C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

En Hermosillo, Sonora se construyó una obra que lleva por nombre Palacio de los Deportes *HEROES DE CANANEA* que a su vez se denominó Centro de Usos Multiples (C.U.M.).

En esta obra de gran magnitud, se presentó un problema en el área comprendida por la Casa de Máquinas, la cual tiene una cimentación independiente de la cimentación principal del C.U.M., esta cimentación está desplantada sobre un terraplén de seis metros de espesor.

El problema se dió al reflejarse las fallas en los muros divisorios, los cuales se tuvierón que demoler inmediatamente, también se observaron asentamientos considerables en los pisos a los lados de la cimentación.

Las fallas se originaron cuando el área comprendida por esta cimentación se vió inundada por una corriente de agua superficial, ocasionada por la lluvia.

Este problema de las fallas ya se había presentado, pero en menor escala durante el período de construcción, al cual se le dió solución (sin una previa investigación del por qué de las fallas), la cual consistió en sacar el material de los lados del cimiento y en su lugar inyectar concreto ciclopleo y así fué como se detuvó hasta el mes de Septimebre de año de 1986 cuando aparecen las fallas de nuevo, pero en mayor escala, al grado de destrozar los muros divisorios.

Esta investigación esta basada en un estudio previo de Mecánica de Suelos, el cual consiste en la exploración del área fallada, así como el muestreo y determinación de las pruebas índices de los materiales extraídos de los tres sondeos hechos en las áreas más representativas.

El terraplén donde se desplanta la cimentación, está compuesta por un material clasificado como arena arcillosa, el cual tiene una gran característica que al saturarse o al alcanzar un alto grado de saturación entra en verdadero colapso sus estructuras, sobre todo bajo carga, con la consecuencia práctica de producirse un fuerte asentamiento brusco del estrato. Este fenómeno ocurre cuando el agua de saturación disuelve el cementante existente ó bien rompe la tensión capilar del agua intersticial previamente actuante. Es obvio que este hecho es grave para cualquier estructura sobreyaciente.

Aunque hay diversos métodos para estimar estos asentamientos, es un hecho cierto que no existe una teoría general confiable que pueda aplicarse a estos fenómenos. El procedimiento más lógico para el cálculo de estos asentamientos, es el tratar de duplicar en el laboratorio las condiciones de saturación que pueden llegar a presentarse en el campo. Así, podrán hacer-

se en laboratorio pruebas del tipo de consolidación, sobre muestras inalteradas del material, aplicando las cargas que actúan en la obra y saturando por capilaridad las muestras en estas condiciones. Las mediciones efectuadas en esta prueba permitirán calcular la variación de la relación de vacíos del material que haya tenido lugar y con ello poder hacer una estimación de los asentamientos en el campo.

El Centro de Usos Múltiples (C.U.M.) con capacidad para 14,000 espectadores forma parte del proyecto que incluye: - Estadio de Fut-Bol y Pista Olimpica para 20,000 espectadores, - albergue con capacidad para 500 camas, alberca Olimpica para - 2,000 espectadores, Plaza Central, Accesos y estacionamiento para 2,500 automóviles.

El fin de esta obra, es que la Pista esta dispuesta y construída para múltiples usos, es decir desde destinarse para- un rodeo después de llenarla de tierra y compactarla, hasta una pista de patinaje sobre hielo. Para ello hay disponibilidad y - diseño adecuado, y sólo bastará con una instrumentación oportuna ó el equipamiento adecuado para que se logre. La duela de madera será portátil y modular, y podrá ser instalada cuando el - espectáculo lo necesite, así como un ring para box ó lucha, --- etc. En otros casos cuando el espectáculo no requiera la pista, podrá en lo futuro, integrarse una galaría y palcos de *Ring Side* plegables, para lo que también existe diseño predispuesto.

Concretamente, la obra del (C.U.M.), se construyó por SONORA CONSTRUCCIONES UNIDAD COOPERATIVA, S.A. DE C.V. que a su vez estuvo constituído por once empresas constructoras de Sonora, de las cuales se formó un Consorcio.

La obra estuvo financiada por el Gobierno del Estado- através de la Dirección de Obras Públicas y de la Supervisión - de la Obra.

Para el desarrollo de la obra se utilizaron procedi-- mientos especiales de construcción, de planeación y control, a- fin de ajustar el tiempo y costo del programa.

Algunos de estos métodos son los siguientes: Planta - de construcción de concreto en obra, Control de calidad con Laboratorios permantes en obra, curado a vapor de concretos, utilización de Cimbras metálicas en un 50% en la obra, radiogra--- fías y ultrasonidos en el control de calidad de soldadura uso - intensivo de Maquinaria y equipo pesado, usos y seguimientos estrictos de métodos de planeación y control de obra por computadora.

El trazo principal del proyecto es una elípse que paulatinamente se va convirtiendo en un círculo, y mientras que ello sucede, ocurre una conjugación de líneas y trazos que se -- van balanceando hasta lograr un equilibrio de esfuerzo y elementos.

La obra en un principio cuenta con un nivel de 5.90 - por debajo de la superficie con un ruedo óvalo como pista de -- 53 Mts. de largo por 46 Mts. de ancho, se sube por un trazo e-- líptico que figura las gradas, se llega a un círculo de 102 M.-

de diámetro que soporta la estructura del techo, luego se figura la cubierta que forma como truncado, para terminar en las alturas en un anillo de sustentación de cuatro Mts. de diámetro - coronado por una rejilla circular.

La mayor parte de los materiales utilizados en esta obra, fueron elaborados aquí en Sonora como es el ladrillo de -- Querobabi, la teja, tiroles y acabados tipo colonial, pisos de-cemento, cerámica, adoquín, candiles y herrerías coloniales.

El control del tiempo, del proceso constructivo estuvo basado en la aplicación de la ruta crítica.

El compromiso del consorcio para contruír el C.U.M. - era un lapso de tiempo de 16 meses, con vencimiento el 31 de Julio de 1985, se contó con 30 días para la planeación de la obra y simultáneamente ejecutar durante el mes de Mayo de 1984 las - excavaciones y movimientos de tierras. El resto sería 14 meses-de edificación hasta el 31 de Julio de 1985 que era la fecha de entrega según el contrato.

En esta etapa se le pidio recorrer la fecha de entrega de la obra al 30 de Junio por lo que el período total de --- construcción se redujo a 14 meses.

La ruta crítica se utilizó para evaluar los tiempos - probables de ejcución de cada actividad, se formuló un primer - diagrama de barras con entrega al 30 de Junio de 1985, sin em-- bargo el cálculo de la red definida en el diagrama de flechas - arrojaba un período de tiempo inferior, por lo que se vió en la necesidad de ajustar los tiempos de cada actividad proporcionalmente.

El modélo cubría toda la obra civil y una vez terminada ésta se atacaría en tres meses las instalaciones, sus pruebas, el equipamiento y los acabados finales.

Se contó con un módulo de tiempo: Un programa de la ruta crítica con el cual se pretendía:

a).- Que fuera un instrumento de control y permitirá:
   1).- Que las actividades se hicieran en su momento.
   2).- Que siempre se diera prioridad a las actividades críticas.

b).- Que permitiera evaluar los avances y retrasos de la obra,- lo que se obtenía al cálcular periódicamente la obra por - ejercer y compararse con el objetivo.

c).- Que fuera realmente un modelo de tiempo de la obra y permitirá hacer, simulaciones de probable efecto de las decisiones.

Los resultados quincenales que se analizaban eran:

I.- El listado de actividades con sus duraciones y sus fechas de inicio y terminación próximas y remotas.

II.- El diagrama de barras que diferenciaba las actividades críticas de las que no lo eran. Se enjuiciaba el período anterior, se estudiaba el nuevo programa de la obra por hacer.

III.- El tiempo estimado de la terminación global de la obra.

El tiempo se controlaba, reajustando el programa, durante el transcurso de la obra, fué necesario modificar varias veces el programa como sigue:

1).- Al introducir quincenalmente los avances porcentuales, cada actividad, automáticamente se recalcaba la red respetando las logísticas y los tiempos estimados en cada actividad. El módelo se actualizaba a la realidad, lo cual sólo se logra con un diagrama de flechas.

2).- La estadística del tiempo que se llevó permitió hacer dos tipos de ajustes a los tiempos: primero: una actividad genérica, digamos las losas del nivel más 7.00 evaluadas en nueve días se modificó a los doce días. Segundo: la inercia de cada actividad que los llevó ya con más experiencia a definir, 12 para el segundo y 11 para los restantes,- en lugar del tiempo original de doce días parejo por módulo.

3).- Cuando el programa se salia del objetivo de entrega de obra, se replanteaba la secuencia de actividades y modificaban la logística del programa, introduciendo nuevas actividades y modificando restricciones a base de nuevas soluciones constructivas.

Se iniciaron nuevos modelos; como es la utilización de los cuatro modelos ó diagramas de flechas de duración trimestral, con la que se cubrió totalmente el período de construcción de la obra, que se trabajó en paralelo: estructura de techo, cimbra, gradería, colocados de escalinatas, columpios para andadores de mantenimiento de techos, panal *W* en claro de pared.

Para poder tener una idea de la magnitud de la obra se dan los siguientes volúmenes:

Concreto Premezclado (38,400 Tons.)	16,000 M3
Acero de Refuerzo	1,250 Tons.
Cimbra (Sup. de Contacto)	58,000 M2

Acero Estructural	613 Tons.
Cubierta	5,550 M2
Aire Acondicionado	1,400 Tons.
Energía Eléctrica	3,750 KVA
Muebles Sanitarios	402 Pzas.

MANO DE OBRA

Para poder cumplir con el programa se vió en la necesidad de traer mano de obra fuera de la Ciudad, se llegaron a tener 700 Obreros trabajando en forma directa y con una alta rotación característica en este tipo de trabajo.

Los registros de nóminas indicaron que laboraron --- 2,800 Obreros durante la construcción.

EXCAVACIONES

El terreno seleccionado para levantar el proyecto del C.U.M. resultó ser una superficie uniforme y de consistencia sólida. Su misma naturaleza facilitó la marcha de las excavaciones cuyas labores se iniciaron en Mayo de 1984.

Las excavaciones alcanzaron los 8.10 Mts. previstos para la cimentación y se extrajo un volúmen de tierra estimada en 65 Mil Mts. cúbicos, los cuales se utilizaron posteriormente en los terraplenes proyectados para la obra exterior.

Para realizar todas estas labores fué necesario valerse de maquinaria pesada (motoescrepa, tractores D-5, motoconformadora y vibro compactadora).

ESTRUCTURA DE CONCRETO

Una serie de 32 columnas circulares de 1.60 Mts. de diámetro integran el cuerpo fuerte de sustentación del edificio, Cada uno de estos soportes llevan hasta 8.10 Mts. de profundidad, de las excavaciones unas zapatas de 3.90 Mts. de ancho con una sección variable de 0.30 a 1.00 Mts. de alto y promedio de 11.90 Mts. de largo.

Luego siguen otras 32 columnas a nivel medio de construcción rectangular de 0.80 por 1.70 Mts. y para terminar el aspecto de cimentación encontramos a la altura de la pista, 30 columnas rectangulares de 0.80 por 1.60 Mts.

Rodeando todo el sistema de columnas aparece un muro de contención circular de 88 Mts. de diámetro y con un espesor variable de los 25 a los 50 centímetros.

Tanto las columnas como las trabes fueron colocadas - en su mayoría con el sistema CIMBRA MECANICA MECCANO que consiste en la utilización, manejo de láminas autosoportantes, que - permiten prescindir de elementos secundarios de soporte.

Como un acelerante para el endurecimiento del concreto se utilizó el curado a vapor que junto con la cimbra metálica Meccano permitieron una considerable reducción del esfuerzo y el ahorro muy valioso del tiempo.

El sistema tradicional de cimbra de madera se utilizó para ciertas áreas; como por ejemplo, en los cuatro accesos helicoidales que conducen desde el nivel 0.0 de superficie, hasta los tres siguientes niveles inferiores y superiores.

ESTRUCTURA METALICA

Terminada la superestructura de concreto, se procedió a trabajar en la estructura metálica de cubierta la cual tiene su punto de partida en un anillo de rigidización colocados a - los 32.50 Mts. de altura, el anillo es una pieza de acero cilíndrico de 1.51 Mts. de alto, 4.00 Mts. de diámetro en el alma, y con un peso de 4.50 toneladas. Fué construída en unos talleres de Guadalajara y se situó a la altura convenida por medio de - una torre cuadrada y una grúa con capacidad de 60 toneladas.

Partiendo del remate de los 32 marcos principales de concreto, compuestos por las columnas circulares y medias rectangulares, fué colocada la estructura de cubierta con igual - número de vigas de acero principales hacia el anillo de rigidización y sobre estas se soldaron 224 vigas tensoras.

Cada una de las columnas principales miden 38 Mts. - de largo, las tensoras van desde 1.20 hasta 8.00 Mts. de largo y en conjunto tienen un peso de 650 Tons.

Para toda la estructura y puntos de ligamiento de soldadura se aplicaron pruebas de radiografías y ultrasonidos.

CONTROL DE CALIDAD DENTRO DE LA SUPERFICIE DE LA OBRA

Para llevar a cabo el Control de Calidad se procedio- de la siguiente manera:

1.- Verificación de la capacidad de carga a nivel de- desplante de la estructura.

Con el fin de verificar la capacidad de carga de diseño y asegurar el desplante de la estructura, se efectuó un estudio de mécanica de suelos en el nivel +7.00 Mts. Una vez efectuada la excavación realizandose pruebas de penetración estandar y análisis de muestras de material, obteniéndose que a la - mencionada profundidad se tiene una capacidad de carga para diseño de 33 Ton/M2, con la cual se aseguraba que si se tiene un- desplante adecuado ya que la capacidad de carga considerada en- el diseño es inferior a la que se tiene en un terreno.

2.- Control de Calidad de compactación de rellenos.

Para la construcción fué necesario realizar una excavación en toda el área, misma que una vez ya construídos los elementos fué necesario rellenar adecuadamente, por lo que, se - tuvo un control de calidad en la compactación de los rellenos - en los cuales se especificó 90% del peso volumétrico seco máximo del material. La realización de sondeos de compactación fué- periódica y de acuerdo al avance de la obra.

3.- Control de Calidad del concreto utilizado en la - obra.

Al construir el concreto una de las cantidades más - significativas del proyecto (15,200 M3), para garantizar la calidad del mismo, se contó con un laboratorio que se encargó de- efectuar los ensayes correspondientes al 100% del concreto utilizado, obteniéndose muestras representativas en función del - volmen diario colado, se tomaron muestras de 4 a 8 cilindros cada uno, con lo que se logró verificar a edades tempranas la evolución de resistencias.

Se obtuvieron un total de 2,600 espécimenes de los - cuales el 33% correspondió a los ensayes a la edad de 28 días y efectuándose un análisis estadístico de los mismos se tiene: resistencia promedio de 250.00 Kg/cm2 y desviación éstándar de - 38.70 Kg/cm2, con lo que se tiene un coeficiente de variación - de 15.10%.

4.- Procedimiento de curado a base de vapor en obra.

La utilización de este procedimiento fué porque el - tiempo de ejecución de la obra requería abatirlo al máximo. Con la finalidad de obtener elementos de juicio para: la duración - del curado, evolución de la temperatura y temperatura máxima al

canzada; se prosiguió a tomar muestras tanto para curado a va-- por, efectuándose esto último colocando los cilindros con todo- y cimbra en las cámaras que se formaban para el curado de los e lementos, dichas muestras eran de números suficientes de cilin- dros para ser probados cuando terminaba el curado, 2 y 4 horas- después así como a las edades de 3, 7, 14 y 28 días.