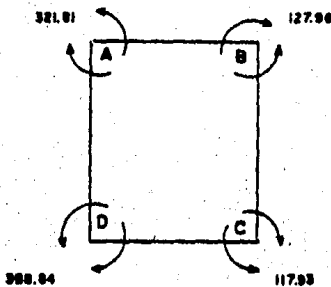
Nudo C

$$\text{Barra C-B} \quad \frac{225000.00}{172} = 1308.14 \quad 0.74$$

$$\text{Barra C-D} \quad \frac{66666.67}{147} = 453.51 \quad 0.26$$

$$= 1761.65 \quad F.D = 1.00$$

NUDO	A		B		C		D	
BARRA	A-D	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C	D-A
F.D	0.33	0.67	0.26	0.74	0.74	0.26	0.67	0.33
M.I	391.49	-90.04	90.04	-391.49	466.44	-85.74	85.74	-466.44
	-99.98	-201.97	78.38	223.07	-281.72	-98.98	255.07	125.63
	62.82	39.19	-100.99	-140.86	111.54	127.54	-49.49	-49.74
	-33.66	-68.35	62.88	178.97	-176.92	-62.16	66.48	32.75
	16.38	31.44	-34.18	-88.46	89.50	33.24	-31.08	-16.83
	-15.78	-32.04	31.89	90.75	-90.83	-31.91	32.10	15.81
	7.91	15.95	-16.02	-45.42	45.38	16.05	-15.96	-7.89
	-7.87	-15.99	15.97	45.47	-45.46	-15.97	15.98	7.87
	3.94	7.99	-8.00	-22.73	22.74	7.99	-7.99	-3.99
	-3.94	-7.99	7.99	22.74	-22.74	-7.99	7.99	3.94
M _F	321.81	321.81	127.96	-127.96	117.93	-117.93	358.84	-358.84

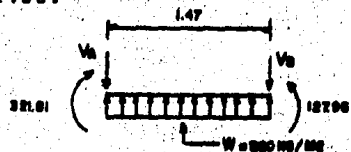


MOMENTOS FINALES

Obtención de los cortantes a los ejes y al cartel así como de los momentos a los paños y momentos positivos.

Barra A-B

Cortante Isostático (V_I)



Por simetría de cargas :

$$V_i = \frac{WL}{2} = \frac{500 \times 1.47}{2} = 367.50 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático

$$V_H = \frac{321.81 - 127.96}{1.47} = 131.87 \text{ Kg}$$

$$V_A = 367.50 + 131.87 = 499.37 \text{ Kg (cortante a los ejes)}$$

$$V_B = 367.50 - 131.87 = 235.63 \text{ Kg}$$

Obtención de cortantes al cartel

V_{AC} = Cortante al cartel próximo al extremo A

V_{BC} = Cortante al cartel próximo al extremo B

$$V_{AC} = 499.37 - W_X = 499.37 - 500(0.20) = 499.37 - 100 = 399.37 \text{ Kg}$$

$$V_{BC} = 499.37 - W_X = 499.37 - 500(1.27) = 499.37 - 635 = -135.63 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños

M_{AP} = Momento en el paño próximo al extremo A

$$M_{AP} = 499.37 \times 0.10 - \frac{WX^2}{2} \pm M_A = 49.937 - \frac{500(0.10)^2}{2} - 321.81 =$$

$$= -247.37 \text{ Kg-m}$$

$$M_{BP} = 499.37 \times -\frac{WX^2}{2} \pm M_A = 499.37(1.37) - 500 \frac{(1.37)^2}{2} = -106.90 \text{ Kg-m}$$

Obtención del momento positivo.

De la ecuación general de momento para la barra, se tiene:

$$M = V_A X - \frac{WX^2}{2} \pm M_A \text{ (recorriendo la barra de izquierda a derecha)}$$

derivando C/R A X

$$\frac{dM}{dX} = \text{cortante} = V = \frac{V}{A} - WX ; \frac{dM}{dX} = 0 = V \text{ si } V - WX = 0$$

$$\therefore X = \frac{V}{W} = \frac{499.37}{500} = 1.00 \text{ m}$$

$$M_{(+)} = 499.37(1.0) - 500 \frac{(1.0)^2}{2} - 321.81 = -72.44 \text{ Kg-m}$$

Barra C-D:

Cortante isostático (V_I)

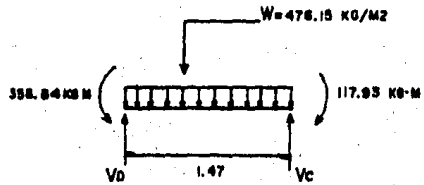
$$V_I = \frac{476.15 \times 1.47}{2} = 349.97 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático V_H

$$V_H = \frac{358.84 - 177.93}{1.47} = 163.88 \text{ Kg}$$

$$V_D = 349.97 + 163.88 = 513.85 \text{ Kg}$$

$$V_C = 349.97 - 163.88 = 186.09 \text{ Kg}$$



Cortante al cartel

$$V_{DC} = 513.85 - WX = 513.85 - 476.15(0.20) = 418.62 \text{ Kg}$$

$$V_{CC} = 513.85 - 476.15(1.27) = 90.86 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños:

$$M_{DP} = V_D X - WX^2 \pm M_D = 513.85(0.10) - 476.15 \frac{(0.10)^2}{2} - 358.84 =$$

$$= -309.84 \text{ Kg-m}$$

$$M_{CP} = 513.85(1.37) - 476.15 \frac{(1.37)^2}{2} - 358.84 = -101.71 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo:

$$X_+ = \frac{513.85}{476.15} = 1.08 \text{ m}$$

$$M_{(+)} = 513.85(1.08) - 476.15(1.08) - 358.84 = -318.12 \text{ Kg-m}$$

Barra A-D

$$W_3 = 980 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_4 = 1520 \text{ Kg/m}^2$$

Cortante isostático (V_I)

$$V_{IA} = \frac{W_3 L_2}{2} + \frac{W_4 L_2}{6}$$

$$V_{IA} = \frac{980 \times 1.72}{2} + \frac{1520 \times 1.72}{6} = 1278.53 \text{ Kg}$$

$$V_{ID} = \frac{W_3 L_2}{2} + \frac{W_4 L_2}{3} = 842.80 + 871.47 = 1714.27 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático V_H

$$V_H = \frac{358.84 - 321.81}{1.72} = 21.53 \text{ Kg}$$

$$V_A = 1278.53 - 21.53 = 1257.00 \text{ Kg}$$

$$V_D = 1714.27 + 21.53 = 1735.80 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel

$$V_{AC} = V_A - W_3 x - \frac{W_4 x^2}{2L} = 1257 - 980(0.20) - \frac{1520(0.20)^2}{2(1.72)} = 972.63 \text{ Kg}$$

$$V_{DC} = 1257 - 980(1.52) - \frac{1520(1.52)^2}{2(1.72)} = 904.23 \text{ Kg}$$

Momentos al paño:

$$M_{AP} = V_A x - W_3 \frac{x^2}{2} - W_4 \frac{x^3}{6L} \pm M_A = 1257(0.10) - 980 \frac{(0.10)^2}{2} - 1520 \frac{(0.10)^3}{6(1.72)} - 321.81$$

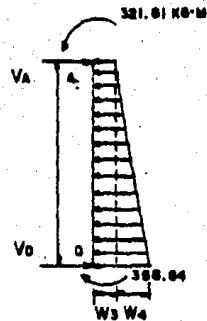
$$M_{AP} = -201.10 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DP} = 1257(1.62) - 980 \frac{(1.62)^2}{2} - 1520 \frac{(1.62)^3}{6(1.72)} - 321.81 = -197.62$$

Momento positivo .- de la ecuación general de momento para la barra, teniendo un sentido de recorrido de A a B se tiene:

$$M = V_A x - W_3 \frac{x^2}{2} - W_4 \frac{x^3}{6L} \pm M_A$$

Derivando :



$$\frac{dM}{dx} = V = V_A - W_3X - \frac{Wx^2}{2L}; \quad V = 0, \text{ si } \frac{Wx^2}{2L} + W_3X - V_A = 0$$

$$\therefore X_{(+)} = \left[-W_3 \pm \sqrt{W_3^2 - 4\left(\frac{W_4}{2L}\right)(-V_A)} \right] / 2\left(\frac{W_4}{2L}\right)$$

$$X_{(+)} = \left[-980 + \sqrt{960400 + 2221674.3} \right] / 883.72 = 0.91 \text{ m}$$

$$M_{(+)} = 1257(0.91) - 980 \frac{(0.91)^2}{2} - 1520 \frac{(0.91)^3}{6(1.72)} - 321.81 = 305.30 \text{ Kg}$$

Los valores obtenidos para la barra A-D son válidos para la barra B-C teniendo en cuenta que solo difieren en el sentido.

- Acero de refuerzo negativo (parrilla interior)

El área de acero se calculará con el valor de momento máximo al paño.

Acero positivo (parrilla exterior)

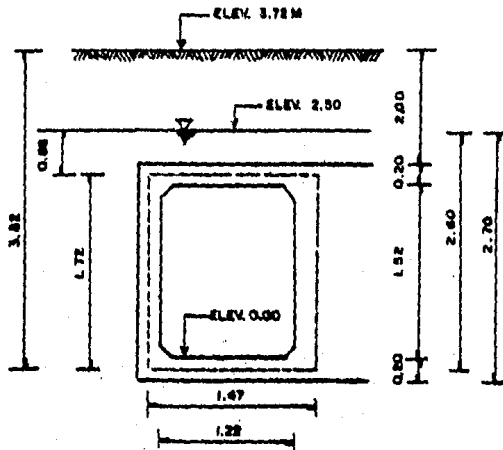
El área de acero se calculará con el valor máximo del momento positivo.

REVISION PRO CORTANTE:

Cortante que toma el concreto: $V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f \cdot c}$ para $p < 0.01$

3.5.2 ANÁLISIS DEL CONDUCTO VACIO Y SUJETO A CARGAS EXTERIORES

Elevación (elevación promedio) del N.F	2.50M(relativa)
Elevación de la rasante del conducto	0.00 m
Elevación del lecho superior del conducto	1.72m
Espesor supuesto de los elementos	0.20 m
Peso volumétrica del agua	1000 Kg/m ³
Peso volumétrica del material	1800 Kg/m ³
Peso volumétrica sumergido del material	800 Kg/m ³
Coefficiente de empuje activo del material (K _H)	0.286



Carga sobre la losa superior.

$$P_w = \text{Peso del agua} = 0.78 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 = 780 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_t = \text{Peso de la tierra} = 1.22 \times 1800 + 0.78 \times 800 = 2820 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{PLS} = \text{Peso propio de la losa superior} = 0.20 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_1 = 780 + 2820 + 480 = 4080 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre la losa inferior

$$P_{pc} = \text{Peso propio del conducto} = (1.92 \times 1.62 - 1.8344) \frac{2400}{1.62} = 1890.37 \text{ Kg/m}^2$$

$$S_p = \text{Subpresión} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 2.70 = 2700 \text{ Kg/m}^2$$

$$R_T = \text{Reacción del terreno} = P_w + P_t + P_{pc} - C_p$$

$$R_T = 780 + 2820 + 1896.37 - 10700 = 2796.37 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{LI} = \text{Peso propio de losa inferior} = 0.20 \times 2400 = 4800 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = R_T + S_p - P_{LI} = 2796.37 + 2700 - 480 = 5016.37 \text{ Kg/m}^2$$

Carga sobre las paredes laterales

Presión hidrostática

$$P_1 = 0.88 \times 1000 = 880 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_2 = 2.60 \times 1000 = 2600 \text{ Kg/m}^2$$

Presión de la Tierra

$$P_1 = 0.286 \times 2.10 \times 1800 = 1081.08 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_2 = 0.286 \times 3.82 \times 1800 = 1966.54 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 880 + 1081.08 = 1961.08 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_5 = 2600 + 1966.54 = 4566.54 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_4 = W_5 - W_3 = 4566.54 - 1961.08 = 2605.46 \text{ Kg/m}^2$$

Finalmente:

$$W_1 = 4080.00 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_2 = 5016.37 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_3 = 1961.08 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_4 = 2605.46 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_5 = 4566.54 \text{ Kg/m}^2$$

Momentos iniciales de empotramiento. Barra A-B

$$M_{AB} = M_{BA} = \frac{W_1 L^2}{12} = \frac{4080 (1.47)^2}{12} = 734.71 \text{ Kg-m}$$

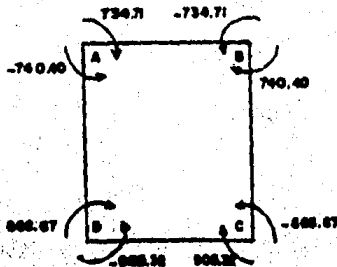
Barra C-D

$$M_{CD} = M_{DC} = \frac{W_2 L^2}{12} = 5016.37 \frac{(1.47)^2}{12} = 903.32 \text{ Kg-m}$$

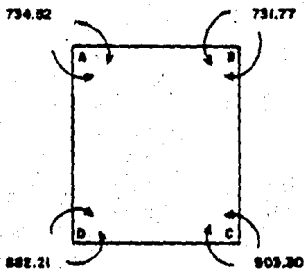
Barras A-D y B-C

$$M_{AD} = M_{BC} = \frac{W_3 L^2}{12} = \frac{W_4 L^2}{30} = \frac{1961.08 (1.72)^2}{12} + \frac{2605.46 (1.72)^2}{30} = 740.40 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DA} = M_{CB} = \frac{W_3 L^2}{12} + \frac{W_4 L^2}{20} = 483.47 + 385.40 = 868.87 \text{ Kg-m}$$



NUDO	A		B		C		D	
BARRA	A-D	A-B	B-A	B-C	C-B	C-D	D-C	D-A
F.D.	0.33	0.67	0.26	0.74	0.74	0.26	0.67	0.33
M. I	-740.40	734.71	-734.71	740.40	-868.87	903.32	-903.32	868.87
	1.88	3.81	-1.48	-4.21	-25.49	-8.96	23.08	11.37
	5.69	-0.74	1.91	-12.75	-2.11	11.54	-4.48	0.94
	-1.63	-3.32	2.82	8.02	-6.98	-2.45	2.37	1.17
	0.59	1.41	-1.66	-3.49	4.01	1.19	-1.23	-0.82
	-0.66	-1.34	1.34	3.81	-3.85	-1.35	1.37	0.68
	0.34	0.67	-0.67	-1.93	1.91	0.69	-0.68	-0.33
	-0.33	-0.68	0.68	1.42	-1.92	-0.68	0.68	0.33
	0.17	0.34	-0.34	-0.96	0.96	0.34	-0.34	-0.17
	-0.17	-0.34	0.34	0.96	-0.96	-0.34	0.34	0.17
M _F	-734.52	734.52	-731.77	731.77	-903.30	903.30	-882.21	882.21



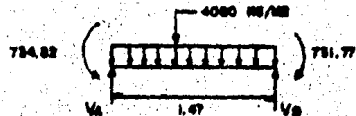
MOMENTOS FINALES

Obtención de los cortantes a los ejes y al cartel así como de los momentos a los paños y momentos positivos.

Cortantes a los ejes. Barra A-B

Cortante isostático (V_i)

$$V_i = \frac{4080 \times 1.47}{2} = 2998.80 \text{ Kg/m}^2$$



Cortante hiperestático (V_H)

$$V_H = \frac{734.52 - 731.77}{1.47} = 1.87 \text{ Kg}$$

$$V_A = 2998.80 + 1.87 = 3000.67 \text{ Kg}$$

$$V_B = 2998.80 - 1.87 = 2996.93 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel

$$V_{AC} = 3000.67 - Wx = 3000.67 - 4080(0.20) = 2184.67 \text{ Kg}$$

$$V_{BC} = 3000.67 - 4080(1.27) = -2180.93 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños

$$M_{AP} = V_A x - W \frac{x^2}{2} \pm M_A = 3000.67(0.10) - 4080 \frac{(0.10)^2}{2} - 734.52 =$$

$$= -454.85 \text{ Kg-m}$$

$$M_{BP} = 3000.67(1.37) - 4080 \frac{(1.37)^2}{2} - 734.52 = -452.48$$

Momento positivo:

$$x = \frac{3000.67}{4080} = 0.735 \text{ m} \approx 0.74$$

$$M_{(+)} = 3000.67(0.74) - 4080 \frac{(0.74)^2}{2} - 734.52 = 368.87 \text{ Kg-m}$$

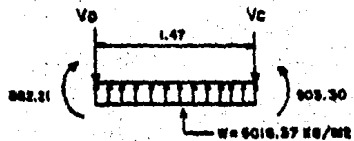
Barra C-D

Cortante isistático (V_I)

$$V_I = \frac{5016.37 \times 1.47}{2} = 3687.03 \text{ Kg}$$

Cortante hiperestático (V_H)

$$V_H = \frac{903.30 - 882.21}{1.47} = 14.35 \text{ Kg}$$



$$V_D = 3687.03 - 14.35 = 3672.68 \text{ Kg}$$

$$V_C = 3687.03 + 14.35 = 3701.38 \text{ Kg}$$

Cortante al cartel

$$V_{DC} = 3672.68 - 5016.37(0.20) = 2675.41 \text{ Kg}$$

$$V_{CC} = 3672.68 - 5016.37(1.27) = -2698.11 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños.

$$M_{DP} = V_D X - W \frac{X^2}{2} - M_D = 3672.68(0.10) - 5016.37 \frac{(0.10)^2}{2} - 882.21 = 540.02$$

$$M_{CP} = 3672.68(1.37) - 5016.37 \frac{(1.37)^2}{2} - 882.21 = -558.25 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo:

$$X = \frac{3672.68}{5016.37} = 0.732 = 0.73 \text{ m}$$

$$M_+ = 3672.68(0.73) - 5016.37 \frac{(0.73)^2}{2} - 882.21 = 462.23 \text{ Kg-m}$$

Barras A-D y B-C

$$W_3 = 1961.08 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_4 = 2605.46 \text{ Kg/m}^2$$

Cortantes a los ejes

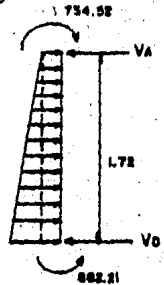
Cortante isostático (V_i)

$$V_{iA} = \frac{W_3 L_2}{2} + \frac{W_4 L_2}{6} = \frac{1961.08 \times 1.72}{2} + \frac{2605.46 \times 1.72}{6}$$

$$V_{iA} = 2433.33 \text{ Kg}$$

$$V_{iD} = \frac{W_3 L_2}{2} + \frac{W_4 L_2}{3} = \frac{1961.08 \times 1.72}{2} + \frac{2605.46 \times 1.72}{3}$$

$$V_{iD} = 3180.33 \text{ Kg}$$



Cortante hiperestático (V_H)

$$V_H = \frac{882.21 - 734.52}{1.72} = 85.87 \text{ Kg}$$

$$\therefore V_A = 2433.33 - 85.87 = 2347.46 \text{ Kg}$$

$$V_D = 2433.33 + 85.87 = 2519.20 \text{ Kg}$$

Cortantes al cartel

$$V_{AC} = V_A - W_3 X - \frac{W_4 X^2}{2L} = 2347.46 - 1961.08(0.20) - \frac{2605.46(0.20)^2}{2(1.72)} =$$

$$1803.76$$

$$V_{DC} = 2347.46 - 1961.08(1.52) - \frac{2605.46(1.52)^2}{2(1.72)} = -1.784.63 \text{ Kg}$$

Momentos a los paños

$$M_{AP} = V_A X - W_3 \frac{X^2}{2} - W_4 \frac{X^3}{6L} \pm M_A$$

$$M_{AP} = 2347.46(0.10) - 1961.08 \frac{(0.10)^2}{2} - 2605.46 \frac{(0.10)^3}{6(1.72)} - 734.52 =$$

$$= -509.83 \text{ Kg-m}$$

$$M_{DP} = 2347.46(1.62) - 1961.08 \frac{(1.62)^2}{2} - 2605.46 \frac{(1.62)^3}{6(1.72)} - 734.52 =$$

$$= -578.33 \text{ Kg-m}$$

Momento positivo:

$$X_1 = \left[-W_3 \pm \sqrt{W_3^2 - 4 \left(\frac{W_4}{2L} \right) (-V_A)} \right] / 2 \left(\frac{W_4}{2L} \right)$$

$$X_1 = \left[-1961.08 + \sqrt{3845834.7 + 7111875.6} \right] /$$

$$X_1 = \frac{1349.1631}{1514.8023} = 0.89 \text{ m}$$

$$M_{(+)} = 2347.46(0.89) - 1961.08 \frac{(0.89)^2}{2} - 2605.46 \frac{(0.89)^3}{6(1.72)} - 734.52 =$$

$$= 400.05 \text{ Kg-m}$$

Se puede observar que para la condición de tubo vacío y cargas exteriores se tienen los valores mayores de los elementos mecánicos. Por lo tanto el acero de refuerzo se calculará con los valores mayores de estos elementos

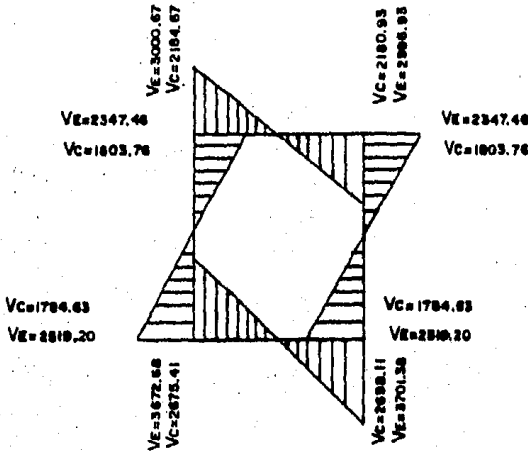
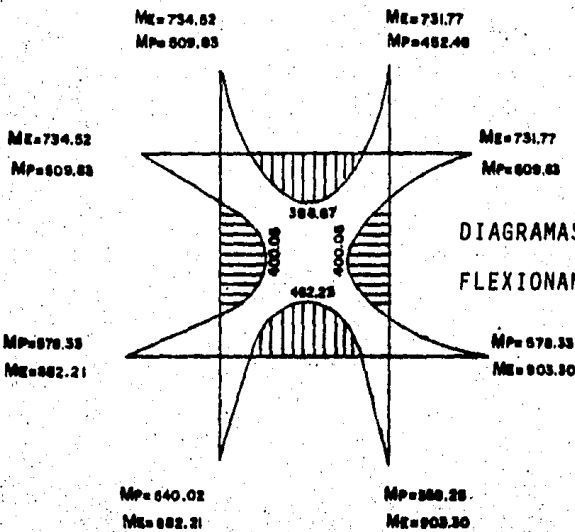


DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES



DIAGRAMAS DE MOMENTOS FLEXIONANTES

$$M_{(+)} = 462.83 \text{ Kg-m}$$

$$M_{(-)} = 903.30 \text{ Kg-m}$$

$$V_{MAX} = 3701.38 \text{ Kg}$$

Cortante que toma el concreto

$$V_{CR} = F_R bd(0.2 + 30p) \sqrt{f^*c} = \text{si } p < 0.01$$

Constantes de cálculo

$$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*c = 0.8 f'c = 160 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f^*c = 0.85 f^*c = 0.85(160) = 136 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{MIN} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{200}}{4000} = 0.0025$$

$$M_R = F_R bd^2 f^*c q (1 - 0.5q) = 0.9 \times 100(16)^2 \times 136q(1 - 0.5q)90330 =$$

$$= 3133440q - 1566720q^2$$

$$9.033 \times 10^4 = 313.344q \times 10^4 - 156.672q^2 \times 10^4$$

$$9.033 = 313.344q - 156.672q^2$$

$$156.672q^2 - 313.344q + 9.033 = 0$$

$$q^2 = \frac{(313.344 - \sqrt{(-313.344)^2 - 4(156.672)(9.033)}}{2 \times 156.672}$$

$$q^2 = \frac{313.344 - 304.18}{313.344} = 0.029$$

$$P = q \frac{f^*c}{f_y} = 0.029 \frac{136}{4000} = 0.001 < P_{MIN}$$

Se observa que el armado se efectuará con $P_{MIN} = 0.0025$.

$$A_s = P_{MIN} bd = 0.0025 \times 100 \times 20 = 5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Separación} = \frac{100 \times A_b}{A_s} = \frac{100 \times 1.27}{5} = 25.4 \text{ cm}$$

Parrillas Exterior e Interior Vars. # 4 A.C. 25 cm

Revisión por cortante

$$V_{CR} = 0.9 \times 100 \times 16(0.2 + 30p) \quad f^*c = 5009.05 \text{ Kg} \quad V_{MAX} = 3185.03 \text{ Kg}$$

∴ el peralte supuesto para la losa es adecuado

4. CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones y recomendaciones.

4.2 Bibliografía.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta las conclusiones anotadas en el primer capítulo se puede agregar:

- a) En caso de no ser posible la desconexión de pozos por un tiempo razonablemente corto en los tramos indicados, efectuar la reparación de éstos de tal forma que no se interrumpa el abastecimiento.
- b) Llevar a cabo los trabajos necesarios para la realización de los seccionamientos sugeridos ya que éstos permitirán seguir con los trabajos indicados en el inciso anterior.
- c) Debido a la creciente demanda en el abastecimiento y la disminuída capacidad de conducción del acueducto existente, se sugiere la perforación de nuevos pozos y un acueducto nuevo intentando mejorar así las condiciones futuras de operación de ambos acueductos.
- d) El acueducto nuevo deberá tener capacidad para conducir las descargas de los pozos nuevos y la de los pozos que provocan que el acueducto viejo trabaje a presión lo cual, como ya se ha discutido no es recomendable.

BIBLIOGRAFIA

- HIDRAULICA GENERAL
Ing. Gilberto Sotelo Avila

- HIDRAULICA DE LOS CANALES ABIERTOS
Ven Te Chow

- APUNTES DE HIDRAULICA I Y II
Ing. Gilberto Sotelo Avila
Facultad de Ingenieria, U.N.A.M.