



57  
2ij  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

• ARAGON •

## FALLA DE ORIGEN

ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL  
PROYECTO HIDROELECTRICO "HUITES"  
(PRESA LUIS DONALDO COLOSIO),  
UBICADO EN EL MUNICIPIO DE CHOIX, SINALOA.

# 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:

ARTURO OROZCO MORENO

ENEP



ARAGON SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1995



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA II  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

ARTURO OROZCO MORENO  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 21 de febrero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, M en I DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO 'HUITES' (PRESA LUIS DONALDO COLOSIO) UBICADA EN EL MUNICIPIO DE CHOIX, SINALOA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Mex. / 28 de febrero de 1995  
EL DIRECTOR

  
M. EN C. CLAUDIO E. MERRIFIELD CASTRO

c c p Unidad Académica.  
c c p Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

  
 CCMC' AIR' 11a

**POR TODO TU APOYO...  
POR QUE TODOS TUS DESVELOS NO SABRIA COMO PAGARLOS  
POR TODO LO QUE DISTE SIN ESPERAR A CAMBIO NADA.**

**GRACIAS MAMA...**

**PARA ALCANZAR LA CIMA SIEMPRE SE REQUIERE EL APOYO DE TODOS  
GRACIAS A MIS HERMANOS POR EL MISMO, PROPORCIONADO EN FORMA  
INCONDICIONAL.**

**ESPECIALMENTE A MI HERMANA REMEDIOS POR HACER ENTENDIBLE ESTE  
TRABAJO.**

**MI SINCERO AGRADECIMIENTO A MAC INGENIERIA CIVIL S.A. DE C.V.  
Y A LAS APORTACIONES DE CADA UNO DE MIS COMPAÑEROS, POR LA  
INFORMACION PROPORCIONADA, SIN LA CUAL NO SE HUBIESE PODIDO REALIZAR  
ESTA TESIS.**

**A LOS INGENIEROS**

**MIGUEL ANGEL MAGALLON PIÑA  
JUAN MANUEL CASTRO  
MARTIN HERNANDEZ  
SERAFIN HERNANDEZ  
FLOSELO ESPINOZA  
OSCAR RAMIREZ  
CARLOS TORRES  
CARLOS RUIZ  
CARLOS ROJAS  
LUIS RAUL FREGOSO**

**Y EN ESPECIAL A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS ALFREDO AREVALO  
VARGAS Y BASILIO ESTEBAN LOPEZ.**

**POR EL CONOCIMIENTO Y POR EL SABER, PROPORCIONADO PARA LA FORMACION DE UN PROFECIONISTA.**

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO GRACIAS...**

**POR QUE LA AMISTAD, NACE, CRECE Y SE CULTIVA CON EL TRATO DIARIO...**

**A MI ASESOR Y AMIGO DANIEL VELAZQUEZ V.**

**ANHELEMOS COSAS EN LA VIDA  
DE LAS CUALES NOS SIENTAMOS ORGULLOSOS  
EMPEÑANDONOS EN LA BUSQUEDA QUE DA...  
LA SATISFACCION DE HABERLO  
ALCANZADO.**

**PARA UNA PERSONA MUY ESPECIAL...**

**ADELA**



**ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL  
PROYECTO HIDROELECTRICO "HUITES"  
( PRESA LUIS DONALDO COLOSIO ),  
UBICADO EN EL MUNICIPIO DE CHOIX, SINALOA.**

**I NTRODUCC ION:**

**CAPITULO I.  
EXPECTATIVAS PARA USO DEL AGUA, SUMINISTRO Y GENERACION  
DE ENERGIA ELECTRICA A NIVEL NACIONAL ENTRE EL PERIODO  
1990 A 2000.**

**CAPITULO II.  
CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO**

**CAPITULO III.  
CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CASA DE MAQUINAS**

**CAPITULO IV.  
ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO  
HIDROELECTRICO.**

**CAPITULO V.  
ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ENLACE.**

**CAPITULO VI.  
ANALISIS Y DISEÑO DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.**

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

# INDICE

	<b>PAGINA</b>
<b>INTRODUCCION:</b>	<b>1</b>
 <b>CAPITULO I.</b> <b>EXPECTATIVAS PARA USO DEL AGUA, SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA A NIVEL NACIONAL ENTRE EL PERIODO 1990 A 2000.</b>	
<b>1.1 PLAN NACIONAL PARA EL SUMINISTRO Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.</b>	<b>6</b>
<b>1.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES.</b>	<b>8</b>
1.1.2 NECESIDADES.	8
1.2.2 UBICACION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO.	9
1.2.3 FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.	9
1.2.4 ALTERNATIVAS CONSIDERADAS.	11
1.2.5 SELECCION DE LA ALTERNATIVA FINAL.	13
1.2.6 EXPECTATIVAS A SATISFACER POR PARTE DEL PROYECTO HIDROELECTRICO.	15
 <b>CAPITULO II.</b> <b>CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO</b>	
<b>II.1 ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CUENCA.</b>	<b>16</b>
II.1.1 DATOS HIDROLOGICOS Y METEOROLOGICOS.	17
II.1.2 ESCURRIMIENTOS.	18
II.1.3 AZOLVE.	19
II.1.4 GEOLOGIA REGIONAL.	20
II.1.5 TECTONICA.	21
<b>II.2 CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO.</b>	<b>23</b>
<b>II.3 DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE COMPONEN EL PROYECTO HIDROELECTRICO.</b>	<b>24</b>
II.3.1 OBRAS DE DESVIO.	24
II.3.2 OBRAS DE CONTENCION.	25
II.3.3 OBRAS DE CONTROL Y EXCEDENCIAS.	26
II.3.4 OBRAS DE GENERACION ( Obra de toma y casa de máquinas ).	28
II.3.5 OBRAS COMPLEMENTARIAS.	30
<b>II.4 RESUMEN DE DATOS PRINCIPALES.</b>	<b>31</b>

**CAPITULO III.**  
**CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CASA DE MAQUINAS**

<b>III.1</b>	<b>NECESIDADES QUE DEBE SATISFACER LA CASA DE MAQUINAS.</b>	<b>33</b>
III.1.1	UBICACION DE LA CASA DE MAQUINAS.	33
III.1.2	DIMENSIONES DE LA CASA DE MAQUINAS.	34
III.1.3	NIVELES ESTRUCTURALES.	34
III.1.4	ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE FORMAN LA CASA DE MAQUINAS.	35
III.1.5	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.	43
<b>III.2</b>	<b>GEOLOGIA DE LA CIMENTACION PARA CASA DE MAQUINAS.</b>	<b>44</b>
III.2.1	CAPACIDAD A LA COMPRESION DE LA ROCA.	44
III.2.2	MODULO DE REACCION DE LA ROCA.	44

**CAPITULO IV.**  
**ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO**  
**HIDROELECTRICO.**

<b>IV.1</b>	<b>ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO.</b>	<b>45</b>
IV.1.1	ESTRUCTURACION.	45
IV.1.2	CONDICIONES DE APOYO.	46
IV.1.3	CARGAS CONSIDERADAS.	46
IV.1.4	COMBINACIONES DE CARGA.	50
<b>IV.2</b>	<b>ANALISIS GLOBAL DE LA CASA DE MAQUINAS</b>	<b>51</b>
<b>IV.3</b>	<b>DESCRIPCION DE LOS MODELOS DE ANALISIS DE CADA UNO DE LOS</b> <b>ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CASA DE MAQUINAS.</b>	<b>53</b>
IV.3.1	ELEMENTOS MASIVOS.	53
IV.3.2	MUROS DE RIGIDEZ.	61
IV.3.3	LOSAS PERIMETRALMENTE APOYADAS.	61
IV.3.4	CILINDRO DE GENERADOR.	65
IV.3.5	TRABE CARRIL.	68
IV.3.6	CUBIERTA DE CASA DE MAQUINAS Y CASETA PARA EQUIPO DE AIRE	69
	ACONDICIONADO.	
<b>IV.4</b>	<b>DISEÑO DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CASA</b> <b>DE MAQUINAS.</b>	<b>70</b>
IV.4.1	FORMULAS DE DISEÑO.	70
IV.4.2	ELEMENTOS MASIVOS.	75
IV.4.3	MUROS DE RIGIDEZ.	75
IV.4.4	LOSAS PERIMETRALMENTE APOYADAS.	76
IV.4.5	CILINDRO DEL GENERADOR.	77
IV.4.6	TRABE CARRIL.	78
IV.4.7	CUBIERTA DE CASA DE MAQUINAS Y CASETA PARA EQUIPO DE AIRE	79
	ACONDICIONADO.	

<b>CAPITULO V.</b>		
<b>ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ENLACE.</b>		
<b>V.1</b>	<b>ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO.</b>	<b>80</b>
V.1.1	ESTRUCTURACION.	81
V.1.2	CONDICIONES DE APOYO.	82
V.1.3	CARGAS CONSIDERADAS.	82
V.1.4	COMBINACIONES DE CARGA.	85
<b>V.2</b>	<b>DESCRIPCION DEL MODELO DE ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DE ENLACE.</b>	<b>86</b>
<b>V.3</b>	<b>DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENLACE.</b>	<b>87</b>
<b>CAPITULO VI.</b>		
<b>ANALISIS Y DISEÑO DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.</b>		
<b>VI.1</b>	<b>ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.</b>	<b>90</b>
VI.1.1	ESTRUCTURACION	91
VI.1.2	CONDICIONES DE APOYO	92
VI.1.3	CARGAS CONSIDERADAS	93
VI.1.4	COMBINACIONES DE CARGA	94
<b>VI.2</b>	<b>DESCRIPCION DE LOS MODELOS DE ANALISIS DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.</b>	<b>95</b>
<b>VI.3</b>	<b>DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CAVERNA ESTRUCTURAL.</b>	<b>97</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>103</b>

## **INTRODUCCION**

Debido a la devaluación existente en los años 1994 y 1995 se habla de la venta de Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) a la iniciativa privada por parte del Gobierno Federal, en otros tiempos (hasta 1960), la iniciativa privada realizó proyectos termoelectrónicos, esto fue a causa del boom petrolero y a que en aquellos tiempos el hidrocarburo era un combustible demasiado barato. En una estadística proporcionada en 1945 se conoció que de los 700 millones de kilovatios, de capacidad de generación, el 57% correspondía a las plantas termoelectrónicas y el 43% a hidroeléctricas.

El 23 de diciembre de 1992 se publicó la nueva ley del servicio público de energía eléctrica, dicho documento establece la posibilidad de participación de los inversionistas privados en el proceso de generación de energía, a través de los siguientes esquemas el autoabastecimiento, la cogeneración y la pequeña producción independiente de energía eléctrica.

Para el sexenio 1988-1994 el compromiso en cuanto a capacidad de generación era alcanzar el 95% de la demanda del consumo nacional, el cual sería cubierto con una serie de proyectos para generación de energía eléctrica entre los más importantes se encuentran: Proyecto hidroeléctrico de Aguamilpa en Nayarit (ahora llamado Presa Solidaridad siendo el primer proyecto que se inicia y termina en un sexenio), Zimapan entre los límites de los estados de Querétaro e Hidalgo y Huites en Sinaloa (donde la mayor parte de la inversión para el proyecto fue aportada por la iniciativa privada).

Actualmente, a pesar de la negativa del gobierno respecto a la venta de la C.F.E. la presencia de la iniciativa privada ya es casi un hecho y hace prever, que en el futuro, casi todos los proyectos hidroeléctricos serán compartidos entre la iniciativa privada y gobierno federal.

El objetivo de esta tesis es dar a conocer al Ingeniero recién egresado de la Universidad, qué es y cómo se compone un proyecto hidroeléctrico, la toma de decisiones para llevar a cabo un proyecto, particularmente el de Huites, cuya base pueda servir a la formación de criterios en la realización de un proyecto de Casa de Máquinas de una planta de generación hidroeléctrica. Partiendo de la idea de que cada proyecto hidroeléctrico es diferente, cada uno presenta sus propias necesidades y sus propias condiciones topográficas y geológicas de sitio, lo cual no impide seguir ciertos parámetros similares con otros proyectos.

En el primer capítulo se habla del plan nacional para el suministro de agua y generación de energía eléctrica para un periodo que comprende los años 1990 a 2000, y debido a la planeación estratégica económica se decidió cubrir la demanda de energía en la zona Noroeste del país, por ello, el mismo capítulo menciona las características del proyecto hidroeléctrico Huites, así como sus necesidades a cubrir, la ubicación del proyecto, el financiamiento y sus alternativas.

El capítulo dos contiene datos e información para llevar a cabo el proyecto, enfáticamente el proyecto hidroeléctrico de usos múltiples por lo que hubo una estrecha relación entre la S.A.R.H. y La C.F.E. Una vez obtenidos los datos más importantes acerca de la cuenca se realizó la planeación del proyecto, el mismo apartado explica las obras componentes del proyecto hidroeléctrico, así como; la geología de la zona.

Por otro lado, el proyecto de inicio de Casa de Máquinas requiere tener como base a todas las obras relacionadas con la misma, detalladas en el segundo capítulo. El capítulo tercero desarrolla la ubicación de los niveles estructurales, los elementos estructurales integrantes de la Casa de Máquinas, además las necesidades a satisfacer por la misma y el tipo de geología para la cimentación que se presentó.

El proyecto Hidroeléctrico Huites se compone de un cuerpo principal y de un cuerpo secundario adosado dentro de una caverna, entre ambos cuerpos existe un elemento de conexión conocido como estructura de enlace. El cuarto capítulo aborda el cuerpo principal, la estructuración general, las restricciones al desplazamiento, las fuerzas aplicadas y las combinaciones de carga presentadas para un modelo global de Casa de Máquinas. Debido a la magnitud del proyecto, este se discretiza para su análisis en modelos más locales, finalmente se refiere al diseño de los elementos componentes de la Casa de Máquinas.

La importancia de la Estructura de Enlace radica en conectar al cuerpo principal de la Casa de Máquinas con el cuerpo de la Caverna Estructural, por lo que el capítulo quinto aborda a los aspectos relevantes del análisis y diseño de dicha estructura, la forma como se estructuro, las condiciones de apoyo consideradas, las cargas y sus combinaciones.

Conforme a los requerimientos, en cuanto a dimensiones mínimas necesarias, para la playa de montaje de la Casa de Máquinas del proyecto hidroeléctrico, fue necesario ampliarse hacia adentro del cerro adosado a una de las paredes del cuerpo principal. El capítulo sexto habla de la Caverna Estructural, continúa con el mismo criterio empleado en el cuerpo principal de Casa de Máquinas y la Estructura de Enlace en cuanto al análisis, finalmente comenta la forma de diseño de los elementos formadores de la Caverna Estructural.

**El futuro de la generación de la energía eléctrica ya no dependerá del petróleo (debido a la preocupación de los gobiernos por el medio ambiente), ni el gasto mayor de consumo de energía eléctrica será por parte de las casas habitación, si no por parte de la industria y medios de transporte.**

**En tiempos venideros los nuevos materiales para la elaboración de celdas solares y el abaratamiento de los mismos hará que las casas habitación ya no tengan abastecimiento de energía eléctrica por parte de la compañía de luz, y los hogares consumidores de más energía eléctrica de la que captan, via celdas solares podrán comprar energía eléctrica a la compañía de luz ó a nuevas centrales de captación de energía construidas por particulares. Es ahí donde la nueva generación de ingenieros civiles encontrarán un campo abierto para el desarrollo de su carrera, una área en el país, anteriormente controlada sólo por una empresa gubernamental, ahora, requiere de la iniciativa privada, esta tomará el papel de regidora de proyectos eléctricos como fue el caso del proyecto Hidroeléctrico de Huites.**

**Las necesidades de energía eléctrica para una población en constante crecimiento y el desarrollo de la nación son cada vez mayores, los gastos de la federación en la elaboración y construcción de proyectos eléctricos es cada vez más fuerte, cuya demanda comienza a recurrir a las aportaciones de la iniciativa privada, baste solo mencionar que en el año 2010 la demanda de energía eléctrica será el doble de la generada en 1994.**

## **CAPITULO I. EXPECTATIVAS PARA EL USO DEL AGUA, SUMINISTRO, Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A NIVEL NACIONAL ENTRE EL PERIODO 1990 A 2000.**

La distribución territorial de los recursos hidráulicos en el país es muy desigual. Casi un 70 % de la población actual se ubica en zonas de escasez. Existen también desequilibrios entre las diferentes regiones al atenderse la creciente demanda en ciertas localidades en detrimento de otras, de esta manera los beneficios de los servicios básicos se concentran en el medio urbano y dentro de él, en las ciudades de mayor tamaño. Por estas razones la cobertura en 1989 era de 70 % de la población en aprovisionamiento de agua potable y el 49% en alcantarillado. Una situación similar se observa en el tratamiento de aguas residuales ya que menos del 10 % se sometían a tratamiento previo antes de ser vertidas en los ríos y otros cuerpos receptores.

Para resolver la problemática señalada apartir de 1990 se puso en marcha el Programa Nacional de Agua Potable y Saneamiento que, entre otros objetivos buscaba elevar la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado a un ritmo de 3 millones de habitantes por año, tratar todas las aguas residuales de origen doméstico en los centros urbanos, y consolidar la constitución de organismos operadores autosuficientes en todas las ciudades de más de 50 mil habitantes.

Apartir de entonces se desplegó un notable esfuerzo institucional para construir infraestructura hidráulica de riego, abastecimiento de agua potable y control de avenidas. Por ejemplo, la superficie bajo riego pasó de un millón de hectáreas existentes en 1926 a más de seis millones actualmente, colocando a México en el séptimo lugar del mundo.

Por primera vez en muchos años, la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento crece a un ritmo mayor al de la población. En 1988 el 30% de la población carecía de servicio de agua potable y un 51% de alcantarillado; actualmente el servicio se ha extendido al 85% para beneficio de 74 millones de habitantes y el alcantarillado se elevó al 68%, con 60.2 millones de mexicanos beneficiados.

La Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) es el organismo federal encargado de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. El sistema eléctrico nacional cuenta con una capacidad instalada de 27 mil MW y de 65 mil kilómetros de líneas de transmisión.



De la capacidad instalada generada por 166 centrales, el 30% es hidroeléctrica el 65% es basada en el carbón gas o combustible y el remanente corresponde a geotérmica y nuclear. Dicha capacidad ha crecido a un ritmo del 3 % anual en los últimos años.

En cuanto a transmisión, el sistema eléctrico nacional consta esencialmente de una red interconectada que cubre el territorio nacional con excepción de las penínsulas de Yucatán y Baja California, la cuales representan un subsistema independiente. Comparativamente a otros países, la red de transmisión presenta menor densidad de mallado, por lo que está representa una área de inversión prioritaria.

Con respecto a la distribución, se ha alcanzado un nivel de electrificación que brinda servicio al 92% de la población. En ella participan dos empresas parastatales la propia C.F.E. y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, la cual atiende principalmente a la zona del valle de México que representa aproximadamente el 25% de los usuarios.

El principal consumidor de energía eléctrica en el país es el sector industrial con el 32% del total, siguiendo el residencial, con el 24% del consumo total.

Para cubrir la creciente demanda de energía eléctrica, la capacidad de generación deberá incrementarse en aproximadamente 1,700 MW por año. Se estima que en los próximos ocho años, se instalarán 15,000 MW que representará una inversión del orden de 8,000 millones de dólares. Para el año 2010 se tendrá que duplicar la capacidad instalada existente a la fecha. Así los Productores Independientes de Energía (PIEs) tendrán una importante participación de estas adiciones.

En cuanto a transmisión, se continuará con la contratación selectiva del tendido de líneas de alta tensión y la construcción de subestaciones eléctricas. Se estiman requerimientos para el periodo de 1994-2000, del orden de 25 mil kilómetros de líneas de alta tensión y de 57 mil MVA de capacidad en subestaciones eléctricas, con inversiones de 1,500 y 1,400 millones de dólares respectivamente.

## **1.1 PLAN NACIONAL PARA EL SUMINISTRO Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.**

En diciembre de 1993, la capacidad instalada en el sector eléctrico en México fue de 291,204 megawatts, de los cuales el 55.9% es de la utilización de hidrocarburos como energético primario; es decir, combustóleo, gas natural o diesel; el 28% de esta capacidad es hidroeléctrica; el 6.5% utiliza carbón de fuente primaria; el 4.8% son centrales de tipo dual; o bien; centrales que pueden quemar indistintamente; carbón o combustóleo; el 2.5% de la capacidad es de tipo geotermoelectrico, principalmente ubicadas en las centrales de cerro prieto, al sur de Mexicali, Baja California; y el 2.3% restante lo constituye la central nucleoeléctrica de Laguna Verde, de la cual, la primera unidad se encuentra en operación y la segunda en proceso de construcción, se espera su operación comercial en 1995.

En 1993, las ventas de energía eléctrica ascendieron a 104 " parawatts-hora ", de las cuales el 53% se vendió a usuarios de alta tensión, principalmente de tipo industrial; el 25% al sector comercial; el 5.9% de las ventas correspondió al bombeo de riego agrícola; se exportó alrededor del 2%, y el 5.1% restante se utilizó para el servicio de alumbrado público, bombeo de aguas potables y negras.

En los últimos 10 años el crecimiento promedio anual de las ventas en energía eléctrica en México ha sido de 5%; en los próximos 10 años, se han construido básicamente dos escenarios de desarrollo. El primero es bajo y representaría una tasa promedio anual en los próximos años de 3.8%; el segundo es alto y le corresponde una tasa promedio de 5.3%.

Para hacer frente al crecimiento esperado de la demanda Comisión Federal de Electricidad tiene en proceso de construcción 21 unidades generadoras, que suman 5,985 megawatts. Estas unidades se programa entraran en operación en el periodo de 1994 a 1997.

Las centrales hidroeléctricas en proceso de construcción son: el proyecto de Agua Milpa, en el estado de Nayarit, con 960 megawatts; el proyecto Huites, actualmente en construcción por la Comisión Nacional del Agua, será equipado para generar energía eléctrica con dos unidades de 200 megawatts cada una; el proyecto Zimapán, en los límites entre los estados de Hidalgo y Querétaro, con 280 megawatts; y el proyecto Temascal, en los límites de los estados de Oaxaca y Veracruz con 200 megawatts. 4 proyectos con un total de 1840 megawatts.

La central dual de Petacalco; cuando esté totalmente terminada, compuesta de seis unidades de 350 megawatts, será la central generadora más grande del país. Y próximamente se iniciará la construcción del muelle de la descarga y manejo del carbón utilizado por esta.

## **I.1 PLAN NACIONAL PARA EL SUMINISTRO Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.**

En diciembre de 1993, la capacidad instalada en el sector eléctrico en México fue de 291,204 megawatts, de los cuales el 55.9% es de la utilización de hidrocarburos como energético primario; es decir, combustóleo, gas natural o diesel; el 28% de esta capacidad es hidroeléctrica; el 6.5% utiliza carbón de fuente primaria; el 4.8% son centrales de tipo dual; o bien; centrales que pueden quemar indistintamente; carbón o combustóleo; el 2.5% de la capacidad es de tipo geotermoelectrico, principalmente ubicadas en las centrales de cerro prieto, al sur de Mexicali, Baja California; y el 2.3% restante lo constituye la central nucleoeléctrica de Laguna Verde, de la cual, la primera unidad se encuentra en operación y la segunda en proceso de construcción, se espera su operación comercial en 1995.

En 1993, las ventas de energía eléctrica ascendieron a 104 " parawatts-hora ", de las cuales el 53% se vendió a usuarios de alta tensión, principalmente de tipo industrial; el 25% al sector comercial; el 5.9% de las ventas correspondió al bombeo de riego agrícola; se exportó alrededor del 2%, y el 5.1% restante se utilizó para el servicio de alumbrado público, bombeo de aguas potables y negras.

En los últimos 10 años el crecimiento promedio anual de las ventas en energía eléctrica en México ha sido de 5%; en los próximos 10 años, se han construido básicamente dos escenarios de desarrollo. El primero es bajo y representaría una tasa promedio anual en los próximos años de 3.8%; el segundo es alto y le corresponde una tasa promedio de 5.3%.

Para hacer frente al crecimiento esperado de la demanda Comisión Federal de Electricidad tiene en proceso de construcción 21 unidades generadoras, que suman 5,985 megawatts. Estas unidades se programa entraran en operación en el periodo de 1994 a 1997.

Las centrales hidroeléctricas en proceso de construcción son: el proyecto de Agua Milpa, en el estado de Nayarit, con 960 megawatts; el proyecto Huites, actualmente en construcción por la Comisión Nacional del Agua, será equipado para generar energía eléctrica con dos unidades de 200 megawatts cada una; el proyecto Zimapán, en los límites entre los estados de Hidalgo y Querétaro, con 280 megawatts; y el proyecto Temazcal, en los límites de los estados de Oaxaca y Veracruz con 200 megawatts. 4 proyectos con un total de 1840 megawatts.

La central dual de Petacalco, cuando esté totalmente terminada, compuesta de seis unidades de 350 megawatts, será la central generadora más grande del país. Y próximamente se iniciará la construcción del muelle de la descarga y manejo del carbón utilizado por esta.

Entre otras centrales en construcción está la de Topolobampo, con 320 megawatts, y las cuatro últimas unidades de la central López Mateos, de 350 megawatts, esta última se encuentra en Tuxpan, Veracruz.

También en proceso de construcción se encuentran dos unidades carboeléctricas de 350 megawatts, en el proyecto carbón 2. En noviembre y diciembre del año pasado entraron en operación las dos primeras unidades de este proyecto que, al concluir su construcción contará con cuatro unidades de 350 megawatts, es decir, 1,400 megawatts de capacidad total. Asimismo, se encuentra en construcción la segunda unidad de la central nucleoelectrica de Laguna Verde, con una capacidad de 675 megawatts.

Adicionalmente, está por iniciar la construcción de la central de ciclo combinado Zamalayuca, ubicada aproximadamente a 60 km, al sur de ciudad Juárez, tal central constará de tres unidades de ciclo combinado, utilizando como combustible gas natural, con una capacidad de 173 megawatts cada una. Esta es igual a las centrales de Topolobampo, Tuxpan y Petacalco, siendo construidas como proyectos llave en mano, con financiamiento privado al 100 %.

Además, en fecha próxima se licitará al concurso para la construcción del proyecto Mérida III, el cual constará de dos unidades de ciclo combinado de 220 megawatts; se licitará bajo el esquema de productor independiente que permite la nueva Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Para poder alimentar de gas la Península de Yucatán, a este proyecto ( Mérida III ), se construirá un gasoducto, desde Ciudad Pémex a Mérida y de Mérida a Valladolid, el cual suministrará la totalidad de las centrales generadoras de la península de Yucatán.

El sistema eléctrico de México está interconectado con los sistemas eléctricos de varias empresas de California, Arizona y Texas; en particular en el área de Baja California se ubican dos enlaces, a 230 kilovoltios, a través de ellos, la Comisión Federal de Electricidad exporta 220 megawatts de capacidad firme a empresas del sur de California. El contrato de exportación de capacidad y energía eléctrica está asociado a la central geotermoelectrica de Cerro Prieto; fue firmado en 1986, con una duración de 10 años.

A través de dos enlaces de 115 kilovoltios, Comisión Federal de Electricidad importa 150 megawatts de capacidad firme de la empresa El Paso Electric Company.

## **1.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES.**

A partir de la década de 1960 se han venido desarrollando, en distintas épocas, diversos estudios a varios niveles de profundización por parte de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.) y de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), cuyo objetivo es establecer los rasgos y características del proyecto Huites, para el aprovechamiento del río Fuerte.

La cuenca del río Fuerte representa uno de los escurrimientos más importantes del Noroeste de México, pudiéndose aprovechar sus aguas tanto en la generación hidroeléctrica, como en fines de riego, además; la construcción de obras hidráulicas sobre el río permite controlar las avenidas y evitar la inundación de valiosas tierras de cultivo.

Estos objetivos ya han sido parcialmente alcanzados, gracias a la construcción de la presa Miguel Hidalgo y de las derivadoras Sufragio y Cahinahua; sobre el mismo río Fuerte, y de la presa Josefá Ortiz de Domínguez sobre uno de los tributarios; el río Alamos.

Se trata ahora, aprovechando las características morfológicas favorables de la boquilla de Huites, de desarrollar más el aprovechamiento de las aguas del río.

### **1.2.1 NECESIDADES.**

Los objetivos básicos a cubrir por parte del aprovechamiento son los siguientes:

**-Regularización de los escurrimientos del río en función de las demandas de agua para riego, incorporación mediante la irrigación de más de 70 mil hectáreas de tierras cultivables, equivalentes a 400 mil toneladas anuales de diversos cultivos.**

**-Producción de energía hidroeléctrica, con factores de planta particularmente bajos. Esto se logrará con la construcción de una hidroeléctrica a una potencia instalada de 400 MW.**

**-Control de las avenidas del río Fuerte, protección de inundación de los poblados y áreas de cultivo localizadas aguas abajo.**

### **1.2.2 UBICACION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO.**

La presa Huites se ubica dentro del municipio de Choix, en el estado de Sinaloa. Sus coordenadas geográficas son 26° 50' 32" de latitud Norte y 108° 22' 12" de longitud Oeste. Las principales vías de acceso son: el aeropuerto internacional de los Mochis; el ferrocarril Chihuahua - Pacífico y la carretera estatal 123 en el tramo los Mochis - Choix, con un desarrollo de 128 kilómetros. El acceso al sitio se lleva a cabo por un camino de terracería de 20 kilómetros de desarrollo, a partir del poblado de Choix, rumbo Noroeste ( ver figura No.1 y No. 2).

Existen varios campos de aterrizaje; el más importante es Choix, otro en Agua Caliente y algunas pistas menores en los alrededores.

### **1.2.3 FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.**

El proyecto hidroeléctrico Huites se desarrolla bajo el esquema "Have en mano" modalidad con la cual, C.F.E. busca proyectos autofinanciables, sin comprometer recursos presupuestales de la federación.

La infraestructura de la presa y la planta de generación hidroeléctrica son inversión privada, pagadera con la generación de energía eléctrica en los primeros años de operación de la planta. Posteriormente, esta concesión de presa y planta pasará al dominio de la Comisión Federal de Electricidad y será propiedad de la nación.

La gran inversión de la presa de Huites, de 550 millones de dólares, hoy se realiza con financiamiento privado en coinversión del gobierno federal para ciertos usos, a través de colocaciones de bonos en el mercado. Aproximadamente, sólo la tercera parte de las inversiones son públicas.

Las zonas de riego de la presa de Huites son promovidas para ser inversión del gobierno del estado y de los propios usuarios ejidales, en su mayor parte, existe un proyecto de una asociación de empresarios, tendientes a construir las zonas de riego de los estados de Sonora y Sinaloa en 70 mil hectáreas.

Los recursos necesarios en la ejecución del proyecto están integrados de la siguiente forma:

20 millones de dólares provenientes de CMCH ( Consorcio Mexicano Constructor de Huites ) aportados desde el inicio de la obra.

200 a 275 millones de dólares recaudados de la emisión de Eurobonos a 10 años, Su fuente de pago es el arrendamiento de la planta hidroeléctrica. Bonos avalados por Bancomext.

130 millones de dólares correspondientes al crédito del paquete electromecánico, también con fuente de pago en el arrendamiento de la hidroeléctrica.

El complemento es aportación de la Comisión Nacional del Agua.

Los proyectos llave en mano de recursos extrapresupuestales, no implican un sólo contrato sino una serie de actos, diversos tiempos y la intervención de diferentes sujetos así como; una implementación que ha venido experimentando un proceso evolutivo; sin depender exclusivamente de la voluntad de C.F.E. sino su configuración se materializará conforme interactúan contratistas ( la institución fiduciaria ), las instituciones aportadoras del financiamiento en el proyecto y las autoridades competentes instructoras de los lineamientos.

La intervención de la C.F.E. en el contrato es para asumir el cometido no como parte, sino cumpliendo con la función de inspeccionar y supervisar técnicamente la ejecución del proyecto, por encargo de la fiduciaria, respecto al cumplimiento de las especificaciones técnicas, ingeniería de detalle, avance de obras civiles, suministro e instalaciones; autorización de facturas y estimaciones, control de calidad y recepción provisional y definitiva de la obra.

El objeto del contrato llave en mano puede sintetizarse, en el compromiso del contratista de realizar en su integridad la obra recomendada por la fiduciaria, que contrató desde el diseño a desarrollar conforme a las bases del concurso, la fabricación y suministro de los bienes que deben ser integrados a la obra civil, el montaje electromecánico, las pruebas y la puesta en servicio, hasta la recepción provisional y definitiva de la obra.

## **1.2.4 ALTERNATIVAS CONSIDERADAS.**

Para la satisfacción de las necesidades de control de las avenidas, la protección de tierras cultivo de inundaciones así como de la disponibilidad de 70 mil hectáreas de tierras cultivables, la S.A.R.H. realizó un proyecto de construcción de una presa de almacenamiento y derivación; posteriormente, debido al gasto de gran magnitud previsto en el estudio hidráulico, la C.F.E. amplió el proyecto adicionando un planta de generación hidroeléctrica.

Entre los años 1974 y 1982 se elaboraron varios anteproyectos para la presa Huites con diferentes tipos de cortinas, obras de desvío y vertedores.

La selección del proyecto de acuerdo a los requisitos técnicos y económicos se realizó en base a diversos estudios de factibilidad de cada una de las obras que componen a este y tomando en cuenta los volúmenes de extracción de las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez para cumplir con sus compromisos.

El levantamiento aerofotogramétrico y el reconocimiento fotoaéreo de la región reveló a Huites como el sitio de estudio del anteproyecto, también se analizaron varios casos con distintas capacidades útiles para el vaso siendo la de mayor beneficio/costo el que correspondió a una capacidad de 2908 millones de m<sup>3</sup>, partiendo de esto se estudio la posición del eje de la cortina, las cantidades preliminares de obra, las recomendaciones generales de las obras del anteproyecto y los caminos de acceso a las mismas.

El estudio geológico permitió conocer las formaciones, las fallas y fracturamiento del sitio; así como los plegamientos y contactos, el mapa geológico del lugar y las observaciones en el sitio, concluyeron en la aceptación de Huites para la construcción del proyecto. La búsqueda de materiales de construcción dio como resultado la presencia de bancos ricos y cercanos al punto de desplante de la presa. Así 1985 significó la formación de una serie de esquemas comparativos de presa:

- Esquema No. 1 Presa de gravedad de concreto común con desvío en tajo y vertedor con tres túneles.**
- Esquema No. 2 Presa de gravedad de concreto rodillado con desvío en tajo y vertedor con tres túneles ligados a los de desvío.**
- Esquema No. 3 Presa de gravedad de concreto rodillado con desvío en tajo y vertedor con cuatro túneles.**
- Esquema No. 4 Presa de tierra y enrocamiento compactado, y cubierta de losa de concreto, desvío por tres túneles y vertedor con tres túneles ligados a los de desvío**



La selección del tipo de cortina fue el eje principal para el estudio de cada una de las obra que forman el proyecto hidroeléctrico, esto se llevo a cabo bajo los siguientes parámetros:

Evaluación de las condiciones del sitio, para lo cual se estudiaron las condiciones de la cimentación, topografía del lugar; materiales de construcción y accesibilidad del sitio de la obra.

Las condiciones de la cimentación del sitio después de investigar en campo y en laboratorio que influyeron en el estudio del tipo de cortina fueron; esfuerzos permisibles, características elásticas, coeficientes de permeabilidad, profundidades de excavación y valuación de la efectividad, tanto de consolidación como de impermeabilidad.

Para los materiales de construcción acceso al sitio se hizo un análisis del costo relativo de estos, puestos a pie de obra.

Los factores hidráulicos al anteproyecto debieron librar los problemas respecto a obra de excedencias, en lo que se refiere a gastos con vertedores controlados, el gasto máximo de entrada seleccionado fue de 30000 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 10000 años, además se definieron varios gastos de control de avenidas que fueron 5000, 10000 y 15000 m<sup>3</sup>/seg.

El gasto hidráulico de la obra de desvío seleccionado durante la construcción de la cortina fue de 15000 m<sup>3</sup>/s correspondiendo a un periodo de retorno de 50 años, el desvío se hizo en dos etapas: una primera en tajo o canal y una segunda en túneles:

En lo que se refiere a la selección de obra de toma se estudiaron dos tipos la primera con un gasto de 145 m<sup>3</sup>/s correspondiente a riego y a un nivel de Elev. + 215.00, correspondiente al funcionamiento conjunto de las presas del sistema, en caso de suspensión temporalmente de la generación de energía eléctrica, el segundo corresponde a la obra de toma en la generación de energía, el volumen considerado en la simulación de funcionamiento del vaso se ajusto a la establecida a los fines de riego.

En lo referente al clima se hizo un estudio para determinar el efecto del mismo en la parte de la cortina de arco y machones, en lo que se refiere a la protección de la superficie expuesta a cambios extremos, esto se realizó para evitar que se "deascacara" el concreto y se redujera la sección útil

### **1.2.5 SELECCION DE LA ALTERNATIVA FINAL.**

La concepción general y los detalles de diseño de la cortina de la presa se determinaron escogiendo entre las diversas alternativas de cortina y tratamiento de cimentación a aquella que se adaptó a las condiciones del sitio ( ver figura No. 3 ).

Los esquemas se formularon de manera que se pudieran hacer combinaciones de partes de la obra, la presa del esquema 1 con el vertedor del esquema 2 etc.. de la comparación entre estos esquemas y sus combinaciones se obtuvo como más aceptable el esquema No. 4 y se procedió a desarrollar los diseños detallados correspondientes, al mismo tiempo se hicieron investigaciones geológicas de los túneles, especialmente en la zona cuyos túneles del vertedor se deberían ligar a los de desvío.

Esa zona requería la excavación de tres cavernas, cada una de ellas de 16 m de ancho y altura variable hasta de 55 m en su extremo de aguas arriba. Las perforaciones geológicas detectaron posteriormente una calidad inadecuada en la corneana en que estarían alojadas esas cavernas, previéndose la probabilidad de dificultades estructurales, se tomó la decisión de cambiar el tipo de obra de desvío ya que dicho problema pondría en peligro la factibilidad de una construcción normal y segura.

El desecho de la selección de una presa de materiales graduados, se debió a que una cortina de concreto de sección de gravedad, tendría un menor tiempo de construcción, por lo tanto, permitiría iniciar la recuperación de la inversión más pronto al entrar en operación la obra.

La selección final fue una cortina de gravedad colocada en bloques, uno de los aspectos que también influyó es que el costo esperado fue el mínimo, así como la disponibilidad de materiales de construcción.

En la margen izquierda del río la cortina cerrará con un tramo de arco y contra fuertes, esto se debe al desvío durante la etapa de construcción, la obra de desvío será un canal a cielo abierto de 51 m de ancho por 800 m de largo.

La selección del vertedor de canal abierto se debió principalmente al funcionamiento hidráulico, el cálculo permitió verificar que el diseño geométrico del conjunto de estructuras vertedoras y túneles de descarga tendría un funcionamiento adecuado, habiéndose estudiado la geometría general y hecho los ajustes necesarios.

A lo largo de los túneles de descarga, se estableció la condición de que el tirante del agua no rebasara el 70% de la altura de la sección del túnel, sin considerar la inclusión de aire. Esto equivale a disponer de un mínimo de 4 m de espacio libre vertical para ventilación. Considerando el aire incluido, se verificó que la relación de llenado no rebasara el valor de 0.80, con lo que todavía quedaría un espacio de 3 m libres del flujo, entre la superficie libre teórica de la vena líquida y la clave de túnel.

En la selección de la obras de toma influyo la ubicación de las mismas en la cortina, el tipo de tubería, el equipo para su operación, la protección de la entrada a la obra de toma, la velocidad en el gasto máximo, así como de las estructuras de cierre.

## **I.2.6 EXPECTATIVAS A SATISFACER POR PARTE DEL PROYECTO HIDROELECTRICO**

### **EN CUANTO A GENERACION DE ELECTRICIDAD.**

La planta hidroeléctrica del proyecto Huites, localizada en el estado de Sinaloa está comprendida dentro del área Noroeste, actualmente tiene una potencia total de 2,115 MW, correspondiendo 1,695 MW a las plantas termoeléctricas de vapor y turbogas que representan el 80% del total y 420 MW en plantas hidroeléctricas siendo sólo el 20 % de la potencia total instalada.

Dentro del programa de obras del sector eléctrico en el periodo 1988 a 1998, se contempla la ampliación de dos Centrales Termoeléctricas en el sistema Noroeste ( Topolobampo y Puerto Libertad ), y dos centrales Hidroeléctricas el Comedero y Huites, encontrándose la primera en operación y la segunda en construcción.

El incremento de potencia instalada por las centrales es de 1,336 MW en termoeléctricas y 510 MW en hidroeléctricas, cuya área Noroeste contará de un total de 3,961 MW instalados, es decir, el 76.5 % de las termoeléctricas y el 23.5 % en hidroeléctricas.

Específicamente en hidroeléctricas, al inicio de operación, el Proyecto Huites representó una potencia de 422 MW, el incremento representará el 95 % de la potencia instalada, dado que se prevé una generación de 917 GW/ año, se tendrá un 57% adicional de producción hidroeléctrica dentro de esta área.

La planta hidroeléctrica se ubica en la margen derecha del cauce, equipada con dos turbo generadores de 211 MW cada uno. Las turbinas Francis se diseñaron para un gasto de 235 m<sup>3</sup>/seg. Dentro del sistema eléctrico nacional, la planta se interconectará al sector Noroeste operando con un factor de planta de 0.25

### **EN CUANTO A BENEFICIOS MARGINALES.**

Además de la incorporación al riego de 35 mil hectáreas de Sonora y 35 mil en Sinaloa, que reeditará en una importante producción agrícola, será posible también duplicar prácticamente la capacidad de control de las crecientes del río Fuerte y reducir al mínimo los daños por inundaciones. Esto implica proteger 50,000 hectáreas cultivadas.

Entre los beneficios colaterales producidos por la construcción de Huites se encuentra la generación directa e indirecta de empleos, estimados en 10 millones de días/hombre. La mayor parte de los beneficios corresponden al empleo de recursos humanos de la propia región. Se pronostica también el desarrollo de actividades de acuicultura y recreación.



Figura No.1 Zona Noroeste de la República Mexicana (Ubicación de Huitee)

# FALLA DE ORIGEN

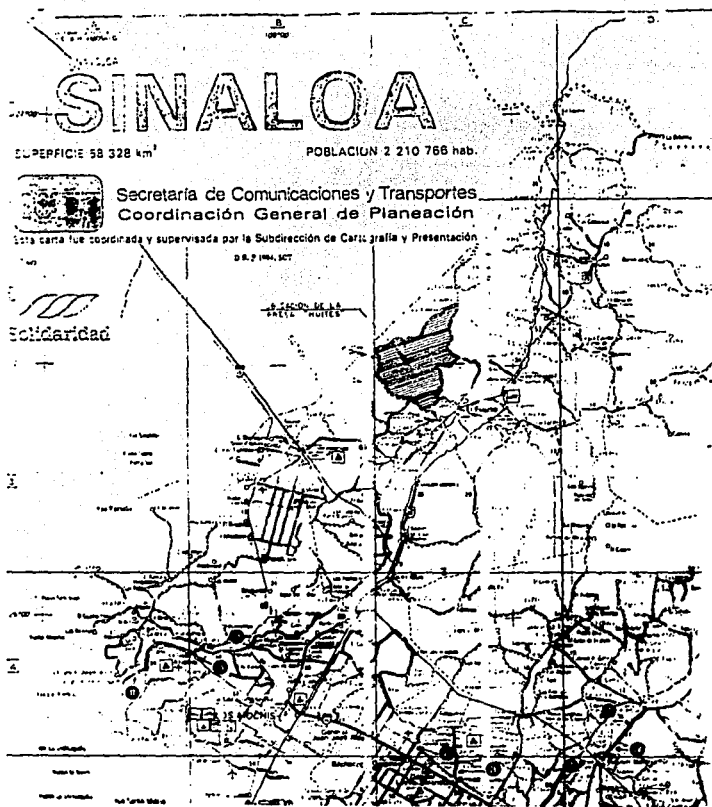


Figura No.2 Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico

FALLA DE ORIGEN

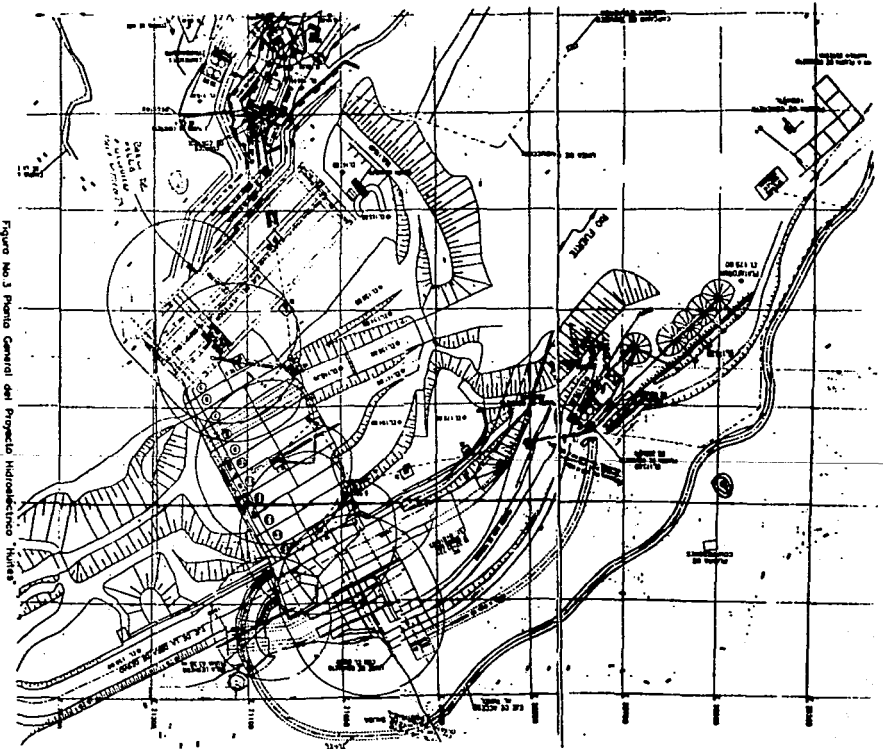


Figura No. 3 Planta General del Proyecto Hidroeléctrico "Hueso"

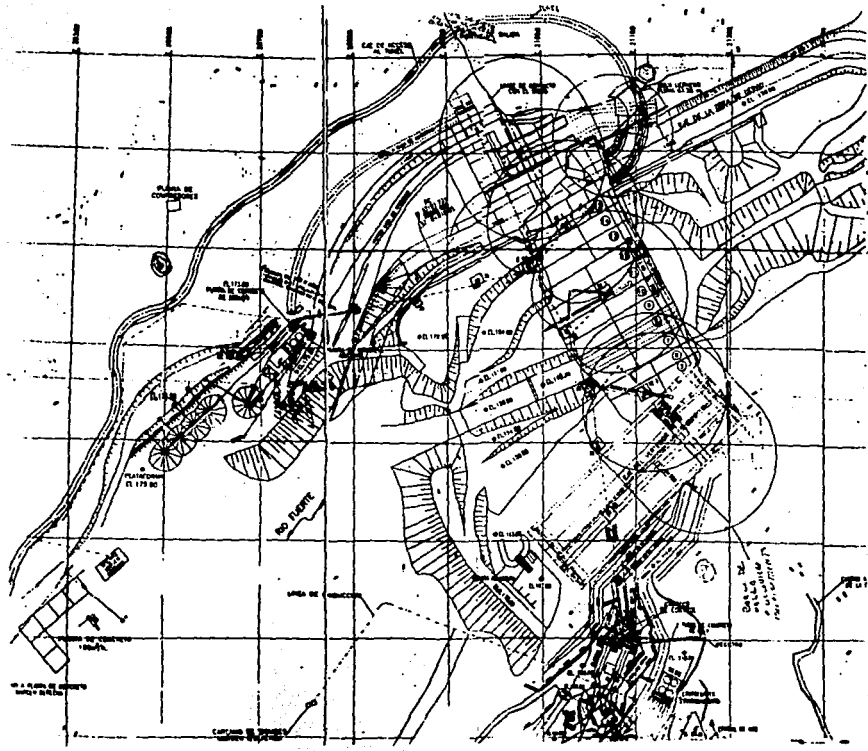


Figure No.3 Planta General del Proyecto Hidroeléctrico "Nites"



## **CAPITULO II. CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO**

Bajo la coordinación y supervisión de la Comisión Nacional del Agua, Huites marca un hito histórico en la ejecución de obras para el aprovechamiento integral del agua en México.

El proyecto, se construirá en un periodo de 28 meses, que por su magnitud, su ejecución normal sería en cinco años, constará de un conjunto de obras de propósitos múltiples, una presa de almacenamiento con capacidad de 4,568 millones de metros cúbicos, localizadas sobre el río Fuerte, a 20 kilómetros de la población de Choix, al norte de la entidad.

El gasto de diseño de la obras de excedencia sitúa a la presa dentro de las más importantes a nivel nacional y lo mismo puede decirse respecto a los volúmenes de obra manejados, y la altura - de 166 m- que la ubica entre las más altas del país.

### **II.1 ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CUENCA.**

Por ser Huites un Proyecto de usos múltiples, durante el desarrollo de sus estudios se estableció una estrecha relación entre las áreas especializadas de C.F.E. y de la S.A.R.H, el aprovechamiento ha sido estudiado hace varios años por ambas dependencias.

En los años de 1954 y 1955 se realizaron los primeros estudios a nivel de reconocimiento e investigación por parte de la S.A.R.H, posteriormente ( 1962 -1963) la C.F.E. realizó las exploraciones geológicas y elaboró un estudio preliminar.

A mediados de 1979 C.F.E. reinició los estudios encaminados a la obtención de un anteproyecto que cumpliera con los requisitos técnicos y económicos, buscando la participación de todos los sectores involucrados para el proyecto, para ello se efectuó el estudio de una serie de alternativas basadas principalmente en el cabal conocimiento de las características lito-estructurales y geotécnicas del sitio.

### II.1.1 DATOS HIDROLOGICOS Y METEOROLOGICOS.

El área del proyecto Huites posee registro de 31 estaciones climatológicas y 25 hidrométricas, estas se tabulan apartir del nacimiento del río hacia la desembocadura, con los datos de la dependencia que las supervisa, el periodo de observación, las coordenadas de localización y el río en el cual se encuentra, la estación más importante del plan es Huites, operada por la S.A.R.H, de acuerdo a los registros disponibles hay dos periodos bien definidos: la época de verano, comprende los meses de mayo a octubre, sus características son: escurrimiento con variación poco significativa, algunas avenidas provocadas por precipitaciones o efectos de ciclón y temperatura promedio de 29° C, temporada de invierno comprendida por los meses de noviembre a febrero con temperatura promedio de 29° C y escurrimientos muy variados. Las diferencias se deben a la ocurrencia de deshielos asociados a las propias precipitaciones (equipatas) en la zona alta de la cuenca, los cuales son herráticos de tiempo, magnitud e intensidad. Los meses de marzo a mayo representan el único periodo bien definido de aguas bajas.

Los datos meteorológicos más significativos en la estación climatológica de Huites son:

	Promedio	Máximo	Mínimo
Lluvia ( mm / Año )	785	1250	550
Evaporación ( mm 7 Año )	2430	2740	2120
Temperatura ( °C )	25	46	3

## II.1.2 ESCURRIMIENTOS.

En el proyecto Huites opera la estación hidrométrica del mismo nombre, localizada en la boquilla en un lapso de observación de 39 años, se tomaron los datos en cuanto a escurrimientos mensuales, transcurso máximos, hidrogramas de avenidas, de los análisis hidrológicos necesarios.

La curva de elevaciones-gastos obtenidas a base de las lecturas diarias de la estación hidrométrica Huites y de mediciones periódicas de duración. Los resultados de los análisis de frecuencia en los picos, sin considerar los volúmenes asociados ni la forma de las avenidas son las siguientes:

PERIODO DE RETORNO ( AÑOS )	PICO MAX. INSTANTANEO ( M3/SEG. )
10	9,000
20	11,200
50	14,500
100	17,000
1,000	23,000
10,000	33,000

Picos de avenidas del periodo de invierno. Los ciclos de verano son mucho menores del orden de  $\frac{1}{4}$  a los de invierno.

El mismo método de frecuencia ha sido desarrollado para las cantidades de invierno, considerando únicamente las medidas asociadas directamente con las avenidas de gasto base y limitando la duración de las afluencias a cinco días, los resultados fueron los siguientes:

PERIODO DE RETORNO ( AÑOS )	VOLUMEN ( MILL - M3 )
10	1,030
20	1,280
50	1,600
70	1,700
100	1,850
1000	2,650
10,000	3,440

### **II.1.3 AZOLVE.**

En la estación hidrométrica de Huites, S.A.R.H, realiza regularmente desde 1942 mediciones de acarreo de azolve en suspensión.

En promedio resultan cerca de 10 millones de metros cúbicos por año de acarreo, correspondientes a una erosión de 0.4 mm/año sobre el área de la cuenca.

Al final de cincuenta años de vida útil de la planta esta daría un resultado total de 500 millones de metros cúbicos correspondientes, suponiendo que el azolve se deposité horizontalmente en el fondo del embalse, a la cota Elev. + 215.00

Esté nivel ha sido como el NAMin (Nivel de Aguas Mínimas) para fines de riego, demostrando poder usar sin restricciones el total del embalse arriba de está Elev.

#### II.1.4 GEOLOGÍA REGIONAL.

El modelo geológico del área de la boquilla, se define como pilar estructural compuesto por rocas ígneas de granito en su base, corneana en su parte media, y coronado por ignimbritas. Esta secuencia ha sido intrusionada por diques ácidos y básicos a través de fracturas y fallas.

El granito pertenece al gran batólito Sonora-Sinaloa, presenta notables variaciones magmáticas; biotítico a ortosa rosada, tipo granodiorítico, posee muy buena calidad, excluyendo el espesor donde el intemperismo lo ha degradado.

La corneana es una roca metavolcánica - metasedimentaria, silicificada por metamorfismo termodinámico con fracturamiento y composición variable, también presenta facies diferentes: arenosa, brechoide, grauváquica, es de color gris oscuro a verdoso, en términos generales es de regular a buena calidad, con algunas fracturas en superficie y mejorando su calidad a profundidad.

La ignimbrita ha sido observada en cinco miembros de características litológicas diferentes: brechoide base, cristalina, vitrea, arenosa, aflora en las partes altas de la boquilla y es la roca de menor calidad.

Unidades litológicas secundarias están representadas por diques bien confinados, rocas filonianas tanto básicas (doleritas o basaltos), como ácidas (pórfidos neolíticos) y su calidad es semejante a las de las rocas que los contienen.

Los materiales de acarreo son abundantes en el lecho del río y en las formaciones de terraza, el espesor del aluvión varía entre 10 y 20 m.

El recubrimiento detrítico tiene fuertes espesores solamente donde la escasa inclinación del terreno lo permite.

En el vaso, la roca basal es granito que aflora en el área inmutable en un 90% aproximadamente, implicando un grado de confianza alto en cuanto a su estanqueidad. El 10% restante está formado por ignimbrita, arenisca, basalto y diques diabásicos.

## **II.1.5 TECTONICA.**

Las rocas más antiguas son las metavolcánicas, fueron intruidas y desplazadas por el Plutón granítico, siendo luego el conjunto recubierto por los depósitos ignimbriticos.

El contacto granito-corneana puede presentarse como pura intrusión, sin desplazamiento, o bien tectónico, pues la dinámica intrusiva y los sucesivos asentamientos del conjunto han desarrollado esfuerzos y tensiones con relaciones mecánicas, produciendo mineralizaciones secundarias y al final arcilla de fricción.

Las relaciones granito-ignimbrita y corneana-ignimbrita, al contrario se presentan, siempre bien cerrados y esto se debe a la peculiaridad de la ignimbrita, que llega a sellar y compenetrar todas las discontinuidades y todos los accidentes morfológicos.

Los filones, ácidos y básicos, representan el último episodio magmático, han intruido el macizo aprovechando las fracturas y discontinuidades pre-existentes. de tal manera que muy frecuentemente se observan yacimientos en las vecindades de la unión entre las diferentes unidades litológicas, tanto que la presencia de estos filones y diques pueden considerar un factor estructuralmente estabilizador.

Ninguna gran falla interesa al sitio de Huites, sin embargo varias fallas pequeñas y de carácter local, de escaso desplazamiento, se observan y se pueden principalmente identificar con los descritos contactos granito-corneana.

La falla principal del sitio se halla transversal al río, indicando el contacto tectónico corneana-granito, de rumbo N-S en la margen izquierda, y NNE-SSW en la margen derecha. Su buzamiento es de unos 30° al SE.

Finalmente las investigaciones parecen excluir la presencia de una falla longitudinal que puede haber controlado el curso del río en la boquilla.

La orientación preferencial de las juntas en el granito es al NW. En la corneana, que resulta mucho más fracturada y hasta cataclástica ( pero las juntas siempre selladas ) las orientaciones preferenciales son al NNW, al N, y al NE. Cabe señalar que en dicha roca muchas juntas son de orientación erráticas.

La ignimbrita presenta generalmente las juntas típicas de esta roca, de buzamiento subvértical y orientación en el sector Norte.

## TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION

De acuerdo con el espesor de roca alterada bajo el aluvión, se requerirá consolidar la roca con profundidad máxima de 15 m para ello se ha proyectado un conjunto de perforaciones inyectadas con lechada de cemento y aditivos en toda el área de cimentación, incluyendo la zona de la estructura del canal de desvío. En una primera etapa se propuso que esta carpeta de consolidación tenga perforaciones de 15 m, de profundidad dispuestas en cuadrícula de 10 m por lado.

Cerca del extremo de aguas arriba de la superficie de cimentación de la cortina se propone formar una pantalla de inyectado con perforaciones profundas, de 50 m en la zona del cauce y los primeros 40 m de altura de cortina, disminuyendo la profundidad progresivamente hasta 30 m en la elevación de la corona. En una primera etapa las perforaciones se espaciaron a 10 m, en etapas sucesivas y de acuerdo con las tomas de inyección, la separación entre perforaciones fue de 5 m.

La cortina tiene varias galerías longitudinales de inyección y drenaje, una de ellas se localiza perimetralmente cerca del paramento de aguas arriba a unos 5 m sobre los niveles de desplante, en esta galería se dejarán tubos guía que permitan a través de ellos perforaciones e inyecciones que pudieran ser necesarios en la obra.

Para alivio de la subpresión, en toda la altura de la cortina se perforaron adecuadamente drenes verticales paralelos al paramento de aguas arriba. Serán de 6" de diámetro y espaciados a cada 3 m; los drenes descargarán las posibles filtraciones a las galerías de inspección y drenaje que recorrerán la cortina de una margen a la otra. Las perforaciones se harán posteriormente a la terminación de la pantalla de inyecciones profundas, de ser necesaria una perforación e inyección posterior a la terminación de la obra, se requerirá hacer también una perforación para drenaje.

## **II.2 CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO.**

El rasgo predominante del estribo derecho se identifica con el domo de granito. La roca es maciza, fresca desde la superficie, y sin aparentes defectos estructurales. La formación granítica sigue aguas abajo por una distancia indefinida, aunque en parte cubierta por detrito (espesores estimados en unos 20 m máximo) y se interrumpe aguas arriba en el nombrado contacto de la corneana, en los niveles inferiores, y con la ignimbrita en los niveles superiores.

El domo granítico presenta sobre el río una pared vertical de unos 100 m de altura, terminando aguas arriba con una esquina bien definida, se apoya en una ladera del mismo granito, compacta y uniforme de suave pendiente.

El estribo izquierdo es morfológicamente más unificado, este se presenta litológica y estructuralmente mucho más complejo. El contacto tectónico granito-corneana, aquí tiene un rumbo aproximado N-S, se halla diagonal al río y entonces tiene que ser interceptado en la parte más alta de la cimentación de la obra.

Arriba del contacto se trata de la corneana, la cual a su vez se mete por debajo del cantil ignimbrático. Hay en el estribo tres rocas y dos contactos, el de mayor importancia es el más bajo, entre granito y corneana, es de carácter tectónico. La observación de tal unión indica presencia de arcilla de fricción espesa de algunos centímetros ( máximo 10 cm ) y planos de las dos rocas en contacto uniformes y alisados.

Se trata de una discontinuidad potencialmente lubricada ( en presencia de agua ) que afecta sustancialmente las características mecánicas del estribo.

Por el contrario, la relación corneana-ignimbrita, que se encuentra en los niveles altos del flanco, no parece presentar ninguna interrupción y consecuentemente ningún problema mecánico.



## **II.3 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS QUE COMPONEN EL PROYECTO HIDROELECTRICO.**

El proyecto de la presa Huites y su planta hidroeléctrica comprenden una cortina de concreto convencional 166 m de altura, en sección de gravedad, cerrando en su margen derecha con una cortina de sección de arco, la obra de excedencias tendrá compuertas radiales y descarga a tres túneles de 14 m de diámetro, las obras de toma se alojarán en el cuerpo de la cortina, la planta hidroeléctrica se ubica al pie de la presa, la obra de desvío está formada por un tajo, al pie de la ladera de la margen derecha de la boquilla, con una plantilla de 28 m de ancho a la elevación 150 m sobre el nivel del mar.

### **II.3.1 OBRAS DE DESVIO.**

Consiste en un canal de 51 m de ancho y 800 m de longitud, alojado en la margen derecha de la boquilla. Estará formado por excavaciones en esa margen complementadas por un muro de concreto que constituirá su lado izquierdo. Al centro del tajo y en el área que finalmente cubrirá la cortina, se construirá una estructura de concreto reforzado, ocupando los 51 m de ancho que tiene el tajo y con una longitud de 120 m, que dará paso a las aguas del río desviadas durante la construcción y permitirá el cierre de la presa en el momento adecuado.

La plantilla del canal y de la estructura estará a la elevación del cauce del río. La estructura tendrá 6 conductos de 6 m de ancho por 12 m de altura, a través de los cuales transitarán las avenidas ordinarias con gastos hasta de 2100 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad media de 6 m/s.

Cuando el gasto exceda al que puede pasar a través de los conductos, el excedente escurrirá sobre el techo de la estructura con tirantes hasta de 13 m si el gasto llega a los 15000 m<sup>3</sup>/s. La velocidad del agua sobre el techo en ese caso extremo será de 11 m/s.

El tirante de agua a la entrada del canal de desvío de gasto máximo, llegará a ser de 31.9 m y la velocidad del agua de 8 m/s; a la salida el tirante será de 20.4 m y la velocidad de 13.3 m/s.

El muro que forma la pared izquierda del canal de desvío tendrá su corona a la Elev. + 188 en el tramo anterior a la estructura; a la Elev. + 185 en el tramo de la estructura; y a la Elev. + 175.70 en el tramo final, fue despalantado sobre granito, la sección transversal del muro tendrá paramento vertical del lado del canal e inclinado del lado del río con talud de 0 7: 1. Tendrá juntas transversales de contracción a cada 15 m; las que corresponden al tramo del muro entre las ataguías llevarán sellos de cloruro de polivinilo.

Los esfuerzos de compresión sobre la roca de cimentación tendrán un valor máximo de 9 kg/cm<sup>2</sup>.

### II 3.2 OBRAS DE CONTENCIÓN.

Se estudio diferentes opciones de tipo de cortina, incluyendo las de arco gravedad. materiales graduados y enrocamiento con cara de concreto, después de una evaluación técnica-económica se seleccionó de concreto convencional, en sección de gravedad de 166 m de altura máxima cerrando en la margen derecha con un tramo de cortina en arco. Los aspectos más importantes que llevaron a esta decisión, además del costo, fueron. la disponibilidad de materiales y el tiempo requerido de construcción.

Desde el punto de vista estructural, la cortina está dividida en 18 bloques independientes, ancho variable entre 15 y 25.5 m ( en zona para tuberías de obra de toma ). así mismo; esta cimentada sobre la roca y la limpieza del material de acarreo en el cauce ha previsto un espesor promedio de profundización de 5 m en la roca, con las regularizaciones necesarias de cimentación adecuadamente en bloque. El diseño de la presa contempla el tratamiento de cimienta, consistente en un tapete de consolidación de 15 m de profundidad y una pantalla impermeable de 50 m, esto requiere de 14,000 metros de excavación aproximadamente para el inyectado en la zona del tapete y 12,000 m en las perforaciones de la pantalla impermeable.

Se ha estipulado que los colados de concreto se hagan por hiladas de 1.50 m de altura, formadas por 3 capas sucesivas de 0.5 m aproximadamente, los monolitos estarán separados por juntas de contracción, que no se inyectaran, por lo que cada monolito será una estructura independiente de las contiguas.

Las juntas de contracción entre monolitos, llamadas juntas transversales, serán planas y llevarán cerca del paramento de aguas arriba dos sellos de cloruro de polivinilo evitando filtraciones del agua del vaso; sin embargo, en cada junta transversal estará ubicado uno de los drenes verticales de 6" de diámetro.

Es recomendable que los monolitos estén formados por bloques de colado de longitud no mayor de unos 40 m, por lo que se construirán con juntas longitudinales con ese espaciamiento. Las juntas longitudinales de un monolito no coincidirán con las de los monolitos contiguos, estando separadas unos tres metros.

Los esfuerzos producidos por los empujes del agua y azolves sobre cada monolito deberán transmitirse correctamente a través de las juntas longitudinales de ese monolito por lo que estas juntas no serán planas, sino con llaves o dientes formados por pequeños planos inclinados, en todo lo alto de la superficie de la junta.

Aguas abajo de la pantalla de inyecciones fue prevista, una de barrenos de drenaje para aliviar la supresión en las cimentaciones. La sección transversal de la cortina se diseño con 8 m de ancho en la corona, Elev + 290.75 msnm, con parapeto ciego aguas arriba de 1.25 m hasta alcanzar la dimensión de 292.0 msnm. El paramento aguas arriba es vertical en la parte superior y con talud 0.1:1 en la parte inferior, aguas abajo el paramento es inclinado a 0.75:1. La cortina alcanza una longitud de 426 m al nivel de la corona, en su construcción se requerirá un volumen total de concreto de 2,460,000 m<sup>3</sup>.

### II.3.3 OBRAS DE CONTROL Y EXCEDENCIAS.

La obra de control y excedencias proyectada consiste en tres estructuras vertedoras que descargarán a sendos túneles excavados en la margen izquierda de la boquilla. Cada una de las estructuras estará formada por dos tramos de cresta vertedora de 13 m de longitud, el cimacio se encuentra a la Elev. + 258 msnm

Consta de 3 vanos controlados por compuertas radiales de 15.50 m de ancho por 21 m de altura, las 3 estructuras vertedoras dispondrán de un canal de la llamada común, con plantillas a la Elev. + 255, excavado con taludes 0.5:1 hasta la Elev. + 430. La excavación tendrá banquetas de 5.00 m a cada 25.00 m de diferencia de niveles.

El perfil de la cresta vertedora será de tipo Creager hasta hacerse tangente a una pendiente inclinada 22° respecto a la horizontal. Esta misma inclinación tendrán los túneles de descarga en su tramo inicial, y cambiarán a una pendiente de 0.025 mediante una curva vertical de 270 m de radio y 20.57° de deflexión.

La sección transversal de los túneles, en su tramo final de 600 m de longitud aproximada, será circular, de 14.00 m de diámetro interior, revestida con 1.29 m de espesor de concreto. En su tramo inicial de 300 m de desarrollo, la sección transversal será variable, pasando de una sección rectangular de 26 m de ancho y 9 m de altura rematada en bóveda cilíndrica de tres centros, a la sección circular de 14 m de diámetro mediante una transición serán mayores que en la sección circular.

Se ha previsto disponer ranuras de aeración de la vena líquida en las paredes del túnel, en los tramos en que la velocidad media del agua sea mayor a 20 m/s. Después de la sección terminal de los túneles, se han dispuesto deflectores de piso, a cielo abierto para la descarga al tajo de salida común, proyectados con el fin de evitar la formación de socavaciones inmediatamente aguas abajo de la salida de los túneles y las consecuentes barras del material que pudiera soportar la descarga del agua. La velocidad del agua en los canales llega cerca de los 42 m/s en la zona en que termina la curva vertical y se inicia el tramo final de cada túnel. Las aguas son restituidas al río con salto de esqui terminal con un ángulo de salida de 30°, lo que aleja el área de caída del chorro a 150 m aguas abajo, aproximadamente.

#### II.3.4 OBRAS DE GENERACION ( Obra de toma y Casa de Máquinas ).

La planta hidroeléctrica se ubica en la margen derecha del río. Esta equipada con dos grupos de turbogeneradores de 200 MW cada uno, complementada con el equipo normal de control y una grúa viajera de pórtico de 85 ton de capacidad en la toma.

Partiendo desde aguas arriba las obras están constituidas por lo siguiente:

Obras de toma (una por cada unidad), ubicadas en el molito 14 para riego 16 y 17 para generación, fondo a la cota Elev. + 185.50 y piso del umbral a la cota Elev. + 190.0. Cada obra de toma está protegida por una rejilla de disposición semicircular, de dimensiones  $r = 7.0$  m y  $h = 18.34$  m. Los valores relativamente bajos de velocidad permiten no colocar equipo para la limpieza de las rejillas. Las dimensiones de las bocatomas es de  $6.3 \times 7.8$  m, cada una, controlada por una compuerta rodante de 7.5 m de ancho y 8.4 m de alto operados con servomotores instalados en la corona de la cortina. El mantenimiento de estas compuertas prevé utilizar una compuerta deslizante de las mismas dimensiones operadas con una grúa de maniobra desde la corona de la cortina.

El gasto para obra de toma de riego fue de 145 m<sup>3</sup>/s, la bifurcación y sus válvulas se han dimensionado en sus diámetros de tal manera que cada rama sea capaz de descargar dos tercios del gasto máximo ( 97.15 m<sup>3</sup>/s ), lo cual permitirá operar la toma con bastante holgura durante las labores y maniobras de mantenimiento de las válvulas de operación de cada una de las ramas.

El gasto que manejara cada una de las tuberías de la obra de toma para generación será 235 m<sup>3</sup>/s, a continuación de cada estructura de rejillas habrá una transición para entrar a la tubería de acero. En cada transición habrá dos compuertas de rueda de 2.75 m de ancho por 8.00 m de altura que se operan hidráulicamente con servomotores desde la corona de la cortina, en donde se tendrá la cámara de operación y espacio para mantenimiento de las compuertas de servicio.

Después de las guías para las compuertas se encuentra la transición de 19.0 m de longitud, iniciando inmediatamente la tubería a presión, de 7.8 m de diámetro, cruzando horizontalmente el cuerpo de la cortina de arco a la Elev. + 190.0 hasta una curva vertical que permite bajar a la Elev. + 143.10 y entrar horizontalmente a la Casa de Máquinas, la cuál es una estructura de concreto armado del tipo exterior, localizada en la margen derecha del cauce, sus dimensiones son:

ancho 32.30 m    alto 42.74 m    largo 53.00 m

**Los niveles característicos de la Casa de Máquinas son los siguientes:**

<b>Techo</b>	<b>172.25</b>
<b>Piso principal</b>	<b>157.90</b>
<b>Eje de las turbinas</b>	<b>147.00</b>
<b>Desplante</b>	<b>129.50</b>

El equipo de la Casa de Máquinas está constituido por 2 grupos de eje vertical, cada uno compuesto por una turbina Francis directamente acoplada con el generador, la distancia entre grupos es de 22.00 m.

Para las condiciones de la planta se eligió adoptar turbinas tipo Francis a una velocidad de rotación nominal de 138.46 r.p.m. Los estudios de transitorios realizados mostraron que no existe peligro de fenómenos de resonancia hidráulica entre la tubería y las oscilaciones de presión provocadas por la turbina.

**Los generadores son equipados con excitación estática y transformadores individuales.**

Para el montaje y el mantenimiento de los grupos se instalaron 2 grúas de 2 carros uno principal de 350 ton. de capacidad para levantar el rodete del generador totalmente montado y otro auxiliar de 30 ton.

Los transformadores trifásicos son instalados al exterior en la cota Elev. + 157.90 y son conectados a los generadores por medio de barras blindadas, los interruptores, pararrayos y demás equipo de la subestación elevadora se alojarán sobre el techo de la casa de máquinas.

La subestación es del tipo encapsulada de hexafluoruro de azufre S.F.6 se ha previsto una torre de doble circuito de 230 KV de 100 Km aproximadamente hasta su conexión con la subestación de puerto Nuevo perteneciente al sistema SONORA-SINALOA.

### II.3.5 OBRAS COMPLEMENTARIAS.

Para formar el recinto de construcción de la cortina y de la planta hidroeléctrica se construirán las ataguías desde el muro del canal de desvío hasta la ladera izquierda de la boquilla. Ambas ataguías serán de materiales graduados, con núcleo de arcilla y respaldos de roca y rezaga.

La ataguía de aguas arriba tendrá su corona a la Elev. + 188 y una altura de 38m; el núcleo de arcilla tendrá taludes 0.25 : 1 y los taludes exteriores serán de 1.8:1. La ataguía se desplantará sobre el aluvión del río previa limpia de materiales superficiales finos. Al centro del área en que se desplantará el núcleo del material impermeable se construirá una pantalla flexible, excavando el aluvión del río hasta la profundidad en que se encuentra el granito, o sea unos 20 m en el centro del cauce, la pantalla se extenderá en toda la anchura del río ocupada por el aluvión. Se unirá al muro de concreto ensanchando el núcleo de material impermeable para el mayor contacto con la superficie del muro, que está provisto de un dentellón o saliente que proporciona una mejor superficie estanca.

La ataguía de aguas abajo tendrá su corona a la Elev. + 175.50 y una altura de 27 m sobre el aluvión. También tendrá su zona de material impermeable inclinada, se construirá una pantalla impermeable a través del aluvión.

En el conjunto de las obras adicionales, cabe mencionar los caminos de acceso de ambas márgenes. La carretera que llega de Choix en la margen izquierda deberá ser acondicionada y llegara al nivel de la corona.

Además, a unos Kilómetros aguas abajo de la cortina fuera de la zona de influencia del vertedor, fue necesario construir un puente sobre el río fuerte, y una carretera en la margen derecha que sirve de acceso permanente a la Casa de Máquinas, el puente sirve para pasar maquinaria de un lado a otro del río, y permitir la explotación de los depósitos de acarreo, en ambas márgenes del río sirviendo de fuente de agregados al concreto.

La carretera en la margen derecha tiene un ramal hasta la corona, el ramal es necesario en las excavaciones altas para el apoyo derecho de la cortina, y podrá servir posteriormente facilitando la llegada a la corona de los equipos electromecánicos de las obras de toma.

Otros trabajos ligados aunque no directamente con la planta, son los que se refieren a eventuales obras de consolidación y protección de los puentes de ferrocarril Chihuahua-Pacífico, en la zona de Chinipas y Septentrión.

## II.4 RESUMEN DE DATOS PRINCIPALES.

### UBICACION

Coordenadas	
Longitud Oeste	108° 22' 12"
Latitud Norte	26° 50' 32"
Río afluente	Fuerte.
Estados	Sinaloa y Sonora.
Municipio	Choix.

### HIDROLOGIA

Area de la cuenca del río Fuerte	33,590	Km2
Area de la cuenca hasta Huites	26,020	Km2
Número de años de registro	41	
Escorrentamiento medio anual	3,880.2	Mm3
Volumen medio mensual escurrido	323.35	Mm3
Gasto medio	123	m3/s
Volumen medio aprovechado	3,380	Mm3
Gasto medio aprovechado	107.2	m3/s

### VASO DE ALMACENAMIENTO

	Elevación	Capacidad
NAMINO	215 msnm	500 Mm3
NAMO	270 msnm	2,908 Mm3
NAME	290 msnm	4,568 Mm3
Capacidad para azolves		500 Mm3
Capacidad útil NAMO-NAMINO		2,408 Mm3
Capacidad para control de avenidad		
NAME-NAMO		1,660 Mm3
Area ocupada por el embalse al NAME		95,727 km2
Area ocupada por el embalse al NAMO		70,702 km2
Area ocupada por el embalse al NAMINO		21,927 km2
Superalmacenamiento		558 Mm3



### **OBRA DE DESVIO CON TR = 70 AÑOS.**

Gasto máximo de la avenida máxima registrada	15,000 m3/seg.
Gasto máximo de diseño	15,000 m3/seg.
Elevación ataguia aguas arriba	188 msnm
Elevación ataguia aguas abajo	175 msnm
Sección del tajo	Ancho = 28 m Altura = 33m
Longitud total del tajo	740.0 aprox.

### **VOLUMEN DE OBRA**

Excavación	2 577,088 m3
Terraceria	1 055,000 m3
Concreto simple	2 650,000 m3
Concreto reforzado	238,000 m3
Acero de refuerzo	5,633 ton.
Tubería de acero a presión	2,200 ton.

### **CAPITULO III. CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CASA DE MAQUINAS**

La Casa de Máquinas se localiza en la margen derecha del río Fuerte, con una parte en la caverna y el resto superficial, formando de manera natural dos cuerpos, la zona que se encuentra dentro de caverna corresponde a la playa de montaje y la superficial a la zona donde se ubican el conjunto Turbina-Generador y sus equipos auxiliares (ver figura No. 4)

En una sección transversal, la Casa de Máquinas está constituida por una nave central y dos laterales, en la nave central se localiza el equipo Turbina-Generador y en las laterales los equipos electromecánicos auxiliares ( ver figura No. 5 ).

Estructuralmente la Casa de Máquinas se conforma por una sub-estructura y una super-estructura, la primera se encuentra confinada lateralmente por la roca y es en donde se localiza, además; la Turbina-Generador, la Carcasa, el Desfogue, el Carcamo, y las Galerías de Drenaje e Inspección, constituyendo un cuerpo rígido. La super-estructura se integra por los Muros Perimetrales y Losas de Concreto Armado ( ver figura No. 5 y No. 6 ).

#### **III.1 NECESIDADES QUE DEBE SATISFACER LA CASA DE MAQUINAS.**

La estructura de la Casa de Máquinas deberá de formar un cuerpo suficientemente rígido, capaz de resistir fuerzas e impactos durante las etapas de construcción, montaje y trabajo normal, así como; una serie de efectos accidentales, de viento y sismos.

Deberá de alojar a un par de turbogeneradores de 200 MW cada uno, compuestos por una turbina Francis con una velocidad de rotación nominal de 138.46 r.p.m, directamente acoplada con el generador, y su equipo complementario, asimismo; un par de carros de grúas viajeras que levantan un peso de 350 ton cada uno, esto durante la etapa de colocación del rodete del generador totalmente montado y un peso de 30 ton cada uno para trabajo normal.

#### **III.1.1 UBICACION DE CASA DE MAQUINAS.**

La casa de Máquinas se ubica en la margen derecha del río, al pie de la cortina pero no será monolítica con ella y estará estructurada en la forma convencional utilizada por C.F.E. para carga de diseño de 96.3 m, velocidad de rotación de 138 r.p.m. y gasto de diseño de 235 m<sup>3</sup>/s.

### III.1.2 DIMENSIONES DE CASA DE MAQUINAS.

El par de turbinas, alojadas dentro de casa de máquinas, requieren de una separación mínima entre ejes de 22.00 m, para albergar el equipo complementario de las mismas se requiere las siguientes dimensiones.

Ancho	32.30 m
Altura	42.74 m
Longitud	53.00 m

### III.1.3 NIVELES ESTRUCTURALES.

Los niveles característicos de la casa de máquinas son:

ELEV. + 129.50	Nivel de desplante.
LOSA ELEV. + 141.00	Zona de equipo condensador sincrónico, zona de bombas del cárcamo, eyectores, turbina auxiliar
ELEV. + 147.00	Nivel eje de turbinas.
LOSA ELEV. + 148.50	Piso de turbina, zona turbina auxiliar, sistema de agua de enfriamiento, enfriadores de aceite, chumaceras, generador, armario sistema de frenos, sistema de extracción, sistema de vahos de aceite, tableros de medición etc.
LOSA ELEV: + 152.90	Piso de generadores, zona de aire de servicio, compresores, tableros de control, servicios auxiliares, zona envuelta del generador, zona de los demás componentes, zona de buses fase aislada etc.
LOSA ELEV: + 157.90	Piso de excitadores, playa de montaje, zona de tableros baja tensión, celdas de 16 kv, etc.
LOSA ELEV. + 162.15	Baterías y cargadores.
LOSA ELEV. + 162.90	Salida de buses.
ELEV. + 172.25	Techo.

### **III.1.4 ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE FORMAN LA CASA DE MAQUINAS**

#### **ELEMENTOS MASIVOS:**

Los elementos masivos están constituidos por un grupo de concretos que envuelven principalmente a la carcasa y a los tubos de aspiración, pero debido a su grandes dimensiones y a las necesidades de obra al colocar los tubos de aspiración y carcasa, y posteriormente confinarlos dentro del concreto, estos deberán ser colados en diferentes etapas:

- PRIMEROS COLADOS DEL TUBO DE ASPIRACION.
- SEGUNDOS COLADOS DEL TUBO DE ASPIRACION.
- PRIMEROS COLADOS DE CARCASA.
- SEGUNDOS COLADOS DE CARCASA.

#### **PRIMEROS COLADOS DEL TUBO DE ASPIRACION:**

La losa de cimentación es el conjunto de los primeros y segundos colados del tubo de aspiración. Los primeros colados recibirán el peso de la super-estructura, además; como el efecto de flotación es importante dentro de la revisión de la estabilidad de la casa de máquinas, se hace indispensable el peso proporcionado por el concreto de estos colados (ver figura No. 5 , No. 6 y No. 7 a No. 9).

Los primeros colados del tubo de aspiración sirven de base al montaje de la tubería (de tubos de aspiración) que ponen en contacto el agua de deshecho de las turbinas con el canal de desfogue, estos elementos masivos forman parte de la subestructura ( ver figura No. 9 ).

#### **SEGUNDOS COLADOS DE TUBOS DE ASPIRACION:**

Una vez montado el tubo de aspiración, los segundos colados se emplean para empaquetar a este, y sirven de soporte a los primero colados de carcasa (ver figura No. 5).

Los segundos colados se planearon a la Elev. + 140.05 en el foso, y en al zona de compresores síncronos, sobre ejes H a I a la Elev. + 141.00.

#### PRIMEROS COLADOS DE CARCASA:

Los primeros colados de carcasa son aquellos concretos circundantes al eje de cada unidad y conformadores del foso para los segundos colados y la espiral de la carcasa. Su nivel inferior es el tope de los primeros y segundos colados del tubo de aspiración a la Elev. + 140.05; después el concreto se sobreeleva al nivel de localización de los bancos de apoyo para fijación de la carcasa, este nivel es escalonado en función de la reducción del diámetro de la espiral (Elevs. + 142.93, + 143.56, +143.90, + 144.16, + 144.50), finalmente los muros perimetrales en los ejes F,H,I, y 9 hasta la Elev. + 152.90 quedan incluidos en los primeros colados ( ver figuras No. 5, y No 10 a No 13 ).

#### SEGUNDOS COLADOS DE CARCASA:

Los segundos colados de carcasa se refieren al concreto que embebe a ésta, cuando ya está montada e instalada. Sus límites son frontera con los primeros colados de carcasa y el mismo equipo concéntrico al eje de la unidad. El piso inferior es escalonado en cuatro niveles, dependiendo de la reducción del diámetro de la carcasa ( Elev. + 142.96, Elev. + 144.50); y su parte superior se limita a la Elev. + 152.90 ó donde se apoya el rotor y el estator ( ver figura No. 5).

En general es concreto masivo alrededor de la espiral, apoyado también sobre los colados del tubo de aspiración( sobre concreto masivo). Sin embargo existen dos accesos por cada unidad a diferentes elevaciones que son: de 1.50 x 2.0 m a la Elev. + 146.00 y de 2.0 x 2.0 a la Elev. + 150.10; adicionalmente en ésta elevación se localiza un nicho para el equipo de enfriador de aceite de 3 m de ancho por 8 m de largo en la parte de aguas arriba del eje de la unidad (ver fig. No. 14 y No.16 ). Por otra parte, sobre el centro de la unidad en los ejes 4 y 8, se localiza un nicho de 1.0 x 1.0 aproximadamente, para paso de ductos, comunicando al centro de la unidad con el área en el nivel Elev. + 152.90 aguas abajo de la casa de máquinas (ver la figura No. 15).

## MUROS:

Los muros se identifican por ejes (ver fig. No. 17), el muro del eje E se desplanta en la Elev. + 152.90 terminando en la Elev. + 167.20, es de 60 cm de espesor y sólo tiene un hueco en la salida de buses a transformadores (ver fig. No. 18 y No.18a).

El muro del eje F se desplanta desde la Elev. + 139.40 con un espesor de 1.0 m, hasta la Elev. + 162.90, apartir de esta elevación el muro se desfasa 30 cm hacia paños exteriores, el espesor es de 1.30 m y en su Elev. + 165.70 integra la trabe carril de 1.70 x 2.0 m de sección. Apartir de ésta elevación el muro continua con un espesor de 45 cm hasta la Elev. + 170.90 donde recibe las traves metalicas de la cubierta (ver figura No. 19 y No. 19a).

Este muro tiene una serie de huecos a distintos niveles y diferentes posiciones que no permite una estructuración simple, los huecos son de grandes dimensiones, por ejemplo; el paso de la tubería a presión, pasos de circulación entre los niveles + 152.90-157.90 y + 157.90-162.90.

El muro de eje H es similar en cuanto a concepto al muro del eje F, sólo que este último se desplanta apartir de la Elev. + 141.0 y forma parte de los primeros colados de carcasa (ver. figura No. 20 y No. 20a).

Respecto al muro del eje I es el muro de aguas abajo y soporta la presión hidrostática, cual presenta dos niveles, el del canal de desfogue en la Elev. + 154.19 y el nivel máximo que corresponde al nivel del río cuando el vertedor está derramando con la avenida máxima de diseño y se encuentra en la Elev. +168.70. Dentro de los requerimientos de diseño del muro está minimizar el tamaño de grieta en la zona que trabaja a tensión en el concreto para garantizar una buena estanqueidad.

No obstante, el muro se desplanta apartir de la Elev. + 141.0 en el techo de los desfogues de las unidades. El espesor varia conforme va reduciendo la presión hidrostática actuante en su cota inferior su espesor es de 2.0 m., variando a 1.50, 1.0, y 0.80 m (ver figura No. 21 y No.21a).

El muro del eje l es también perimetral, por lo cual, estará sometido a una presión lateral debida al empuje del agua. Este se desplanta en la Elev. + 137.0, posteriormente quedará integrado a los concretos masivos de la carcasa de la unidad uno, hasta la Elev. + 152.90 a partir de ahí trabaja ya como muro.

Este muro es el único ubicado en la dirección de los ejes números abarcando la sección transversal para el trabajo de conjunto de toda la Casa de Máquinas. Por tener una altura muy grande, su espesor será de un mínimo de 1.0 m ( ver figura No 22 y No. 22a ), como el espesor del muro no es suficiente por resistencia, este se anclará a la roca mediante un patrón de anclas, ubicadas por niveles o en tresbolillo, tomando un factor de seguridad de 2.0.

El muro del eje 10 se desplanta en la Elev. + 127.50 y + 124.50, su espesor consta de 1.0 m en toda su longitud y altura. La Elev. + 141.0 forma parte del carcamo de bombeo, tiene un gran hueco en la zona de enlace con la caverna, de la Elev. + 157.9 a + 170.9 y del eje H al eje F (ver figura No. 23 y No.23a).

#### LOSAS.

Los muros se encuentran ligados entre si mediante losas perimetralmente apoyadas sobre estos, las cuales se identifican por niveles y son:

#### LOSA ELEVACION 148.50

La losa Elev. + 148.50 dispone de dos escaleras, una en cada extremo (eje 1 y eje 9) comunicadas con el nivel superior ( Elev. + 152.60 ) y el inferior ( Elev. + 141.00 ). Adosados a las escaleras se localizan ductos de ventilación ( uno por cada escalera ) de 2.50 x 2.50 m suministradores de aire fresco a ésta zona. Ductos cerrados con muros de concreto excepto donde se localiza la salida del aire.

El sistema de ventilación de casa de máquinas, requiere la localización de unos huecos en esta losa para que el aire inyectado desde el nivel Elev. + 141.00 vaya ascendiendo por tales huecos (ver figura No. 24).

El espesor de la losa debe ser grueso para dar estabilidad al muro, fue estructuralmente determinado a 40 cm.

#### LOSA ELEVACION 152.90

La losa Elev. + 152.90 abarca entre los ejes 1 a 9 a los H a I. El resto de este nivel, excepto el de la zona del edificio del cárcamo, es un piso sobre otro o un macizo de concreto.

**Contiene el piso de generadores, zona de aire de servicios compresores, tableros de control, servicios auxiliares, zona en venta del generador, zona de buses, fase aislada, etc**

**En este piso se encuentra el área de electroductos y charolas.**

**Es el piso que rodea a los cilindros y alberga los generadores, principalmente se cuenta con tuberías y ductos. La losa en cuestión tiene también dos escaleras ( en el eje 1 y en el eje 9 ) comunicadas con los pisos 157.90 y 148.50. Adosados a ambas, los ductos de ventilación cerrados con los muros de concreto ( ver figura No. 25 ).**

**El espesor de la losa será de 60 cms.**

#### **LOSA ELEVACION 157.90**

**La losa Elev. + 157.90 dispone de cuatro escaleras dos en cada extremo ( eje 1 y eje 9 ) conectadas con los niveles superiores e inferiores. Adosados se localizan ductos de ventilación ( uno por cada escalera de aguas abajo) de 2.50 m x 2.50m proveedores de aire fresco a la zona. El ducto es cerrado con muros de concreto, (excepto la salida del aire) adicionalmente la zona central entre Eje F y H tiene ubicados una serie de huecos y escotillas de montaje y ventilación de aproximadamente 2.0 x 2.0 m, y dos grandes huecos circulares de diámetro 14.90 m, que obedecen al cilindro del generador.**

**En las losas ubicadas entre los ejes E a F, H a I, se encuentran los tableros de equipos con pesos concentrados y algunos con necesidad de huecos para el paso de instalaciones. En cuanto a las escaleras del eje 9 y ductos de ventilación les corresponde la misma ubicación de las losas Elev. + 148.50 y Elev. + 152.90 ( ver figura No. 26 ).**

**La losa de este nivel se apoyará en todos los muros de concreto incluyendo los ejes 1 y 10, el espesor estructural será de 60 cms.**



#### LOSAS ELEVACION 162.15, 166.40 Y 170.00

Las losas Elev. + 162.15 y + 166.40 abarca los ejes 1 a 10 y los H a I. El área de la primera está destinada a la ubicación del cuarto de baterías y de la SE 13.8 kv, el área y la Elevación de la segunda está asignada a la zona de reserva. De modo que la losa de Elev. + 170.00 abarca de los ejes 1 a 10 y los H a I su pendiente será de 2 % , no se colocara relleno, sólo un impermeabilizante ( ver figura No. 5, y No. 28 a No. 30 )

Las losas referidas, anteriormente, disponen de dos escaleras una en cada extremo ( eje 1 y 9 ) que permiten enlazar con otros niveles. Adosados se localizan ductos de ventilación ( uno por cada escalera ) de 2.50 y 2.50 m, que proporcionan aire fresco a la zonas. Los ductos son iguales a los mencionados con anterioridad. Sobre la losa Elev. + 162.15 se localizan una serie de muros divisorios a base de muros block.

Adicionalmente uno de los rieles de la grúa pórtico se localiza a 8 cm del paño del muro eje I sin apoyarse sobre la losa Elev. + 170.00.

El muro del eje I ( aguas abajo) sirve de apoyo a estas losas y es de 80 cm de espesor, el muro del eje H es de espesor variable de 140 a 55 cm debido a la influencia de la trabe carril y cubierta de casa de máquinas.

El espesor estructural de la losa se determinó a 55 cms.

#### LOSAS ELEVACION 162.90 Y 167.20

Las losas elevadas a + 162.90 y + 167.20 abarcan los ejes 1 a 10 y los E y F. El área de la losa Elev. + 162.90 permite el paso de buses hacia los transformadores de la losa Elev. + 167.20, es sistema de cubierta, su pendiente será del 2% y no se colocará relleno sólo un impermeabilizante ( ver figura No. 5, No. 28 y No. 30 )

La losa Elev. + 162.90 dispone de una escalera ubicada en el extremo del eje 10 que permite estar en relación con el nivel Elev. + 157.90

El muro del eje E ( aguas arriba) sirve de apoyo a estas losas es de 60 cm de espesor y el muro del eje F es de espesor variable de 140 a 55 cm debido a la influencia de la trabe carril y cubierta de la casa de máquinas.

El espesor estructural de la losa se determino de 40 cms. Y es estructuralmente resistente para soportar la carga vertical.

## CILINDRO DEL GENERADOR

La estructura del cilindro del generador se refiere al muro de concreto que rodea a esté y a los bancos donde se apoya el rotor y el estator. El muro se localiza en la parte superior de la carcasa, es decir de la Elev. + 152.90 a la Elev. + 157.90 sirviendo de soporte a los excitadores. el espesor estructural del mismo es 50 cm ( ver figura No. 31 y No. 32 )

Los bancos que sostienen el estator, siendo la parte fija del generador, se localizan a la Elev. + 154.10 de dimensiones 1.30 x 1.50 m y hay 12 por cada unidad. Las dimensiones mencionadas corresponden a las placas metálicas embebidas en el concreto. Los bancos en donde se apoya el rotor, que es la parte móvil del generador, se encuentran a la Elev. + 152.90 en un radio interior más pequeño que el estator y son igualmente 12 por unidad. Cuando la máquina este en operación, el rotor se mantendrá en la chumacera de carga y a la vez el antedistribuidor, si está parada, el rotor continuará en dichos bancos.

Entre ambos bancos se encuentra un espacio libre de 1.25 m, donde se localizará un dren que colecta el agua del sistema contra incendio, en caso de una emergencia. En la parte exterior del estator y el muro del cilindro se localiza un espacio libre de paso y alojamiento del sistema de enfriamiento de equipo.

Entre los bancos de apoyo (en la parte intermedia) se localiza una trabe, que se forma al existir un ducto de ventilación del estator, a la Elev. + 154.10 ( ver figura No. 33 ).

## TRABE CARRIL

La trabe carril se encuentra ubicada sobre los ejes F a H y entre los ejes 1 a 10 de la estructura principal de Casa de Máquinas. Está trabe proporcionara apoyo y guías para la adecuada circulación de la grúa viajera a lo largo de Casa de Máquinas, además de soportar el muro que proporcionará apoyo al sistema de cubierta de la misma. El nivel de remate de estas trabes se encuentra a la Elev. + 165.74 ( ver figura No. 34 y No. 35 ).

#### CUBIERTA DE CASA DE MAQUINAS Y CASETA PARA EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO.

La cubierta de casa de maquinas abarca los ejes 1 a 10 y entre los ejes F a H, la caseta de ventilación de dimensiones de 12 x 12 m se encuentra sobre la cubierta, ubicada entre los ejes 4 a 8 e I a G.

El nivel inferior de la cubierta se encuentra en la Elev. + 170.90 y el máximo a la Elev. + 172.664, se sostiene en los muros ejes F y H ( ver figura No. 5 ).

La estructuración de la cubierta de casa de máquinas será a base de vigas I metálicas de sección constante, con un peralte de 1.10 m y un patín de 0.40 m de ancho, la longitud total de cada viga medira 22.20 m. El sistema de piso es mediante losacero ROMSA y se sostiene directamente sobre las traves metálicas.

Las vigas metálicas se diseñarán como de sección constante y se considerarán simplemente apoyadas en los muros ejes F y H, las vigas quedarán en forma definitiva contenidas en los muros y adicionalmente estarán unidas a estos por medio del firme de concreto de la losacero ROMSA ( ver figura No. 36 y No.37 ).

La caseta se estructuró a base de muros de block confinados por medio de castillos y da las, traves y columnas de concreto reforzado con un sistema de piso formado por vigas I y losacero ROMSA.

Los muros de la caseta estarán sobre la cubierta.

### III.1.5 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

#### Concreto.

El concreto colado en sitio es de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ .

El modulo de elasticidad del concreto es de  $E = 15100 (f'c)^{1/2} \text{ kg/cm}^2$

El tamaño máximo del agregado grueso de el concreto será de  $1 \frac{1}{2}$ ", excepto en elementos precolados se usará de  $\frac{3}{4}$ ", o cualquier otro componente, cuya dimensión mínima sea menor a 60 cms. El concreto reforzado tendrá un peso volumétrico de  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

#### Acero de Refuerzo.

El acero de refuerzo tendrá un esfuerzo de fluencia de  $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$

En las varillas que se utilizaron para desdoblar ( como en la unión de losa con muros ) el esfuerzo de fluencia del acero se considero de  $0.5Fy$ .

#### Acero Estructural.

El acero estructural utilizado fue el A-36 con un esfuerzo de fluencia  $Fy=2530\text{kg/cm}^2$

#### Soldadura.

Para las conexiones se utilizó una soldadura tipo E-70 xx.

### **III.2 GEOLOGIA DE LA CIMENTACION.**

La margen derecha del rio esta dominada por un domo de granito, el cual se extiende hacia aguas abajo de la cortina hasta una distancia indefinida, y se interrumpe hacia aguas arriba de la misma con el contacto de la corneana en los niveles inferiores e ignimbrita en los niveles superiores.

Para el desplante de casa de máquinas se tuvo que remover hasta 20 m de profundidad de material de detrito a manera de llegar hasta la roca maciza, dicho desplante a parte de estar en función del tipo de terreno en la cimentación de casa de máquinas, esta tambien en función de los niveles estructurales requeridos para el óptimo funcionamiento de las turbinas.

En el sitio de la cimentación de la casa de máquinas no existe ninguna falla importante de carácter local.

#### **III.2.1 CAPACIDAD A LA COMPRESION DE LA ROCA.**

De acuerdo a los especialistas de mecánica de rocas la capacidad determinada del soporte de la casa de máquinas fue de 100 ton/m<sup>2</sup>.

#### **III.2.2 MODULO DE REACCION DE LA ROCA.**

Debido a la colindancia entre la roca y la casa de máquinas fue necesario tomar en cuenta la restricción a desplazamiento de ciertas zonas aledañas de las mismas, para lo cual, al modelar una estructura se tomaban en cuenta los efectos de compresión en la zona de la roca mediante resortes de rigidez, por ello, se multiplicó el área de influencia por el modulo de reacción de la roca.

Modulo de reacción de la roca = 1152 kg/cm<sup>2</sup>.

FALLA DE ORIGEN

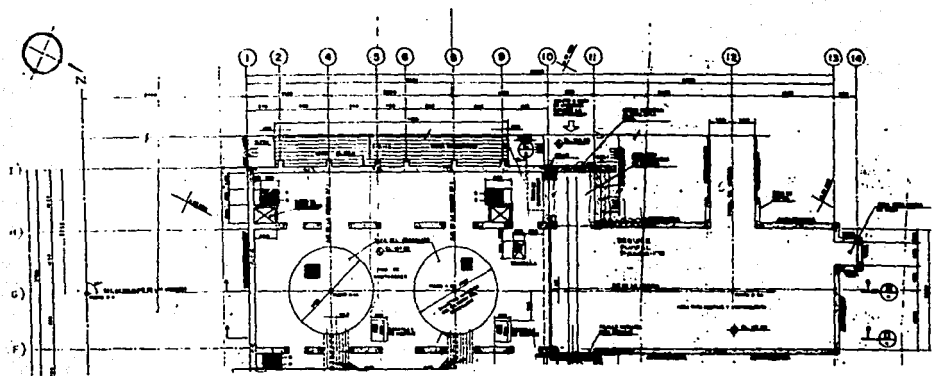
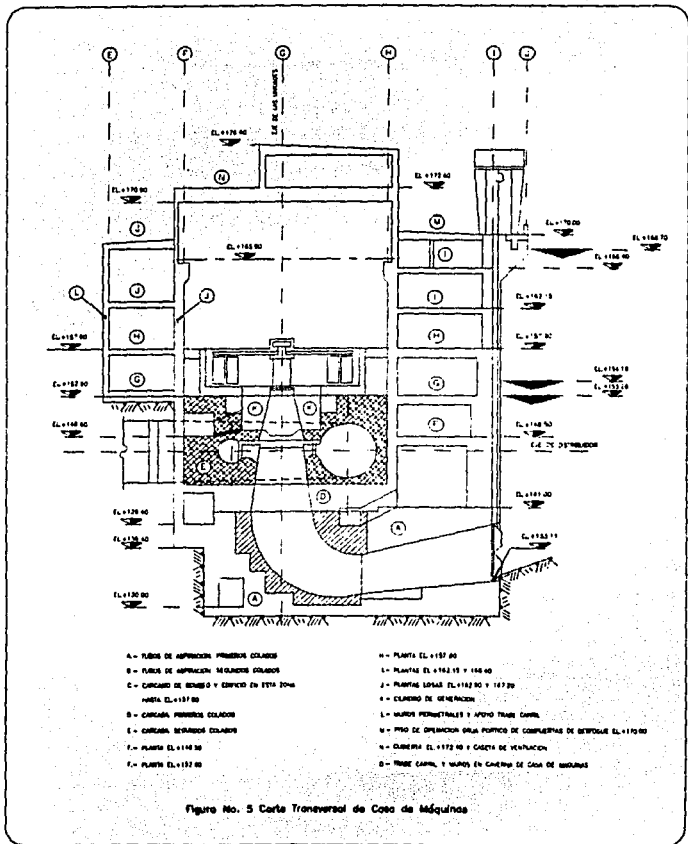


Figura No. 4 Planta General de Casa de Máquinas



FALLA DE ORIGEN

# FALLA DE ORIGEN

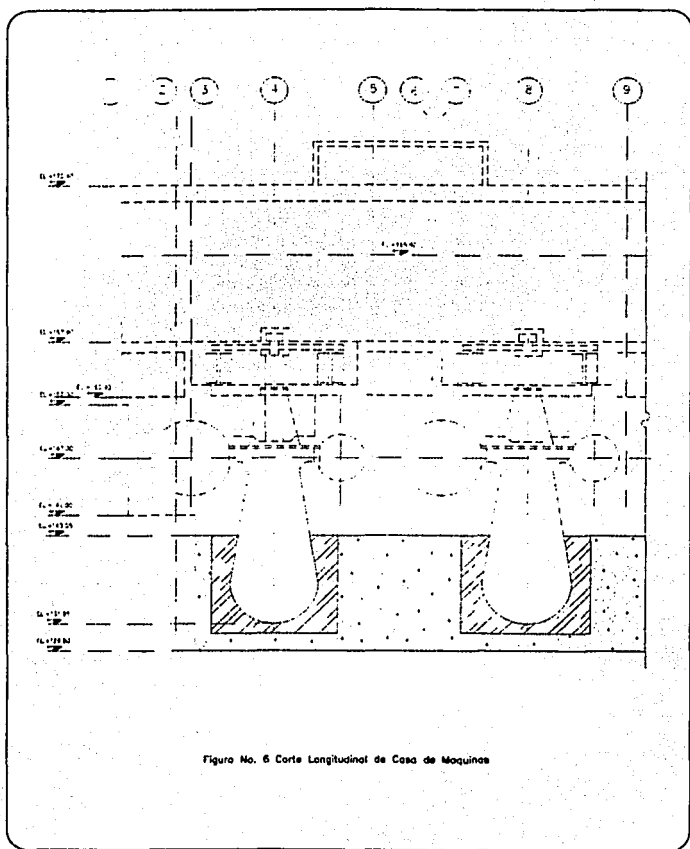
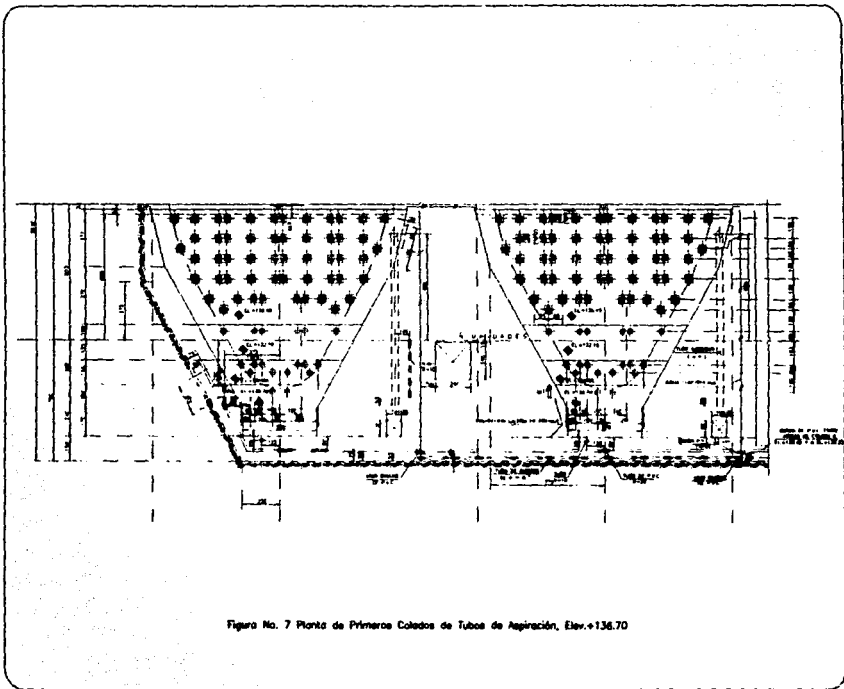


Figura No. 6 Corte Longitudinal de Casa de Maquinas

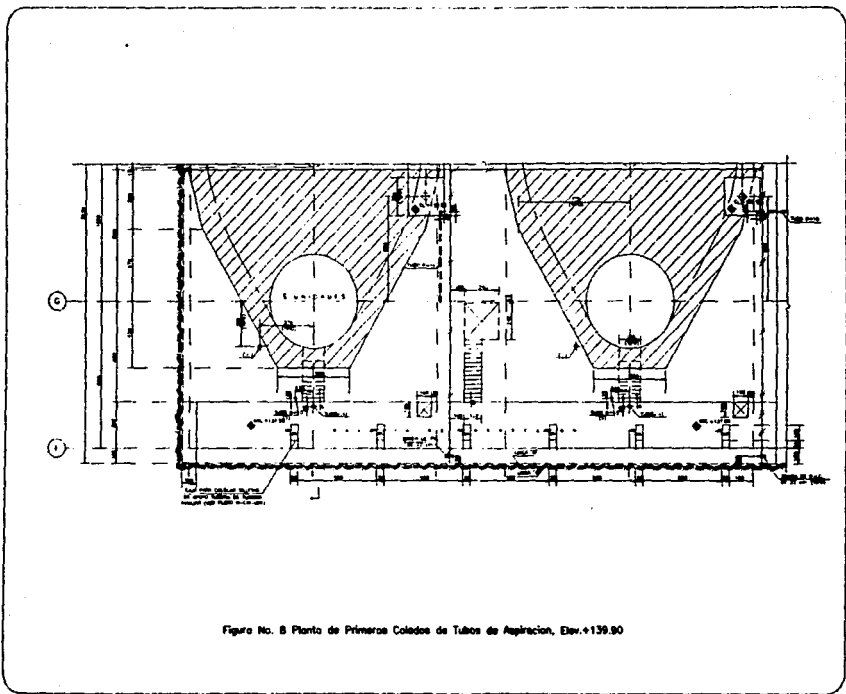
FALLA DE ORIGEN

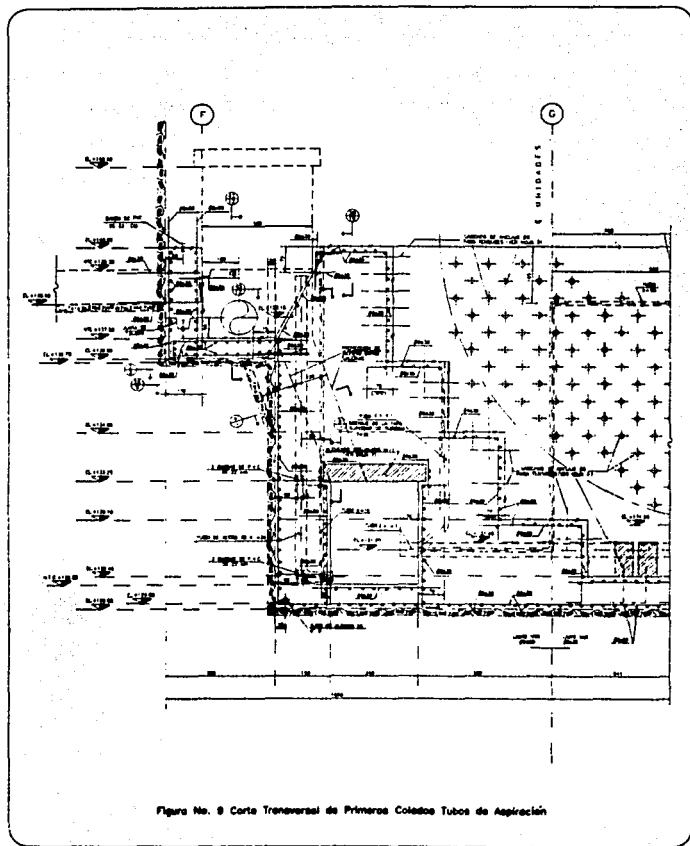


# FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN





FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

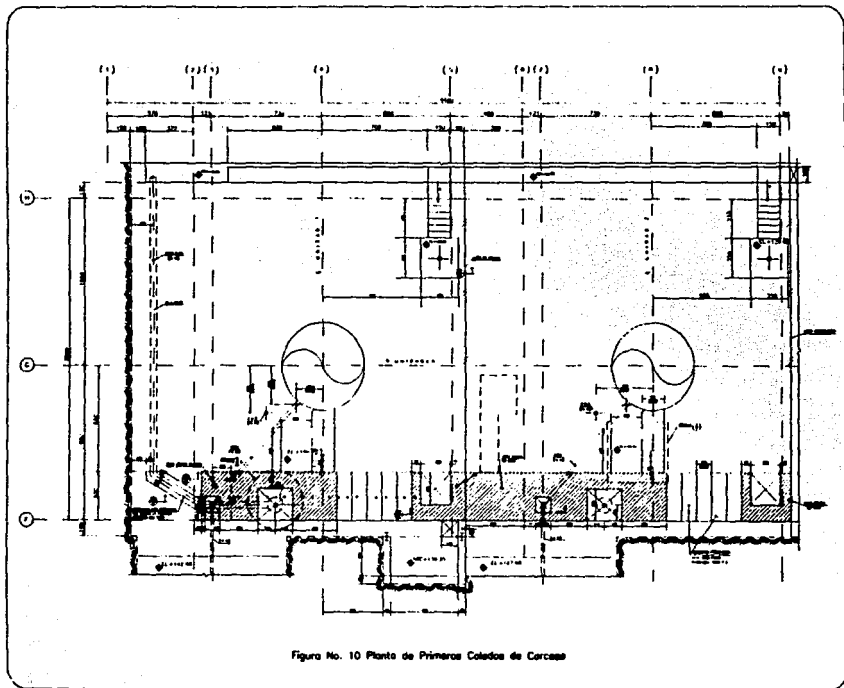


Figura No. 10 Planta de Primeras Coladas de Carcase

FALLA DE ORIGEN

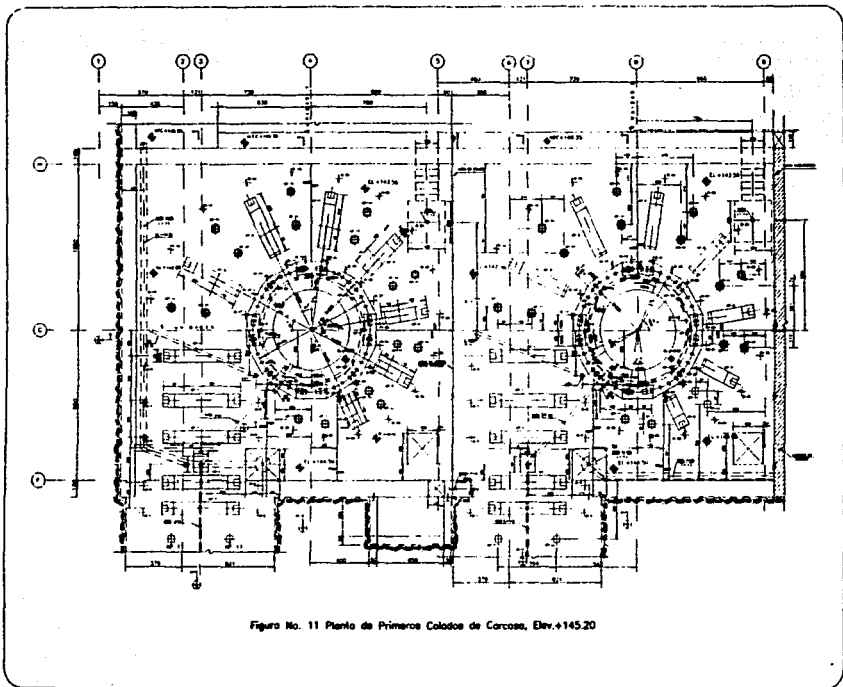
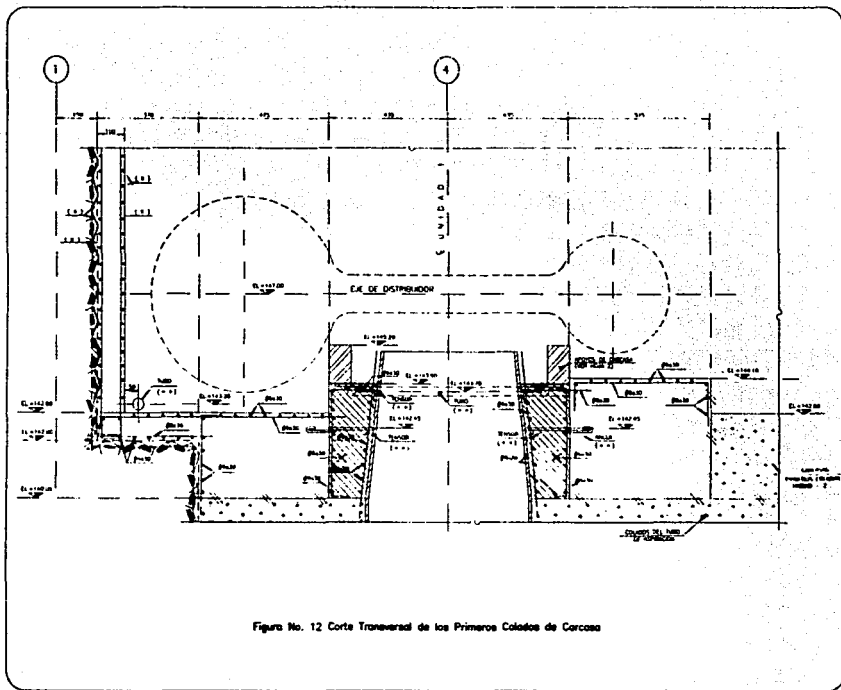
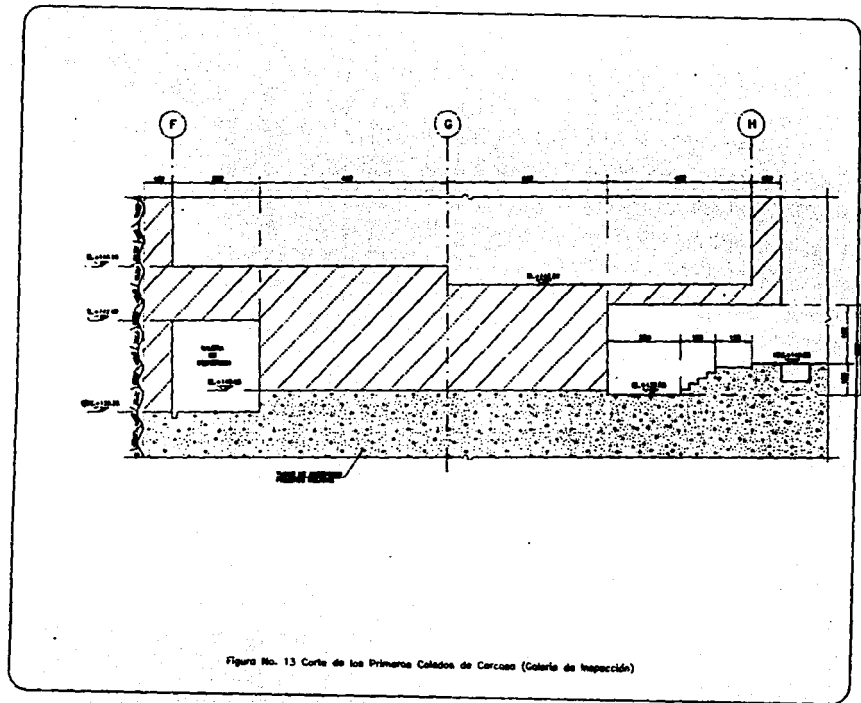


Figura No. 11 Plano de Primeros Colinas de Carcasi, Elev.+145.20

FALLA DE ORIGEN



# FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

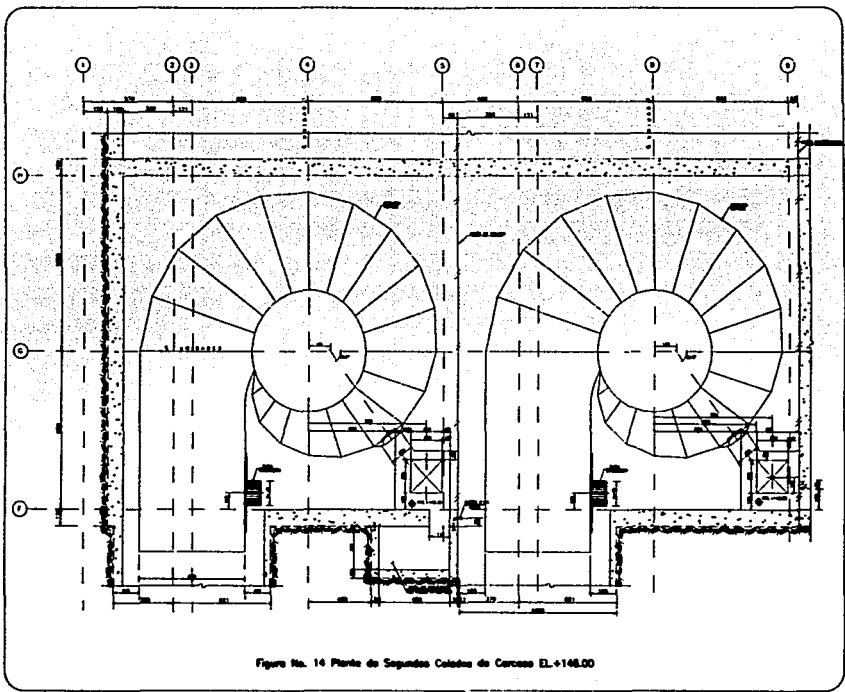


Figure No. 14 Planta de Segundo Nivel de Carcasa EL.+148.00



FALLA DE ORIGEN

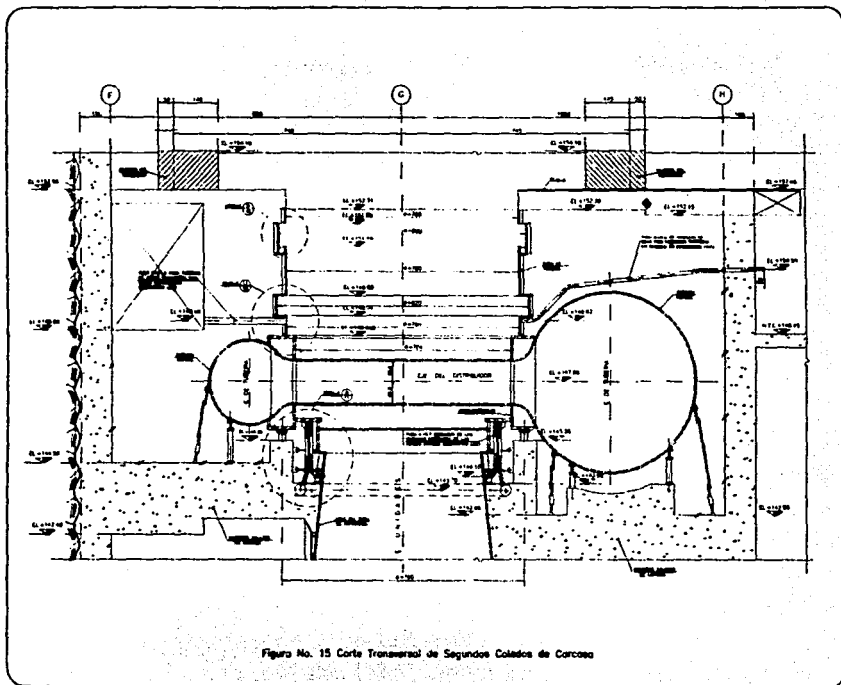
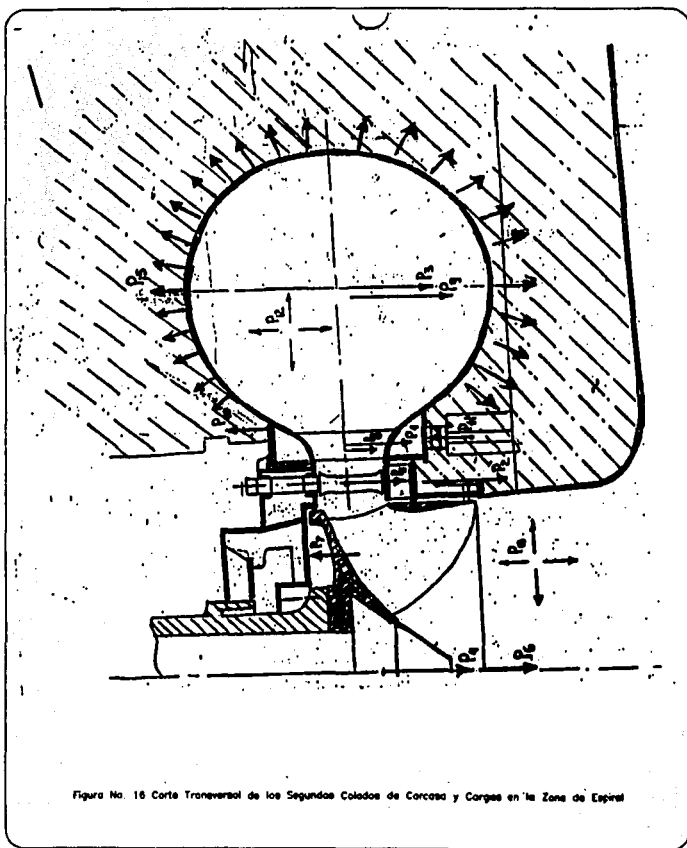


Figura No. 15 Corte Transversal de Segundos Colados de Carsoes



FALLA DE ORIGEN





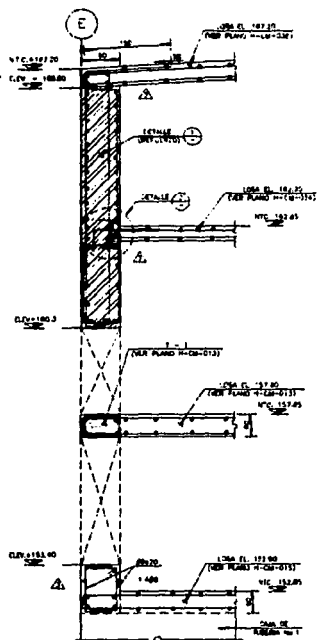


Figura No. 18a Corte Muro Eje "E"

FALLA DE ORIGEN





# FALLA DE ORIGEN

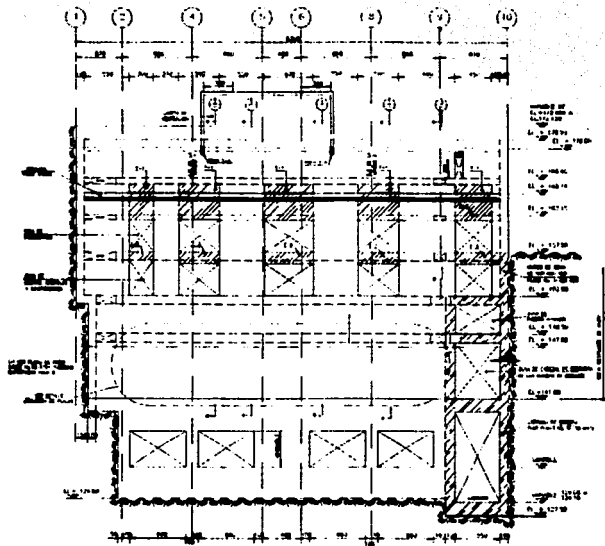


Figure No. 20 Voto Muro Eje "H"



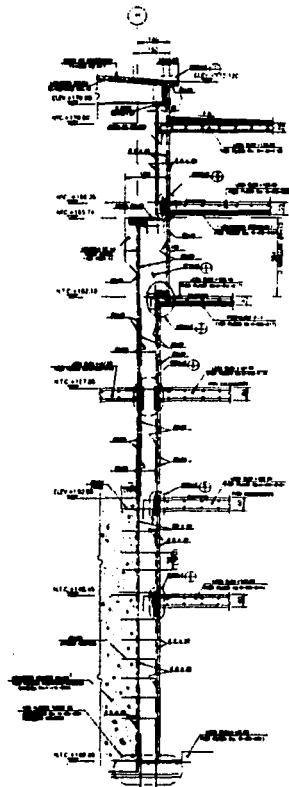


Figura No. 20a Corte Muro Eje "H"

FALLA DE ORIGEN

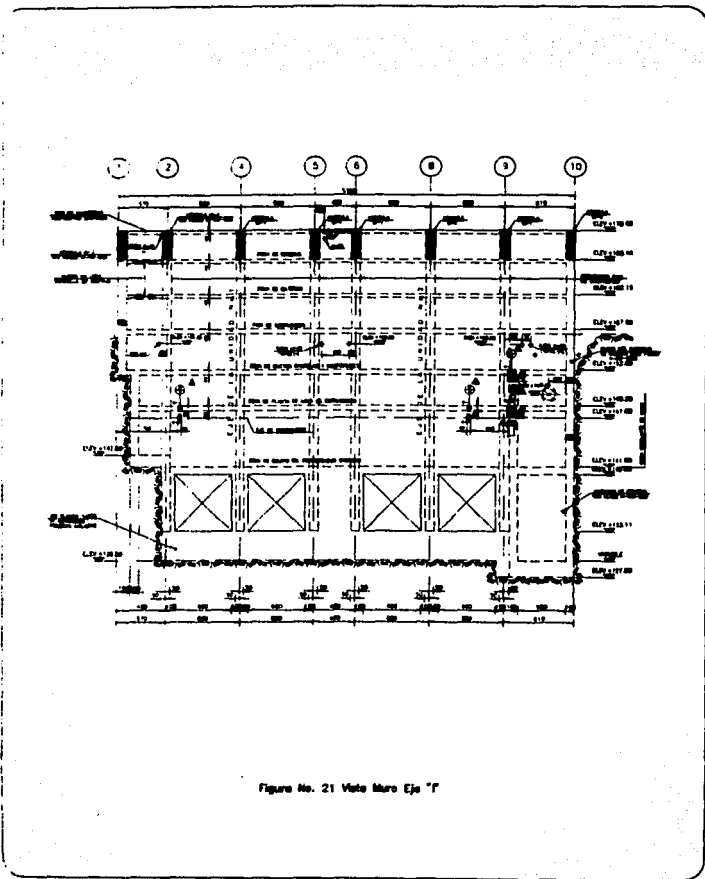
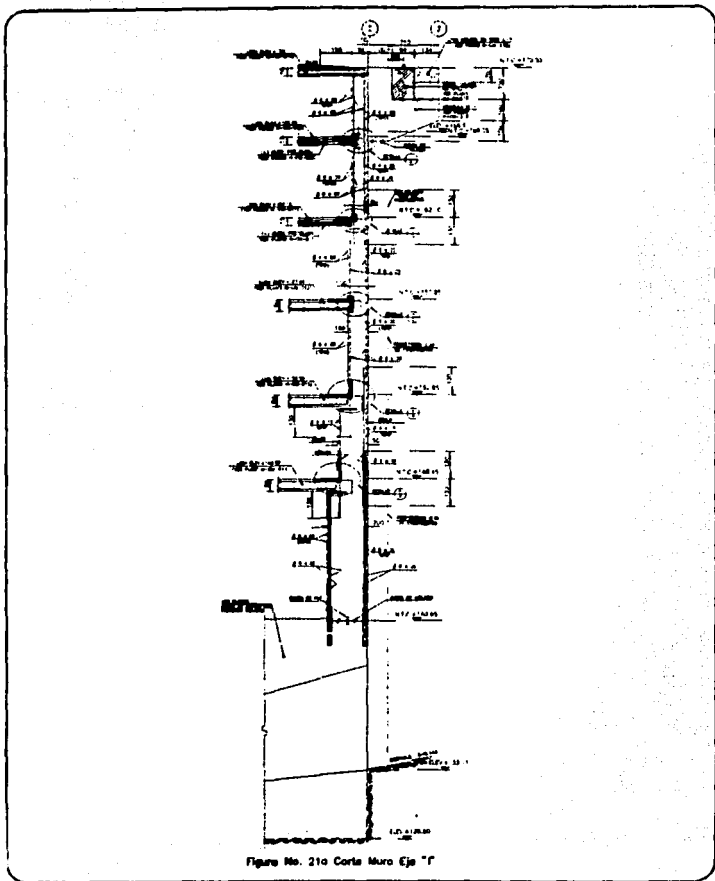


Figura No. 21 Voto Marco Eje "T"

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

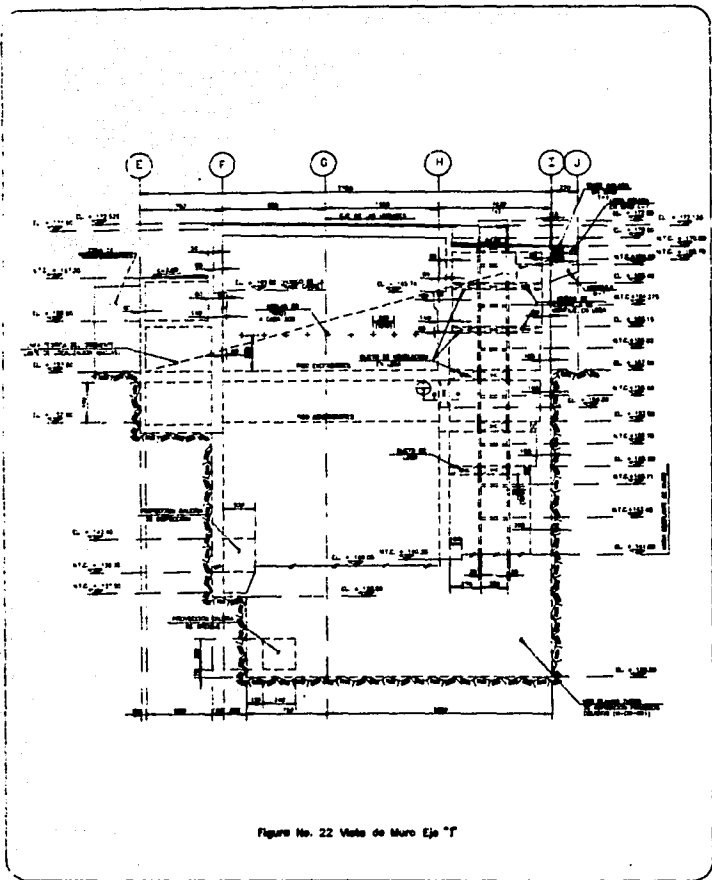


Figura No. 22 Vista de Muro Eje "T"

FALLA DE ORIGEN

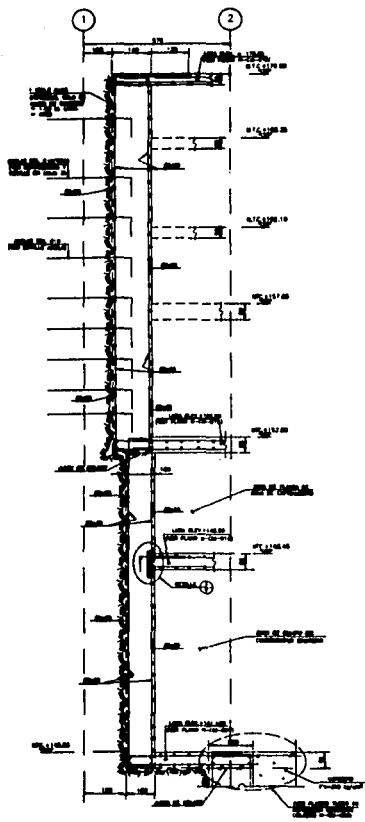
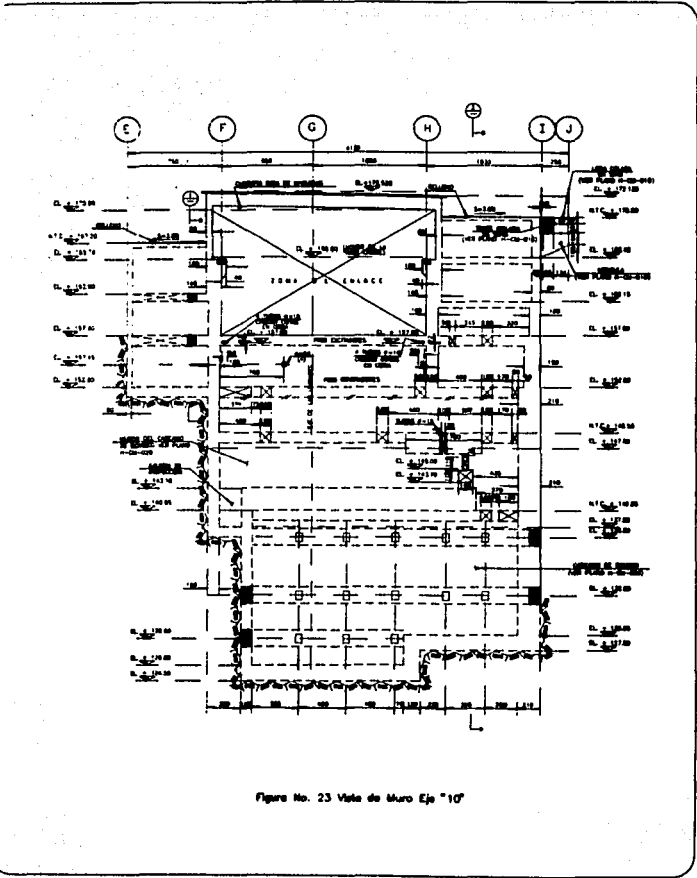
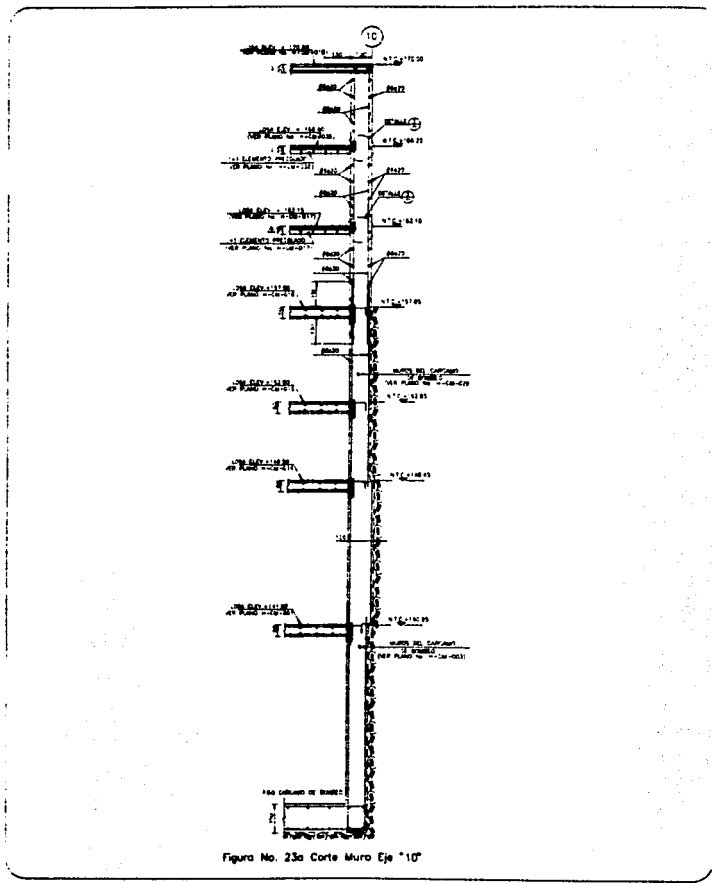


Figure No. 22a Corte Muro Eje "T"

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

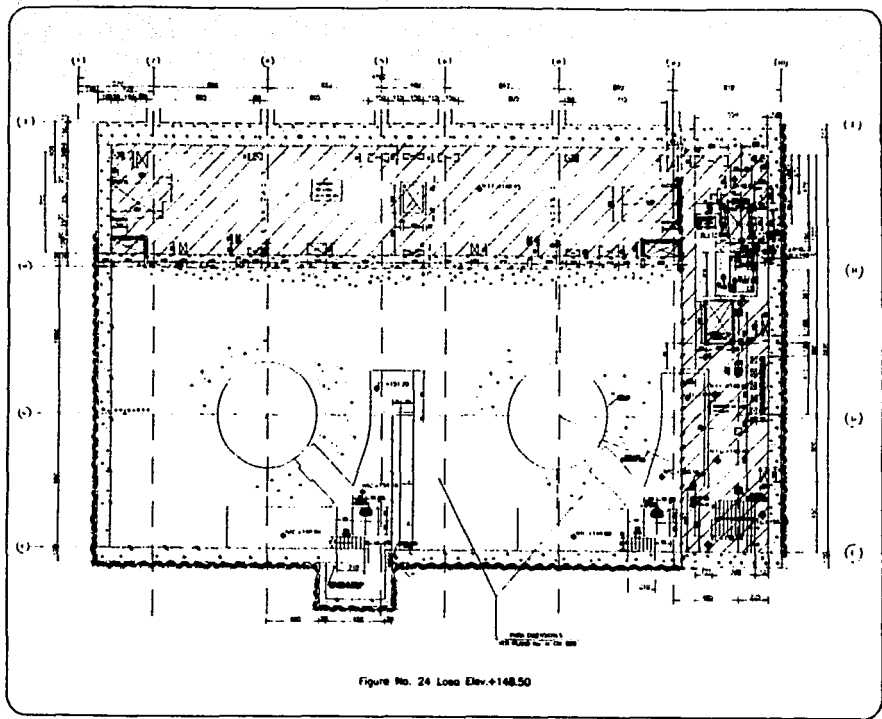
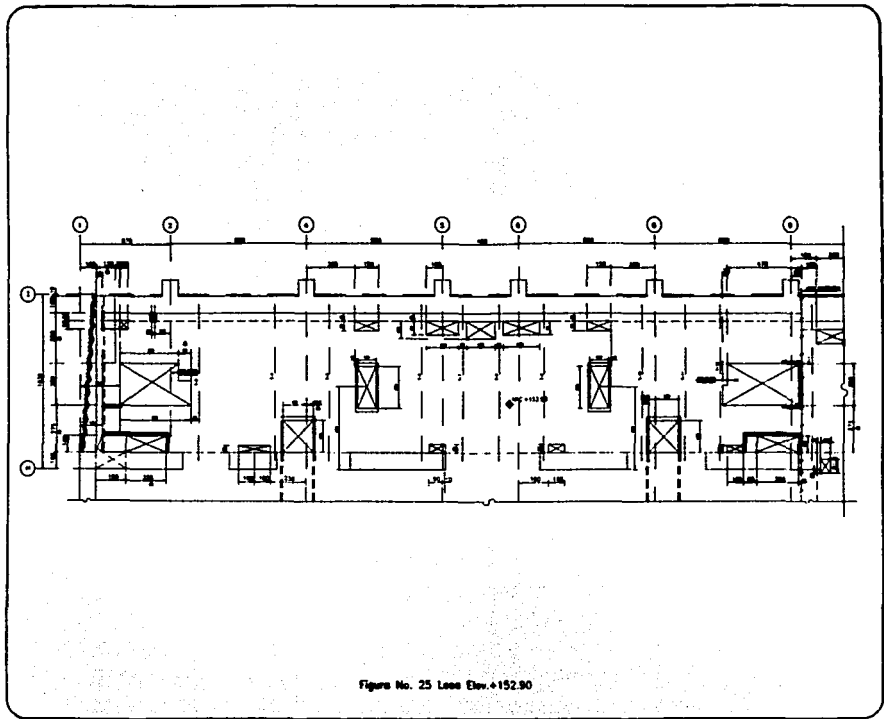


Figure No. 24 Level Elev.+148.50



FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

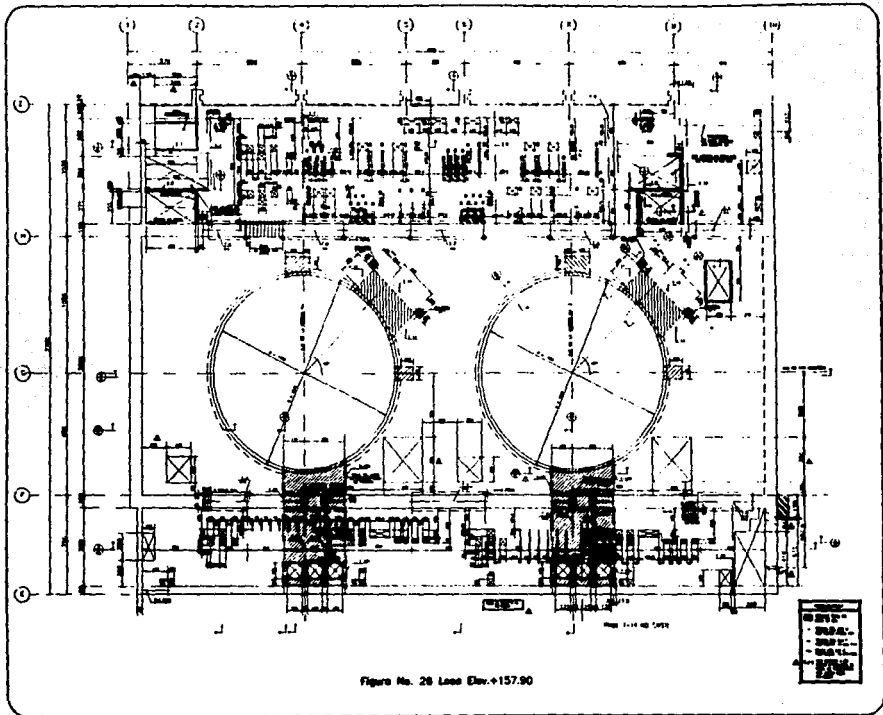


Figura No. 26 Lote Elev.+157.00

FALLA DE ORIGEN

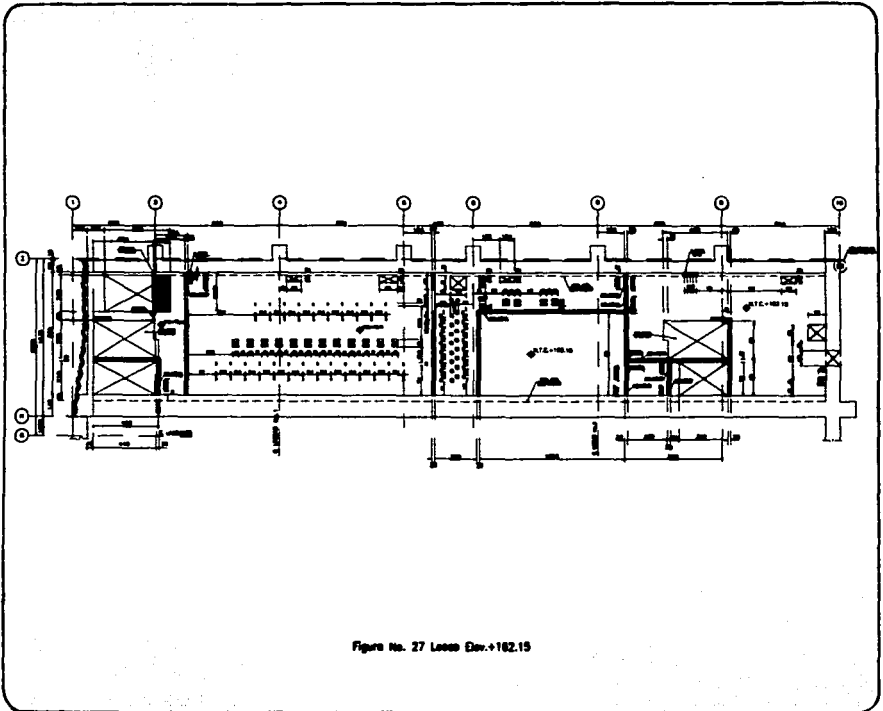


Figure No. 27 Less Elev. +182.15

FALLA DE ORIGEN

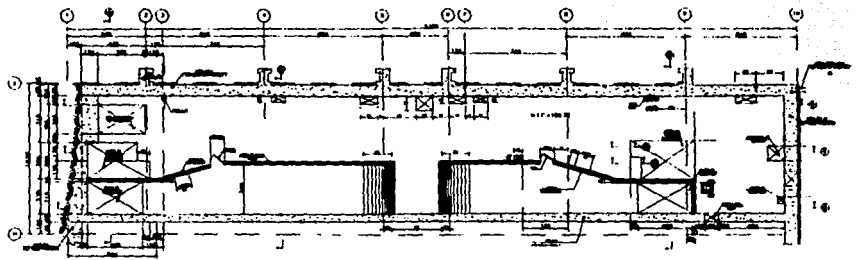


Figura No.28 Llave Elev. + 166.40 y + 167.20

FALLA DE ORIGEN

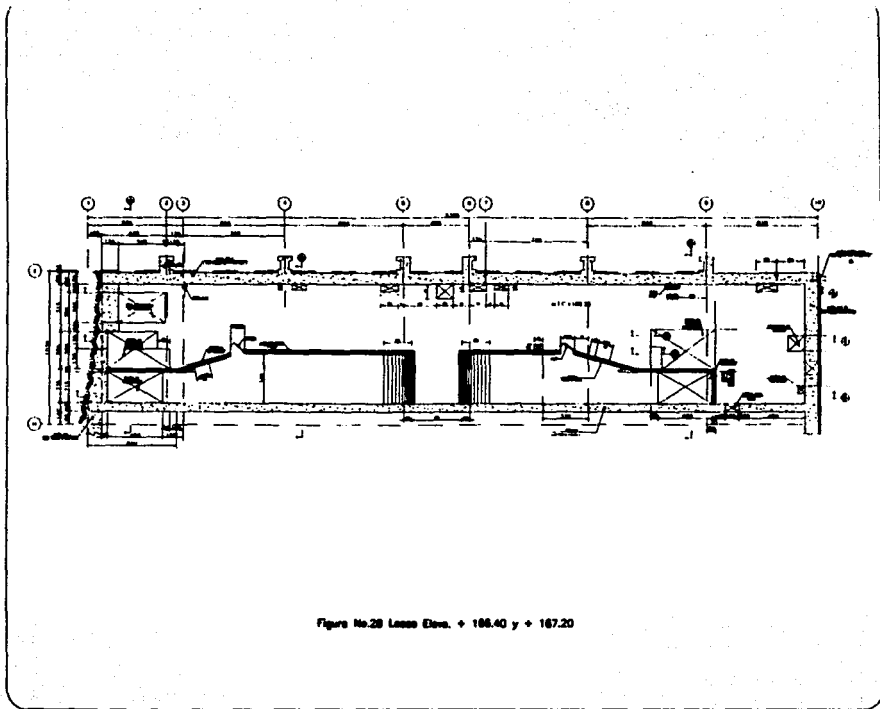
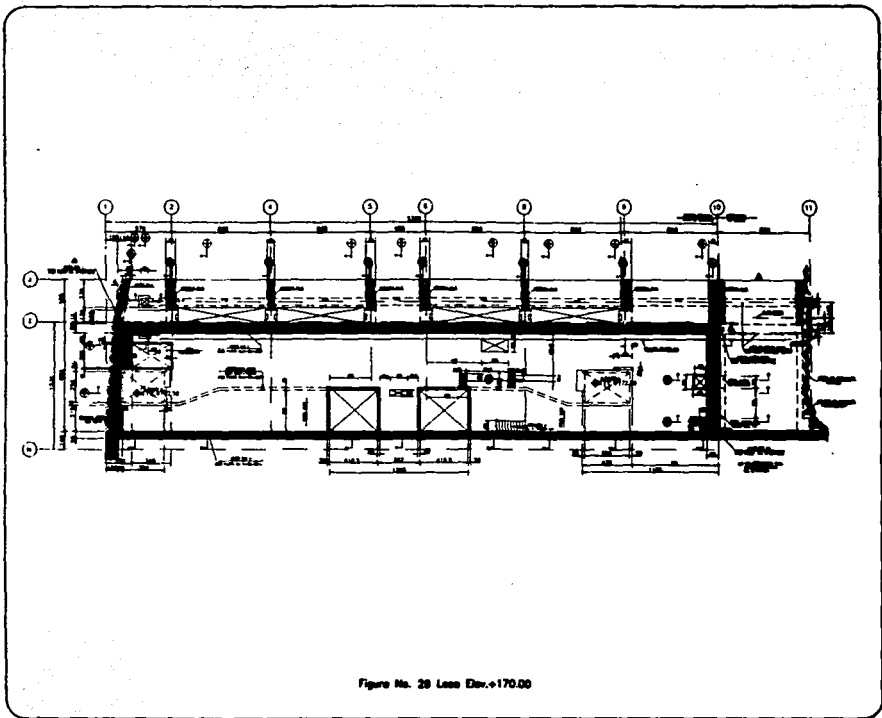


Figure No.28 Lessa Elev. + 166.40 y + 167.20

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

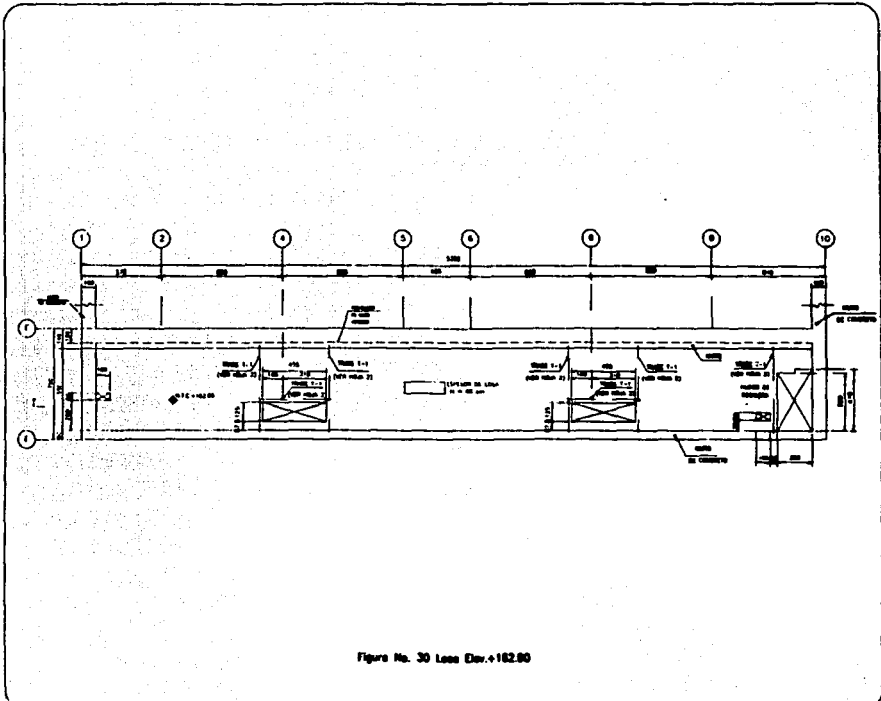
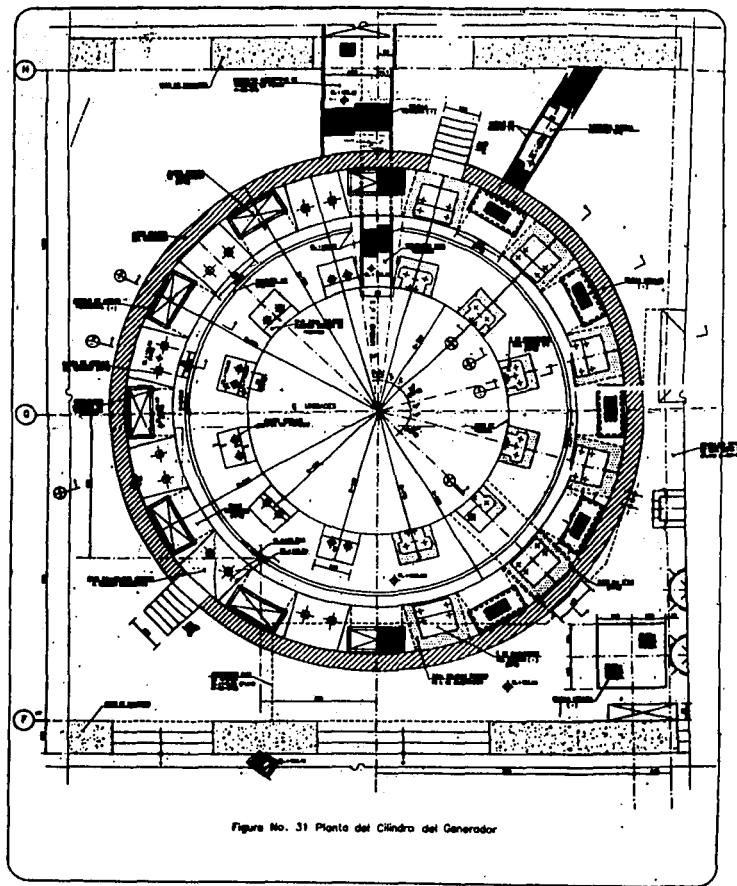


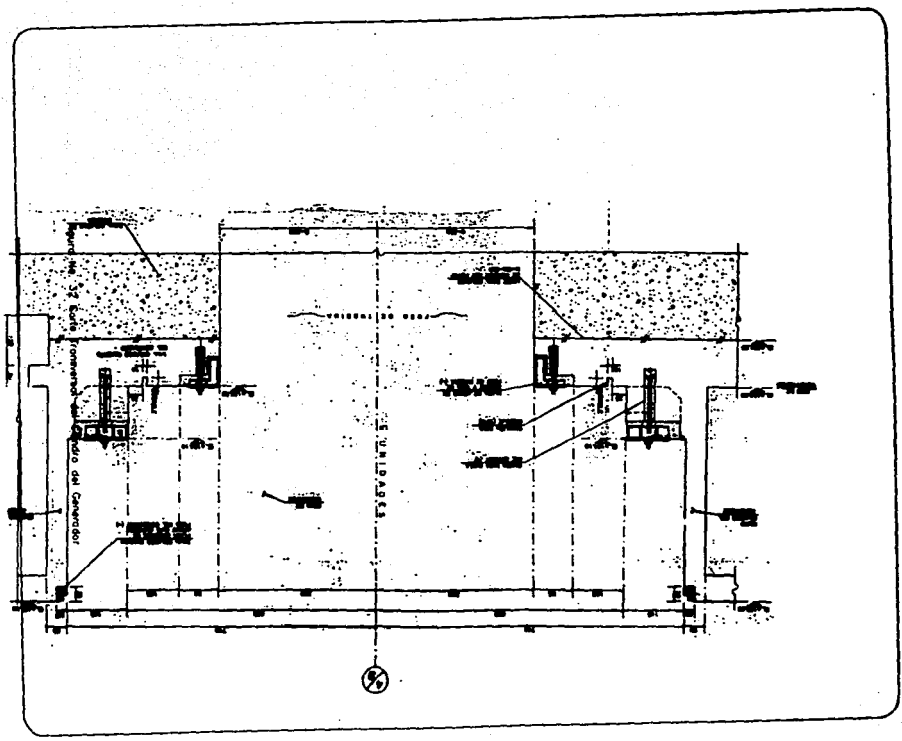
Figure No. 30 Loss Dev. +182.80



FALLA DE ORIGEN



# FALLA DE ORIGEN



DISEÑO CEMENTO-CONCRETO

LA GEOMETRÍA ES LA SIGUIENTE:

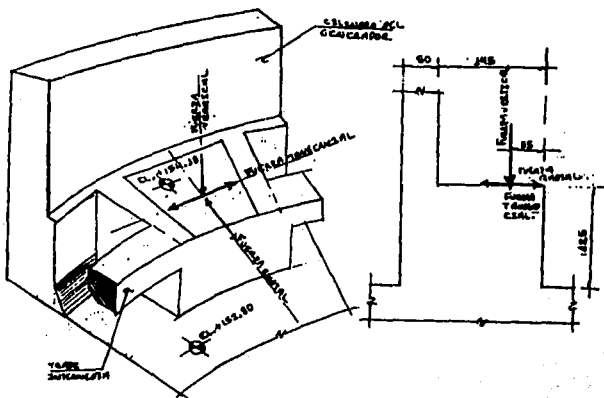
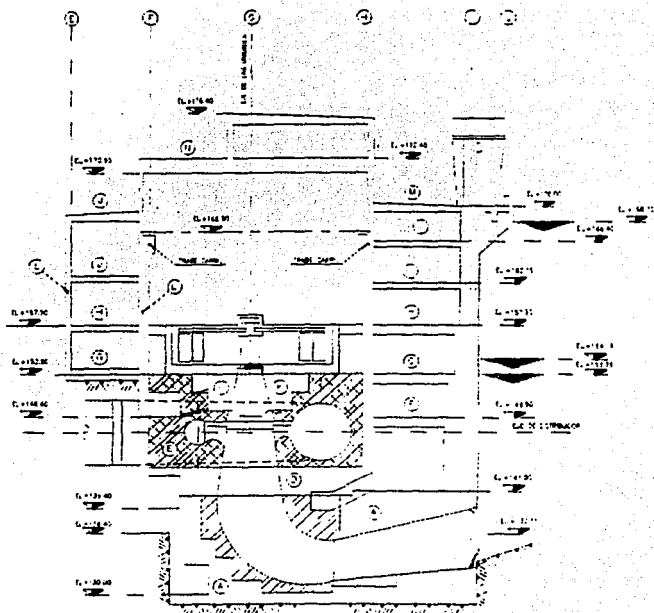


Figura No. 33 Isometría de Bancos del Cilindro del Generador

FALLA DE ORIGEN



- |   |   |
|---|---|
| A = PLANTA DE ARMAZÓN PERFORADO             | V = PLANTA EL. +175.00  |
| B = PLANTA DE ARMAZÓN RESERVA OBLIQUA       | W = PLANTA EL. +172.00  |
| C = CAPAS DE PUNNETE - LIGAJOS EN ESTA ZONA | X = PLANTA LIGAJOS EL. +168.00  |
| HASTA EL. +170.00                           | Y = PLANTA EL. GENERAL  |
| D = CAPAS PERFORADAS                        | Z = VIGAS PERFORADAS + ARMAZÓN PERFORADO                                    |
| E = CAPAS RESERVA OBLIQUA                   | M = PISO DE CIMENTACIÓN PARA PLANTAS DE CIMENTACIÓN DE DESPLAZE EL. +170.00 |
| F = PLANTA EL. +168.00                      | N = SUPERFICIE EL. +170.00 + SUPERFICIE DE CIMENTACIÓN                      |
| G = PLANTA EL. +160.00                      | O = "PISO" CIMENTACIÓN + HORMIGÓN EN CIMENTACIÓN DE CIMENTACIÓN             |

Figura No. 34 Ubicación de Trabe Cami (Corte Transversal)

FALLA DE ORIGEN

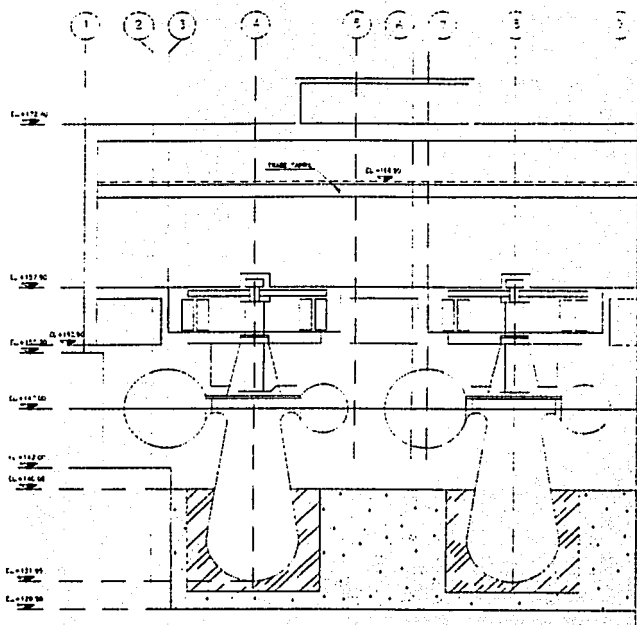
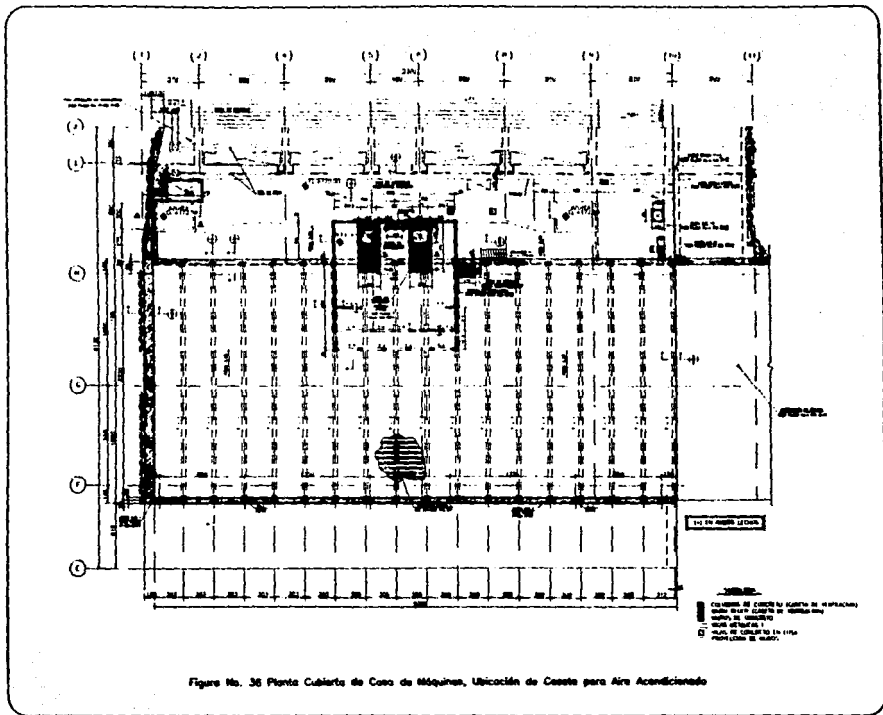


Figura No. 35 Ubicación de Trabe Carril (Corte Longitudinal)

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

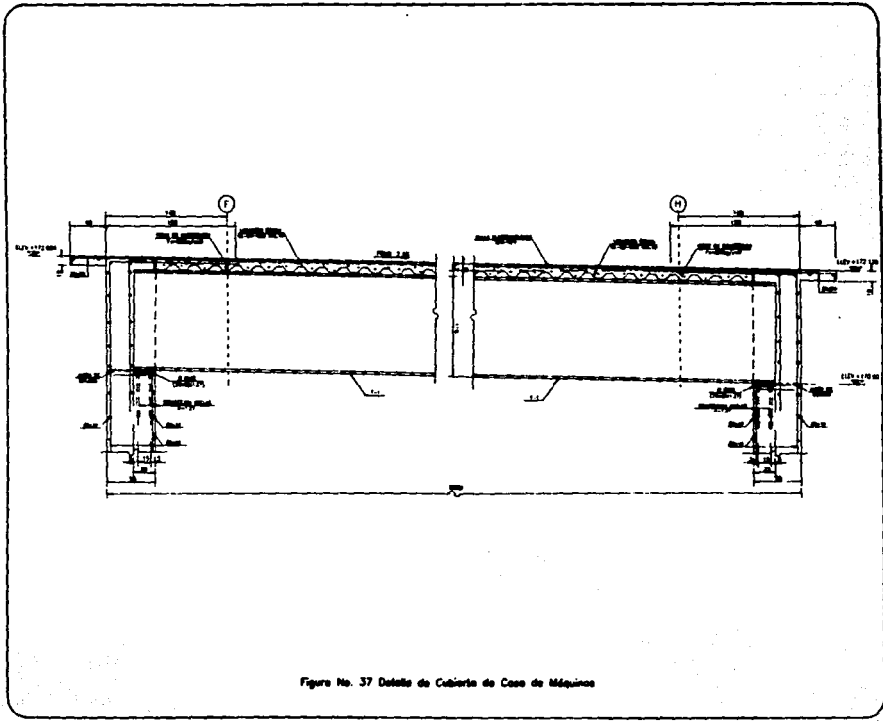


Figura No. 37 Detalle de Cubierta de Casa de Máquinas

FALLA DE ORIGEN

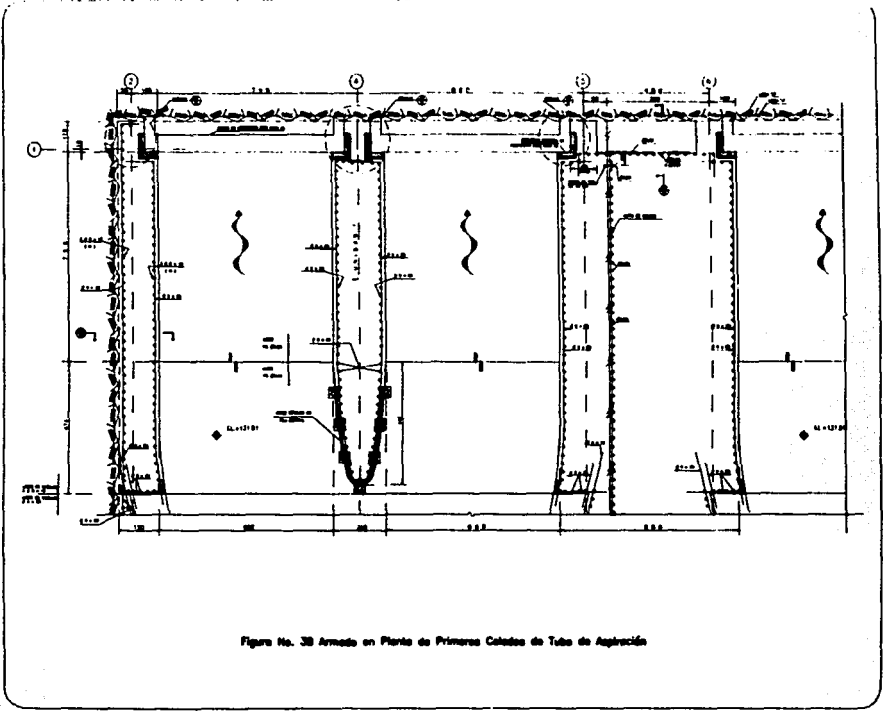
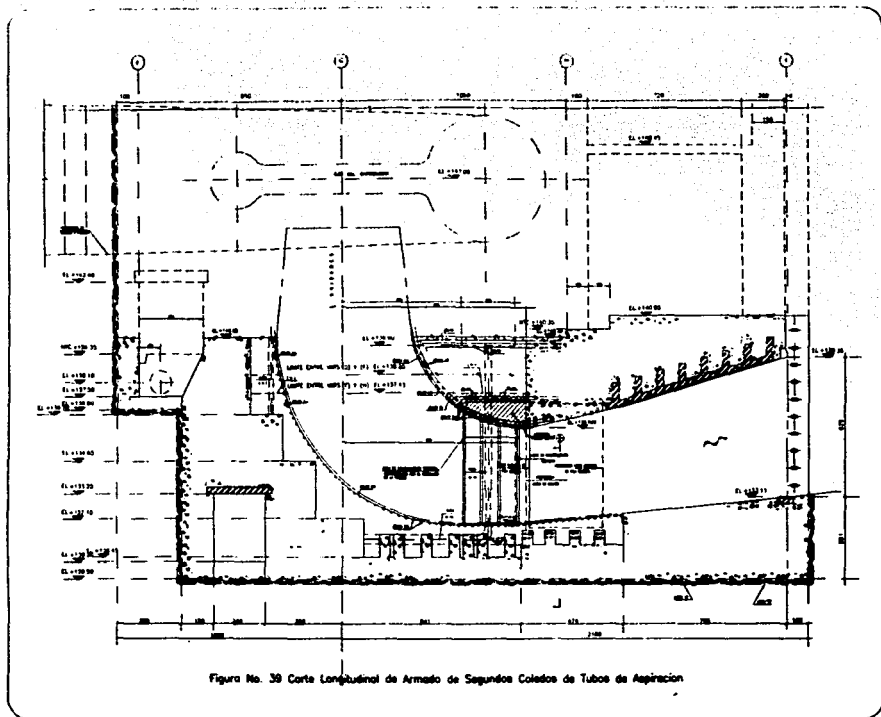


Figura No. 38 Armado en Planta de Primeros Calados de Tubo de Aspiración

FALLA DE ORIGEN





FALLA DE ORIGEN

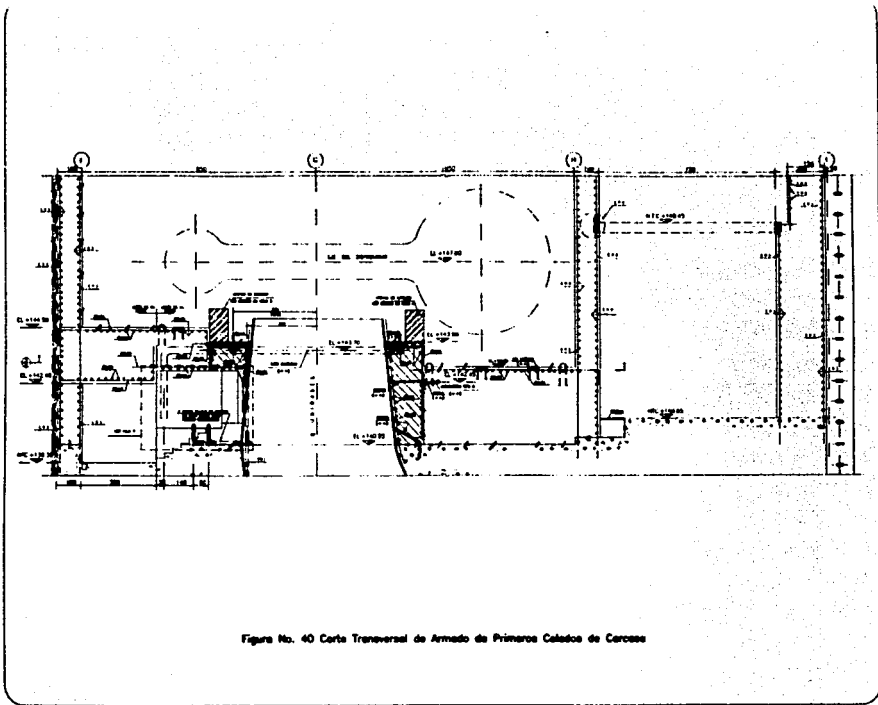


Figura No. 40 Corte Transversal de Armado de Primeros Colectos de Carcase

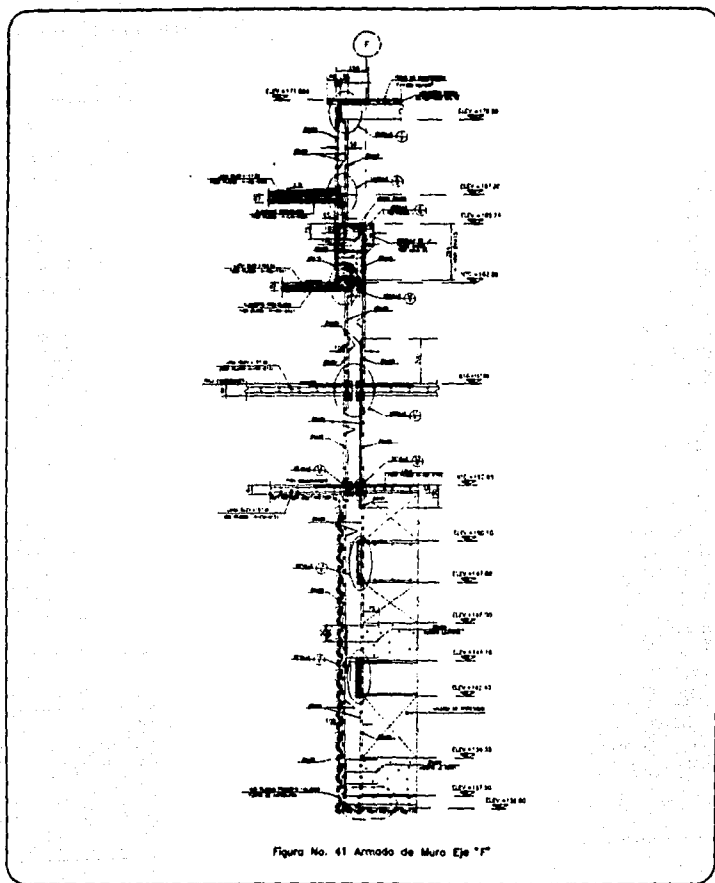


Figura No. 41 Armado de Muro Eje "F"

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

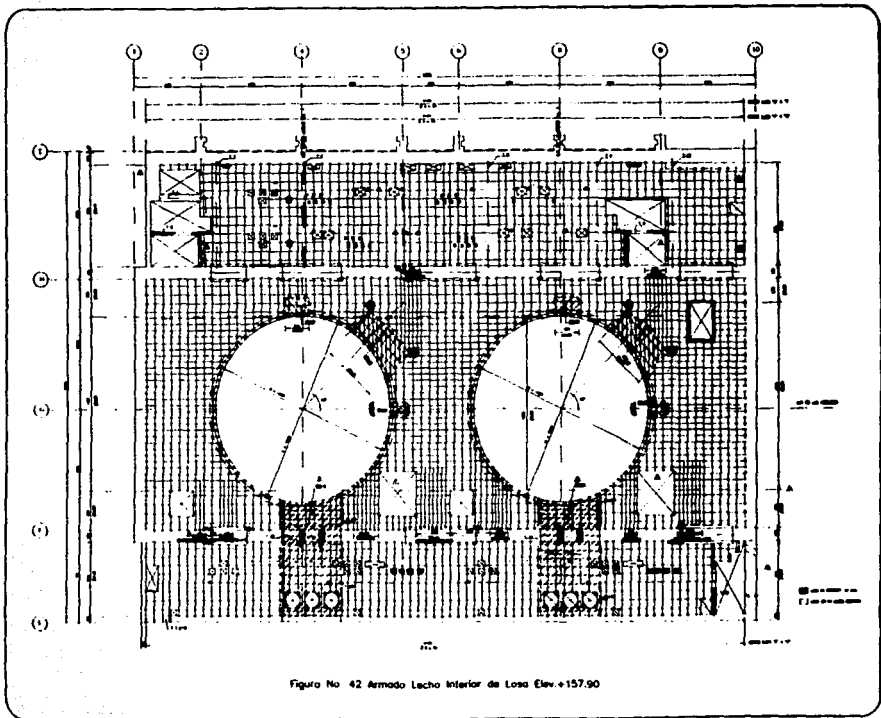


Figura No 42 Armado Lacho Interior de Lona Elev. +157.90

# FALLA DE ORIGEN

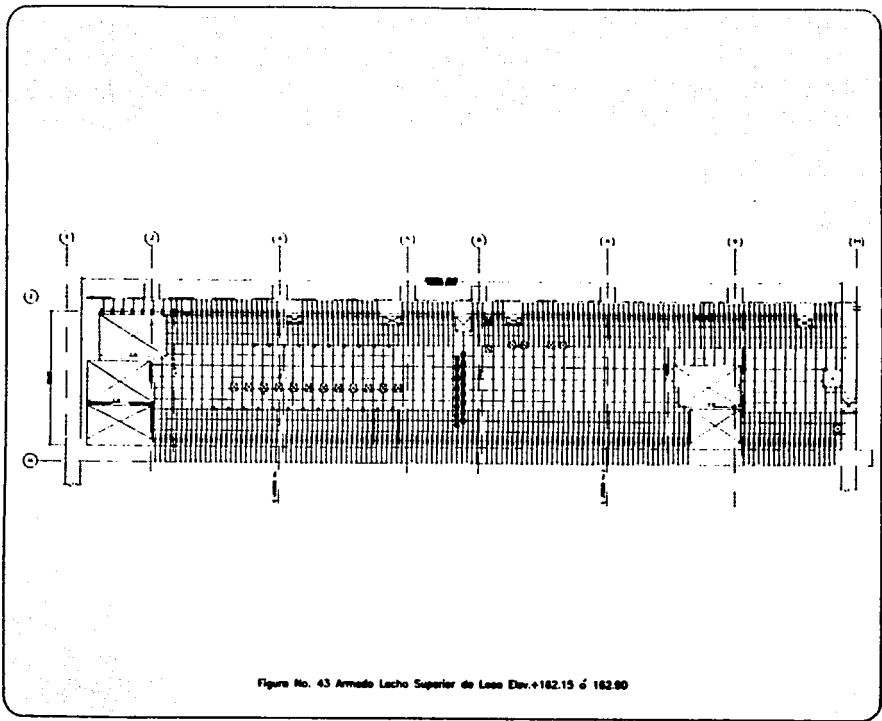


Figura No. 43 Armado Lado Superior de Lazo Div.+162.15 c 162.80

FALLA DE ORIGEN

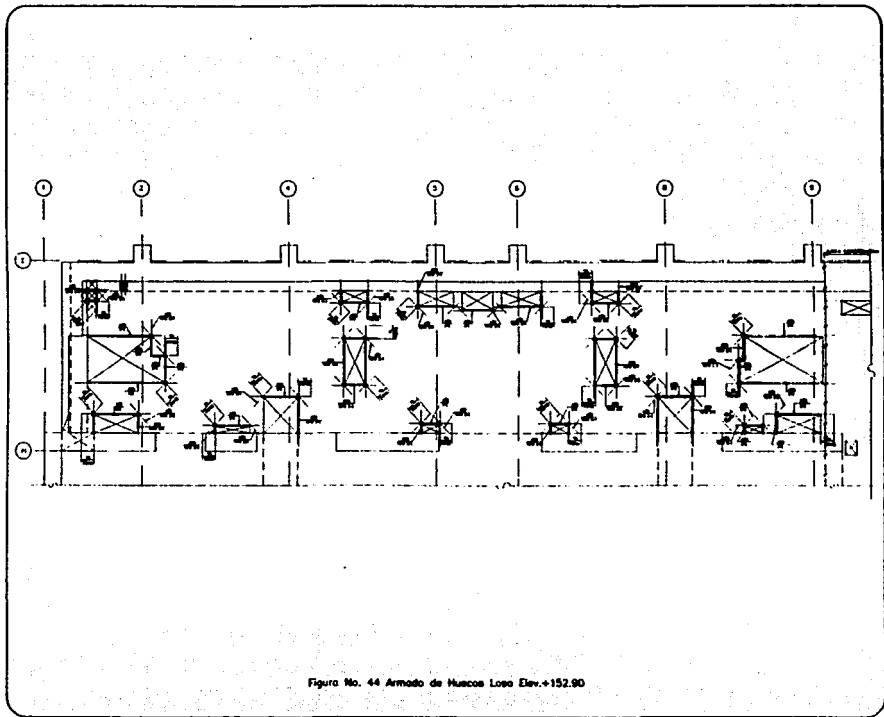
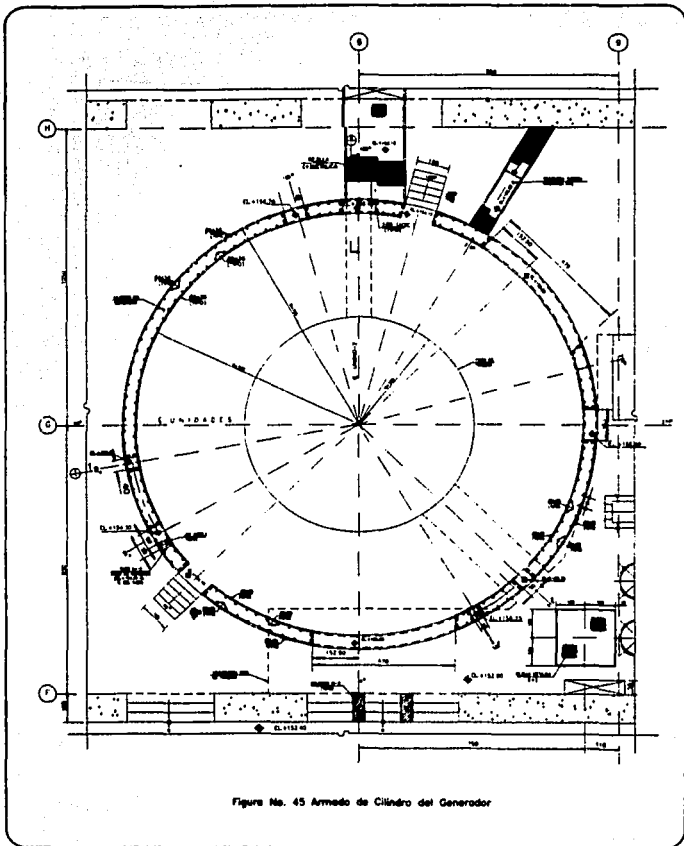
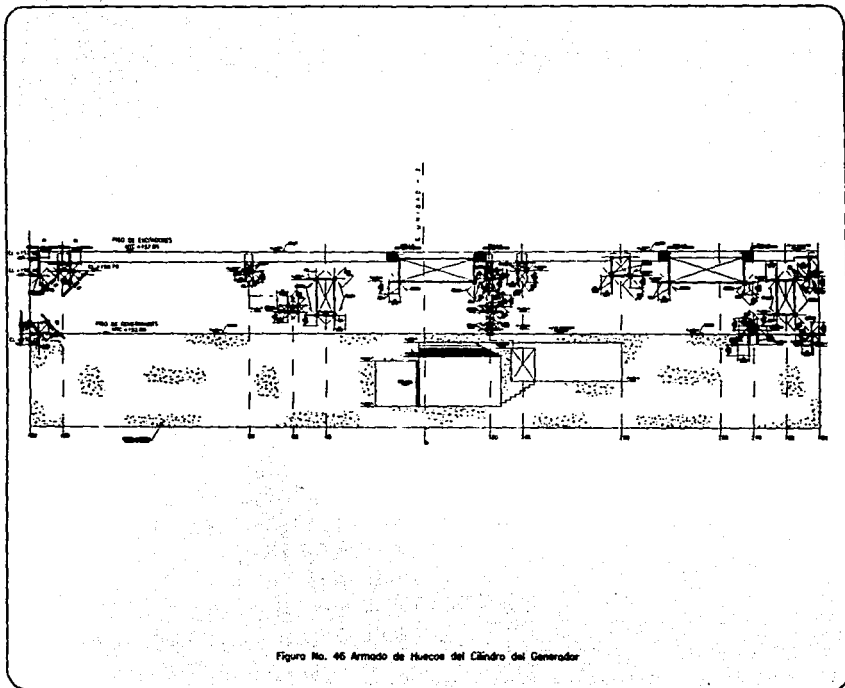


Figura No. 44 Armado de Muecos Lopo Elev.+152.90



FALLA DE ORIGEN

# FALLA DE ORIGEN



## **CAPITULO IV ANALISIS Y DISEÑO DE LA CASA DE MAQUINAS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO.**

La estructura de Casa de Máquinas, deberá ser lo suficientemente rígida para soportar tanto cargas gravitacionales como cargas accidentales, la cimentación deberá ser la adecuada para transmitir las fuerzas al terreno el cual es una roca sana, la tubería a presión conecta a la obra de toma con Casa de Máquinas, la subestructura alojara la llegada de dicha tubería y los colados masivos serán los que transmitan las fuerzas inducidas por la misma al terreno circundante, finalmente el espesor de muros estará en función de la rigidez proporcionada a la estructura de varias etapas de construcción y de trabajo normal, y el espesor de losas estará en función de la rigidez proporcionada a los muros tanto como de resistir las cargas a las que se encuentran sometidas.

### **IV.1 ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO.**

La Casa de Máquinas es la subestructura formada por los colados masivos y la superestructura formada a base de muros de rigidez y losas de concreto armado, estos muros en sus primeras etapas de construcción se encontrarán aislados, al integrarse a la subestructura quedarán embebidos a los concretos masivos. En la etapa constructiva se colarán los muros mediante el proceso de cimbra deslizante. En la unión de muros con losas se deben dejar los preparativos para la construcción posterior de las mismas.

#### **IV.1.1 ESTRUCTURACION.**

La selección de muros en la rigidez de concreto armado se debe constructivamente a la ubicación, sin dificultad, de huecos para el paso de buses, de tubería a presión, etc. algunos muros en forma adicional soportarían una presión hidrostática, es decir desarrollan el trabajo de muros de contención.

Los muros deben ser suficientemente rígidos para evitar los desplazamientos excesivos, estos deberán ser restringido y no mayores de 2.5 cm, requisito del funcionamiento de la grúa viajera durante la etapa de montaje del Rodete del Cilindro del Generador.



#### IV.1.2 CONDICIONES DE APOYO.

La mayoría de los muros, durante la primera etapa de construcción en el modelo, se consideraron en su base como elementos simplemente apoyados sobre la roca excepto los muros de los ejes I y H considerados empotrados a la Elev. + 141.00. En una segunda etapa ya integrado el concreto masivo de carcasa y tubos de aspiración, los muros de los ejes I y E se consideraron simplemente apoyados en la Elev. + 152.90, el muro del eje 10 también se considero apoyado a la Elev. + 124.50. Los muros ejes F y H son empotrados en la Elev. + 152.90 y el muro del eje I conservó la condición de apoyo de la primera etapa.

#### IV.1.3 CARGAS CONSIDERADAS.

Para la consideración de carga permanente se consideró únicamente el peso propio de muros y de losas con un peso volumétrico de concreto armado de 2,400 kg/m<sup>3</sup>.

La carga viva se considero en función del peso de equipo y destino de cada nivel. Para el análisis de muros se usaran las que especifica el Bureau of Reclamation ( USBR ), aplicandose el manual correspondiente al BUILDINGS, Edición 1951.

ZONA	CARGA VIVA (KG/M2)	PSF
Cubierta	250	(50)
Escaleras	500	(100)
Oficinas y corredores	500	(100)
Losa Elev. +141.0	1500	(300)
Losa Elev. +148.50	1500	(300)
Losa Elev. +153.90	1500	(300)
Losa Elev.+157.90		
Entre ejes F y H	5000	(1000)
Entre ejes E y H; H e I	1000	(200)
Losa Elev. + 162.15	1000	(200)
Losa Elev. + 162.90	1000	(200)
Losa Elev. + 166.40	1000	(200)
Losa Elev. + 167.20	250	(50)
Losa Elev. + 170.00	1500	(300)

Se considerará también como carga viva las fuerzas horizontales y verticales producida por operación de la grúa. Estas cargas fueron especificadas por el fabricante ( KONE ), y son las siguientes:

WHEEL No.	MAX. STATIC WHEEL LOADS (TON)	MAX. DYN WHELL LOADS (TON)	MAX. LATERAL WHEEL FORCES (TON)	LONGITUDINAL RAIL FORCES (TON)
11	50.99	56.59	11.20	15.30
12	50.99	56.59	7.14	
13	50.90	56.59	7.14	
14	50.99	56.59	7.14	
15	50.48	56.59	-8.67	
16	50.48	56.59	7.14	
17	50.48	56.59	7.14	
18	50.48	59.59	7.14	
21	49.97	56.08	11.22	15.30
22	49.97	56.08	7.14	
23	49.97	56.08	7.14	
24	49.97	56.08	7.14	
25	49.97	56.08	-8.67	
26	49.97	56.08	7.14	
27	49.97	56.08	7.14	
28	49.97	56.08	7.14	

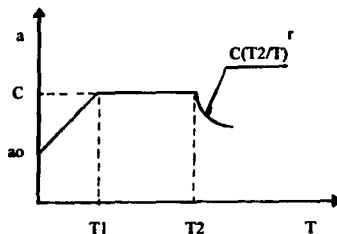
#### CARGAS ACCIDENTALES.

Como cargas accidentales se considerará el efecto de sismo y el viento:

Para efecto del sismo se utilizaron la regionalización sísmica de la república presentada en el manual de C.F.E, ubicando a la estructura de la zona B terreno firme. Se realizó un análisis sísmico estático y un análisis sísmico dinámico.

Como índice de la acción de diseño se empleo el coeficiente sísmico  $C = 0.16$ , se utilizo un factor de 1.3 por tratarse de un estructura del grupo A, el de ductilidad fue de 2 por tratarse de una estructura regular.

El espectro de diseño sísmico es el especificado por el manual de C.F.E. cuya forma es la siguiente



Donde:

$a$  = Ordenada Espectral.

$a_0$  = Ordenada Espectral para  $T = 0$

$C$  = Coeficiente Sísmico Básico.

$r$  = Exponente Adimensional.

$T$  = Periodo Natural de la Estructura en segundos.

$T_1, T_2$  Periodos naturales que definen la forma del espectro, en segundos.

Los valores para el diseño sísmico son:

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	$c$	$a_0$	$T_1$	$T_2$	$r$
B	I	0.16	0.03	0.30	0.8	½

Las ordenadas espectrales también se multiplicaron por 1.3

El análisis por viento utilizó también la regionalización especificada en el manual de C.F.E. La estructura se ubica en la zona dos con una velocidad regional de viento de diseño de 150 km/h.

La velocidad básica del viento  $V_B$ , se obtiene a partir de la velocidad regional de acuerdo con la expresión:

$$V_B = K V_R$$

Donde:

$K$  = Factor dependiente de la topografía del sitio = 1.20

La velocidad del viento (VZ) varía con la altura del terreno para fines de diseño se supondrá que la velocidad del viento a la altura Z, esta dada por las expresiones:

$$VZ = VB \frac{Z}{10}^x \quad \text{para } 10 < Z < \&$$

$$VZ = VB \quad \text{para } Z \leq 10m$$

$$VZ = V\& \quad \text{para } Z \geq \&$$

Donde:

Z = altura en la que se aplica el viento en m.

& = altura gradiente esta en función de la topografía del lugar (tabla 1.4 C.F.E.) en m.

x = factor que depende de la topografía del lugar (TABLA 1.4 Manual C.F.E.)

V& = velocidad que se tiene al hacer Z=&.

Para obtener la velocidad de diseño (VD), se tomará el efecto de ráfagas en la estructura multiplicando la velocidad de viento (VZ) por un factor de ráfaga FR.

$$VD = FRVZ$$

Donde :

FR = 1 (por tratarse de una estructura tipo 1, según manual C.F.E.)

El efecto del viento se aplicará a la estructura en calidad de fuerza distribuida sobre una área expuesta, dicha fuerza se supondrá perpendicular a la superficie actuante y su valor por unidad de área se calculará de acuerdo a la expresión.

$$P = 0.0048 \text{ GCVD}^2$$

Donde:

C = coeficiente de empuje (sin dimensiones)

P = Presión o succión de vida al viento, en kg/m<sup>2</sup>

VD = Velocidad de diseño, en km/h

G =  $\frac{8 + h}{8 + 2h}$  factor de reducción de densidad de la atmósfera, a la altura h (en km) sobre el nivel del mar.

#### IV.1.4 COMBINACIONES DE CARGAS.

Las cargas consideradas son las siguiente:

CM 1 = Peso propio de la estructura.

CM 2 = Peso propio de la estructura + peso de la grúa.

CV = Carga viva en entrepiso.

CVG = Carga viva de la grúa + Carga viva de entrepiso.

I = Impacto de la grúa.

E1 = Empuje en condiciones normales ( Elev. + 154.19)

E2 = Empuje para nivel de aguas MAXIMO extraordinario (Elev. + 168.70)

S = Sismo.

V = Viento.

Las combinaciones de carga realizadas son las siguientes:

$$1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7\text{I} + 1.4 \text{ E1}$$

$$1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7\text{I} + 1.1 \text{ E2}$$

$$0.75 (1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CV} + 1.87 \text{ S} + 1.4 \text{ E1})$$

$$0.75 (1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7\text{I} + 1.7 \text{ V} + 1.4 \text{ E1})$$

Para la etapa constructiva las combinaciones son las siguientes:

$$1.4 \text{ CM1} + 1.7 \text{ CV}$$

$$0.75 (1.4 \text{ CM1} + 1.7 \text{ CV} + 1.87 \text{ S})$$

$$0.75 (1.4 \text{ CM1} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7\text{I} + 1.7 \text{ V} + 1.4 \text{ E1})$$

## **IV.2 ANALISIS GLOBAL DE LA CASA DE MÁQUINAS.**

El proceso de análisis se plantea de la siguiente manera, la primera etapa es elaborar un modelo tridimensional completo de la Casa de Máquinas con elementos continuos discretizados y dimensiones de cada elemento, variando de 2.50 a 3.00 metros por lado ya sea en muros o losas. La discretización del modelo no puede ser mayor por problemas de capacidad del programa de análisis.

El objetivo de éste primer modelo es obtener el trabajo conjunto de la estructura y analizar su comportamiento ante las diferentes solicitaciones sometidas, por ejemplo; las cargas verticales y cargas laterales ( viento, sismo, empuje de agua, cabeceos de la grúa ).

De éste modelo se obtendrán condiciones de carga regidoras del diseño y con los resultados obtenidos se hará una primera revisión de los elementos estructurales de la Casa de Máquinas para determinar las zonas críticas.

El peso del equipo en la cubierta se colocó en la posición más desfavorable.

La segunda etapa consiste en dividir la Casa de Máquinas en secciones transversales, éstas serán analizadas por medio de un modelo tridimensional aplicándoles el efecto del trabajo de conjunto (que arrojó la primera etapa).

Este modelo tendrá una mayor discretización con elementos entre 1.00 y 1.50 metros por lado, esta mayor discretización nos permitirá tener una mayor precisión en los resultados del análisis. Con los resultados de las secciones transversales se elabora una segunda revisión de los elementos estructurales .

El análisis se completo con un modelo de la Casa de Máquinas en la etapa constructiva para lo cual se modelaron solo los muros y se modeló el tren de cargas de la grúa viajera, el modelo fue tridimensional y discretizado con elementos continuos.

Los resultados obtenidos del modelo ( etapa constructiva ) y los recabados anteriormente se obtendrá una envolvente de todas las condiciones para hacer el diseño definitivo de los elementos estructurales correspondiente a la Casa de Máquinas.

El criterio que define las condiciones de frontera de los modelos de análisis es el siguiente:

Los elementos desplantados en concretos masivos son empotrados y los desplantados directamente sobre la roca se consideran simplemente apoyados, en los muros laterales adosados a las paredes de roca con apoyo directamente perpendicular al muro se consideraron resortes de rigidez sólo cuando este trabaje a compresión.

En los modelos completos y el de etapa de construcción se realizará un análisis estático y dinámico, utilizando el espectro de diseño del manual de construcción de C.F.E., por medio del programa STAAD III. Las secciones transversales de la Casa de Máquinas serán analizados tomando en cuenta los efectos de conjunto ( ver figura No. 47 y No. 48 ).

#### **IV.3 DESCRIPCION DE LOS MODELOS DE ANALISIS DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CASA DE MÁQUINAS.**

Debido a la magnitud de la estructura, y al avance de la obra, el análisis de la Casa de Máquinas se tuvo que discretizar, en modelos más locales con cada uno de los elementos que conforman la misma.

##### **IV. 3.1 ELEMENTOS MASIVOS**

Los elementos masivos están constituidos por un grupo de concretos que envuelven principalmente a la carcasa y a los tubos de aspiración y son:

###### **PRIMEROS COLADOS DEL TUBO DE ASPIRACION:**

El análisis de esta estructura se idealizó como una losa de cimentación, se propuso una retícula plana de elementos barra dispuestos ortogonalmente, de inercia variable dependiendo del espesor de la losa. Al ser los muros de altura considerable y formar nudo continuo con la losa, en este modelo la retícula formada será tridimensional, adicionado a las barras horizontales las barras verticales que representarán a los muros.

La carga de sometimiento será la reacción del terreno debido a la carga de toda la casa de Máquinas.

En la parte correspondiente a la zona de desfogue, el sistema estructural seleccionado será a base de elementos placa que representan el muro eje I de aguas abajo, y la losa techo de desfogue así como los muros laterales de los desfogues.

Tanto la losa y los muros trabajan en dos direcciones, por ello, se tiene que preparar modelos tridimensionales.

En primer término los apoyos de la retícula de la losa de cimentación fueron resortes en cada nudo de intersección de las barras, verificando que estén sometidos a compresión, la rigidez equivalente del resorte fue el módulo de reacción de la roca por su área tributaria. En las barras verticales, los muros se conectan con los elementos de concreto masivo, en el extremo superior formando un empotramiento, pero si las condiciones son distintas, estas variarían en función de las características de la estructura.



En segundo término, los muros o losas se apoyan sobre roca colocando los resortes de rigidez. Todos los resortes estarán sometidos a compresión, en caso de existir algún resorte sometido a tensión se elimino y se volvió a correr el modelo.

Para calcular la reacción, o la carga de los primeros colados, se tomarán las correspondientes al peso propio de toda la Casa de Máquinas excluyendo el peso propio de la losa de cimentación. Dentro del concepto de cargas permanentes, para ser tomadas en las combinaciones de carga, el peso del agua en carcasa y tubos de aspiración, así como los equipos principales del generador y la turbina serán incluidos en éste.

Las cargas vivas de las estructuras, básicamente son las que producen los equipos en cada uno de sus niveles, ya sea en etapa de montaje o en su posición final. El peso de los equipos para fines de análisis se considerará incluido dentro de la carga viva recomendada; a menos que el peso del equipo exceda la misma, entonces si se incluirá en el análisis de la losa tomándose adicionalmente a la carga viva; se tomaron las cargas vivas especificadas por el manual del Bureau of Reclamación dados en el capítulo IV.1.3.

Se considerarán las cargas accidentales como las de sismo con un coeficiente sísmico de  $c = 0.16$ , por su importancia de las estructuras de este tipo se incrementa el valor de  $c$  en un 30% indicado en el Manual de Diseño de Obras Civiles de C.F.E. en el fascículo de Diseño por Sismo.

Otra carga actuante en forma accidental es la considerada de viento, en la estructura se tomo a una velocidad de viento de 150 km/hr por ser estructura del Grupo A, señalado en el Manual de Diseño de Obras Civiles para la zona 2. Se considera la Casa de Máquinas colocada en promontorios, por ello, se aplicó un factor de 1.20, quedando una velocidad de 180 km/hr.

Se analizará la subpresión para el nivel NORMAL y el nivel MAXIMO del agua durante la avenida de diseño. Dada la ubicación de la Casa de Máquinas y sin prever el tratamiento de la roca, los cuatro lados de la Casa de Máquinas estarán saturados con la presión del nivel del río aguas abajo de la presa, la pared aguas arriba, en el patio de transformadores y subestación, el nivel máximo que puede alcanzar la subpresión será la Elev. + 157.90, la misma del patio y piso de excitadores de la Casa de Máquinas. En las paredes laterales de la estructura, la subpresión variará del nivel Máximo en el eje I al Nivel Elev. + 157.90 en el eje E.

El diseño utilizó dos niveles, el **NORMAL** correspondiente al nivel en el canal de desfogue trabajando ambas unidades y se ubica a una Elev. + 154.19 y el nivel **MAXIMO** perteneciente al nivel del río cuando el vertedor está derramando con la avenida máxima de diseño y se encuentra a la Elev. + 168.70.

Las combinaciones utilizadas para el análisis y diseño de los primeros colados del tubo de aspiración están basadas en el reglamento del A.C.I. (American Concrete Institute)

1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva  
1.05 Carga Muerta + 1.275 Carga Viva + 1.4025 Sismo  
0.90 Carga Muerta + 1.43 Sismo  
1.05 Carga Muerta + 1.275 Carga Viva + 1.275 Viento  
0.90 Carga Muerta + 1.30 Viento  
1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva + 1.4 Presión a nivel **NORMAL**  
0.90 Carga Muerta + 1.40 Presión a nivel **NORMAL**  
1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva + 1.1 Presión nivel **MAXIMO**  
0.90 Carga Muerta + 1.10 Presión nivel **MAXIMO**

La condición de cargas verticales más sismo, sólo toma este último actuando en la dirección del flujo, pues en la otra dirección la Casa de Máquinas está empaquetada en la roca.

Para el análisis de primeros colados se idealizará una retícula tridimensional a base de barras comprendiendo los muros laterales hasta donde terminan los primeros colados tomando en cuenta incluso el muro (pila) intermedio a la salida del tubo de aspiración. Para este análisis se tomará el espesor total desde el nivel de desplante hasta el tubo de aspiración, para diseñar parte de los segundos colados.

La elaboración de los modelos, de la unidad 1 y 2 consideró su vecindad con el carcamo. Se realizará otro modelo a la salida del tubo de aspiración en forma tridimensional usando paneles, de tal forma que se contemplará desde el desplante de Casa de Máquinas hasta la Elev. + 148.50 y desde el inicio de la pila hasta el muro aguas abajo. La razón es que la losa de techo de los desfogues forma nudo rígido con el muro de aguas abajo. Sin embargo, la losa de techo trabaja en dos direcciones por sus condiciones de apoyo, y requiere del modelo para conocer la distribución de los momentos en los bordes.

El diseño utilizó dos niveles, el **NORMAL** correspondiente al nivel en el canal de desfogue trabajando ambas unidades y se ubica a una Elev. + 154.19 y el nivel **MAXIMO** perteneciente al nivel del río cuando el vertedor está derramando con la avenida máxima de diseño y se encuentra a la Elev. + 168.70.

Las combinaciones utilizadas para el análisis y diseño de los primeros colados del tubo de aspiración están basadas en el reglamento del A.C.I. (American Concrete Institute)

- 1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva
- 1.05 Carga Muerta + 1.275 Carga Viva + 1.4025 Sismo
- 0.90 Carga Muerta + 1.43 Sismo
- 1.05 Carga Muerta + 1.275 Carga Viva + 1.275 Viento
- 0.90 Carga Muerta + 1.30 Viento
- 1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva + 1.4 Presión a nivel **NORMAL**
- 0.90 Carga Muerta + 1.40 Presión a nivel **NORMAL**
- 1.40 Carga Muerta + 1.70 Carga Viva + 1.1 Presión nivel **MAXIMO**
- 0.90 Carga Muerta + 1.10 Presión nivel **MAXIMO**

La condición de cargas verticales más sismo, sólo toma este último actuando en la dirección del flujo, pues en la otra dirección la Casa de Máquinas está empaquetada en la roca.

Para el análisis de primeros colados se idealizará una retícula tridimensional a base de barras comprendiendo los muros laterales hasta donde terminan los primeros colados tomando en cuenta incluso el muro (pila) intermedio a la salida del tubo de aspiración. Para este análisis se tomará el espesor total desde el nivel de desplante hasta el tubo de aspiración, para diseñar parte de los segundos colados.

La elaboración de los modelos, de la unidad 1 y 2 consideró su vecindad con el **carcamo**. Se realizará otro modelo a la salida del tubo de aspiración en forma tridimensional usando paneles, de tal forma que se contemplará desde el desplante de Casa de Máquinas hasta la Elev. + 148.50 y desde el inicio de la pila hasta el muro aguas abajo. La razón es que la losa de techo de los desfogues forma nudo rígido con el muro de aguas abajo. Sin embargo, la losa de techo trabaja en dos direcciones por sus condiciones de apoyo, y requiere del modelo para conocer la distribución de los momentos en los bordes.

El plano requiere de otro modelo local para la parte de concreto que existe entre el tubo de aspiración y la galería de drenaje, cuya función es analizar los esfuerzos producidos en esa región, por otra parte, el modelo tridimensional general no es indicativo de esa zona. Este consiste en elementos planos que trabajan bajo el concepto de "strain plane", configurando el codo inferior del tubo de aspiración, la galería de drenaje y la roca de desplante Elev. + 129.50. El objeto es obtener los esfuerzos en el plano y revisar si se requiere armado por esfuerzos cortantes.

Por requisitos constructivos el techado de las galerías y la salida del tubo de aspiración necesita del diseño de elementos precolados de concreto, para soportar el peso de los colados subsecuentes más su peso propio. Serán de concreto reforzado y trabajarán como vigas simplemente apoyadas.

El análisis se realizara tomando en cuenta la interacción suelo- estructura, utilizando en el modelo la opción de la contribución del concreto masivo de las pilas sobre la losa. Para tomar en cuenta la interacción suelo-estructura, los apoyos del modelo se supondrán como resortes. La carga se aplicara por arriba del modelo y representará el peso superior de la Casa de Máquinas más el peso propio del concreto en el modelo. Se consideraron las unidades con agua.

Los dos modelos se analizaron con un macizo de concreto muy ancho que los separa considerando las condiciones de frontera de la siguiente forma: cada modelo estará empotrado en unión con el otro (zona de macizo de concreto); por otra parte, el apoyo superior de las pilas y el guiado que permite el desplazamiento de los resortes bajo la influencia de la carga también fueron considerados.

El análisis de estos modelos se hace por medio de elementos finitos, utilizando el programa STAAD-III tanto en barras como elementos placa. El método será estático, incluyendo la condición de sismo ( ver. fig. No. 39 ).

#### SEGUNDOS COLADOS DE TUBOS DE ASPIRACION:

Para analizar los segundos colados que se encuentran sobre el tubo metálico, se realizó un modelo tridimensional, formando una retícula de barras siguientes a la curvatura superior que presenta el tubo de aspiración, desde el inicio del blindaje de la nariz hasta donde se encuentra el cono del tubo mencionado.

De acuerdo a lo anterior, el modelo llevará soportes simples de apoyo de una condición y empotrados por otra, con el objeto de estudiar la influencia de las condiciones de frontera.

Las dos condiciones de carga consideradas son: la primera el peso propio del concreto, resistido únicamente por un espesor parcial del mismo; la otra toda la losa deberá ser capaz de soportar las cargas que actúan directamente encima de ella, es decir; el peso de concreto y los equipos colocados sobre ella.

Los esfuerzos que se induzcan a la losa de concreto ( segundos colados ) serán determinados por medio del método del elemento finito, utilizando el programa STAAD - III.

#### **PRIMEROS COLADOS DE CARCASA**

Los primeros colados de la carcasa en su mayor parte, funcionan como concreto masivo, apoyado sobre otros concretos, transmiten toda su carga a la roca de desplante; por lo que sus esfuerzos son mínimos. Las cargas actuantes son las que le transmite la carcasa en sus distintas condiciones de carga.

Para el modelo del techo de la galería de inspección cuando sólo se analice el precolado, la condición de apoyo en sus extremos será simplemente apoyado; el resto de los primeros colados, se considerará empotrado en el extremo que se adentra en el macizo de concreto; y en el extremo que se conecta con el muro del eje F de 1.00 m de espesor, se le dará una rigidez flexionante al apoyo equivalente a  $4EI/L$  del muro que queda por debajo, en tanto la continuación hacia arriba queda en cantiliver en esta etapa constructiva de análisis.

Las cargas permanentes; se refieren al peso propio de los primeros colados de carcasa y al de los segundos colados, en un primer paso de colado que se supondrá de 2.50 m, de altura, y se encuentra en proceso de colocación.

Cargas vivas, en ese piso, se consideran de 1000 kg/m<sup>2</sup> un valor conservador, porque el área de trabajo es pequeña cuando se esta montando la carcasa y no hay posibilidades de colocar material o equipo pesado.

**Combinaciones de carga:**

- 1) 1.40 C. Muerta.
- 2) 1.40 C. Muerta + 1.70 carga viva.

El inciso (1) se refiere al peso propio de los primeros colados y al de los segundos colados, con  $h=2.50$  aún frescos.

El inciso (2) se refiere al peso propio de los primeros colados y la carga viva sobre esta plataforma.

Los modelos que se emplearon para los casos de losas en los techos de las galerías, fueron:

- El techo de la galería de inspección, es un modelo de una viga empotrada en sus extremos

- El techo de la galería de acceso al cono del tubo de aspiración, la losa presenta un espesor variable por la escalera, además una trabe de apoyo en los precolados del techo de la galería de inspección y en el paño superior un escalón en el concreto; en planta se tendrá una composición de dos áreas juntas y una variación en su conexión con el cono, por lo que se propone una retícula formada de barras que simulen las condiciones geométricas de la losa, con inercias variables (ver figura No. 9)

- El techo de la galería de manejo de la válvula de desagüe del tubo de aspiración, la losa es cuadrada de  $2.50 \times 2.50$  m con un pasillo, por lo que se idealizará como losa cuadrada trabajando en una sola dirección. Analizada mediante coeficientes de losas y en el pasillo por viga de ancho unitario empotrada en sus extremos (ver figura No. 7).

- El techo del acceso a la escalera de caracol con comunicación a la galería de drenaje, la losa se compone de un pasillo de 1.20 m, de ancho y un área cuadrada, la escalera de caracol de  $2.40 \times 2.40$  m. El pasillo contiene 14 escalones, por lo que su techo es inclinado, aunque parte del techo del pasillo y el área cuadrada forman parte de los primeros colados del tubo de aspiración por estar debajo de la Elev. + 140.05. La parte correspondiente a los primeros colados de carcasa, se analizará con vigas empotradas en sus extremos de diferentes espesores, dependiendo de su ubicación respectiva a la profundidad de la escalera en el pasillo (ver figura No. 13).

El modelo del techo de la galería de inspección cuando sólo se analice el precolado, la condición de apoyo en sus extremos será simplemente apoyado; Cuando se cuele el resto de los primeros colados, se considerará empotrado en el extremo adentrado en el macizo de concreto; y el extremo conectado con el muro del eje F de 1.00 m de espesor, se le da una rigidez flexionante al apoyo equivalente a  $4EI/L$  del muro que está por debajo, pues el que continua hacia arriba queda en esta etapa constructiva de análisis de los primeros colados de carcasa.

Los bancos de apoyo de la carcasa son elementos simples que trabajan como columna corta; sometida a carga axial excéntrica, tienen un soporte en su base empotrado. En todos los casos, la condición de carga es única y es debida a carga permanente y carga viva con peso de equipo, que son cargas verticales y estáticas. El método de análisis será estático.

#### SEGUNDOS COLADOS DE CARCASA.

La integración de los primeros colados de carcasa con los segundos, forman un bloque de concreto que embebe a la carcasa, dicho bloque presenta una serie de variaciones en su espesor debido a la presencia de huecos nichos y galerías que originan variaciones en la distribución y magnitud de los esfuerzos.

El análisis plantea elaborar una serie de modelos planos de ancho unitario que representen mediante secciones radiales las variaciones en el espesor del concreto. El modelo considera elementos con deformación plana, o sea deformación nula fuera del plano (Plain Strain).

Se tomara en cuenta que en algunos de los nichos o galerías de peso propio y la presión interna de la carcasa se puentea a las secciones laterales, por lo que la secciones vecinas a donde se ubican los huecos deben aumentar su carga. La magnitud y la forma de distribuirse lateralmente se calculará tomando áreas tributarias en forma simplista, cuando lo permita la geometría del nicho. De no ser posible, se debe elaborar un modelo en el espacio que determine la distribución de carga en las secciones laterales.

El modelo es rígido siempre que el elemento se apoye sobre concreto masivo, ya sea en el piso inferior como en las paredes laterales. Por lo demás las condiciones de apoyo siempre serán libres.

El concreto masivo reforzado es el requerido por el diseñador del equipo por las siguientes ventajas:

- en caso de un cierre brusco, la sobrepresión en la carcasa es transmitido y soportado directamente por el concreto.
- reduce el efecto de vibración y ruido por el accionar de la turbina.
- sirve de apoyo al resto de los equipos que gravitan sobre la carcasa.
- da estabilidad y peso al conjunto de la Casa de Máquinas.

Las cargas permanentes se refieren al peso propio de la estructura y del equipo principal que gravita sobre los segundos colados ( como el generador, la chumacera de carga, el rodete, la flecha, etc.) ya que los pesos están definidos y se tiene suficiente certeza de su valor y el sitio donde gravitan. Estos últimos se encuentran incluidos dentro de las cargas suministrados por el fabricante.

Cargas vivas y peso de equipo; por ejemplo, en una unidad parada:

- P1- peso del antedistribuidor
- P2- peso del anillo de fundación
- P3- peso de la carcasa
- P4- peso del rotor de la turbina
- P5- peso del distribuidor
- P9- peso del agua en carcasa; espiral
- P16- peso del rotor y chumacera de carga, aplicada sobre el antedistribuidor
- P16- peso del rotor y chumacera de carga, aplicada en concreto, bancos de apoyo de Elev. + 152.90.
- P17- carga viva distribuida sobre piso del generador 1.5 t/m2.
- P18- peso propio del concreto
- P19- peso del estator

Si, la máquina está operada normal adicional a los del ejemplo anterior, se suman:

Condiciones normales máximos.

- P6- esfuerzo hidráulico axial actuado al rodete
- P7- esfuerzo hidráulico actuado a tapa de la turbina
- P8- peso del agua en antedistribuidor
- P10- esfuerzo actuado a bloque de concreto del lado de la cubierta superior al distribuidor(durante operación normal ).
- P11- esfuerzo actuado a bloque de concreto del lado de la cubierta inferior del antedistribuidor.
- P13- presión en tubo de aspiración debajo del rodete. más peso del equipo girable (rotor del generador, flecha, chumacera, ect. ) sobre el antedistribuidor.



Quando la máquina tienen un rechazo sumar además las siguientes cargas:

P10- esfuerzo actuado a bloque de concreto del lado de la cubierta superior al distribuidor (durante operación normal ).

P15- esfuerzos actuado a conectar durante rechazo de carga.

A continuación se presentan las combinaciones de carga empleadas en el análisis de carcasa:

a) condición Normal (Máquina parada).

$$1.4[(P1+P2+P3+P4+P5+P18+P19)+(P8+P9+P16+P17)]$$

b) Condición Normal (Máquina en operación).

$$1.4[(P1+P2+P3+P4+P5+P18+P19)+(P6+P7+P8+P9)+(P10+P11+P13+P16+P17)]$$

c) Condición de rechazo.

$$1.4[(P1+P2+P3+P4+P5+P18+P19)+(P6+P7+P8+P9)+(P10+P11+P13+P15+P16+P17)]$$

En todos los casos las tres condiciones de carga son debidas al peso muerto y al trabajo de la unidad en sus diferentes estados, pero se consideran estáticas. Por lo que el método de análisis fue estático ( ver figura No. 50 y No. 51 ).

#### IV.3.2 MUROS DE RIGIDEZ.

Los muros de Casa de Máquinas no se analizaron en forma local sino global, para lo cual se empleo el modelo de análisis global de la misma.

#### IV.3.3 LOSAS PERIMETRALMENTE APOYADAS.

En el análisis de losas se realizaron una serie de modelos locales, para cada uno de los niveles, donde generalmente el modelo fue a base de miembros barra debido principalmente a la presencia de huecos sobre las losas, por escaleras ductos, tuberías o instalaciones de tipo electromecánicas.

#### LOSA ELEVACION 148.50

La losa tiene una serie de huecos ( ver figura No. 24 y No. 52 ), y dos bases correspondientes a equipos de una carga de 50 KN ( aproximadamente 5 Ton.) entre los ejes 2 y 4, y los ejes 8 y 9. El muro de aguas abajo colindante con el desfogue de la Casa de Máquinas tiene un espesor de 1.50 m de llegada a este nivel y se reduce a 1.0 m apartir de este.

El muro eje I ( aguas abajo ), esta apoyado sobre las losas para resistir las fuertes presiones del aguas. Por lo anterior pudo suponerse un trabajo de la losa a flexocompresión. Por esta razón el espesor de la losa debe ser grueso proporcionando estabilidad al muro, el espesor estructural determinado fue de 40 cm.

#### LOSA ELEVACION 152.90

La junta de la losa y la zona superior al carcamo será a hueso, su trabajo a carga vertical es independiente y para evitar que se forme una grieta se dejarán unas varillas de unión entre losas. El espesor del muro eje I. es variado con respecto a la profundidad del nivel de agua en el desfogue, así entre los niveles 141.00 a 148.50 el espesor es de 2.0 m; y en los niveles 152.90 a 157.90 es de 1.0 m y en la Elev. + 157.90 hacia niveles superiores, este quedo en 0.80 m.

Esta losa tiene un espesor de 60 cm, siendo estructuralmente resistente para soportar la carga vertical que requiere la misma y de apuntalar el muro de aguas abajo (eje I), que soporta el empuje del agua en el desfogue.

#### LOSAS ELEVACION 157.90

En las losas ubicadas entre los ejes E a F , H a I, se encuentran localizados tableros de equipos con pesos concentrados y algunos con necesidad de huecos para el paso de instalaciones ( ver figura No. 26 y No. 53 a No. 55 ).

La losa de este nivel se apoyará en todos los muros de concreto incluyendo los de los ejes 1 y 10, el espesor estructural de la losa fue de 60 cms.

Existen zonas de la losa que el espesor se disminuye a 40 cms. esto es debido al paso de tuberías.

#### LOSAS ELEVACION 162.15, 166.40 Y 170.00

En la losa 162.15 se localizan una serie de muros divisorios a base de muros block.

Adicionalmente uno de los rieles de la grúa pórtica se localiza a 8 cm del paño del muro eje I pero no se apoya sobre la losa Elev. + 170.00.

El muro del eje I ( aguas abajo) sirve de apoyo a las losas es de 80 cm de espesor y el muro del eje H es de espesor variable de 140 a 55 cm debido a la influencia de la trabe carril y cubierta de Casa de Máquinas.

El espesor estructural de losas se determinó a 55 cms ( ver figura No. 27, No. 28, No. 29, No. 57 y No. 58 ).

#### LOSAS ELEVACION 162.90 Y 167.20

El muro del eje E ( aguas arriba) que sirve de apoyo a las losas es de 60 cm de espesor y el muro del eje F varía entre los 140 a 55 cm debido a la influencia de la trabe carril y cubierta de la Casa de Máquinas.

El espesor estructural de losas se determinó a 40 cms. Y es estructuralmente resistente al soporte de carga vertical.

#### SISTEMA DE ESTRUCTURACION CONSIDERADO PARA LAS LOSAS.

El sistema de estructuración en la losa Elev. + 148.50 y la + 142.90 seleccionado es una losa maciza apoyada perimetralmente y en los masivos del concreto de las unidades, la losa Elev. + 157.90 se apoya perimetralmente en los muros ejes E; F; H; e I , así como; en el cono del cilindro del generador de cada unidad además de los ejes 1 y 10. Por su parte las losas Elevs. + 162.15, +166.40 y + 170.00 se apoyan perimetralmente en los muros ejes H e I.

Finalmente las losas Elev. + 162.90 y + 167.20 se apoyan perimetralmente en los muros ejes E y F.

#### CONDICIONES DE APOYO.

El apoyo perimetral en los muros y los masivos de concreto será continuo, habiendo traslapes de las varillas en los nudos. Estos muros de apoyo se van a construir con el método de cimbra deslizante por lo que en la zona en donde se vaya a conectar la losa con los muros, se dejarán las varillas de traslapes dobladas y unas cajas de poliestireno en los muros, posteriormente se retiran las cajas y se desdoblarán las varillas.

#### CARGAS CONSIDERADAS.

Las losas tienen un peso permanente, siendo este el propio de mismas. En las Elevs. + 148.50, + 152.90, + 157.90, + 162.15, + 162.90 y + 166.40 se colocará un firme de concreto de 5 cms de espesor para dar acabado de piso, cuyo peso ya está considerado dentro la losa. Por su parte las losas Elev. + 167.20 y 170.00 sólo se colocó un impermeabilizante de acabado final.

#### CARGA VIVA Y PESOS DE EQUIPO.

La carga viva y los pesos de equipo se consideran en dos etapas, si están en proceso de instalación los equipos, su ubicación puede ser en cualquier parte, además de otros equipos y aparatos requeridos en el montaje. Se basa en el manual del Bureau of Reclamation ( USBR ), BUILDINGS donde se detalla un piso de turbina y equipos auxiliares de: 300 psf, (1500 Kg/m<sup>2</sup> ). Peso considerado de las losa Elevs. + 148.50, + 152.90, + 157.90 entre los ejes E-F y los H-I, de losa Elev. + 157.90 con los ejes F-H considerando una carga de 1500 psf (5000 kg/m<sup>2</sup>). de acuerdo al manual USBR en cuanto a carga para un piso de excitadores. Para las siguientes losas se considero una carga de:

LOSA ELEV. + 162.15	1000 kg/m <sup>2</sup>	(200 psf)
LOSA ELEV. + 162.90	1000 kg/m <sup>2</sup>	(200 psf)
LOSA ELEV. + 166.40	1000 kg/m <sup>2</sup>	(200 psf)
LOSA ELEV. + 167.20	250 kg/m <sup>2</sup>	( 50 psf)
LOSA ELEV. + 170.00	1500 kg/m <sup>2</sup>	(300 psf)

Si el peso del equipo especificado resulta mayor a la carga viva considerada, deberá adicionarse, pero únicamente la diferencia del peso del equipo. Por ejemplo, si la carga viva es de 1.5 ton /m<sup>2</sup> y se especifica un peso de 4.5 ton/m<sup>2</sup>, la carga del equipo adicional que debe tomarse para fines del análisis de la losa será de 3.5 ton/m<sup>2</sup>.

## **COMBINACIONES DE CARGA.**

Las combinaciones utilizadas en el análisis y diseño de las losas, son las que recomienda el A.C.I. capítulo 9 " REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIABILIDAD ".

**1.40 C. Muerta + 1.7 C Viva**

El programa de análisis empleado en los modelos de losas es el paquete estructural STAAD -III, y se idealizarán como una retícula plana a base de barras. El ancho de las barras varía de acuerdo a la afectación de los huecos en la losa. Por lo anterior, la distribución de las barras será conforme a la ubicación de huecos.

Los apoyos en los muros deben ser continuos y tomar en cuenta la rigidez de estos, logrando dar un apoyo rígido en dirección vertical y un " resorte torsional " rígido, equivalente a la suma del factor (  $4 E I / L$  ) de cada muro que llega al nudo, en la dirección del momento del empotramiento de las losas.

El tipo de análisis fue estático para todas las losas ( ver figura No. 52 a No. 57 ).

### **IV.3.4 CILINDRO DEL GENERADOR**

El cilindro del generador tiene una estructura de muro de concreto con armados horizontales y verticales, refuerzo en todos los huecos y nichos en el muro. Este último forma parte del apoyo de la losa de excitadores Elev. + 157.90.

Los bancos de la Elev. + 154.10, su estructura es una combinación de varios elementos, concebidas como columnas cortas o bien ménsulas adosadas al muro del cilindro pero conectadas lateralmente por la trabe intermedia en bancos.

Debido a las cargas del fabricante se tienen cargas verticales hacia abajo, fuerzas radiales hacia el exterior y tangenciales a los bancos con 10 condiciones de carga.

El muro del cilindro del generador se apoya directamente sobre el concreto y los segundos colados de carcasa, los cuales son de concreto masivo y le confieren un apoyo rígido. En su parte superior el muro se une a la losa Elev. + 157.90 por lo que existe influencia de la rigidez de la losa sobre el muro y viceversa. Para los bancos, el apoyo son los segundos colados de carcasa y el muro del cilindro del generador.

El concreto reforzado es el requerido por el diseñador del equipo por las siguientes ventajas:

- En caso de paro o arranque, el concreto soportará directamente el esfuerzo del generador.
- Reduce el efecto de vibración y ruido por el accionar del generador.
- Sirve de apoyo a la losa Elev. + 157.90
- Da estabilidad y peso al conjunto de Casa de Máquinas.
- En caso de incendio, el concreto es un excelente material aislante.

Las cargas consideradas ( o cargas permanentes ) tomaron el peso propio de la estructura y al peso de la losa que gravita sobre el cilindro del generador.

La carga viva consideró el peso del equipo, herramienta, personal y materiales sobre la estructura que no tiene un lugar definido y duración precisa. El área donde se presentará esta carga es en la losa Elev. + 157.90 se apoya en el cilindro del generador y tiene un peso considerado de 5000 kg/m<sup>2</sup> por ser el piso de excitadores. Dichas cargas son válidas únicamente en el modelo del cilindro de concreto en continuidad con la losa de excitadores.

En lo que se refiere a cargas debidas a la operación de la turbina, y únicamente para el modelo de los cimientos del generador, se aplicaron 10 condiciones de carga que marca el fabricante aplicadas en los bancos del estator y del rotor, la lista es la siguiente:

- 1) Condiciones de Reposo.
- 2) Condiciones de velocidad Nominal.
- 3) Condiciones de velocidad de Regulación.
- 4) Condiciones de velocidad de embalsamiento.
- 5) Condición de Frenado
- 6) Condición de elevar Rotor.
- 7) Condición de Sincronización.
- 8) Condición en corto circuito en 50% dos polos.
- 9) Condición en corto circuito bipolar.
- 10) Condición en corto circuito tripolar.

Las combinaciones utilizadas en el análisis y diseño del cilindro del generador está basada en el Reglamento del A.C.I. Existen la especificación de dos modelos distintos.

- El modelo del cilindro de concreto, considera el apoyo de la losa con la carga muerta y la viva a Elev. + 157.90 Estas fuerzas se obtuvieron del modelo de la misma, donde la unión entre losa y muro se dispuso un apoyo, la reacción es la fuerza actuante en este caso.

- Carga Muerta Losa Elev. + 157.90	CM1
- Carga Muerta Cilindro	CM2
- Carga viva losa Elev. + 157.90	CV
- Carga Operación Turbina	CTURB.

En donde la combinación de la carga será:

$$1.4 ( CM1 + CM2 ) + 1.7 ( CV ) + 1.4 ( CTURB )$$

- Para el modelo de los bancos del generador, la carga debida a la operación de la turbina se calculará con la más desfavorable de las 10 condiciones enlistadas inicialmente.

El muro del cilindro del generador presenta una serie de huecos y nichos que deben contemplarse en el modelo ya que originan variaciones en la distribución y magnitud de los esfuerzos.

El análisis plantea elaborar un modelo conformado de elementos placa que representen el espesor del concreto. Siendo el modelo tridimensional ( ver figura No. 58 ).

El espesor estructural del muro se determinó de 50 cms. este sirve de apoyo a la losa Elev. + 157.90, así las reacciones obtenidas en el modelo de las losas se aplicaron al modelo del cilindro del generador en la parte superior del mismo.

En los bancos de la Elev. + 154.10 el análisis considerará a estos elementos como ménsulas apoyadas en el masivo de concreto de los segundos colados de carcasa, debido a la importancia de fuerzas tangenciales a dichos apoyos.

El modelo es rígido, si los elementos se apoyan sobre concreto masivo, este será totalmente rígido en el piso inferior y en el nivel superior se manejará una rigidez equivalente a la proporcionada por la losa.

Para el modelo del banco, se considerará el apoyo principal del masivo de concreto de los segundos colados de carcasa.

#### IV.3.5 TRABE CARRIL

La estructuración de la trabe carril se soluciona mediante una viga de concreto armado en continuidad con la ménsulas carril en las zonas donde existen muros de concreto.

La trabe carril se encuentra apoyada en los muros de concreto laterales, los cuales debido a la rigidez poseída, proporcionan empotramiento en los apoyos.

Las cargas consideradas para la trabe carril son el peso propio de la estructura, las cargas vivas compuestas por fuerzas horizontales y verticales producidas por la operación de la grúa especificadas por el fabricante (KONE) son las utilizadas en el capítulo IV.1.3, para las cargas vivas por nivel y las cargas accidentales se consideró a las utilizadas en el mismo capítulo.

Se utilizaron las siguientes combinaciones de carga:

CM 1 = Peso Propio de la estructura.

CM 2 = Peso Propio de la estructura + Peso de la Grúa.

CV = Carga viva en entrepiso.

CVG = Carga viva de Grúa + Carga Viva de entrepiso.

I = Impacto de la Grúa.

E1 = Empuje en condiciones normales (Elev. + 154.19).

E2 = Empuje para nivel de aguas MAXIMO extraordinario (Elev. + 168.70).

S = Sismo.

V = Viento.

$$1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7 \text{ I} + 1.4 \text{ E1}$$

$$1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7 \text{ I} + 1.1 \text{ E2}$$

$$0.75(1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CV} + 1.87 \text{ S} + 1.4 \text{ E1})$$

$$0.75(1.4 \text{ CM2} + 1.7 \text{ CVG} + 1.7 \text{ I} + 1.7 \text{ V} + 1.4 \text{ E1})$$

La trabe carril dentro de la Casa de Máquinas se consideró en el análisis global de la misma idealizándose como un elemento continuo, formando parte de los muros, y dentro del mismo modelo se consideraron elementos placa. El modelo completo y la etapa de construcción requieren un análisis estático y dinámico utilizando el programa STAAD-III.



#### **IV.3.6 CUBIERTA DE CASA DE MÁQUINAS Y CASETA PARA EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO.**

Se utilizará vigas I metálicas para la estructuración de la cubierta de la Casa de Máquinas, por que con el acero se logran cubrir grandes claros utilizando secciones ligeras y de poco peralte, facilitando además el montaje.

La caseta utiliza una estructura ligera, con un sistema constructivo rápido. Otra punto importante es que no requiere obra falsa al colocar la cubierta, dada la altura y que en el interior de la Casa de Máquinas se estará en la etapa de montaje de las unidades.

La razón técnica de elegir la cubierta de acero es por su alta capacidad a la flexión, en combinación con el firme de concreto, la sección compuesta trabaja eficientemente a la deflexión.

Se considerará carga permanente el peso propio de las vigas I metálicas; el peso de la losacero ROMSA; y el firme de concreto junto con el relleno de la cubierta para dar pendiente; el peso de muros y el sistema de piso de la caseta.

La carga viva en la cubierta se consideró de 250 kg/m<sup>2</sup> excepto en la zona de la caseta de ventilación considerada de 500 kg/m<sup>2</sup> y en una zona especial ubicada entre los ejes 7 y 8 se estima de 1160 kg/m<sup>2</sup>. Para la azotea de la caseta de ventilación la carga viva es de 250 kg/m<sup>2</sup>.

Las cargas accidentales en la caseta de ventilación retoman los efectos del sismo y viento. En efectos del primero se utilizo la regionalización sísmica de la república. Retomando los parámetros establecidos en los criterios de diseño de muros.

En cuanto, al análisis por viento, se utilizó también la regionalización especificada en el manual de C.F.E. tomando los parámetros establecidos en los Criterios de Diseño por viento, sin olvidar la altura en la que se ubica la estructura.

Las Combinaciones de Carga de la Cubierta necesita de Carga Muerta y Carga viva ( en cubierta y caseta de ventilación ) sin factores de carga.

La cubierta será analizada como una viga simplemente apoyada con las combinaciones especificadas. Aunque la viga posteriormente quedará empacada en concreto, no se darán las condiciones de modificación del modelo.

La caseta de ventilación se idealizará por medio de un modelo tridimensional a base de paneles utilizando el paquete estructural STAAD-III.

La cubierta se considerará simplemente apoyada en los muros eje F y H. No existirá empotramiento en la etapa final de la Casa de Máquinas (El tipo de análisis fue estático).

#### **IV.4 DISEÑO DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CASA DE MÁQUINAS.**

Todos los elementos de concreto reforzado fueron diseñados por "resistencia" según el capítulo 8, "Análisis y Diseño Consideraciones Generales" del A.C.I. El método de diseño requiere un incremento por medio de factores de carga; la carga de servicio o las fuerzas y momentos internos relacionados; y que las resistencias nominales decrezcan por medio de los factores de reducción de resistencia especificados.

El diseño de los elementos se determinó de acuerdo a la relación de carga que resultará más crítica durante el análisis, con ello, el proceso de análisis se sometió a los modelos a más de una combinación de carga, por lo que generalmente se presentaban elementos sometidos a varios efectos de carga tal como la flexo-compresión o la resistencia al cortante en elementos sometidos a carga axial. ( ver capítulo del reglamento de construcciones A.C.I. "COMBINACIONES DE CARGA").

##### **IV.4.1 FORMULAS DE DISEÑO.**

Para el diseño de Casa de Máquinas dio uso a los criterios proporcionados por el Reglamento del American Concrete Institute ( A.C.I.)

##### **FACTORES DE REDUCCION DE RESISTENCIA (FR)**

Los factores de reducción de resistencia se determinaron a partir de los recomendados por el reglamento de construcciones A.C.I. en el subcapítulo 9.3

Flexión sin carga axial	0.90 inciso 9.3.2.1
Compresión axial	0.70 inciso 9.3.2.2b )
Flexocompresión	0.70 inciso 9.3.2.2b )
Cortante y torsión	0.85 inciso 9.3.2.3
Aplastamiento en el concreto	0.70 inciso 9.3.2.4
Aplastamiento en el concreto	0.70 inciso 9.3.2.4

## DISEÑO PARA CARGAS AXIALES Y FLEXIÓN

Para el diseño de los elementos a cargas axiales y fuerzas de flexión se siguieron los lineamientos dados por el reglamento de construcciones A.C.I. en el CAPITULO 10.

Los elementos sujetos a flexión y cargas relativamente pequeñas de compresión axial, la falla se inicia por fluencia del esfuerzo del refuerzo de tensión, por lo que se diseñará a flexión pura.

$$P_{\min} = 14 / f_y \quad (\text{inciso 10.9 "LIMITES DEL ACERO DE REFUERZO PARA ELEMENTOS SUJETOS A COMPRESION"}).$$

$$P = f'_c / f_y \left( 1 - \left( 1 - 2 \frac{M_u}{FR} \frac{bd}{f'_c} \right)^{1/2} \right)$$

En los elementos a flexión, cuyo porcentaje de acero para una sección que arroje valores menores al mínimo se incrementará el obtenido en un 33 % y se procuró manejar porcentajes máximos del orden del 0.008 salvo casos especiales.

## ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXO-COMPRESION

En los elementos sometidos a fuerzas de compresión y flexión simultánea, se tomo el siguiente criterio.

$$\text{si} \quad P_u < 0.10 f'_c A_g$$

El área de acero de refuerzo longitudinal en elementos sometidos a compresión y flexocompresión se limitó a valores mínimos de 0.01 y a valores máximos de 0.08 veces el área total de la sección ( $A_g$ ).

Apartir de los elementos mecánicos proporcionados por el análisis se procedió a determinar los efectos de esbeltez ( sub-capitulo 10.11 del reglamento A.C.I. ), y de esta forma obtener los coeficientes de amplificación y finalmente los momentos amplificados, fueen en forma de flexión axial o flexión biaxial.

Apartir de dimensiones geométricas, la rigidez de los elementos así como de los materiales utilizados, y partiendo del porcentaje mínimo de acero se calculó la resistencia nominal de los elementos sometidos a flexocompresión o flexocompresión biaxial, se procedió a compararlos con los momentos amplificados ya factorizados, ó los resultados del analisis con efectos P-Delta.

#### REVISION A CORTANTE Y TORSION.

La revisión de los elementos estructurales en efectos de carga tanto de torsión como de fuerza cortante se baso en el CAPITULO 11 del Reglamento de Construcciones del A.C.I. de igual forma se siguieron los lineamientos de las limitantes de los mismos efectos.

Elementos sometidos a fuerza cortante y flexión axial.

$$V_c = 0.53 (f'c)^{1/2} bd$$

Para elementos sujetos a compresión axial.

$$V_c = 0.53 (1 + 0.0071 (N_u / A_g)) (f'c)^{1/2} bd$$

En elementos en los cuales el momento torcionante factorizado ( $T_u$ ) excede de

$$T_o (0.13 (f'c)^{1/2} E_x y)$$

El momento torcionante resistente proporcionado por el concreto será:

$$T_c = \frac{0.2(f'c)E_x y}{(1 + (0.4 V_u / C_t T_u))}^{1/2}$$

#### REVISION A DEFLEXION

La determinación de la deflexión se baso en los criterios empleados por el reglamento A.C.I. para los incisos 9.5 "CONTROL DE DEFLEXIONES"

La revisión de los elementos para cualquiera de los modelos de análisis se obtuvo la deflexión inmediata a partir de la Inercia Agrietada de la sección, inmediatamente después se procedió a determinar la inercia diferida con la ayuda de la siguiente ecuación.

$$\text{def} = \frac{1}{1 + 50 p}$$

A partir de determinar a la deflexión inmediata y a la deflexión diferida se determinó la deflexión total sumando ambas deflexiones anteriormente mencionadas, y se procedió a compararlas con los valores permisibles de la tabla 9.5b del reglamento A.C.I.

#### REFUERZO REQUERIDO POR CONTRACCION Y TEMPERATURA

En ningún caso deben colocarse el acero de refuerzo por contracción y temperatura con una separación mayor de 5 veces el espesor del elemento ni de 45 cm.

Para concretos masivos con espesores mayores de 1.00 m, se aplicará lo que se establece en el manual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, organismos que trabajarán muy parecido al Bureau Reclamation ( USBR ). Aunque se nombran 4 casos dependiendo de las condiciones de frontera de los elementos, se puede resumir en : P = 0.001 o varillas No. 6 con Sep = 30 cm, en elementos de espesor mayor a 1.00 en elementos con posibilidades de formarse longitudinalmente: y P = 0.002 ó varillas No. 8 con Sep = 30 cm en elementos de espesor mayor a 1.0 m en elementos con resistencia a desplazarse longitudinalmente.

Se puede tener el caso en elementos restringidos en una dirección y en la otra no. Este caso el porcentaje de acero de refuerzo por temperatura varía dependiendo en la dirección en que se localicé. Siendo el porcentaje mayor ( p<sub>max.</sub> = 0.002 ) en la dirección paralela al extremo o extremos restringidos.

En ningún caso se coloco el acero de refuerzo por contracción y temperatura con una separación mayor de 5 veces el espesor del elemento ni de 45 cm.

**NOTACION:**

- $p_{min}$  = Porcentaje de acero mínimo de flexión recomendado por el reglamento.
- $p$  = Porcentaje de acero requerido por los elementos mecánicos.
- $f_y$  = Límite de fluencia del acero ( 4200 kg/cm<sup>2</sup>)
- $F'_c$  = Capacidad de resistencia del concreto a la compresión.
- $M_u$  = Momento flexionante último de diseño.
- $FR$  = Factor de reducción de resistencia.
- $b$  = Base del miembro o elemento.
- $d$  = Peralte efectivo de la sección.
- $A_g$  = Área total de la sección
- $V_c$  = Capacidad del concreto a resistir la fuerza cortante.
- $N_u$  = Valor de la fuerza axial a la que se encuentra sometido el miembro o elemento.
- $T_u$  = Momento torsionante último de diseño.
- $E$  = Sumatoria de todos los rectángulos componentes de la sección.
- $x$  = Dimensión Menor de los rectángulos que componen a la sección.
- $y$  = Dimensión Mayor de los rectángulos que componen a la sección.
- $\delta_{ef}$  = Valor de la deflexión diferida.
- $p'$  = Porcentaje real del área de acero sometida a compresión.

**Las formulas de diseño anteriormente mencionadas son solo las básicas, se debe consultar las especificaciones mencionadas en cada uno de los diseños de los modelos.**

#### **IV.4.2 ELEMENTOS MASIVO**

Su diseño fue por "Resistencia" y "Flexión" Como se explica en el capítulo 8 del manual A.C.I. "ANALISIS Y DISEÑO" y el capítulo 10 del manual A.C.I. "CARGAS AXIALES Y DE FLEXION", se revisaron los elementos por fuerza cortante capítulo 11 del Reglamento A.C.I. y se agrego acero por temperatura como lo establece el manual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos ( ver figura No. 39 y No. 40 ).

#### **IV.4.3 MUROS DE RIGIDEZ.**

Su diseño fue el de elementos sometidos a flexocompresión por el método de resistencia última según el reglamento A.C.I, de cada sección se realizó un diagrama de interacción por compatibilidad de deformaciones de acuerdo a las hipótesis 10.2 del reglamento A.C.I. Partiendo de una cuantía mínima ( varillas del No 8 a cada 30 cms).

Si los elementos mecánicos actuantes en los muros eran mayores a los resistentes obtenidos del diagrama de interacción con varillas del No 8 a cada 30 cms, se aumento la cuantía de acero hasta obtener una resistencia adecuada.

Adicionalmente se debió cumplir con los principios y requisitos generales del capítulo 10 del reglamento de construcciones A.C.I. en lo referente a elementos sujetos a flexo-compresión.

La relación del área de acero horizontal por cortante, al área de la sección transversal total de concreto no debe ser menor que 0.0025.

Se reviso que el cortante actuante último fuera menor que la suma de cortante resistente calculado con la sección transversal del muro y el proporcionado por el acero de refuerzo horizontal.

Finalmente se revisaron los desplazamientos sobre todo los restringidos por el fabricante de los carros para la grúa carril ( ver figura No. 41 ).

#### **IV.4.4 LOSAS PERIMETRALMENTE APOYADAS.**

Su diseño fue por "Resistencia" Como se explica en el capítulo 8 del manual A.C.I. "ANÁLISIS Y DISEÑO" y flexión como indica el capítulo 10 del manual A.C.I. "CARGAS AXIALES Y DE FLEXION"

Su Revisión fue el de elementos sometidos a flexocompresión por el método de resistencia última según el reglamento A.C.I. de cada sección se realizó un diagrama de interacción por compatibilidad de deformaciones de acuerdo a las hipótesis 10.2 del reglamento A.C.I. Partiendo de la cuantía obtenida en el diseño a flexión.

Adicionalmente se reviso para los principios y requisitos generales del capítulo 10 del reglamento de construcciones A.C.I. en lo referente a elementos sujetos a flexo-compresión.

Se realizo una revisión de los elementos por fuerza cortante capítulo 11 del Reglamento A.C.I. y se agrego acero por temperatura como lo establece el manual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

Para la revisión de deflexiones que se presentaron en los miembros de los modelos, se siguieron los lineamientos especificados en el inciso 9.5 "CONTROL DE DEFLEXIONES", Para lo cual se obtuvieron las deflexiones inmediatas por el método elástico, para la sección agrietada se determinaron las deflexiones diferidas y la suma de ambas dio la deflexion total, la deflexion total obtenida se comparo con las deflexiones máximas permitidas que establece la tabla 9.5b del manual de construcciones A.C.I.

Para considerar la fatiga de varilla de traslape en la unión entre losa y muro, debido al doblez, dos veces en el mismo sitio, se diseño el apoyo con un esfuerzo de fluencia de  $0.5f_y$  ( ver figura No. 42 a No. 44 ).



#### **IV.4.5 CILINDRO DEL GENERADOR.**

El diseño del refuerzo para los miembros se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más critica durante el análisis, se tomo en cuenta las consideraciones diversas de cargas a fin de determinar la condición de diseño más critica.

Su diseño fue el de elementos sometidos a flexocompresión por el método de resistencia última según el reglamento A.C.I, para cada sección se realizó un diagrama de interacción por compatibilidad de deformaciones de acuerdo a las hipótesis 10.2 del reglamento A.C.I. Partiendo de una cuantía mínima.

Si los elementos mecánicos actuantes en los miembros era mayor a los resistentes obtenidos del diagrama de interacción con la cuantía mínima, se aumento la cuantía de acero hasta obtener una resistencia adecuada.

Adicionalmente se debió cumplir con los principios y requisitos generales del capítulo 10 del reglamento de construcciones A.C.I. en lo referente a elementos sujetos a flexo-compresión.

La relación del área de acero horizontal por cortante, al área de la sección transversal total de concreto no debe ser menor que 0.0025.

Se reviso que el cortante actuante último fuera menor que la suma de cortante resistente calculado con la sección transversal del muro y el proporcionado por el acero de refuerzo horizontal.

Para el caso de los bancos a la Elev. + 154.10, se diseñaron de acuerdo a los porcentajes de acero requeridos como mensulas. Para el armado horizontal de estos bancos se utilizaron estribos cerrados que abarcaron también la zona del muro del cilindro, de tal forma de ligar ambos concretos para un trabajo en conjunto ante las fuerzas tangenciales a que están expuestos. Para la trabe de liga entre bancos en el que su trabajo principal es el de apuntalamiento ( sometidos a compresión ), se diseñaron como miembros sometidos a flexo-compresión considerando la excentricidad debida a su geometría ligeramente curva ( ver figura No. 45 y No. 46 ).

#### **IV.4 6 TRABE CARRIL.**

El diseño del refuerzo para los miembros de trabe carril se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más critica durante el análisis, se tomo en cuenta las consideraciones diversas de cargas a fin de determinar la condición de diseño más critica.

Su diseño fue por "Resistencia" Como se explica en el capítulo 8 del manual A.C.I. "ANALISIS Y DISEÑO" y flexión como indica el capítulo 10 del manual A.C.I. "CARGAS AXIALES Y DE FLEXION"

Se realizo una revisión de los elementos por fuerza cortante capítulo 11 del Reglamento A.C.I. y se agrego acero por temperatura como lo establece el manual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

En la revisión de deflexiones que se presentaron en los miembros de los modelos, se siguieron los lineamientos especificados en el inciso 9.5 "CONTROL DE DEFLEXIONES", Para lo cual se obtuvieron las deflexiones inmediatas por el método elástico, de la sección agrietada se determinaron las deflexiones diferidas y la suma de ambas dio la deflexion total, la deflexion total obtenida se comparo con las deflexiones máximas permitidas que establece la tabla 9.5b del manual de construcciones A.C.I.

#### **IV.4.7 CUBIERTA. DE CASA DE MAQUINAS Y CASETA PARA EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO.**

Las vigas I metálicas de la cubierta y caseta de ventilación serán diseñadas por esfuerzos permisibles o diseño elástico. De acuerdo a lo especificado en el manual AISC 1987 y el manual IMCA.

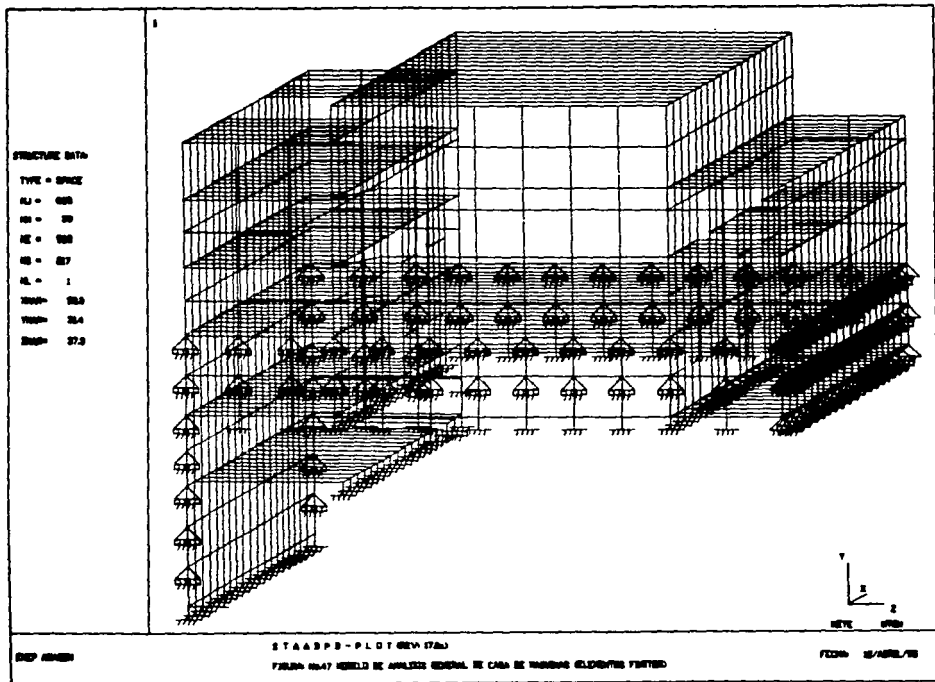
Las vigas metálicas se diseñaron para fuerzas de flexión y revisaron por fuerza de cortante, en los muros se reviso su capacidad a fuerza cortante, las trabes y columnas de concreto se diseñaron a flexión y flexo-compresión, y se revisaron para resistir fuerza cortante de acuerdo a lo especificado en el Manual ACI capitulos 8, 9, 10 y 11.

En el porcentaje de refuerzo requerido por contracción y temperatura, que recomienda para varilla corrugada o malla soldada de alambre ( corrugado o liso grado 42 ) fue 0.0018 utilizada en el firme de compresión de la techumbre.

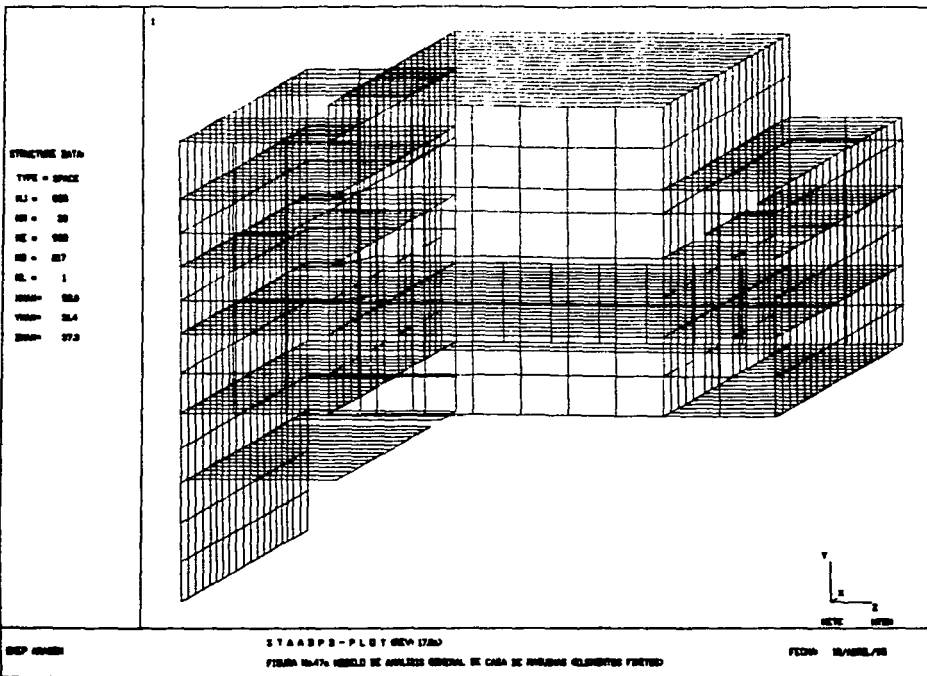
La revisión por deflexión se tomo el parámetro especificado en el manual IMCA sección 1.13.1

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

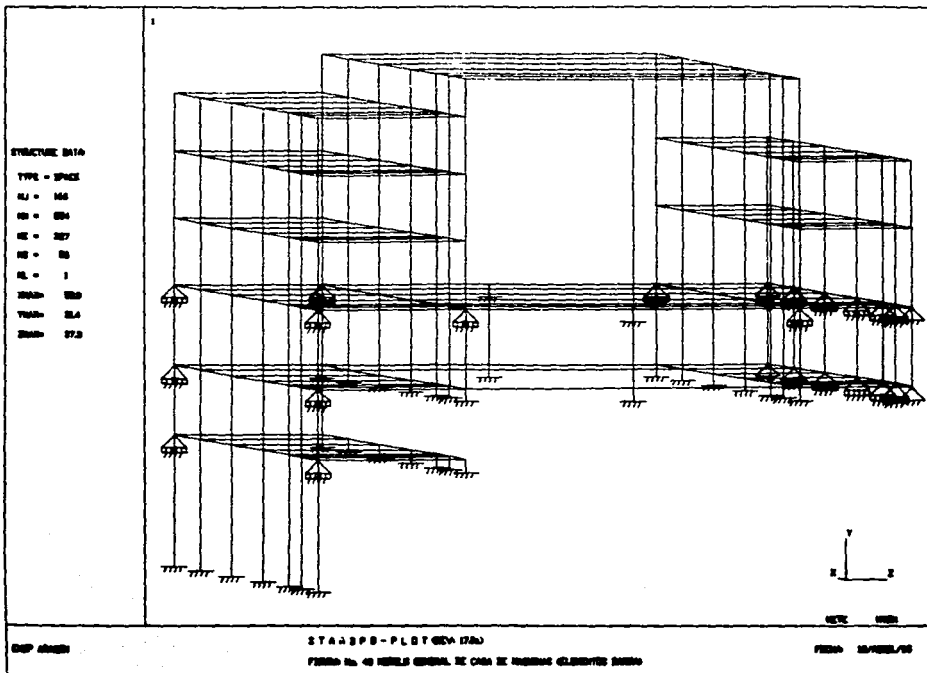
FALLA DE CRUSEN



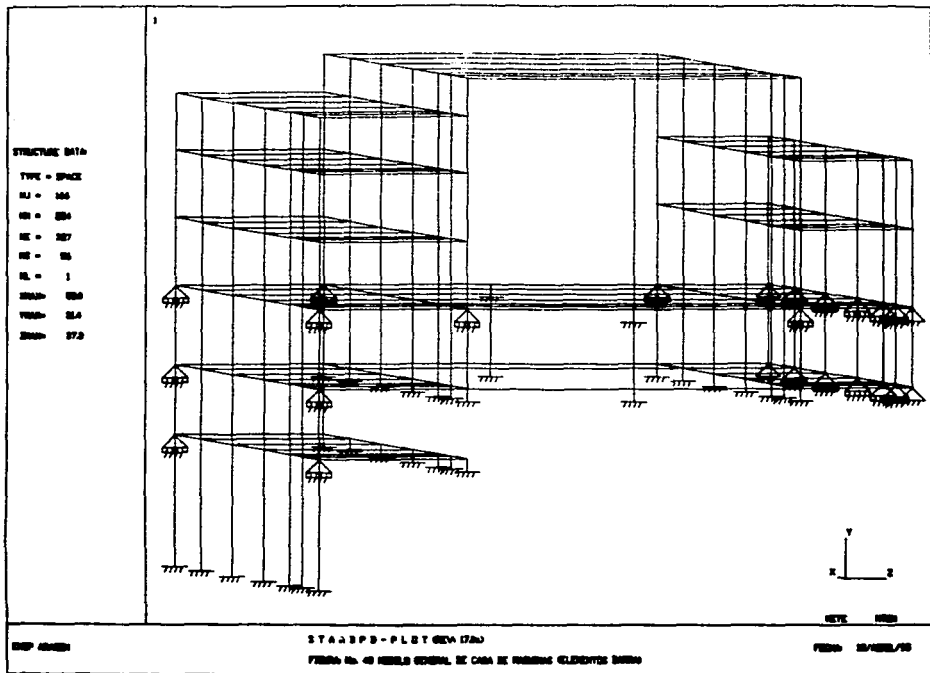
FALLA DE ORIGEN



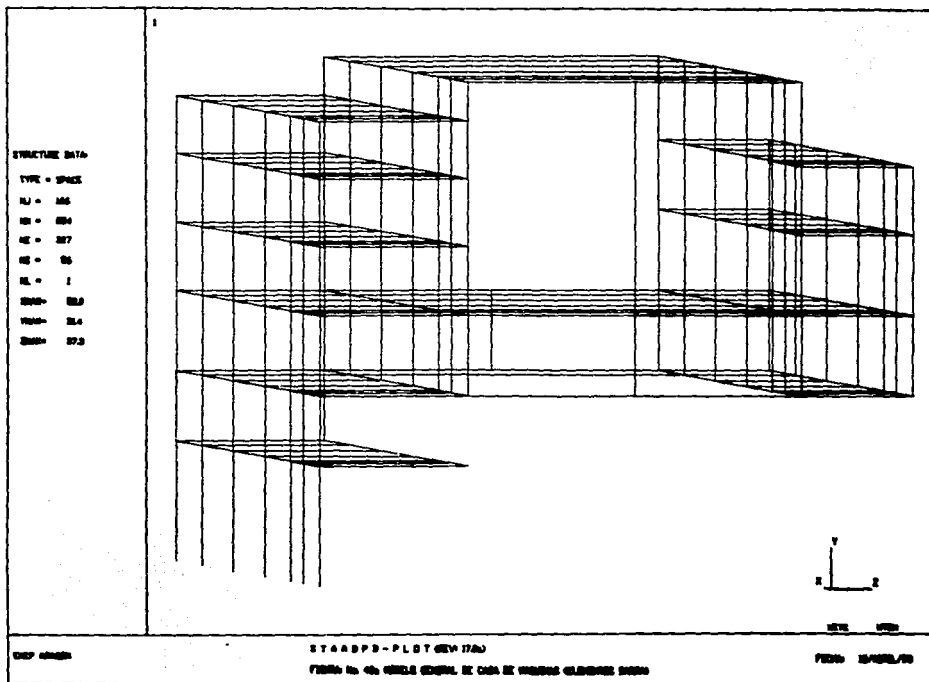
FALLA DE ORIGEN



# FALLA DE ORIGEN

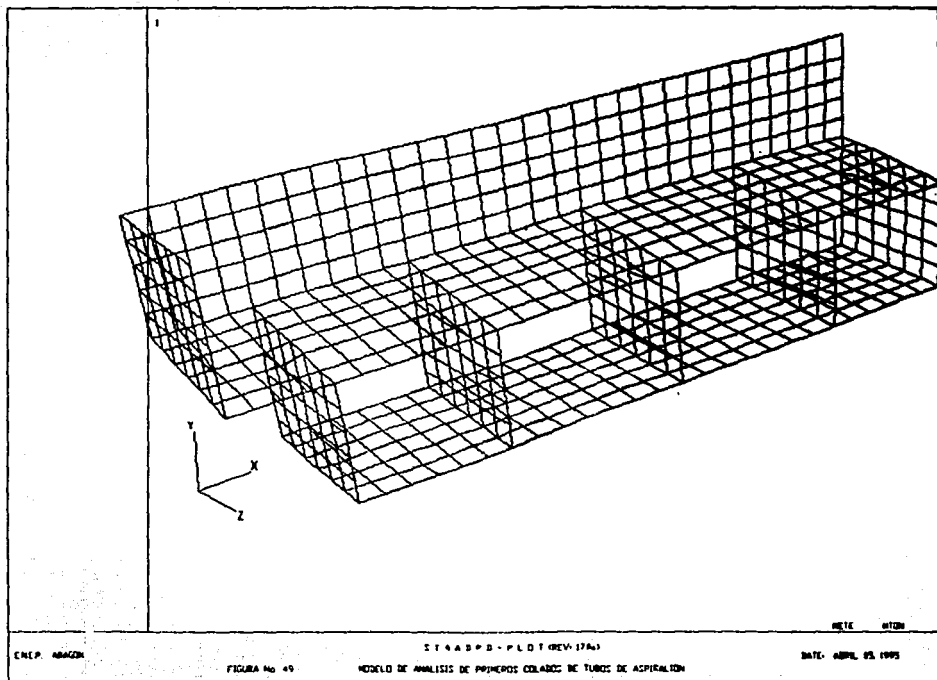


FALLA DE ORIGEN

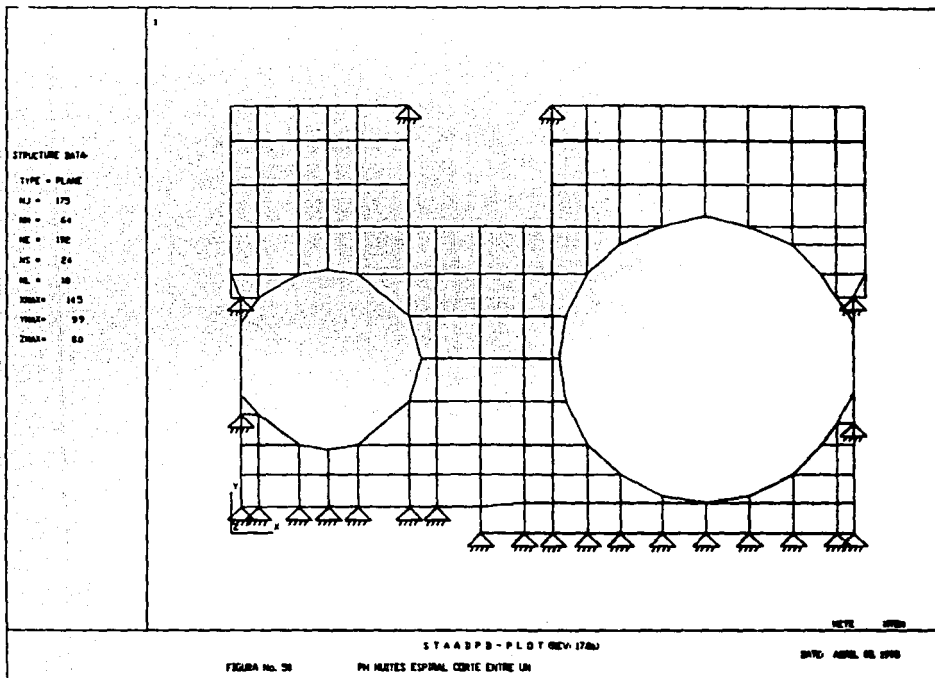




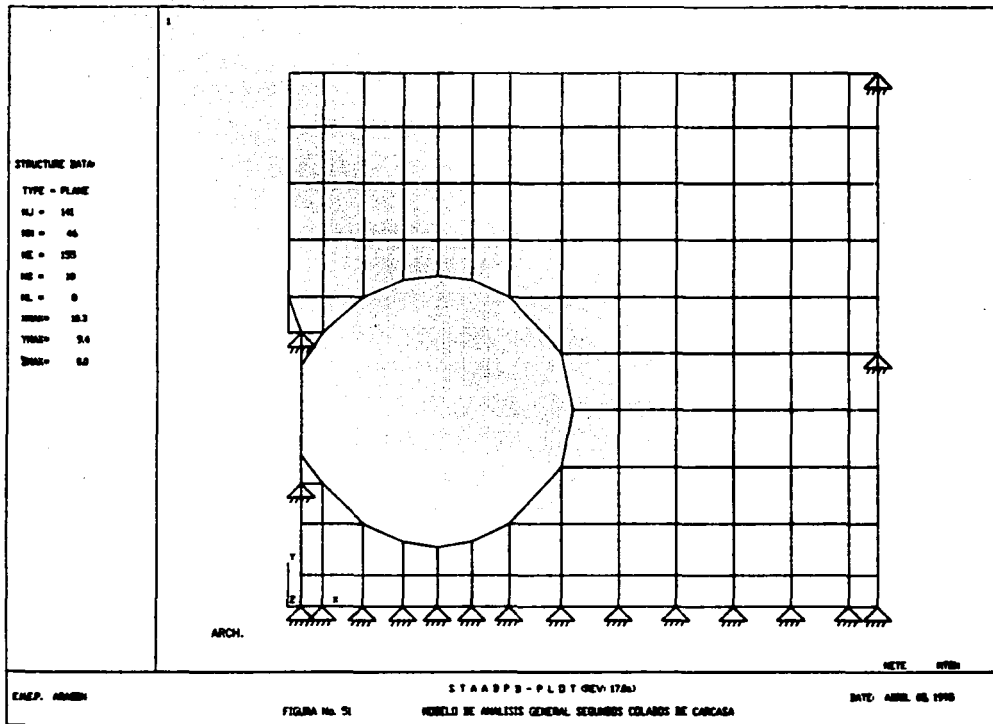
# FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN



# FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA

TYPE = SPACE

KJ = 122

NO = 148

NC = 8

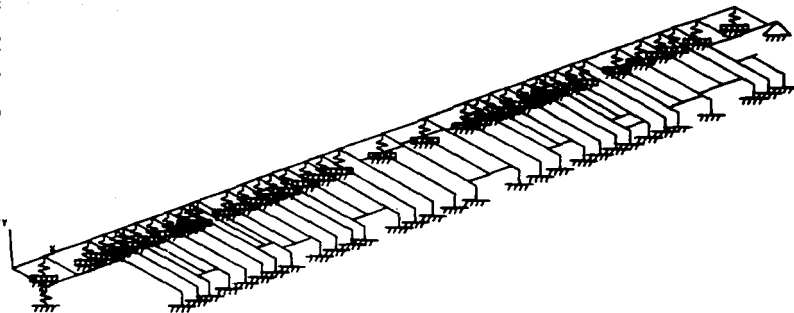
NE = 78

NL = 7

XMAX = 45.4

YMAX = 8.0

ZMAX = 8.2



CAJEP. AMBEN

FIGURA No. 52

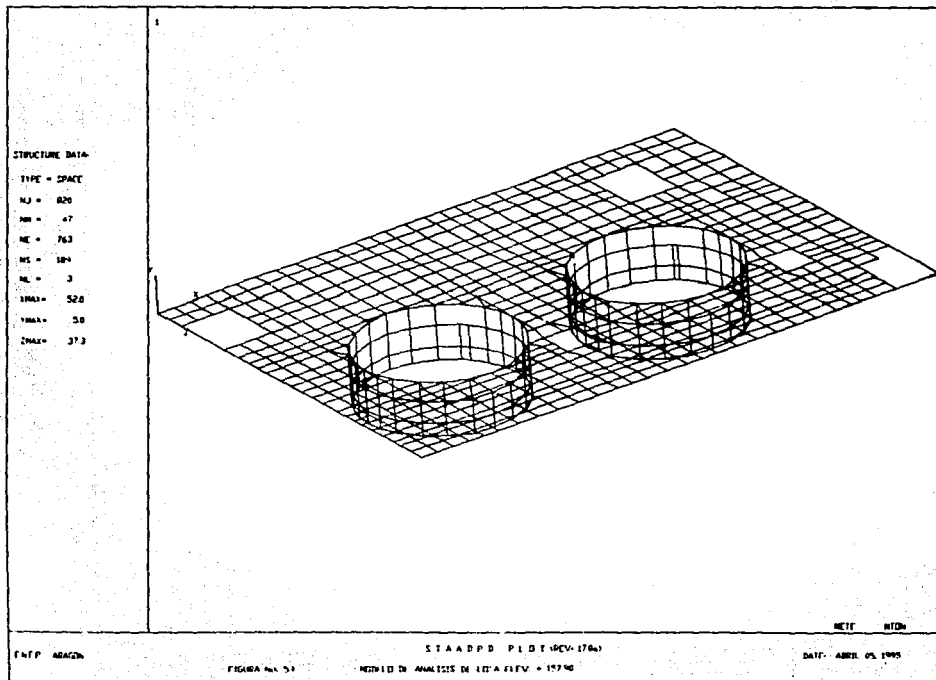
LOSA +14850 (PERALTE TOTAL DE 60 CM.)

STABPP - PLOT (REV 178a)

DATE: ABRIL 05 1993

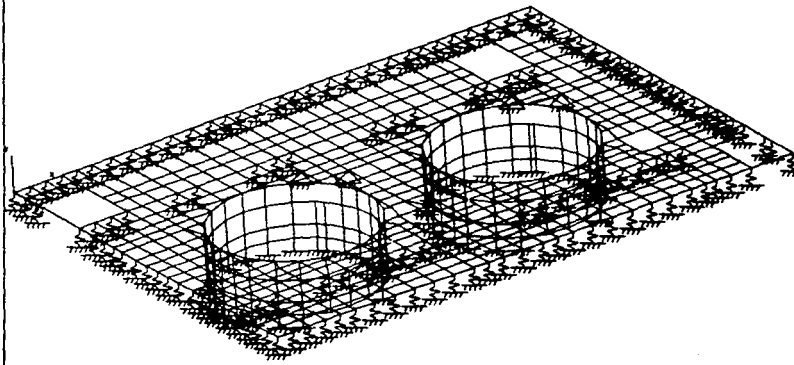
NETE WTEB

# FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA  
TYPE = SPACE  
NJ = 820  
NI = 47  
NE = 783  
NS = 189  
NL = 3  
FINX = 52.8  
FINY = 5.0  
ZMAX = 37.3



ENEP. AMAZON

FIGURA No. 54

STAADPB- PLOT (REV-17/83)  
CONDICIONES DE APOYO PARA MODELO DE LOSA ELEV. = 157.90

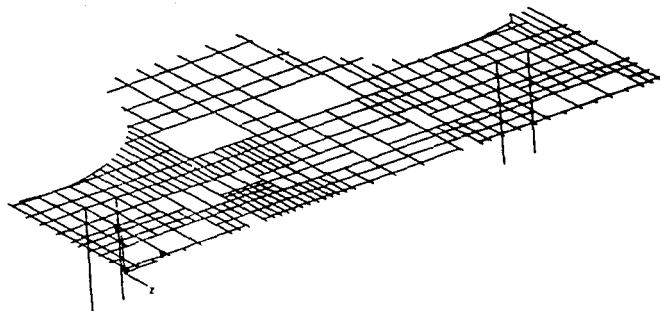
DATE: ABRIL 05, 1993

NETE 4758

FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA

TYPE = SPACE  
NJ = 533  
NI = 881  
NE = 8  
NS = 8  
NW = 4  
XMAX = 28.0  
YMAX = 58  
ZMAX = 16.4



ENR P. 04/01

FIGURA No. 55

MODULO DE BARRAS PARCIAL PARA LA LOSA ELEV. + 157.90

STAABPD PLOT (REV. 178.4)

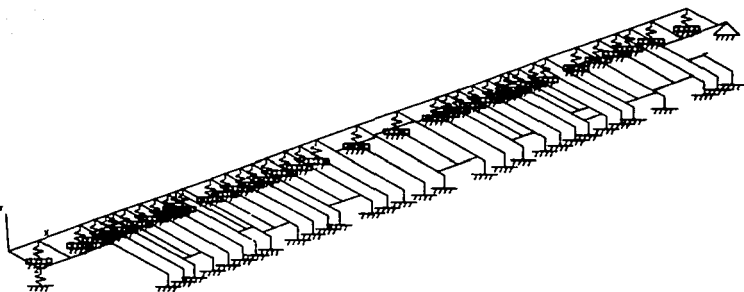
DATE: APRIL 05, 1995

NETL MIDN

FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA

TYPE = SPACE  
NJ = 122  
NN = 148  
NE = 0  
NS = 70  
NL = 7  
ENLX = 45.4  
YMAX = 0.0  
ZMAX = 0.2



NETE NTON

CAJEP. ARAGON

STAADPB-PLDT (REV 17.6)

FIGURA No. 56

MODELO DE ANALISIS DE LOSA ELEV. • 162.13 o 166.40

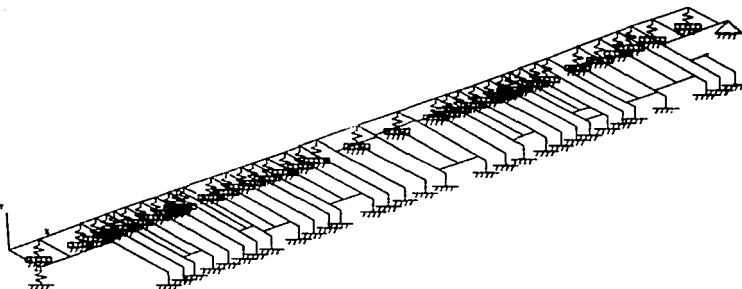
DATE: ABRIL DEL 1993



FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA

TYPE = SPACE  
NJ = 122  
NI = 140  
NE = 0  
NS = 70  
NL = 7  
KMA10 = 45.4  
TRNS = 0.0  
ZMA1 = 0.2



ENCL. ABA201

Hoja No 57

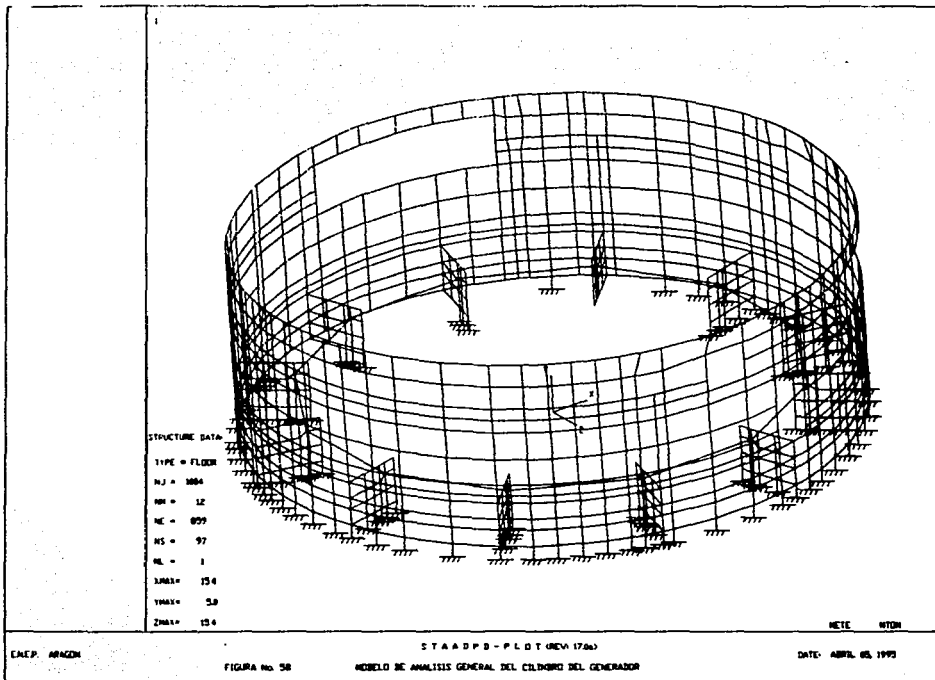
MODULO DE ANALISIS DE ESTRUCTURAS + 162'90" = 167'20"

STAAD.PLOT (REV. 17.00)

NETE NTEH

DATE: APR 05 1995

# FALLA DE ORIGEN



## **CAPITULO V. ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ENLACE.**

La Estructura de Enlace es la unión entre la Caverna Estructural y el Cuerpo principal de la Casa de Máquinas ( ver figura No. 59 y No. 61 ). Se desplanta a la Elev. + 157.90 y su altura máxima coincide con la de la Cubierta de Casa de Máquinas ( Elev. prom. + 172.40 ). Dicha Estructura se encuentra ubicada entre los ejes principales longitudinales de la Casa de Máquinas F, H e I y entre los ejes transversales 10 y 11. Sobre los ejes F y H se encuentran ubicados los marcos principales de la Estructura, integrados por columnas de sección variable que soportarán el sistema de cubierta formado por traveses metálicas que cubren el claro existente entre ambos ejes. Estos ejes coinciden con los ejes de los rieles de la grúa viajera que en la Caverna Estructural y la Casa de Máquinas se encontrarán en ménsulas localizadas a todo lo largo de ambos muros laterales, sin embargo, en la zona de enlace estos rieles serán soportados mediante traveses metálicas montadas sobre ménsulas construidas sobre cada una de las columnas.

Entre los ejes H a I a la Elev. + 157.90 se desplantarán muros de tabique divisorios para conformar la zona de sanitarios y regaderas, estos muros quedarán perimetralmente conformados por muros de concreto sobre los ejes 10 y 11, y un muro en el eje I que funcionará como un muro tapón del acceso provisional a la Caverna: a las Elevs: + 162.15 y + 166.40 se encontrarán las áreas destinadas a Sala de Juntas y oficinas respectivamente y en la Elev. + 170.00 el piso operación de compuertas, el cual se extiende hasta el eje J para dar ubicación al riel exterior de la grúa pórtico que opera las compuertas del desfogue.

Sobre el eje 11 se encuentra ubicado el arranque del portal de la Caverna Estructural el cual tiene una extensión de 10.0 m dentro de la Caverna y queda ligado a la estructura de enlace mediante una trabe frontal de concreto que se encuentra apoyada en los extremos sobre las columnas que coinciden con este eje, dicha trabe cubre el arco de la caverna a partir de la Elev. + 170.90 ( ver figuras No. 60, No. 61 y No.63 ).

### **V.1 ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO**

Para el análisis de la estructura se empleo un modelo tridimensional mediante líneas de miembros para idealizar contrarribas columnas y traveses, por otra parte se empleo elementos placa para crear los diferentes muros que integran la estructura. El modelo empleo el paquete de análisis STAAD-III ( ver figura No. 62 ).

### **V.1.1 ESTRUCTURACION.**

La estructuración propuesta se encuentra integrada básicamente de contratraves de cimentación, columnas de sección variable ( de acuerdo a los requerimientos geométricos de circulación de la grúa viajera como se muestra en la figura No.59 ), traves de concreto, traves metálicas formando la cubierta principal, losas macizas ( zona de salas de juntas, oficinas y piso de Operación de compuertas ) y muros de concreto, uno de ellos anclado a la roca adyacente ( muro eje 11 ).

Existe una trabe metálica independiente de la estructura cuya función principal es la de trabajar como trabe carril para la grúa viajera. La trabe se apoyará en ménsulas dispuestas en las columnas sobre los ejes F y H. La finalidad de la trabe metálica es poder ser desmontable cuando se requiera.

Por otra parte, la existen de una trabe frontal que permite cubrir adecuadamente la bóveda de la caverna (ver figura No. 63).

La elección de este tipo de estructuración se debió para salvar los siguientes problemas que se presentaron, el primero fue que la estructura de enlace sobre el eje 10 se encuentra al borde del foso donde se levanta la estructura de Casa de Maquinas, en este borde no podemos garantizar una rigidez de la roca muy favorable por lo que al desplantar las columnas sobre el eje mencionado, deberán ligarse sobre los ejes F y H mediante contratraves que puedan soportar la condición desfavorable de apoyo ( ver figura 59 ).

Estas columnas destinadas a soportar el sistema de cubierta reciben además la descarga de la trabe carril metálica para la grúa viajera durante la etapa de construcción por lo cual obliga a variaciones en su sección transversal.

En cuanto a la cubierta, se busca un sistema que no requiera de obra falsa en su construcción y que no tenga un peso excesivo al realizar el montaje con el equipo existente en obra, por lo que se optó por diseñar traves metálicas.

Por otra parte la construcción del muro eje 1 proporcionará la estanqueidad requerida ante los niveles máximos de agua en la etapa de operación del desfogue.

### V.1.2 CONDICIONES DE APOYO.

La retícula inferior integrada por contratraves y líneas de desplante de muros se considera apoyada sobre resortes en cada uno de los nudos que se subdividen a dichos miembros, verificando que estén sometidos a compresión, con una rigidez equivalente al modulo de reacción de la roca por su área tributaria.

Todos los resortes se verificaron que estuvieran sometidos solo a compresión, en caso que existieran resortes sometidos a tensión, se cancelo y se volvió a correr el modelo.

La trabe frontal del portal de la caverna se encuentra simplemente apoyada en las columna C-3 del eje 11, y ligada lateralmente al ademe del concreto de la caverna. El ademe se encuentra autoportado, por lo que la trabe frontal sólo funciona como tapa de la Caverna. La liga entre ademe de concreto de la Caverna y la trabe frontal, proporcionara sujeción lateral a la estructura de enlace en el sentido longitudinal de Casa de Máquinas, esta sujeción no resulta importante debido a que la columna C-3 del eje F se encuentra sujeta mediante una losa que cubre al transformador auxiliar adyacente. En el modelo de análisis las restricciones proporcionadas por sistemas de anclaje, muros, la bóveda de la Caverna y la losa del transformador serán idealizadas mediante resortes y apoyos fijos cuyas reacciones deberán de ser resistidas de manera adecuada por el sistema en cuestión.

### V.1.3 CARGAS CONSIDERADAS.

#### CARGAS PERMANENTES

Se considerarán las correspondientes al peso propio de los elementos que forman al modelo de la estructura.

#### CARGAS VIVAS

ZONA	CARGA VIVA (Kg/m2)	psf
Cubierta	250	(50)
Losa Elev. + 170.00	1500	(300)
Losa Elev. + 166.40	500*	(100)
Losa Elev. + 162.15	500*	(100)

\* Se tomara el peso de la losa superior apoyada sobre la losa inferior debido al proceso constructivo.

## PESOS DE EQUIPO

Se tomo el tren de cargas máximas de la grúa en condiciones de servicio ( ver capitulo IV.1.3 cargas consideradas ).

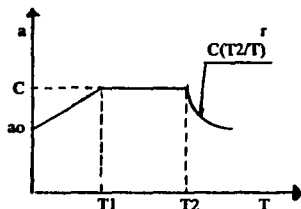
## CARGAS ACCIDENTALES

Como cargas accidentales se considera el efecto del sismo, viento y la presión hidrostática producto del nivel máximo en el desfogue con la avenida máxima de diseño.

Para efecto del sismo se utilizara la regionalización sísmica de la República presentada en el manual de C.F.E. ubicando a la estructura en la zona B terreno firme. Se realizó el análisis sísmico estático y dinámico.

Como índice de la acción de diseño se empleo el coeficiente sísmico  $C=0.16$ . Por su importancia para estructuras de este tipo se incrementará el valor de C en un 30% indicado en el Manual de Diseño de obras civiles de C.F.E. el factor de ductilidad fue de 2 por tratarse de una estructura regular.

El espectro de diseño sísmico es el especificado por el manual de C.F.E. cuya forma es la siguiente:



Donde:

$a$  = Ordenada Espectral.

$a_0$  = Ordenada Espectral para  $T = 0$

$C$  = Coeficiente sísmico básico.

$r$  = Exponente Dimensional.

$T$  = Periodo Natural de Estructura en segundos.

$T_1, T_2$  = Periodos Naturales que definen la forma del espectro, en segundos.

los valores para el diseño sísmico son.

Zona sísmica	Tipo de suelo	c	ao	T1	T2	r
B	I	0.16	0.03	0.30	0.8	1/2

Las ordenadas espectrales también se multiplicaron por 1.3

Para el análisis por viento se utilizará la regionalización especificada en el manual de C.F.E. la estructura se localiza en la zona 2 con una velocidad de viento de diseño de 150 km/h.

La velocidad básica del viento  $V_B$ , se obtiene a partir de la velocidad regional de acuerdo con la expresión.

$$V_B = K V_R$$

Donde:

$K$  = Factor que depende de la topografía del sitio = 1.20

La velocidad del viento  $V_Z$  varía con la altura del terreno. para fines de diseño se supondrá que la velocidad del viento a la altura  $Z$ , está dada por las expresiones:

$$V_Z = V_B \left( \frac{Z}{10} \right)^x \quad \text{para } 10 < Z < \&$$

$$V_Z = V_B \quad \text{para } Z \leq 10\text{m}$$

$$V_Z = V\& \quad \text{para } Z \geq \&$$

Donde:

$Z$  = Altura a donde se aplica el viento en m.

$\&$  = Altura gradiente, esta en función de la topografía del lugar ( tabla 1.4 Manual C.F.E. ) en m.

$x$  = Factor que depende de la topografía del lugar ( tabla 1.4 Manual C.F.E. )

Para obtener la velocidad de diseño  $V_D$ , se tomara el efecto de ráfaga en la estructura multiplicando la velocidad de viento  $V_Z$  por el factor de ráfaga  $FR$ .

$$V_D = FR V_Z$$

Donde:

$FR = 1$  Por tratarse de una estructura tipo 1 ( según Manual de C.F.E. )

El efecto del viento se aplicó a la estructura como una fuerza distribuida sobre una área expuesta, dicha fuerza se supuso perpendicular a la superficie en que actúa y su valor por unidad de área se calculó de acuerdo a la expresión.

$$P = 0.0048GCVD^2$$

Donde:

P = Presión o succión del viento en kg/cm<sup>2</sup>.

C = Coeficiente de empuje ( sin dimensiones ).

VD = Velocidad de diseño en km/h.

G =  $\frac{8+h}{8+2h}$  Factor de reducción de la densidad de la atmósfera, a la altura h (en km) sobre el nivel del mar.

Para la presión Hidrostática que se utilizó para diseño fue el nivel máximo correspondiente al nivel del río cuando el vertedor está derramando con la avenida máxima de diseño y se encuentra la Elev. + 168.70.

Para la sub-presión se analizó la zona de baños y regaderas nivel Elev. + 157.90 para el nivel MAXIMO del agua durante la avenida de diseño.

#### V.1.4 COMBINACIONES DE CARGA.

Las combinaciones utilizadas para el análisis y diseño de la estructura de enlace se basaron en las recomendadas en el reglamento A.C.I.

1.4 Carga Muerta + 1.7 Carga Viva + 1.4 Peso Máximo de la Grúa ( posición variable )

1.1 Carga Muerta + 1.1 Carga Viva + 1.1 Presión nivel Máximo.

1.1 Carga Muerta + 1.1 Carga Viva + 1.1 Peso Prop. de Grúa ( posición variable ) + Sismo



## **V.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE ENLACE.**

Para el análisis de la estructura se ha construido un modelo tridimensional a base de miembros barra y elementos placa. Las columnas trabes y contratraves de los ejes F y H que forman marcos en esta dirección quedarán perfectamente representados por líneas de miembros, así también las trabes metálicas perpendicularmente a los marcos anteriormente indicados sólo trabajarán como puntales simplemente apoyados. El sistema de techo se considerará un diafragma rígido ya que éste cuenta con una capa de compresión de 15 cm de espesor.

Los muros y la losa colada en sitio entre los ejes H e I se trazaron como elementos placa representados en el modelo por medio de elementos finitos.

Las ménsulas de las columnas principales, se idealizaron en intermedios de las columnas donde estarán aplicadas las cargas correspondientes de la grúa. Por otra parte será posible tomar en cuenta en el modelo las excentricidades producto de la variación de la sección transversal de las columnas ya que producen momentos adicionales en estos miembros.

Para las ménsulas que soportan la trabe del riel ubicada entre los ejes I y J a la Elev. + 170.00 se considerará su análisis y diseño por separado pero las cargas más desfavorables se aplicaron en los nudos del modelo de análisis que representan al muro donde se apoyan.

El análisis se realizó tomando en cuenta la interacción suelo-estructura. Esto se logró considerando en el modelo a la retícula de cimentación soportada por medio de resortes con una rigidez igual al módulo de reacción de la roca = 1152 kg/m<sup>3</sup> ( Valor proporcionado por el especialista en geotécnia del proyecto ), multiplicado por su área tributaria correspondiente.

Para el análisis de este modelo tridimensional formado de barras y elementos placa se empleo el paquete de análisis STAAD-III (ver figura No.62). Realizándose un método estático y dinámico, utilizando el espectro de diseño determinado en el capítulo V.1.3.

### **V.3 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE ENLACE.**

El diseño de sus miembros fue por "Resistencia" Como se explica en el capítulo 8 del manual A.C.I. "ANÁLISIS Y DISEÑO"

El diseño del refuerzo para los miembros se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más critica durante el análisis, se tomo en cuenta las consideraciones diversas de cargas a fin de determinar la condición de diseño más critica.

El diseño de columnas de concreto armado fue el de elementos sometidos a flexocompresión por el método de resistencia última según el reglamento A.C.I, para cada una se realizó un diagrama de interacción por compatibilidad de deformaciones de acuerdo a las hipótesis 10.2 del reglamento A.C.I. Partiendo de una cuantía mínima.

Si los elementos mecánicos actuantes en las columnas eran mayores a los resistentes obtenidos del diagrama de interacción con la cuantía mínima, se aumento la cuantía de acero hasta obtener una resistencia adecuada.

Adicionalmente se debió cumplir con los principios y requisitos generales del capítulo 10 del reglamento de construcciones A.C.I. en lo referente a elementos sujetos a flexocompresión.

Finalmente se revisaron los desplazamientos sobre todo los restringidos por el fabricante de los carros para la grúa carril.

El diseño del refuerzo para los miembros de traves y contratraves se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más critica durante el análisis.

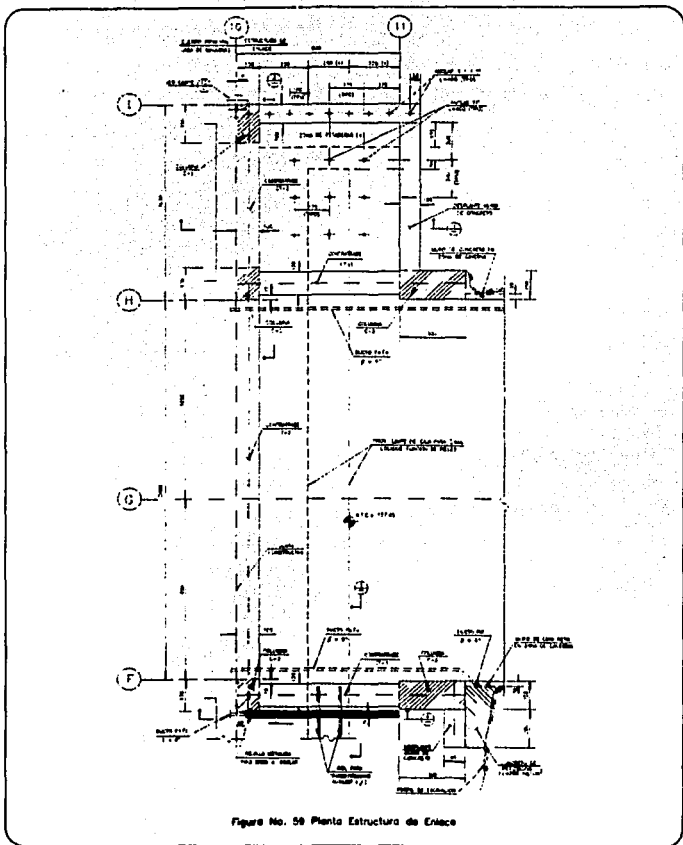
Para la revisión de deflexiones que se presentaron en las traves y contratraves del modelos, se siguieron los lineamientos especificados en el inciso 9.5 "CONTROL DE DEFLEXIONES". Para lo cual se obtuvieron las deflexiones inmediatas por el método elástico, para la sección agrietada se determinaron las deflexiones diferidas y la suma de ambas dio la deflexion total, la deflexion total obtenida se comparo con las deflexiones máximas permitidas que establece la tabla 9.5b del manual de construcciones A.C.I. ( ver figura No. 64 ).

Se reviso que el cortante actuante último fuera menor que la suma de cortante resistente calculado con la sección transversal del muro y el proporcionado por el acero de refuerzo, capítulo 11 del Reglamento A.C.I.

Las vigas I metálicas de la cubierta se diseñaron por esfuerzos permisibles o diseño elástico. De acuerdo a lo especificado en el manual AISC 1987 y el manual IMCA.

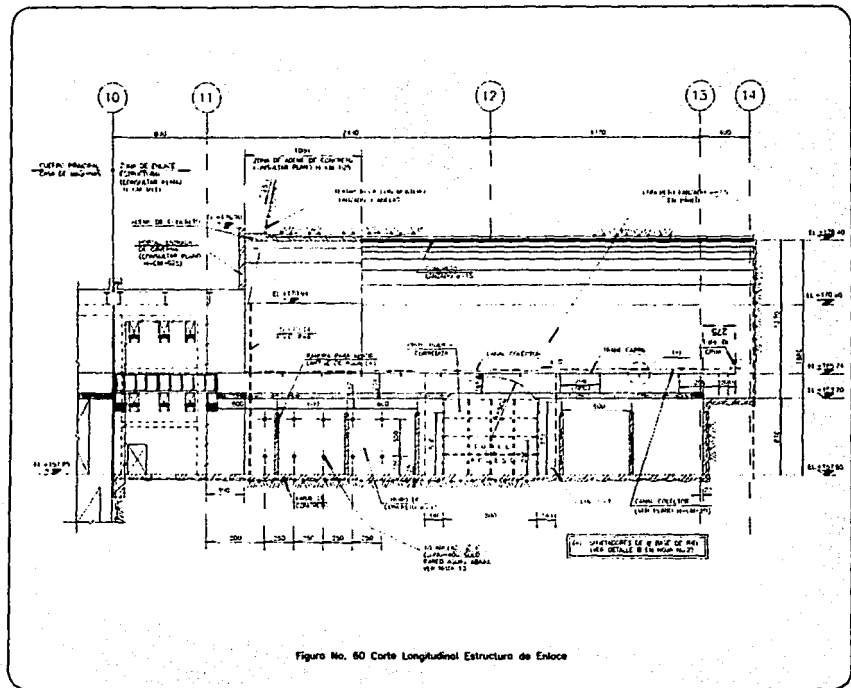
Para el porcentaje de refuerzo requerido por contracción y temperatura, que recomienda para varilla corrugada o malla soldada de alambre ( corrugado o liso grado 42 ) fue 0.0018 ( el cual se utilizo para el concreto a compresión de la cubierta ).

Para la revisión por deflexión se tomo el parámetro especificado en el manual IMCA sección 1.13.1



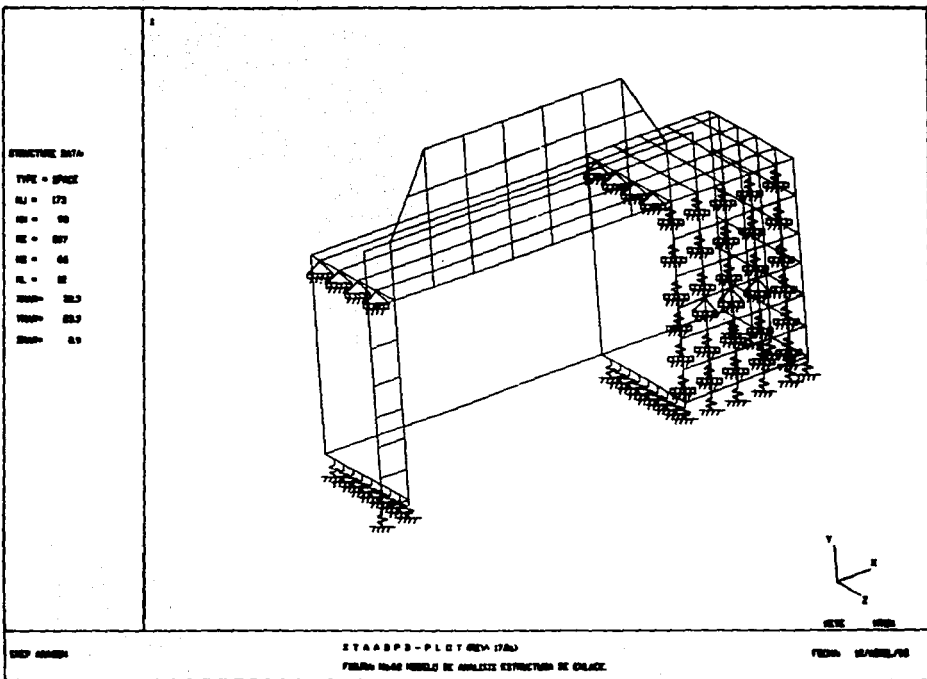
FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN





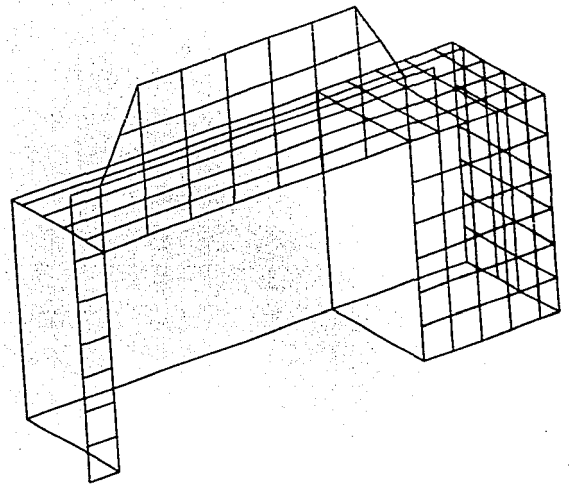
# FALLA DE ORIGEN



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

DATA ON OPEN

STRUCTURE DATA  
TYPE = SPACE  
NJ = 179  
NE = 99  
NC = 207  
NL = 66  
NL = 12  
NSM = 253  
NSP = 253  
NSM = 69



END DATA

STAADPLOT GEN 17.00  
PROGRAM HIGHER LEVEL OF ANALYSIS STRUCTURE OF BRIDGE.

FILED 10/10/78



(1) EL ESPESOR TEORICO DEL  
ADEMÉ SERA DE 30CM.  
CUANDO NO HAYA RESPALDO  
DE ROCA PARA EL ADEMÉ,  
EL ESPESOR SERA 50CM.

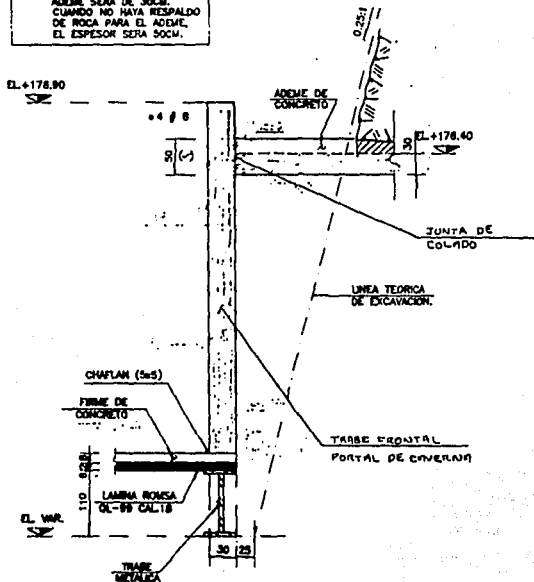


Figura No. 63 Trabe Portal en la Caverna Estructural

FALLA DE ORIGEN

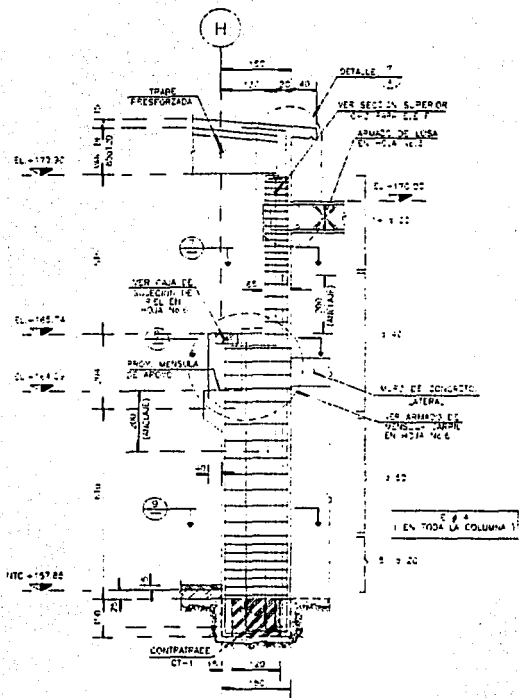


Figura No. 64 Armado de Columnas en Estructura de Enlce

FALLA DE ORIGEN

## **CAPITULO VI. ANALISIS Y DISEÑO DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.**

Una necesidad requerida durante la etapa de montaje, fue adicionar un cuerpo secundario, a la estructura principal de Casa de Máquinas, la solución más viable fue adosar la playa de montaje dentro del macizo rocoso, al nivel del piso principal Elev. + 157.90 ( ver figura No. 4 ).

La caverna debería tener la capacidad de estabilidad natural de la roca tanto de paredes como del techo de la bóveda, formando un arco de 14.36 m de radio partiendo de la Elev. + 162.04 siendo este en función del ancho de la caverna y la estabilidad de la misma.

El ancho de la caverna está en función del espacio requerido por el patio de operaciones siendo este de 20 m (libres) , En un corte vertical las paredes de la roca se encuentra en función del nivel de la trabe carril a la Elev. + 163.70, más la altura necesaria para la operación de los carros de la grúa viajera Elev. + 170.90, en el nivel Elev. + 163.70 la caverna tiene un corte horizontal sobre la roca de un metro (ver figura 67 ).

En la etapa de operación y montaje de las unidades, la caverna debería de alojar la trabe carril que corre sobre los ejes F y H. Por lo que las paredes se reforzaron con un muro de concreto armado, y para evitar posibles caídos de roca la bóveda se cubrió de una losa de concreto armado que seguía el arco de la bóveda de espesor de 30 cm, mismo considerado en las paredes de la roca desde la Elev. + 163.70 hasta la Elev. + 170.90.

La caverna estructural se conecta con el cuerpo principal de Casa de Máquinas a través de la Estructura de Enlace. Debido al corte desfasado de la roca, el muro estructural sobre el eje F conectado a la Caverna Estructural con la Estructura de Enlace se encuentra aproximadamente 5.00 m fuera de la Caverna Estructural siendo el espesor de dicho muro de 1.50 m. Además a la altura del riel de la grúa carril Elev + 165.74 y sobre eje F se encuentra una losa de concreto armado que sirve para cubrir la zona de transformadores.

Entre la unión de la techumbre de la Estructura de Enlace y el arco de la Caverna Estructural para cubrir la diferencia de altura se colocó una trabe frontal de concreto armado de 5.70 m de altura y 45 cm de espesor.

La entrada principal a la Casa de Maquinas es mediante un túnel de acceso que conecta la entrada con la Caverna Estructural. El túnel de acceso se realizó de 8.00 m de ancho y en forma de arco, debido al corte entre túnel de acceso y caverna estructural es necesario reforzar esa esquina con columnas adosadas en la roca (ver figuras No 65 y No 66), y consolidar el túnel hasta 5.00 m de profundidad mediante muros y bóveda de un espesor de 20 cm.

#### **VI.1 ASPECTOS RELEVANTES DEL ANALISIS Y DISEÑO DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.**

El análisis de la caverna estructural empleó tres tipos de modelos, uno plano mediante líneas de ancho unitario donde se idealizó la trabe carril ( ver figura No. 69 ). Un segundo modelo tridimensional de elementos placa entre la caverna y el túnel de acceso a Casa de Máquinas, en donde se idealizaron los muros de la caverna mediante elementos placa hasta unos 10 m a ambos lados del marco de acceso y 5.00 m de profundidad hacia adentro del túnel, como la carga soportada por el modelo era la de la grúa carril para el paso de la misma sobre el modelo se adicionaron elementos barra simulando la trabe carril y las columnas que forman el marco entre el acceso y caverna estructural ( ver figura No. 70 ).

El último modelo se realizó en forma tridimensional y se creo mediante elementos placa, donde se trató de idealizar 5.00 m de las paredes y arco de los muros y bóveda de concreto estructural, que se encuentran fuera de la caverna estructural, y 5.00 m dentro de la misma, El muro chapa se idealizó a manera de elemento barra (ver figura No. 71 y No 72).

El método de los modelos tridimensionales es mediante elementos finitos y líneas de miembros se utilizó el paquete STAAD-III.

## **VI.1.1 ESTRUCTURACION.**

El piso de la Caverna Estructural es una losa de espesor variable de 25 cm. en el centro y de 20 cm. en los extremos de la misma, este piso también se encuentra en la zona de enlace y a los 5.00 m dentro del túnel de acceso. El soporte del piso es directamente la roca de la base de la Caverna .

El espesor efectivo mínimo de los muros dentro de la Caverna Estructural determinado por el cálculo fue de 30 cm, y el espesor real, debido al corte vertical de la roca en las paredes, de 50 cm. Debido a la inestabilidad presentada por la roca sobre el eje H (aguas abajo), se necesitó la colocación de un patrón de anclas desde el talud del corte del terreno hasta 10 m adentro de la Caverna ( ver figura No. 66 ).

Sobre el eje F el muro fuera de la caverna estructural se determinó de 1.50 m de espesor requerido para dar rigidez a la trabe carril en esta zona, debido a los requerimientos de desplazamiento por parte de los fabricantes de la grúa carril fue necesario restringir a los mismos a valores de 2.50 cm, colocando una losa a la altura del riel de la grúa carril, que sirve de techo a la zona de transformadores.

El claro del túnel de acceso ( 8.00 m) debe salvarse reforzando el marco con columnas de concreto armado de dimensiones de 1.00 m x 1.00 m debido a los problemas que se presentaron al corte de la roca en unión de el túnel de acceso y la Casa de Máquinas, así como; la estructuración necesita de la altura libre mínima requerida por el gálibo ( 6.75 m ) dentro del túnel, el peralte real de la trabe carril debe disminuirse en una sección variables de 2.10 m a 1.66 m.

Para evitar posibles caídos de roca dentro de la playa de montaje se colocó una losa estructural en el portal de 30 cm de espesor, siguiendo la forma de arco de la bóveda, fuera de la zona de la caverna, el espesor del portal fue de 50 cm.

Los imprevistos caídos en la zona de unión de el túnel de acceso con la caverna estructural se evitaron recubriendo las paredes del túnel y el techo de la bóveda del mismo con muros y losa a espesor de 20 cm hasta una profundidad del túnel de 5.00 m.

## **VI.1.2 CONDICIONES DE APOYO.**

El piso fue sólo una losa de concreto armado, por ello, no existe cimentación especial en muros y columnas, debido a que dichos elementos estructuralmente no lo requieren porque la capacidad de la roca a la compresión es mayor a 100 ton/m<sup>2</sup> y al dividir las cargas provenientes de la estructura entre la capacidad de la roca, las dimensiones demandadas para la cimentación de los elementos eran menores que las de los elementos estructurales, en tanto, la base de los modelos fue considerada como apoyos simples.

El modelo plano en la base se consideró un apoyo simple, la restricción en los muros se considero apoyada sobre resortes en cada uno de los nudos, procurando estén sometidos a compresión, a una rigidez equivalente al modulo de reacción de la roca por su área tributaria. Si los resortes están sometidos a tensión, se cancelaron y se volvió a correr el modelo.

El modelo del portal en el túnel de acceso tiene un apoyo simple en la base, la contribución de los muros mediante resortes y la ayuda de anclas para tomar la fuerza lateral, ( el modelo incluye la estructuración dentro del túnel de acceso a caverna estructural con base de apoyos simples ) consideró la contribución de los muros mediante resortes con una rigidez equivalente al modulo de reacción de la roca por su área tributaria siguiendo para la verificación de los mismos el criterio antes mencionado.

El modelo del portal dentro de la zona de caverna se considera en la base como apoyos simples y resortes mediante anclas al nivel de la trabe carril. La rigidez de los resortes y la verificación de los esfuerzos equivale al modulo de reacción por su área tributaria.

### **VI.1.3 CARGAS CONSIDERADAS.**

#### **CARGAS PERMANENTES**

Las cargas permanentes son consideradas las correspondientes al peso propio de los elementos que forman los modelos de las estructuras.

Para los modelos de los portales en la zona de la caverna y el del túnel de acceso se considero una carga permanente de 5 ton/m<sup>2</sup>, repartida en forma uniforme sobre la forma de arco de los modelos, y aplicada en el sentido vertical esto es, debido a la dificultad de establecer el lugar donde hay posibilidades de caído. En el modelo del portal del túnel de acceso se considero la etapa de construcción hasta la trabe carril sin la bóveda.

#### **CARGAS VIVAS**

En ninguno de los modelos se considero carga viva, ya que la carga considerada para caídos supera a cualquier carga que se hubiese considerado.

#### **PESOS DE EQUIPO**

El tren de cargas de la grúa se considera para condiciones de servicio (ver capítulo IV.1.3 ), para el modelo del portal del túnel de acceso se estima la carga móvil de la grúa carril de 50 posiciones de carga diferentes.

#### **CARGAS ACCIDENTALES**

Las fuerzas accidentales de viento y sismo no se consideraron para los modelos; por que ya fueron especificadas en el modelo de zona de transición.

La Caverna Estructural se encuentra sometida a presión hidrostática para eliminar dicha presión se colocaron drenes de dimensiones 30 cm por 7.00 m de altura y a una separación de 5.00 m se dejaron drenes al pie de los muros que dirigen el agua hacia una tubería de drenaje fuera de Casa de Máquinas.

#### **VI.1.4 COMBINACIONES DE CARGA.**

Las combinaciones utilizadas en el análisis y diseño de la caverna estructural se basan en las recomendadas del reglamento A.C.I.

El modelo plano considera el peso propio de la trabe carril y la descarga de las ruedas de la grúa las que cayeran en un ancho de un metro.

**1.4 Carga Muerta + 1.4 ( 1.25 Peso Máximo de la Grúa ( carga móvil )**

Para el modelo a la entrada del túnel de acceso a casa de máquinas, se considero el peso propio de los elementos, más la descarga móvil de la Grúa para 50 posiciones diferentes de carga, más el peso de caídos en el túnel de acceso.

**1.4 Carga Muerta + 1.4 ( 1.25 Carga Móvil ) + 1.4 Caídos**

El modelo de el portal de Casa de Máquinas, se considero el peso propio de los elementos más el peso de caídos de la zona dentro de la caverna.

**1.4 Carga Muerta + 1.4 Caídos**



## **VI.2 DESCRIPCION DE LOS MODELOS DE ANALISIS DE LA CAVERNA ESTRUCTURAL.**

### **MODELO PLANO**

El modelo plano no considera la contribución de la caverna, ni de la fuerza de descarga debido a que la base de la estructura cae directamente a la roca ( ver figura No 69 ).

Los miembros del modelo se analizaron en forma independiente, primero la trabe carril considerando un resorte de ancla en la parte superior del modelo, esto con la finalidad de que dicha ancla tome las fuerzas de cabeceo de la trabe (cargas horizontales), se simularon resortes de roca en la cara que esta en contacto con el terreno, parte de la base de la trabe forma una mensula (40 cm), 30 cm de la misma caen en muro de concreto armado del mismo espesor, y 70 cm caen sobre roca, por lo que dicha zona se simulo con resortes de rigidez tanto de concreto y de roca multiplicando el módulo de reacción de la roca o concreto por su área tributaria correspondiente. Las cargas consideradas para este modelo fueron el peso propio de la trabe, la descarga de la grúa carril sobre un ancho unitario y las fuerzas horizontales, afectadas por su factor correspondientes.

La finalidad del modelo anterior, es determinar la carga real que baja por la columna de concreto de espesor de 30 cms por un ancho unitario, a partir de ello se analizó una columna de apoyos simples, tomando en cuenta su relación de esbeltez.

### **MODELO TRIDIMENSIONAL PARA EL MARCO A LA ENTRADA DEL TUNEL DE ACCESO.**

Para poder salvar el claro del túnel de acceso a Casa de Máquinas se creó un modelo tridimensional en donde se simuló los muros mediante elementos placa, las columnas y trabes se simuló con miembros barra, este modelo se analizó para la condición más desfavorable que es cuando se hayan construido los muros y trabe carril, y la grúa carril entre en operación.

Se colocaron 2 carros con las cargas respectivas por rueda ( ver capítulo IV.1.3 cargas consideradas ), se aplicó al modelo 50 posiciones diferentes de carros (carga móvil), se designó el peso propio de los miembros y elementos, y carga de caídos sobre los elementos que forman la bóveda de túnel.

Para la aplicación de las cargas horizontales se realizó una corrida adicional de las mismas 50 posiciones de carga, y debido a las restricciones del programa para aplicar a la vez tanto cargas verticales como horizontales ( móviles) el modelo utilizado fue el mismo pero en posición horizontal, finalmente se diseñó para la envolvente de los modelos, el modelo de fuerzas horizontales además restringió el desplazamiento horizontal mediante anclas de varilla del número 12 con separación de un metro, sobre el nivel de la viga carril ( ver figura 70 ).

#### MODELO PARA EL PORTAL DE CASA DE MAQUINAS

El modelo realizado fue tridimensional y simula mediante elementos placa los muros y el arco de la bóveda que cae fuera y dentro de la zona de Caverna Estructural, para el muro sobre el eje F se simuló solo el muro fuera de la caverna, el muro sobre el eje H no fingió muro ya que de acuerdo al corte de la roca sobre este el corte de la caverna se pone en contacto con la Estructura de Enlace, por lo que en este eje se aparentó en el modelo la pared vertical de la caverna que va desde la Elev. + 163.70 a la Elev. + 170.90, este mismo criterio se siguió en el muro sobre el eje F en la zona dentro de la Caverna Estructural.

La base del modelo consideró sus condiciones de frontera como apoyos simples que toman sólo fuerza vertical, a la altura del riel para la viga carril se colocaron unos apoyos simples, simulando la restricción de la losa que cubre la zona de transformadores.

La trabe frontal en el portal de la caverna fue simulada como un miembro sometido a fuerza de tensión para lo cual se dieron las propiedades del área de acero contenidas en un elemento de dimensiones de un metro en forma vertical por el ancho del muro.

El método de los modelos tridimensionales formados por barras y elementos placa se realizó con el paquete de análisis STAAD-III. El análisis fue estático ( ver figura No. 71 y No. 72 ).

### **VI.3 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA CAVERNA ESTRUCTURAL**

El diseño de sus miembros fue por "Resistencia" Como se explica en el capítulo 8 del manual A.C.I. "ANÁLISIS Y DISEÑO, consideraciones generales", el cual requiere de obtener las fuerzas y momentos últimos, y que las resistencias nominales calculadas se reduzcan por medio los factores de resistencia especificados.

El diseño del refuerzo para los miembros se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más crítica durante el análisis, se tomo en cuenta las consideraciones diversas de cargas a fin de determinar la condición de diseño más crítica.

El diseño de columnas, muros de concreto armado, la bóveda de la caverna y túnel de acceso fue como elementos sometidos a flexocompresión y flexocompresión biaxial por el método de resistencia última según el reglamento A.C.I, para cada una se realizó un diagrama de interacción por compatibilidad de deformaciones de acuerdo a las hipótesis 10.2 del reglamento A.C.I. Partiendo de una cuantía mínima.

Si los elementos mecánicos actuantes en los miembros eran mayores a los resistentes obtenidos del diagrama de interacción con la cuantía mínima, se aumento la cuantía de acero hasta obtener una resistencia adecuada.

Adicionalmente se debió cumplir con los principios y requisitos generales del capítulo 10 del reglamento de construcciones A.C.I. en lo referente a elementos sujetos a flexocompresión.

En los modelos tridimensionales se revisaron los desplazamientos sobre todo los restringidos por el fabricante de los carros para la grúa carril.

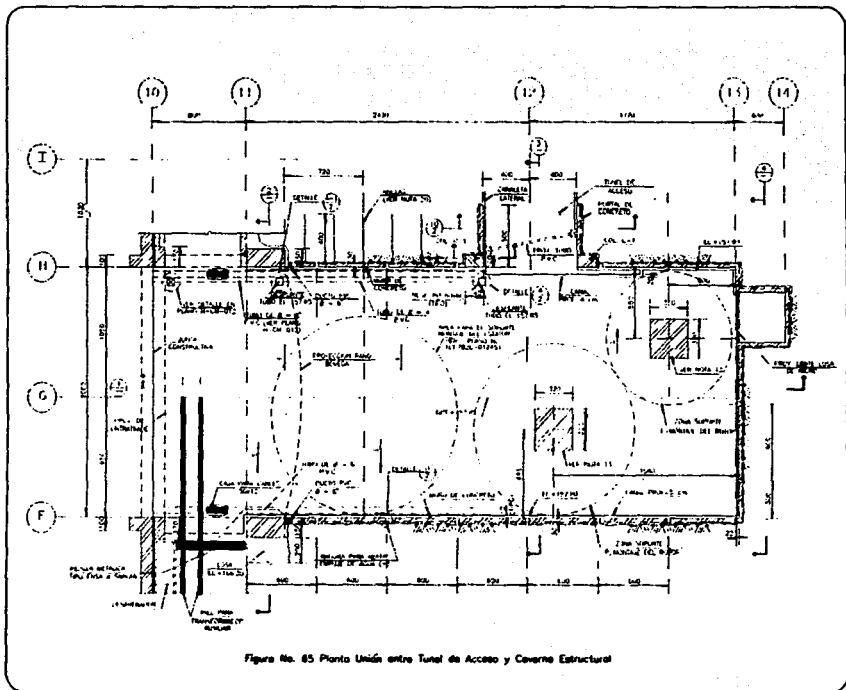
El diseño del refuerzo para los miembros de la trabe carril se determino de acuerdo a la combinación de carga que resulto más critica durante el análisis. Se diseño sus elementos a esfuerzos de flexión biaxial, y se revisaron a fuerza cortante y torsión, siguiendo los lineamientos dados en los capitulos 8 y 9 del reglamento de construcciones A.C.I.

Para la revisión de deflexiones que se presento en la trabe carril, se siguió los lineamientos especificados en el inciso 9.5 "CONTROL DE DEFLEXIONES", Para lo cual se obtuvieron las deflexiones inmediatas por el método elástico, para la sección agrietada se determinaron las deflexiones diferidas y la suma de ambas dio la deflexion total, la deflexion total obtenida se comparo con las deflexiones máximas permitidas que establece la tabla 9.5b del manual de construcciones A.C.I.

La losa de piso fue diseñada para esfuerzos de temperatura al estar la losa directamente en contacto con la roca y la distribución de esfuerzos al terreno es en forma directa de acuerdo a los requisitos del reglamento A.C.I. capitulo 7 "DETALLES DEL ACERO DE REFUERZO"

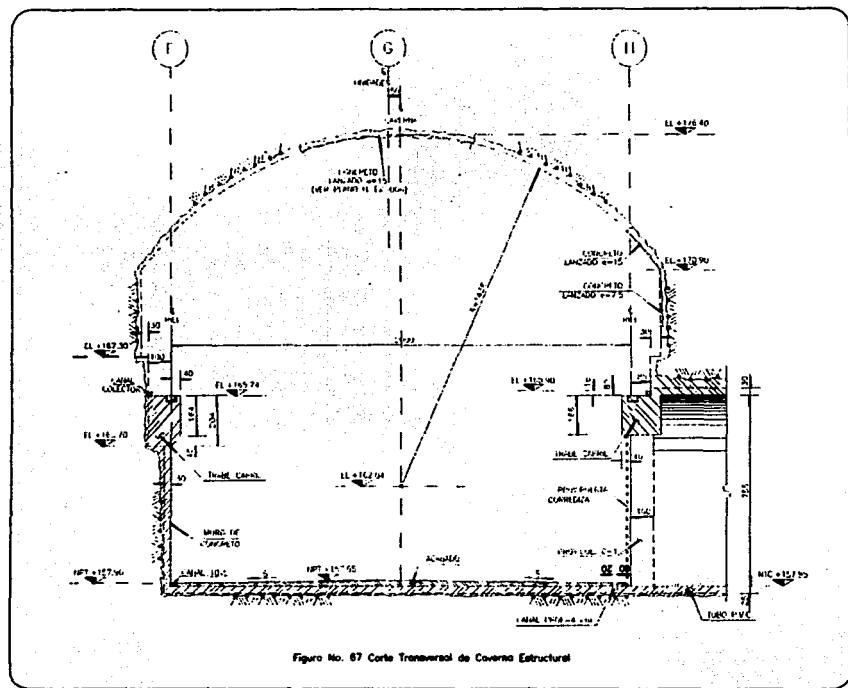
Se reviso que el cortante actuante último fuera menor que la suma de cortante resistente calculado con la sección transversal del muro y el proporcionado por el acero de refuerzo, capitulo 11 del Reglamento A.C.I. ( ver figura No. 73 y No. 74 ).

FALLA DE ORIGEN





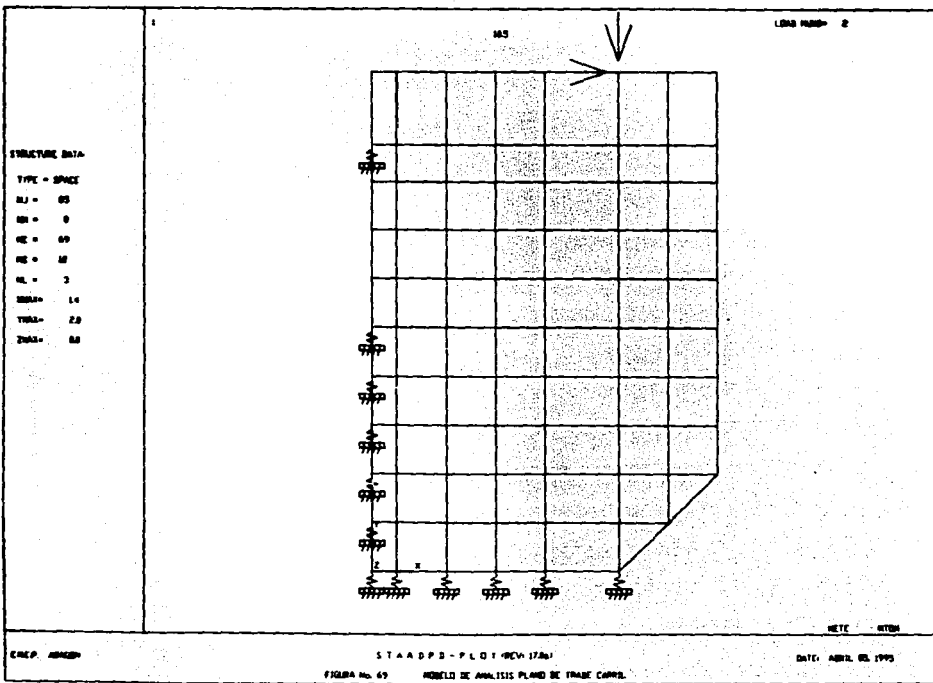
FALLA DE ORIGEN



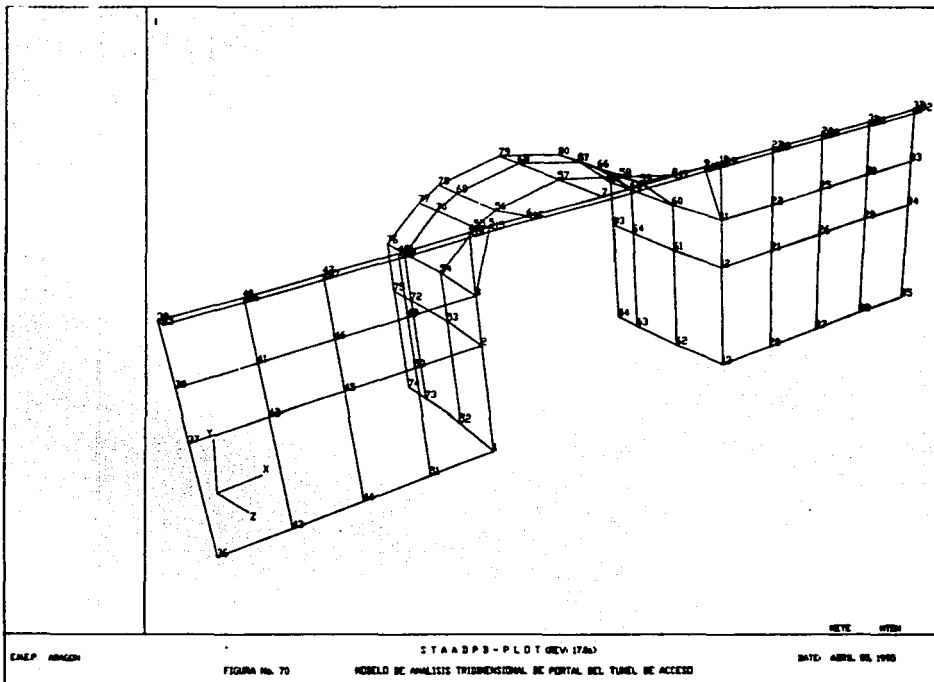




FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN



ENEP ARAGON

STAADPS - PLOT (REV. 17/6)

REV. 07/81

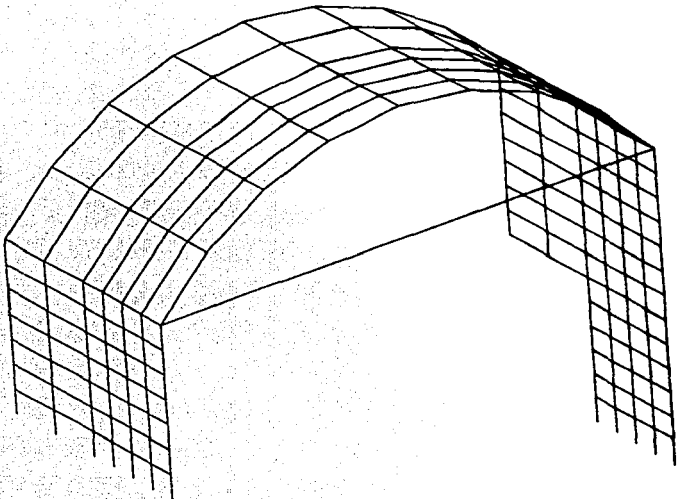
FIGURA No. 70

MODELO DE ANALISIS TRIDIMENSIONAL DE PORTAL DEL TUNEL DE ACCESO

DATE: ABRIL 88, 1988

FALLA DE ORIGEN

STRUCTURE DATA  
TYPE = SPACE  
NJ = 191  
NN = 337  
NE = 8  
NS = 182  
NL = 7  
ENMAX = 225  
YMAX = 18.7  
ZMAX = 11.0

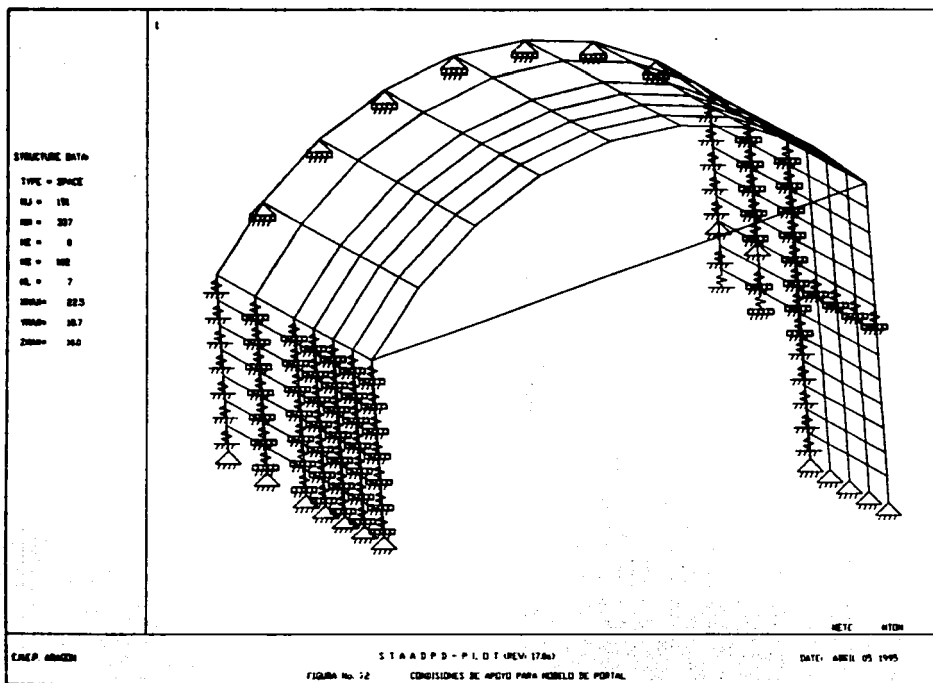


ENEP ARAZON

STAADP3-PL01 (REV. 17/81)  
FIGURA NO 71 PORTAL ENTRE LA TAVERNA Y ZONA DE TRANSICION

NETE 4780  
DATE: ABRIL DEL 1988

# FALLA DE ORIGEN



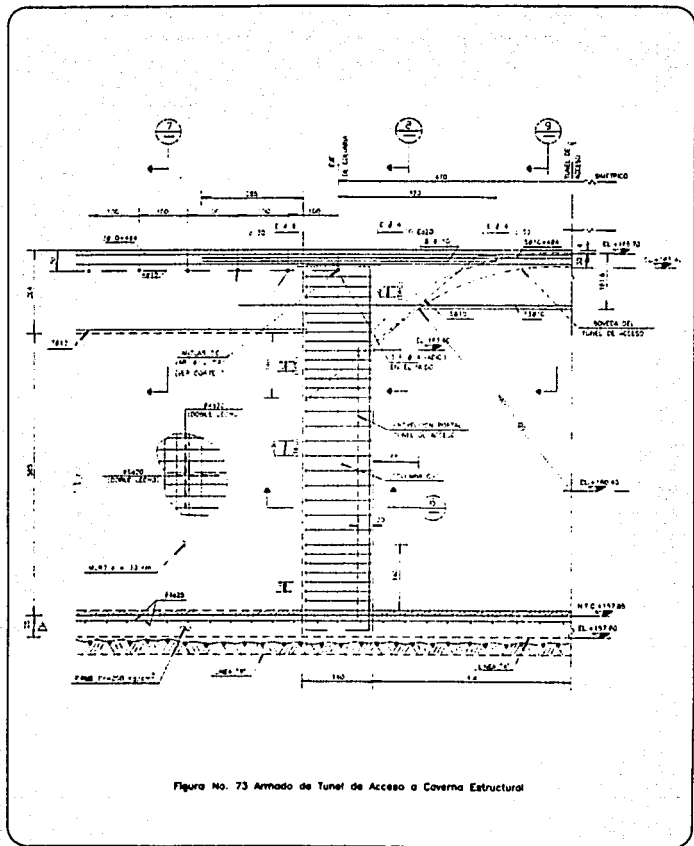
ENEP ARGEN

STAAD.P - P.L.O.T (REV. 17.06)

DATE: APRIL 05 1995

FIGURA No. 12

CONDICIONES DE APOYO PARA MODELO DE PORTAL



FALLA DE ORIGEN

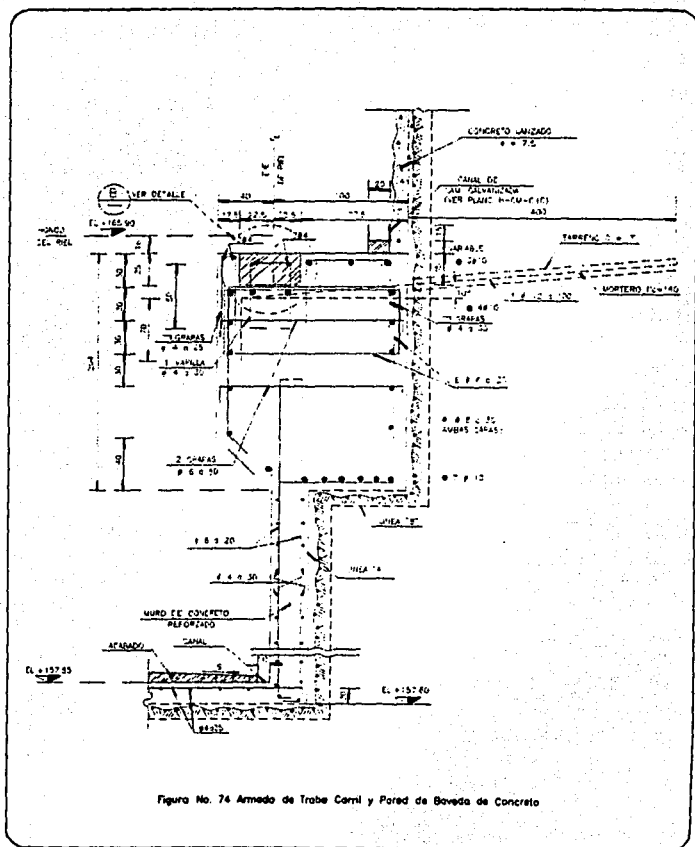


Figura No. 74 Armado de Trabe Corri y Pared de Boveda de Concreto

FALLA DE ORIGEN



## **CONCLUSIONES:**

El estudio de factibilidad inicial del Proyecto Hidroeléctrico fue desarrollado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ( S.A.R.H. ), el cual consistió en la construcción de una presa reguladora, con la finalidad de incorporar mediante la irrigación tierras cultivables de los estados de Sonora y Sinaloa, además de proteger de inundaciones a áreas de cultivo.

Debido a los escurrimientos del río Fuerte, la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), propone una modificación al proyecto inicial tratando de aprovechar los mencionados escurrimientos en generación de energía eléctrica, después de la aprobación del proyecto por ambas dependencias, la C.F.E. inicia los estudios de factibilidad de cada una de las obras componentes del Proyecto Hidroeléctrico Huites.

El plan nacional de suministro y generación de energía eléctrica comprendido en el periodo 1990 a 2000 y la planeación estratégica y económica deciden cubrir la demanda de Potencia instalada en la zona Noroeste del país, apartir del proyecto Hidroeléctrico Huites y a una serie de mejoras a centrales termoeléctricas.

El ferviente interés de la iniciativa privada en la participación de producción y distribución de energía eléctrica, llevan a la creación de la Ley de Servicio Público de la Energía Eléctrica en 1992, con la cual la C.F.E. pone en marcha dos programas piloto, para suministro y generación de energía eléctrica, el primero se desarrolla bajo el esquema de " Productor Independiente " Productores y distribuidores de pequeñas cantidades de energía eléctrica con inversión del 100% y el segundo bajo el esquema de " Proyecto llave en Mano " bajo el cual se encuentra el proyecto de Huites.

La captación de la inversión para el proyecto fue a través, de bonos en el mercado Europeo, el gasto público, parte del grupo constructor de la obra e incluso del proveedor del equipo electromecánico, todo pagado con la venta de energía durante los primeros años de operación de la Hidroeléctrica.

Huites representa un reto más de ingeniería respecto a proyectos de aprovechamiento integral de agua en México, la relación entre S.A.R.H. y la C.F.E. requería una constante comunicación entre ambas dependencias, tanto en los estudios de factibilidad, en la selección de los tipos de obras que componen al proyecto Hidroeléctrico, en la coordinación, la supervisión como el tiempo programado de construcción, ya que se requiere de una sincronización en los cálculos de gabinete, la programación de obra e información de geología y topografía del sitio, el interés de la obra consiste en el periodo programado de construcción de la misma, la altura de la cortina de 166 m que la ubica entre las más altas del país, el gasto de diseño de la obra de excedencias y los volúmenes de obra manejados.



La ubicación de la cortina aprovechó las características morfológicas de la boquilla de Huites, los estudios de factibilidad de cada una de las obras componentes del proyecto hidroeléctrico se realizaron cubriendo los requisitos técnicos y económicos de las mismas.

La localización de Casa de Máquinas del proyecto hidroeléctrico, los niveles de desplante y los niveles estructurales se estudiaron apartir de las características geológicas del terreno, de igual manera el tipo de obra de toma y la velocidad requerida para el óptimo funcionamiento de los generadores.

La selección del tipo de estructura de la Casa de Máquinas debería satisfacer los requerimientos de huecos para el paso de tuberías y equipo, además restringir los desplazamientos a valores permisibles tanto por el reglamento de construcciones como los del fabricante de equipo y grúa viajera. El sistema de elementos seleccionados en la formación de la estructura deberían ser lo suficientemente rígidos para soportar una serie de fuerzas, cargas y eventos accidentales durante las etapas de construcción y trabajo normal. El modelo general de la estructura se idealizó mediante muros y lozas de concreto armado con las dimensiones requeridas al satisfacer las restricciones a desplazamiento y los esfuerzos mecánicos de trabajo a los que se sometió dichos miembros estructurales.

Debido a la velocidad de construcción del proyecto hidroeléctrico Huites el método constructivo seleccionado en los muros fue el conocido como cimbra deslizante, implicando, así, que el análisis general del modelo de Casa de Máquinas fuera realizado además de trabajo normal para diferentes etapas de construcción.

Las condiciones de apoyo en el modelo general de aquellos elementos en contacto con la roca circundante se realizó a través de resortes de rigidez, al igual que la subestructura.

Las cargas vivas sobre las plantas de nivel consideradas en el modelo son las recomendadas por el reglamento de construcción USBR, el peso de la carga muerta es considerado por el paquete de análisis apartir del peso propio de los miembros y elementos que forman el modelo. El valor de las cargas móviles fue proporcionados por el fabricante de la grúa viajera, en el caso de la trabe carril, y las requeridas por las normas ASHTO en el caso de vehículos, las fuerzas accidentales y las combinaciones de carga se basaron en las recomendadas por el reglamento de construcciones ACI.

**Respecto a la magnitud de la estructura y el avance en la construcción de obra, el análisis general de la Casa de Máquinas se idealizó de dos maneras, trabajadas simultáneamente; en primer lugar el modelo general de Casa de Máquinas sometida a cargas y fuerzas de gravedad y cargas accidentales en este tipo de análisis se simularon dos tipos de estructura la primera mediante elementos finitos y la segunda se representó en miembros barra, los modelos se analizaron para trabajo normal y diferentes etapas de construcción, la segunda se realizó el análisis local de cada uno de los elementos de la estructura, estas se idealizaron mediante elementos finitos o miembros anchos representando elementos barra.**

**El proyecto Hidroeléctrico Huites se compone de un cuerpo principal y de un cuerpo secundario adosado dentro de una caverna, entre ambos cuerpos existe un elemento de conexión conocido como estructura de enlace. El modelo empleado en dicho cuerpo es un modelo independiente al del cuerpo principal, el análisis de su estructura se idealizó a partir de miembros barra, aplicando sus propias condiciones de apoyo, restricciones a desplazamiento, las fuerzas accidentales, cargas y las combinaciones de carga.**

**Conforme a los requerimientos, de dimensiones mínimas necesarias, de la playa de montaje de la Casa de Máquinas del proyecto hidroeléctrico, fue necesario ampliarse hacia adentro del cerro adosado a una de las paredes del cuerpo principal. El análisis de los modelos de Caverna Estructural se realizó en forma local.**

**Por otro lado, el diseño de miembros y elementos de cada uno de los modelos locales componentes de la Casa de Máquinas o el análisis global de la misma se elaboraron de acuerdo a la relación de carga que resultara más crítica durante el análisis, con ello el proceso sometió a los modelos a más de una combinación de carga, por lo que generalmente se diseñaron miembros y elementos sometidos a varios efectos de carga, en cuanto al diseño de miembros y elementos de concreto reforzado se basó en el llamado diseño por resistencia fundamentado en los criterios de construcción del reglamento ACI Los miembros y elementos de acero estructural se basaron en esfuerzos permisibles siguiendo los criterios del reglamento de construcción de American Institute Steel Construction (AISC)**

**Aún cuando existen diseños de los modelos por computadora el de estructuras hidráulicas requiere de un diseño en forma tradicional por lo que se requieren aplicar ciertos criterios al respecto.**

**El ingeniero recién egresado requiere de formar criterios con respecto al análisis de modelos y aprender el uso del manejo de programas en computadoras, dos retos que debe afrontar si su objetivo es trabajar en obras hidráulicas.**

Las expectativas del proyecto frente a la crisis económica de 1995, son muy favorables ya que el mismo se encuentra en un avance de obra del 80% y se pretende la finalización de la obra en el mismo año, respecto a la inversión, la gran mayoría es parte de la iniciativa privada de capital foráneo, así la finalización programada de obra no deberá de sufrir cambios por dicho concepto.

Las necesidades de energía eléctrica para una población en constante crecimiento y el desarrollo de la nación son cada vez mayores, los gastos de la federación en la elaboración y construcción de proyectos en la materia es cada vez más fuerte, cuya demanda comienza a recurrir a las aportaciones de la iniciativa privada, baste mencionar que en el año 2010 la demanda de energía eléctrica será el doble de la generada en 1994.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- Libro: Obras Hidráulicas, Autor: Torres Herrera, Editorial: Limusa.**
- Libro: Presas de Tierra y Enrocamiento, Autor: Raúl J. Marshall y Daniel Resendiz Nuñez, Editorial Limusa**
- Libro: Diseño de Presas Pequeñas, Autor: U.S. Department of the Interior, Editorial C.E.C.S.A.**
- Libro: Recursos Hidráulicos Planeación y Administración, Autor Otto J. Helweg, Editorial Limusa.**
- Libro: Tratado básico de Presas, Autor: Dr. en I. Eugenio Vallarino, Editorial: Paraninfo S.A.**
- Libro: Manual de Diseño de Obras Civiles, Autor: Comisión Federal de Electricidad, Edición 1979 y 1981, Fascículo a.1.3. Diseño por Sismo.**
- Libro: Reglamento de Construcciones de Estructuras de Concreto, Autor: American Concrete Institute ( A.C.I. ), Edición:1989 y Comentarios.**
- Libro: Manual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, Edición 1989 y Comentarios.**
- Libro: Manual del Bureau of Reclamation ( U.S.B.R. ), Edición: 1951.**
- Libro: Reglamento del American Institute Steel Construccion ( A.I.S.C. ), Edición: 1987**
- Libro: Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado, Autor: Francisco Robles y González Cuevas, Editorial: Limusa.**

## **HEMEROGRAFIA:**

- Revista Mexicana de la Construcción, No 464, Autor: Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, Fecha de Emisión: Septiembre de 1993.**
- Revista Mexicana de la Construcción, No 472, Autor: Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, Fecha de Emisión: Mayo de 1994.**