



La construcción de la cimentación y torre de apoyo para el GMT, en Puebla, representó un enorme desafío en la historia de la ingeniería nacional. El objetivo esencial fue levantar una estructura antisísmica que serviría de base para una antena parabólica metálica de más de 2 500 ton de peso propio y para resistir cargas por nieve y vientos superiores a los 120 km/h. Para ello se requirió la construcción de una cimentación de concreto armado de más de 20 mil ton, gracias a lo cual se logró el mayor y más preciso radiotelescopio del mundo, que tendrá entre sus principales metas encontrar el origen de nuestro universo.

GRAN TELESCOPIO MILIMÉTRICO

RETO

[ROSA ÁLVAREZ]

de la ingeniería mexicana



E

sta magna obra con-
jugó el buen diseño
de concreto de CE-
MEX, el excelente y
riguroso control de
calidad de la Co-
misión Federal de
Electricidad (CFE) y

la exitosa realización de los trabajos a cargo del Grupo COSMOS 500, SA de CV, sin olvidar que en el proceso de construcción se sortearon grandes obstáculos, como el ascenso y descenso de la cima diariamente de 180 personas, entre obreros y técnicos, con la encomienda de desarrollar tan importante labor.

Además, previo al inicio de la obra civil fue necesaria la apertura de un camino de acceso tipo brecha, para posteriormente trasladar desarmada y en partes una planta productora de concreto de CEMEX, la cual se instaló en la cima con cuidados extremos para protegerla de las variaciones de temperatura.



Así, la mayoría de los agregados se produjeron en el sitio y algunos otros se trajeron de bancos aledaños, en tanto el agua se transportó en pequeños volúmenes dadas las pronunciadas pendientes del camino, pues se trata de Sierra Negra, la cuarta montaña más grande del país,

a 4 580 msnm, y a cuya cima, antes del proyecto sólo accedían los alpinistas.

Cabe destacar que la construcción duró dos años, de los cuales realmente de trabajo fueron ocho meses, pues el resto hubo tiempos interrumpidos por nieve, lluvia, ventiscas, caminos inaccesibles y un clima difícil en general.

En principio, la obra civil inició con la conformación de una plataforma de maniobras en la cúspide, que requirió de un movimiento de tierras superior a los 80 mil m³ y de manera paralela se construyó un sistema de pilas de concreto armado para el soporte de la estructura.

Por otra parte, la subestructura del radiotelescopio consistió en una losa de cimentación de dos metros de espesor, en la que se utilizó 16 800 ton de concreto armado. Esto se realizó dividiendo la plancha en varias etapas de colado. Aquí el control de calidad quedó en manos de la CFE, a través de su Departamento de Estudios y Proyectos de Ingeniería Civil. Dicha instancia exigió el cumplimiento estricto de altas especificaciones (ACI) las cuales se respetaron al pie de la letra, gracias a la construcción de cámaras climatizadas artificialmente con cubiertas enlonadas y una planta generadora de vapor que regulaba la

Composición y geometría de la cimentación y torre de apoyo para el GTM

La composición de la estructura de concreto del gran telescopio milimétrico consta de una subestructura en base a una red de pilas de concreto armado para soportar una losa de cimentación de dos metros de espesor. Sobre dicha losa de cimentación está la estructura en la cual se desplantan ocho muros radiales que unen un muro periférico exterior con uno concéntrico interior. Encima de ambos muros se soporta una losa tapa de 50 cm de grosor, en tanto del muro concéntrico interior en su nivel más bajo, es decir, del de desplante de la losa de cimentación nace la estructura de la gran torre de apoyo del radiotelescopio.

Dimensiones geométricas generales

- Diámetro exterior de la cimentación: 50 m
- Altura de la torre desde su desplante: 20 m
- Espesores de muros principales y secundarios 1.30 y 1.20 m respectivamente
- Grado de inclinación de la torre de apoyo: 65°
- Peso total aproximado de la estructura de concreto armado: 22 mil toneladas
- Por la dimensiones de diseño se requirió de un tratamiento de concreto masivo

Por tratarse de una obra con características especiales y altas especificaciones internacionales fue determinante la calidad de los materiales. Se usó:

- Concreto especializado al sitio DURAMAX, de CEMEX
- Acero de refuerzo/varilla de alta resistencia en todos los diámetros, de HILSA
- Estireno extruido de alta densidad, importados de Estados Unidos
- Cimbra de madera y metálicos
- Andamiajes de alta resistencia
- Conectores para la unión de varillas por extrusión, de MEXPRESA
 - Desmoldantes, membranas de curado, retardantes epóxicos, *grout* de SIKA y PAGEL
 - Materiales de consumo diversos

temperatura interior. Este procedimiento permitió trabajar en su interior, así como el control de la temperatura del concreto hasta que este alcanzara su madurez gradual.



EL GMT EN PRIMERA PERSONA

«Construcción y Tecnología» entrevistó al Ing. Javier Alducin R., de Grupo COSMOS 500, SA de CV, para conocer de viva voz los principales pasos que dieron lugar al GTM. En la extensa plática se abordaron temas de sumo interés, como la conceptualización del diseño. De esto explicó que «por tratarse de una obra de infraestructura y no arquitectónica el diseño obedeció a los aspectos estructurales exigidos por las condiciones del sitio, o sea, la cima de un volcán en donde dominan los estratos volcánicos y una nula vegetación. Por eso, se adoptó una cimentación y estructura de concreto armado con una antena parabólica de estructura de acero.

«Además, está en una zona altamente sísmica. Pero, al tratarse del radiotelescopio milimétrico más preciso del mundo no puede aceptar el mínimo movimiento en su estructura, responsabilidad encomendada a la cimentación, integrada por un conjunto de pilas periféricas ancladas hasta el estrato resistente para luego construir una estructura y pedestal que soportan la antena parabólica de acero. De este modo, repito, toda la estructura del GTM es de concreto armado o reforzado, con espesores de muros de 1.20 y 1.30 m, con parrillas de varilla de alta resistencia de 1" y 1 1/2", así como equidistancias de 15 cm reforzadas con bastones en zonas especiales».

ABRIENDO CAMINO

Recuerda el Ing. Alducin que por las condiciones topográficas del sitio se generó el camino brecha, pues debían recorrer 24 km

de ascenso, con pendientes de 18% y 20%, ante lo cual las capacidades de los vehículos sólo se aprovechaban al 40% y esto con ciertos arreglos especiales a las unidades. Dadas las circunstancias para lograr la edificación de dicha estructura había que construirla en el sitio y por esto se instaló la planta dosificadora de concreto en la cima, se explotaron bancos de finos o arenas en la cima, mientras los agregados o gravas se trajeron de otros cercanos al municipio.

Explica el entrevistado que la planta productora de concreto era supervisada por la CFE que se encargaba de vigilar la aplicación de aditivos especiales,



Volúmenes aplicados en el GTM

CONCRETO

Cimentación: 4 mil m³ o 9 600 ton

Subestructura: 3 mil m³ o 7 200 ton

Estructura: 2 500 m³ o 6 mil ton

ACERO

Varilla de alta resistencia en diferentes diámetros: mil ton

CIMBRA DE CONTACTO

En muros, losas, trabes y dados: 35 mil m²

CONECTORES EN VARILLAS

Total de conectores: 12 mil pzas



Antecedentes

CEMEX CONCRETOS firmó en 1999 un contrato con el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) para suministrar concreto hidráulico premezclado en la construcción del GTM, ubicado en el Cerro de la Negra, en el municipio de Atzizintla, Parque Nacional Pico de Orizaba.

El GTM es el mayor de su tipo en el mundo y su realización ha constituido un reto para la ingeniería mexicana debido a las condiciones del lugar, pues está situado a una altura de 4 640 msnm, con temperaturas promedio de 0°C, ráfagas de viento extremas y escasez de oxígeno, ya que la concentración del sitio es de 14% cuando la normal es 21%, es decir, 35% menos.

El GTM tiene un reflector primario con un diámetro de 50 m y una altura aproximada de un edificio de 16 pisos. Esta obra se realizó por el esfuerzo conjunto del INAOE y la Universidad de Massachusetts (UMass), en Amherst, EU.



así como el tratamiento y cuidado de los agregados, cemento y agua. «En particular, respecto a la temperatura del concreto se tenía especial cuidado en precalentar el agua, controlar la temperatura de la mezcla en la planta y en el sitio de colado calculando el tiempo de recorrido y enfriamiento que sufría por la temperatura ambiental. El concreto fue movido por ollas transportadoras de concreto premezclado y vertido por bombas plumas en el área de colado. Así mismo, siempre se tuvo equipo de reserva en cada evento de colado, mientras el acomodo del concreto se hizo mediante vibradores de alta frecuencia con cabezales de 3" en cimbras de madera con membrana de contacto de 1" de estireno extruido de alta densidad como elemento aislante al frío o al congelamiento».



Importancia del concreto en la realización de este tipo de obra

La cimentación y estructura general de soporte del Gran Telescopio Milimétrico requerida con las más altas especificaciones internacionales sólo era posible con el desarrollo de un concreto especializado elaborado para las condiciones particulares del sitio. Se tomó en cuenta:

- Temperatura óptima de producción
- Temperatura óptima de traslado
- Temperatura óptima de colado
- Resistencia a la congelación
- Resistencia estructural
- Módulo de elasticidad y estéticamente apto para ofrecer un acabado agradable

Con todas estas particularidades el concreto fue el elemento primordial y determinante en la construcción del GTM

Respecto a los acabados aparentes hubo pocos, pues los elementos que quedaron cubiertos tuvieron un acabado común. Como aparente quedó el troncocono o torre de apoyo del GTM, que es la parte visible de la estructura.

CASI UNA ODISEA

No sólo la magnitud de la obra representó todo un reto, sino el conjuntar el grupo de personal que estuviera dispuesto a enfrentar las condiciones climáticas y de altura propias del sitio, advierte el Ing. Alducin.

«No fue nada fácil, pues en las primeras etapas hubo que sustituir constantemente personal ya que muchos no soportaban laborar a casi cinco mil msnm, desempeñando trabajos pesados de acero, concreto y cimbra. Sin embargo, la logística implementada en la obra fue determinante, ya que el traslado y alimentación se resolvió favorablemente. El personal calificado, que representaba 75% del total, era trasladado semanalmente en autobuses especiales de los alrededores de la ciudad de Puebla a las faldas del volcán y después pasaban a los camiones que finalmente subían a la cima. También fue relevante el apoyo de nuestro médico, encargado de revisar constantemente el estado físico de los obreros y del personal técnico.

«En algunas ocasiones hubo eventos de colado que por las condiciones del clima se prolongaron hasta la medianoche -advierte-. Y los colados no podían interrumpirse y por tal motivo había que concluir cada colado al 100%, para lo cual el área a colar se protegía con cubiertas enlonadas en cuyo interior se inyectaba vapor para regular una temperatura promedio de +18°C, contrastando radicalmente en el exterior con -12°C. En otras ocasiones, en el transcurrir del colado, se enfrentaron nevadas intensas en las que se ponía en riesgo la terminación del colado. Sin embargo, siempre existió el esfuerzo y la disposición de todo el equipo humano, así como las previsiones constantes, como el equipo de reserva y la maquinaria que se encargaba de retirar la nieve de los caminos».

EXPERIENCIAS EN CONCRETO

Acerca del uso del concreto en obras anteriores, el Ing. Alducin explica que han adquirido experiencia al respecto a lo largo



Algunos pasos constructivos

Sistema de pilas de concreto armado

Es un sistema de pilas desplantadas a partir del estrato rocoso homogéneo resistente. Sus profundidades variaron en un promedio de 18.50 ml. Este método fue descabezado para retirar el posible concreto contaminado en la corona.

Losa de cimentación

Apoyado sobre las pilas se construyó una cimentación de dos metros de espesor, armado con dos parrillas de acero de 1" equidistantes a 20 cm en ambos lechos. Por las dimensiones de los armados y por tratarse de varilla de refuerzo del núm. 8 se aplicó el procedimiento de unión por extrusión, por medio de prensas hidráulicas que garantizaban las especificaciones de tensión, límites de fluencias y alargamientos exigidas por control de calidad. De igual forma, se examinaron cuidadosamente las propiedades químicas del acero de refuerzo para que cada varilla cumpliera con las características fisicoquímicas requeridas. La superficie de la cimentación fue de 1 400 m².

Por tratarse de una masa de concreto de gran volumen la superficie de la cimentación se dividió en partes que permitiera garantizar la calidad del concreto, y sobre todo, su colocación.

Estructura

Por requerir los científicos de áreas útiles dentro de la estructura del radiotelescopio, sobre la losa de cimentación se construyeron ocho espacios de aproximadamente 150 m² y uno central de 250 m², que se dispusieron como zonas de control, núcleos de baños, de descanso y observación. Para ello se construyeron muros divisorios y de carga de 1.30 m de espesor por cinco m de alto los cuales soportan una losa tapa circular de 50 cm de grosor por toda la superficie.

Sobre la corona del muro periférico exterior se llevó a cabo una de las tareas más importantes de la obra civil: el montaje de los dispositivos especiales tipo durmientes, en donde se colocó la pista del movimiento azimutal del radiotelescopio, constituida por una barra de acero especial de 430 mm de ancho por 230 mm de espesor. Dicha pista se calibra por medio de estos dispositivos con características especiales, para lograr una precisión de +- 250 micras. Esta condición de exactitud exigió una perfección inusual para la colocación y distribución del



acero de refuerzo y cimbras, pues no debían interferir estos elementos con el montaje, colocación y calibración de cada dispositivo tipo durmiente que se encontraban en toda la periferia de la estructura de concreto. Para culminar exitosamente esta escrupulosa tarea fue fundamental la topografía de

alta precisión, así como la utilización de mano de obra calificada y especializada. Todo el personal fue mexicano.

Superestructura o gran torre de apoyo

Está constituida por una torre de 18.30 m de altura, cimentada con una losa de concreto armado de dos metros de espesor apoyada sobre pilas de 18.50 m de profundidad. En una primera parte la torre es cilíndrica, para iniciar con una sensible inclinación de 65 grados en la cuarta parte de su altura y terminando con una forma de cono truncado. Los muros fueron de 1.30 m de espesor, de concreto armado, con dos parrillas de acero de refuerzo de 1" a cada 20 cm.

La construcción de la torre por su forma geométrica general de cono truncado representó una singular manera de realización y tratamiento, pues no era posible utilizar cimbras deslizantes y los cambios de dimensiones en cada nivel impidieron el uso de procedimientos comerciales y de práctica común. Por ello fue necesario crear por computadora un modelo de cimbra que garantizara la geometría y precisiones exigidas por el diseño y de igual forma que fuera capaz de resistir los diferentes tipos de esfuerzos, cargas y empujes en todo el proceso, que se dividió en cinco etapas de colado cada una, con una cimbra independiente y de diferentes dimensiones tanto en su exterior como interior.

En el caso particular de las cimbras interiores se armó una obra falsa la cual consistió en la estructuración de un esqueleto de andamiajes de alta resistencia que fueron elevándose conforme avanzaba el proceso de las cinco etapas de colado hasta llegar a la corona del tronco cono. Por último, se concluyeron los trabajos del colado final con el montaje, colocación, calibración y colado del balero del movimiento azimutal del GTM.

de varios años, principalmente en obras de infraestructura «en donde la materia prima es el concreto. Así, hemos contado con los servicios de la mayoría de las empresas concretoras del país y cada una nos lo ha ofrecido de manera aceptable. Sin embargo, el tener al lado de una edificación en proceso a la firma CEMEX representa estar un paso adelante en relación con los demás, pues brindan un

respaldo integral, que resulta fundamental para la culminación de cualquier trabajo con calidad y éxito. En esencia, ese apoyo técnico nos permite ofrecer al cliente el concreto más adecuado y al costo más justo, garantizando con éxito el colado del elemento, y desde luego, el excelente nivel de su producto nos da la tranquilidad de estar seguros en todos los aspectos de nuestras obras».