

N° 14:

Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

Uribe, A. R., y Flores, J.J.

ABSTRACT

A una altura de 4,600 msnm en un volcán ubicado en el estado de Puebla, México; se realiza en la actualidad la construcción de un proyecto multinacional, la obra es un Radio Telescopio Milimétrico que se usará en los trabajos de investigación de astronomía de los países involucrados, cabe mencionar que este telescopio una vez terminado será en su tipo el más grande construido en el mundo hasta el día hoy. El sitio fue elegido de entre más de 100 lugares seleccionados previamente a nivel mundial, la decisión depende de diversos criterios, entre los cuales se incluye, los días de claridad total por año, la temperatura media, la humedad relativa ambiental, etc. En el presente trabajo se incluyen: una descripción básica del proyecto y los

objetivos que persigue, la concepción de la especificación creada para las estructuras de concreto involucradas en el proyecto, la descripción detallada de los trabajos de instalación, adecuación y operación de una planta de producción de concreto a una altura de 4,500 msnm, la definición de criterios de operación de los equipos de dosificación y mezclado empleados en la producción de concreto, se presentan datos sobre el ritmo de producción y la logística empleada para el suministro y, por último, el avance y estado actual del proyecto.



ANTECEDENTES

Como parte de un proyecto de investigación astronómica de carácter multinacional, en la actualidad se realiza la construcción de un Radio Telescopio Milimétrico (RTM) en el estado de Puebla, México, el proyecto de construcción de esta estructura incluye una cimentación de pilotes y una base troncocónica de concreto, una antena semi-circular que conforma un plato de 50 m de diámetro para la recepción de las ondas y un edificio de 6 niveles para la operación del mismo. El sitio elegido para la construcción es el resultado del análisis detallado de las condiciones atmosféricas de más de 100 lugares preseleccionados a nivel mundial, corresponde a la cima de un volcán llamado "Cerro La Negra", quinta cumbre más alta en la República Mexicana que alcanza una altura superior a los 4,500 msnm; forma parte de la Provincia Fisiográfica que cruza en su totalidad el país en dirección este-oeste, conocida como la Faja Volcánica Tras-Mexicana. En el lugar destinado

para la construcción, al inicio, no existía ninguna infraestructura y la población más cercana era Texmalaquilla, que es una población con menos de 1,000 habitantes. Debido a la ubicación del sitio seleccionado y la ya mencionada carencia de soporte operativo que permita la producción industrial del concreto, se plantea una fuerte problemática para la construcción del RTM, eso sin considerar las condiciones climáticas evaluadas como extremas, que deben ser tomadas en cuenta para fabricar el concreto, ya que la elaboración del producto se contempla para su ejecución in situ.

Para cumplir con los objetivos científicos del proyecto, la selección del sitio se realizó con base a una serie de parámetros entre los que se consideraron: la transparencia de la atmósfera a la radiación milimétrica, una baja precipitación, la ocurrencia de vientos moderados, la posibilidad de lograr ángulos de observación favorables, la cercanía a una ciudad con infraestructura y facilidades de acceso y disponibilidad de servicios.



En forma complementaria, es conveniente destacar que el punto elegido como ubicación definitiva se encuentra a una latitud que permite tener una cobertura de ambos hemisferios celestes y contiene un bajo contenido de humedad en la atmósfera que permitirá la operación del RTM a frecuencias muy altas.

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El RTM es un observatorio astronómico cuyas metas científicas son:

- Detectar ondas de radio que iniciaron su viaje hacia la tierra durante la época de la formación de la galaxia hace 10 mil millones de años, cuando los primeros objetos del universo empezaron su existencia.
- Caracterizar los procesos que llevan la formación de estrellas en arreglos espirales en galaxias similares a la Vía Láctea.
- Estudiar las condiciones físicas y químicas en los lugares de formación estelar.
- Descubrir los mecanismos químicos que llevan a la formación de

moléculas complejas y que tal vez den lugar a seres vivos.

La capacidad del RTM para tratar estos problemas deriva de su sensibilidad para detectar ondas de radio emitidas por el gas y el polvo en las regiones más frías del universo, lugares que emiten insignificante energía en longitudes de onda a las cuales el ojo humano no es sensible (1/2,000 de milímetro), pero producen señales de relativamente mayor intensidad a longitudes de onda cercanas a 1 mm.

El mayor reto involucrado en la construcción de un RTM de gran diámetro es diseñar una estructura capaz de soportar una superficie metálica, que mantenga su forma con tal precisión que concentre las ondas de radio en un foco. Para contrarrestar los efectos que distorsionan la superficie reflectora, tales como la gravedad y las expansiones térmicas, en el pasado los ingenieros diseñaron estructuras mecánicas robustas y relativamente pesadas. Sin embargo, construir un telescopio del tamaño del RTM que use la solución clásica de ingeniería costaría entre 150 y 200



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

millones de dólares, a diferencia del costo programado para este proyecto de 49.5 millones de dólares.

El concepto del telescopio está basado en un diseño volante sobre una pista con un soporte de perno elevado, el cual se apoya sobre un cimiento de concreto de forma cilíndrica para el riel que permite un movimiento en azimuth y una torre cónica de concreto para el soporte del perno. El cimiento está aislado de la insolación por revestimientos metálicos adecuados y temperatura interna controlada por un sistema de aire acondicionado. La misma, es una base muy estable para los codificadores de azimuth y puede acomodar talleres, salas de cómputo, unidades de alimentación o de energía, etc., y que son necesarias para la operación del RTM. En particular, en este documento se describen los trabajos para cumplir con los requisitos de diseño y fabricación del concreto a utilizar en los elementos de soporte de la estructura principal. En forma evidente, otro de los retos de la ejecución de este proyecto es la ubicación elegida y las condiciones ambientales ahí prevalecientes.



Figura 1.

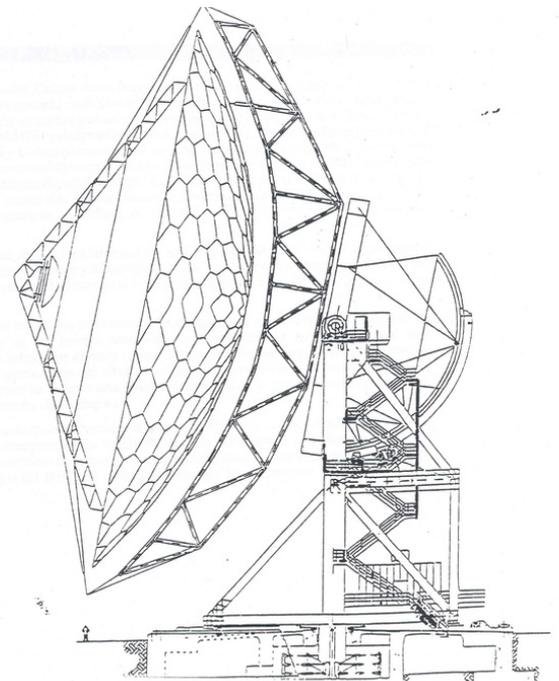


Figura 2.



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

INFRAESTRUCTURA

3.1 Caminos de acceso

Por la ubicación del proyecto, no existe ninguna infraestructura para el transporte de materiales y, los caminos realizados para la construcción del proyecto no son de la mejor calidad, incluso con tramos de pendientes cercanas al 15%.



Figura 3.

Para las labores de abastecimiento y por las características de los vehículos a circular, hubo necesidad de realizar algunas modificaciones en estas vías, las cuales consistieron en dejar una pendiente máxima de 8% máximo a todo lo largo de la ruta, ampliar las áreas de circulación a 1.5 carriles

y la creación de plataformas en algunas zonas de curvas muy cerradas con radios menores a 12 m, para facilitar y llevar al mínimo las maniobras de cambio de dirección.



Figura 4.

3.2 Planta de concreto

Para la ejecución del RTM se decidió colocar una planta en el sitio a una altura superior a los 4500 msnm, de tal forma, que no existiese problema alguno con el suministro del concreto. Para realizar esta acción se procedió a la fragmentación de la planta de producción de concreto y se reagrupó en un lugar a menos de 1 km del punto elegido para la construcción de la estructura. Para el transporte se realizaron algunas adaptaciones al chasis de la misma,



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico



Figura 5.

como fue la colocación de un eje móvil para tener libertad de movimientos en las vueltas. Las maniobras de traslado de la planta duraron 10 h.

Para la producción se requirieron modificaciones a la planta, mismas que incluyen:

A la planta se le adicionó una tolva receptora de agregados para incrementar su eficiencia en un 58% en relación con su capacidad, ya que originalmente su capacidad era de 24 m³/h y se lograron suministros de 38 m³/h. Tanto los silos de cemento como los tanques de agua y aditivo fueron revestidos con 5 cm de espesor de poliuretano.

Para la operación de la planta se instalaron equipos dobles en los elementos principales (motores, bombas y motorreductores), todos ellos con “bye pass” en la instalación eléctrica y conexión rápida, todo como prevención a la potencial falla de cualquier equipo durante los periodos de suministro. Como medida complementaria, todos los aceites usados y fluidos anticongelantes utilizados en la operación de estos equipos fueron seleccionados para trabajar en condiciones de temperatura por debajo de los 0°C.

En atención a las condiciones extremas de exposición y de trabajo, implementó un sistema para el calentamiento del agua, el mismo tenía por objetivo que esta materia



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

prima alcanzara como mínimo una temperatura de 90 °C; para realizar ésta operación se optó por la instalación de un tanque quemador, como el que se utiliza en las plantas petrolizadoras de asfalto que funciona con diésel, a esta adaptación se sumo el efecto de colocar un serpentín en el interior del tanque, de tal manera que funcionará como una caldera. Con estos dispositivos en un tiempo máximo de 3 horas se lograba llevar el agua en el interior del tanque de una temperatura inicial de 70 °C a una condición cercana a los 0°. El tanque estaba instrumentado con termómetros en 4 puntos, uno a la entrada, dos en el tercio medio y uno en la salida, con lo cual se tenía un control muy detallado de la temperatura para la fabricación del concreto. Para lograr las temperaturas especificadas en el proyecto, se modificó todo el sistema involucrado en la producción, además de los almacenes, todas las tuberías de conducción se recubrieron en su totalidad con poliuretano, de tal manera que se encontraran con un aislamiento térmico de las bajas temperaturas ambientales. En forma adicional, los almacenes de agregados

se cubren con lienzos de lona con el mismo propósito de mantener su temperatura lo menos influenciada por las condiciones de temperatura ambiental.



Figura 6.



Figura 7.



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

3.3 Producción de concreto

Suministro de materia prima:

Por la deficiente infraestructura, durante la construcción, la entrega de cemento y agregados en el sitio se realiza en viajes que cumplen dos etapas, la primera a un almacén de transferencia en la población más cercana al sitio que se ubica en las faldas del cerro y una segunda hasta la planta de producción. En el caso del cemento se movilizan máximo 15 toneladas en pipas con una capacidad máxima de 30 toneladas y en el caso de los agregados se entregan volúmenes máximos de 4 m³ en vehículos con una capacidad máxima de 7 m³, el tiempo de entrega entre el almacén de transferencia y la planta es de aproximadamente 4 h, recorriendo un camino de 6 km de largo en condiciones difíciles de tránsito. En el caso del agua, el transporte se realiza en tanques de 12 m³ llevando como carga máxima 6 m³. Es notorio que en el caso de transporte de todos los insumos, la capacidad de los equipos nunca se ubicó por encima del 60% de la capacidad total. Solo en el caso de los aditivos, por el volumen que se maneja, no se tuvo

ninguna limitante para su traslado. Los horarios de entrega del material siempre fueron los más favorables para el concreto, de forma que la temperatura ambiental fuera la mayor para el momento del colado, el 90% de los colados se realiza después de las 13h. Los días de colado se programaron con 24 h de anticipación para garantizar que la materia prima cumpla con el volumen total del suministro.

Colado del concreto:

El área de colocación del concreto desde el inicio del colado se tiene cubierta con lienzos de lona, en la misma se inyecta vapor de agua para disminuir el contraste de temperaturas, esta operación se realiza incluso hasta 2 ó 4 h de terminada la colocación, y por último, todo el elemento es protegido con lonas. En el caso de alguna sección especial del proyecto como el tronco-cono, que es el soporte principal del plato de observación, se tomaron medidas especiales como es la colocación de una cubierta térmica en la cimbra y se cura también con vapor de agua.



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

Sistema de dosificación

La planta de concreto cuenta con un sistema de dosificación 100% automatizado, de tal manera que se tiene un control de gran precisión sobre todos los procesos de pesado. Es importante notar que el sistema empleado es capaz de ajustarse en forma autónoma después de cada operación de carga, este tipo de aplicación permite disminuir las variaciones que tienen un efecto negativo sobre las características de desempeño del producto final. Todos los sistemas de alimentación de materia prima cuentan con instrumentación para identificar cualquier deficiencia en la dosificación.

Equipo de mezclado y transporte

Se utilizaron camiones revolvedores de capacidad de 7 m³, nunca se cargaron por encima del 6 m³ de capacidad, se ajustaron para cumplir con los criterios de uniformidad y de velocidad de mezclado y de agitación, de acuerdo a los criterios especificados por la NMX C 155.

Características de la mezcla

El volumen de concreto requerido para la construcción de la cimentación y elementos de soporte del RTM alcanzó una cifra muy cercana a los 4,500 m³.

Las especificaciones de concreto originales para el proyecto incluían los siguientes requisitos:

- Plantilla $f'c$ 150 kg/cm², 5 cm de espesor, TMA 19 mm.
- Concreto estructural $f'c$ 300kg/cm² premezclado, TMA 19 mm, PV 2200 kg/m³.
- Cemento Tipo IP (ASTM C 595) o Tipo II de bajos álcalis (ASTM C 150); a granel y con certificado de calidad del fabricante; en casos extraordinarios se puede manejar cemento en sacos.
- Agregados: partículas deleznablees < 3%, piezas planas y alargadas <15%, en polvo de trituración el porcentaje que pasa la malla 200 debe ser menor al 2%, pérdida por lavado en la arena < 3% y en grava < 1%.
- Agua; a consumos de agua mayores a 0.19 m³ por metro



cúbico de concreto, será obligatorio el uso de un aditivo reductor y retardante del tiempo de fraguado (tipo D o G según ASTM C 494)

Como se puede observar, estas especificaciones son del tipo de integración que incluye la selección de componentes y la precalificación de los mismos, especificación que asume que al elegir y precalificar la materia prima adecuada se puede esperar que la combinación final dé por resultado una mezcla de buenas características. Vale la pena mencionar que éstas también consideran la aceptación de la mezcla mediante la evaluación de su consistencia en concreto fresco, y en estado endurecido de la resistencia a compresión, de acuerdo a los estándares definidos por ASTM.

3.4 Aseguramiento de la calidad

Como evidencia del control del proceso y del producto se mencionan algunas de las actividades que se realizaron para la construcción de los concretos de esta estructura.

Actividades previas al colado

Traslado de camiones revolvedores y bombas al sitio, con un tiempo estimado de 1:30 h. Para lograr el ascenso de estos equipos en algunos tramos se requiere de la ayuda de un cargador frontal, principalmente en el caso de la bomba ya que es del tipo telescópico.

Se realiza el acondicionamiento de la caldera para llegar a la temperatura mencionada de 90°C, el inicio de este trabajo se debe llevar a cabo con cuando menos 6 h de anticipo a las operaciones de suministro.

Se verifican y rehabilitan en caso de ser necesario las tuberías de agua , y se ejecutan pruebas de los motores y en los equipos vitales de la planta. En forma adicional, el cuarto de control de dosificación se lleva a una temperatura mínima de 10 °C (mediante calefactores eléctricos) para asegurar el buen desempeño de los indicadores digitales de las básculas.

Actividades durante el colado

Se aplica una lista de verificación previa al inicio de suministro para



asegurar la existencia de todos los elementos necesarios (equipos e insumos).

Se realiza la dosificación y suministro del concreto, con verificación de características del material directamente en la obra.

Revisión médica del personal que va a participar en las actividades de colocación.

Actividades posteriores al colado

Vaciado de la tolva de agregados, drenado y purga de la tubería de agua para evitar el congelamiento y asegurar su operación adecuada.

Para minimizar los costos por calentamiento de material o de mantenimiento y operación en los equipos, se procede a cubrirlos con lienzos aislantes y el equipo móvil se traslada al campamento que se ubica en la base de la montaña.

Muestreo

En cuanto a los materiales que se emplearon en la producción de concreto, todos fueron caracterizados y evaluados previo a su utilización.

Todos los días en que se fabricó concreto se tomaron muestras cilíndricas para la evaluación de resistencia a la compresión, de tal manera que se tomarán acciones correctivas en caso de ser necesario.

Pruebas de verificación

En el caso de la materia prima, durante todo el tiempo que se llevó a cabo la construcción se realizaron en forma rutinaria pruebas de verificación de los insumos que se manejaron, para asegurar las mínimas variaciones en su calidad o bien detectar cualquier posible cambio sus propiedades o en la fuente de procedencia.

La institución responsable del proyecto contrató los servicios de un laboratorio externo para tener información de referencia en cuanto a la calidad del producto recibido. Es importante mencionar que durante todo el proyecto no se presentó ningún problema de calidad o suministro del concreto.



TECNOLOGÍA PARA
EL CONCRETO

EXPERIENCIAS CONCRETAS

N° 14 :Concepción y elaboración de la estructura de concreto construida a una altura superior a los 4000 msnm para la operación de un Radio Telescopio Milimétrico

CONCLUSIONES

El conocimiento y el entendimiento de las condiciones de exposición y servicio, que en este caso pueden ser calificadas como extremas, permite anticipar las necesidades para garantizar la producción uniforme y de calidad del concreto.

La importancia y características del proyecto, la implementación todas las medidas de referencia y los resultados obtenidos, dejan clara constancia de la capacidad tecnológica de la ingeniería mexicana para llevar a buen término proyectos de gran envergadura.

BIBLIOGRAFÍA

1) INAOE, 1998. Manifiesto de Impacto Ambiental en las Modalidad Intermedia Referente a la Construcción del Gran Telescopio Milimétrico e Infraestructura de Apoyo”. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, Puebla, México.

2) INAOE, 1999. “Reporte de las Condiciones Atmosféricas y Climatológicas en el Cerro de la Negra, Puebla, México”. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, Puebla, México.

3) Uribe, A.R., 1999. “Análisis y Recomendaciones Relativas a la Construcción de la Cimentación del Gran Telescopio Milimétrico”. Informe Técnico, Cemento de Tecnología Cemento y Concreto, Dirección Técnica, Unidad Concreto, Cementos Mexicanos, México.

4) NMX C 155. 1987, “Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Especificaciones”. Dirección General de Normas, Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, México.

5) Dirac, 1999. “Especificaciones de Concreto del Radio Telescopio Milimétrico”. Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, Puebla, México.



P Y S CONCRETO



www.pysconcreto.com.pe