



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA ZAPATA
PILA 4 DEL “PUENTE SAN MARCOS” QUE FORMA
PARTE DEL PROYECTO CARRETERO NUEVO
NECAXA-TIHUATLÁN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

INGENIERÍA CIVIL

P R E S E N T A :

GABRIEL SOTO SAN ROMÁN

TUTORA:

M.I. SERGIO MACUIL ROBLES



MÉXICO, D. F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/109/12

Señor
GABRIEL SOTO SAN ROMÁN
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. SERGIO MACUIL ROBLES, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA ZAPATA PILA CUATRO DEL PUENTE SAN MARCOS QUE FORMA PARTE DEL PROYECTO CARRETERO NUEVO NEGAXA-TIHUATLAN"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO
- III. ESTUDIOS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN
- IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN DE LA PILA CUATRO
- V. CONCLUSIONES
- VI. BIBLIOGRAFÍA
- VII. ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 5 de agosto de 2013.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTI*gar.

ÍNDICE

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	04
OBJETIVOS	05
INTRODUCCIÓN	05
CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO
1.1 CLASIFICACIÓN DE PUENTES EN MÉXICO	07
1.2 TIPOS DE CIMENTACIÓN	08
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
CAPÍTULO 2	ESTUDIOS REALIZADOS PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN
2.1 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO	14
2.2 ESTUDIOS HIDRÁULICOS DEL SITIO	18
2.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL SITIO	28
2.4 INSTRUMENTACIÓN Y POST-ANÁLISIS	29
CAPITULO 3	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN DE LA PILA 4
3.1 EXCAVACIÓN Y COLOCACIÓN DE ATAGUIA	33
3.2 PILOTES	33
3.2.1 PERFORACIÓN DE PILOTES	34
3.2.2 ARMADO, COLOCACIÓN Y COLADO DE CONCRETO	35
3.2.3 DESCABECE DE PILOTES, ESTUDIOS Y SONDEOS SONICOS	37
3.3 COLOCACIÓN DE ACERO EN ZAPATA	40
3.4 COLOCACIÓN DE MURO PERIMETRAL	42
3.5 PRELIMINARES Y PLANEACIÓN DEL COLADO MASIVO	43
3.6 COLADO MASIVO DE ZAPATA PILA 4	46
3.7 CURADO DE CONCRETO Y SONDEO DE TEMPERATURA	47
CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	50
GRÁFICAS DE ESTUDIOS Y TABLAS	51
REPORTE FOTOGRÁFICO	65

DEDICATORIAS

Papa te dedico esta tesis y mi carrera porque me enseñaste que el conocimiento de un ingeniero es tan amplio como la imaginación del individuo, porque estuviste a mi lado motivándome en todos los retos que se presentaron y porque me escuchabas con una ilusión que envidio día a día

AGRADECIMIENTOS

.

A mi Familia por el apoyo a lo largo de toda mi carrera

A mis Amigos por el entusiasmo que me brindaron

A mis Profesores por compartir sus experiencias y resolver mis inquietudes

A la UNAM por la oportunidad de formar parte de esta gran familia cultural

OBJETIVOS

Describir del proceso constructivo: excavación, proceso de pilotes, armado de zapata, cimbrado, colado masivo y curado; Y aplicar técnicas especiales en la cimentación de la Pila 4 del puente San Marcos en el proyecto carretero Nuevo Necaxa-Tihuatlán.

INTRODUCCIÓN

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la subestructura y superestructura de un elemento, es la interacción de la estructura con el suelo y básicamente es la parte más importante en las etapas de construcción de todo elemento, ya que, de esta depende toda la estructura que se desea realizar y además se necesita un buen proceso constructivo para la que el elemento estructural funcione según el diseño. Hay que prestar especial atención porque la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno.

La seguridad es un factor muy importante en el tema de las cimentaciones, ya que al ser el soporte de toda la estructura se debe contemplar un nivel por encima de lo estipulado y tener en cuenta todos los factores a los que puede estar expuesto este elemento; en el caso específico de los puentes, podemos mencionar que estos se dividen en tres partes esenciales de su estructura (cimentación, subestructura y superestructura), la primera etapa se desprende del subsuelo y el elemento de cimentación es diferente para cada proyecto, para esto se debe contar con información suficiente para diseñar y construir la mejor posibilidad al proyecto.

Capítulo

1



**DESCRIPCIÓN GENERAL
DEL PROYECTO PUENTE
“SAN MARCOS”**

1.1 CLASIFICACIÓN DE PUENTES EN MÉXICO

Los puentes son muy importantes, ya que gracias a ellos se pueden salvar un accidente geográfico o físico como un río, un cañón, un valle, un camino, una vía férrea o un cuerpo de agua.

En el mundo existen mucho tipos de puentes, entre ellos se encuentran puentes fijos y móviles; de acero, de concreto y mixtos, puentes de tramo recto, en arco, atirantados y colgantes; realizados con elementos prefabricados o construidos “in situ” sobre cimbra estática, cimbra auto-lanzable, empujados, por doble voladizo o utilizando grandes grúas marítimas; como se puede observar existe una gran diversidad de formas y clasificaciones según su uso.

Hablando específicamente de México se han realizado gran número de puentes y se han clasificado de formas muy generalizadas como son:

- Viaductos
- PIV (Paso inferior Vehicular)
- PSV(Paso Superior Vehicular)
- PIPR(Paso Inferior Peatonal con Rampa)
- PIPG(Puente Inferior Paso Ganadero)
- CAJONES (Cajones, Dovelas y algunas obras de drenaje consideradas por su magnitud)

En los proyectos carreteros de la actualidad, se considera dentro del estudio carretero un número importante de estas estructuras para satisfacer las necesidades de cada región por las que pase estos nuevos proyectos.

Como se mencionó anteriormente, en el país se han construido diferentes puentes, pero los que más comúnmente se han construido por sus características son los siguientes:

- Vigas
- Doble voladizo
- Acostillado

- atirantado

Es importante mencionar que cada puente contiene especificaciones diferentes, esto depende de las características representativas del lugar, ya que se diseña y se decide que estructura es la más adecuada para la zona en estudio.

1.2 TIPOS DE CIMENTACIONES

La cimentación es importante porque sirve de unión entre el suelo y la estructura.

La elección del tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos esos datos se calcula la capacidad portante, es decir, es la capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre él, es la máxima presión media entre la cimentación y el terreno tal que no se produzca un fallo por cortante del suelo o asentamiento diferencial excesivo, que junto con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo u otro diferente de cimentación. Siempre que es posible se emplean cimentaciones superficiales, ya que son el tipo de cimentación menos costoso y más simple de ejecutar. Cuando por problemas con la capacidad portante o la homogeneidad del mismo no es posible usar cimentación superficial se valoran otros tipos de cimentaciones.

En estructuras importantes, tales como puentes, las cimentaciones, incluso las superficiales, se apoyan a suficiente profundidad para garantizar que no se produzcan deterioros. Las cimentaciones superficiales se clasifican en:

-Cimentaciones ciclópeas.

-Zapatas.

-Zapatas aisladas.

-Zapatas corridas.

-Zapatas combinadas.

-Losas de cimentación.

Cimentaciones profundas

Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Por eso deben ser más profundas, para poder aplicar en una gran área y distribuir un esfuerzo para soportar la carga. Algunos métodos utilizados en cimentaciones profundas son:

Pilotes: son elementos de cimentación esbeltos que se hincan (pilotes de desplazamiento prefabricados) o construyen en una cavidad previamente abierta en el terreno (pilotes de extracción ejecutados in situ). Antiguamente eran de madera, hasta que en los años 1940 comenzó a emplearse el concreto.

Un pilote prefabricado está limitado por dos factores:

- 1.-El peso: Son relativamente pesados si se les compara con otros de tamaño similar.
- 2.-La Maniobrabilidad: Es dificultoso cortarlos cuando resultasen demasiado largos y es aún más difícil empatarlos para el caso contrario.

Pilotes de concreto fabricados in situ: Son los que más se usan para cargas entre 30 y 60 toneladas. Estos tipos de pilotes se pueden dividir en dos grupos: pilotes con camisa, ademe o tubo de entubación (en los que un tubo de metal de paredes delgadas se hinca en el terreno y sirve de molde) y pilotes sin tubo de entubación; en los que el concreto se coloca en un agujero hecho previamente en el suelo quedando el concreto finalmente en contacto directo con el suelo.

Grupos de pilotes

La capacidad de carga del grupo de pilotes se calcula suponiendo que el este forma parte de una cimentación gigantesca, cuya base está a nivel de las puntas de los pilotes y cuyo ancho y largo del grupo de pilotes. La capacidad de carga del grupo es la suma de la capacidad de carga de la base de la "cimentación", más la resistencia a esfuerzo cortante a lo largo de las caras verticales del grupo que forma la "cimentación".

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Autopista México-Tuxpan

Tuxpan es el puerto más cercano al Distrito Federal, pues se encuentra a una distancia de sólo 293 kilómetros de la ciudad de México. Sin embargo, la comunicación entre ambos puntos siempre se ha dificultado por la presencia de la Sierra Madre Oriental, cuya difícil orografía ha constituido una barrera física para la comunicación entre el Altiplano y la costa del Golfo de México. La carretera de dos carriles que atraviesa la sierra para comunicar ambas regiones, construida hace muchas décadas, ha sido gradualmente modernizada o complementada con trazos modernos, apropiados para la circulación del tránsito actual. Sin embargo, esta modernización todavía no está completa, por lo que en la actualidad siguen operando tramos que no satisfacen los requerimientos del tránsito y que se han convertido en cuellos de botella para toda la ruta.



GRAFICA No.1.- Ubicación del proyecto

Esquema para la terminación de la autopista México-Tuxpan

El trazo del proyecto incluye dos tramos: el primero se localiza entre Nuevo Necaxa y Ávila Camacho (37 kilómetros); el segundo tramo se ubica entre Ávila Camacho y Tihuatlán (48 kilómetros)(ver grafica No.1). Se reducirá la distancia de 122 a 85 km y el tiempo de 2.5 a 1.0 hrs, lo cual, permitirá ahorros de 37 km en longitud y de 1 hora 30 minutos en tiempo.

El tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho se desarrolla en plena Sierra Madre Oriental y en consecuencia su trazo debe salvar grandes barrancos, montañas y otros accidentes topográficos que dificultan la construcción y elevan significativamente su costo. El tramo

Ávila Camacho- Tihuatlán se inicia en las estribaciones de la Sierra Madre y concluye en la llanura costera del Golfo de México, cerca de Tihuatlán, por lo que su trazo es mucho más favorable y su costo de construcción más reducido. Con objeto de aumentar la viabilidad de desarrollar este tramo a través de una asociación con el sector privado, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes decidió instrumentar un esquema combinado de concesión y prestación de servicios. Así, al tramo nuevo Necaxa-Ávila Camacho se le aplicará el esquema de proyectos de prestación de servicios de largo plazo, mientras que el tramo Ávila Camacho-Tihuatlán se estructurará a través del esquema de concesión. Para desarrollar el tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho como PPS se otorgará una concesión para construirlo, operarlo, mantenerlo y conservarlo conforme a la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal y además se celebrará un contrato de prestación de servicios de largo plazo (Contrato PPS) conforme al Acuerdo por el que se establecen las Reglas para la realización de proyectos para prestación de servicios del 9 de abril de 2004 y a la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público. El objeto principal del Contrato PPS consiste en poner a disposición de la SCT una capacidad carretera que le permita ofrecer a los usuarios una comunicación segura y eficiente a través de una carretera libre de peaje. El tramo Ávila Camacho-Tihuatlán está siendo construido por la SCT bajo la modalidad de obra pública, y a su terminación se entregará en concesión a la empresa concesionaria que resulte ganadora del proceso de licitación. Este tramo será de cuota y sus ingresos se destinarán a la recuperación de la inversión efectuada por la concesionaria para construir el tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho. De acuerdo con el esquema a instrumentar, un solo título de concesión regirá la concesión para la construcción, operación, mantenimiento y conservación del tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho y la explotación, operación, mantenimiento y conservación del tramo Ávila Camacho-Tihuatlán. Por su parte, el Contrato PPS se asignará en forma directa al titular de la concesión conforme a la fracción I del Artículo 41 de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público, a fin de que proporcione la capacidad carretera correspondiente al tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho. De acuerdo con los términos de la licitación, el fallo del concurso se otorgará al licitante que solicite el menor valor presente del flujo de pagos integrados anuales conforme al Contrato PPS. En caso de que amerite la terminación anticipada de la concesión, también se dará por terminado el contrato PPS.

Los recursos provenientes del pago del Contrato PPS y los derivados de la explotación del tramo de peaje, así como los créditos, financiamientos adicionales y cualesquiera

otros recursos se afectarán a un fideicomiso de administración y fuente de pago para asegurar que se cubran diversas obligaciones a cargo de la concesionaria, como son:

- Pagos relacionados con la construcción, operación, mantenimiento y conservación del tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho;
- Pagos relacionados con la explotación, operación, mantenimiento y conservación del tramo Ávila Camacho-Tihuatlán;
- Pago de los financiamientos contratados para la construcción del tramo Nuevo Necaxa-Ávila Camacho;
- Pago, en su caso, de obligaciones contraídas con los tenedores de los títulos de deuda que se llegasen a emitir;
- Constitución de los fondos y reservas correspondientes;
- Pago de obligaciones fiscales y de la contraprestación anual; y
- Las demás que se establezcan en el contrato PPS y el título de concesión.

El proceso de licitación para otorgar la concesión y el contrato PPS conforme a lo descrito en párrafos anteriores está actualmente en desarrollo. Dada la complejidad del proyecto, la Secretaría realiza un esfuerzo especial para el manejo de temas relacionados con la protección del medio ambiente, el manejo del riesgo geológico y la interacción del proyecto con las múltiples instalaciones de Petróleos Mexicanos ubicadas a lo largo de su desarrollo.

PUENTE SAN MARCOS

El puente San Marcos es uno de los puentes más importantes en el país ya que contiene en su estructura los dos elementos de dimensiones más grandes hasta el momento, como son la columna de la pila 4 que su altura llega a ser de 235 m y la zapata de la misma que llega a medir en su forma piramidal trunca de base 34m x 34m y una altura total de 7.5m con un volumen total de 6000 m³ aproximadamente; también entra en una de las modalidades más peculiares en los puentes, ya que su proceso de la superestructura se utiliza el método de dovelas en vez del común proceso de trabes, este método en particular requiere que la simetría de la construcción de las dovelas sea acorde a los tiempos estipulados; ya que a pesar de que estos elementos se calculan para que trabaje la estructura cuando este unida, se adicionan armados y cargas para el elemento cuando está en construcción pero estos se consideran en un periodo a corto tiempo y la recomendación es que sean estos los más apegados a lo planeado.



**ESTUDIOS REALIZADOS
PARA EL DISEÑO DE LA
CIMENTACION.**

2.1 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO

Los métodos de exploración Geofísica se basan en determinar la distribución de alguna propiedad física (velocidad, densidad, resistividad, etc.) del subsuelo haciendo mediciones (campos magnéticos, eléctricos, gravimétricos, tiempos de arribo de ondas, etc.) en la superficie del terreno; estos han demostrado ser muy eficientes para determinar las características (litológicas, saturación de agua, químicas, etc.) del subsuelo indirectamente.

Entre los métodos más utilizados están aquellos cuyo objetivo es la determinación de la resistividad eléctrica de los materiales a profundidad y la velocidad de propagación de ondas de sonido, denominados métodos Geo-eléctricos de corriente continua y métodos sísmicos respectivamente.

Se llevó a cabo un estudio de prospección Geofísica utilizando la metodología de refracción sísmica, para el proyecto carretero Nuevo-Necaxa – Tihuatlán a lo largo del eje donde se pretende proyectar el “Puente San Marcos”, los detalles y resultados del estudio se describen más adelante.

La realización de obras civiles requiere dentro de la serie de estudios, la realización de trabajos de prospección Geofísica en donde a través de métodos indirectos se puede determinar la distribución espacial de los materiales en el subsuelo así como sus características litológicas.

Un proyecto carretero en particular está compuesto de obras de ingeniería (puentes, túneles, cortes, terraplenes, etc.) que requieren de estudios geofísicos que en conjunto con otro tipo de estudios geotécnicos (perforaciones, pruebas de laboratorio de muestras de núcleo y canal recuperadas, geología, etc.) permiten definir el modelo geológico y geotécnico, definiendo los problemas geológicos potenciales que se pueden presentar durante las etapas de construcción y/o operación de la estructura.

Los estudios de geofísica (por ejemplo sísmica y/o eléctrica), se utilizan para obtener información indirecta de los materiales del subsuelo, que auxilien a definir la estratigrafía, espesores de la zona de roca intemperizada y el contacto con la roca sana, así como la calidad del macizo rocoso.

Este estudio técnico tiene varios objetivos que se enlistan a continuación:

- 1.- Investigar indirectamente el subsuelo en los primeros metros de profundidad a lo largo de cada uno de los perfiles trazados en las tres diferentes zonas de estudio.
- 2.- Determinar la estratigrafía (litología y espesores) de las unidades presentes en cada área estudiada.
- 3.- Determinar la distribución espacial de las propiedades físicas (velocidad y/o resistividad) del subsuelo en cada una de las áreas de estudio.
- 4.- Definir las características y calidad de las rocas presentes de cada área en cuestión.

Como primera etapa del estudio geofísico se llevó a cabo la recopilación de información, geológica, geofísica, geotécnica y topográfica disponible hasta el momento para el proyecto. En base a los objetivos planteados y particularidades de la obra proyectada utilizó el Método sísmico de refracción.

Se realizó 16 tendidos sísmicos de refracción de 60 metros de longitud y separaciones de geófonos de 5 metros, con 5 fuentes localizadas: la primera de ellas 2.5 metros antes del primer geófono, la segunda localizada entre los geófono 3 y 4 (12.5 m), la tercera central localizada entre los geófonos 6 y 7 (27.5 m), la cuarta entre los geófonos 9 y 10 (42.5 m) y la última localizada a 2.5 metros después del geófono 12 (57.5 m). Los tendidos sísmicos se realizaron perpendicularmente (transversales) al trazo utilizando como centro (30 metros a cada lado del punto marcado) la coordenada proporcionada y marcada en campo por el departamento de Topografía.

Exploración Geofísica

El principio básico de los métodos geofísicos de exploración es determinar la distribución de alguna propiedad física en el subsuelo efectuando mediciones desde la superficie. Dichas mediciones pueden ser campos eléctricos, magnéticos, gravitatorios, velocidad de propagación de las ondas de sonido en el subsuelo, entre otras.

Los métodos Geo-eléctricos de prospección geofísica son los más utilizados en exploración de agua, minerales, estudios ambientales (contaminación de acuíferos), y en estudios superficiales de aplicación geotécnica (litología, búsqueda de cavernas, grietas, etc.) entre otras aplicaciones. Estos métodos se basan en una de las propiedades electromagnéticas de los materiales que es la resistividad (Orellana, 1982). Consisten en determinar directamente la capacidad de conducción eléctrica del terreno para evaluar las condiciones electroestratigráficas del mismo.

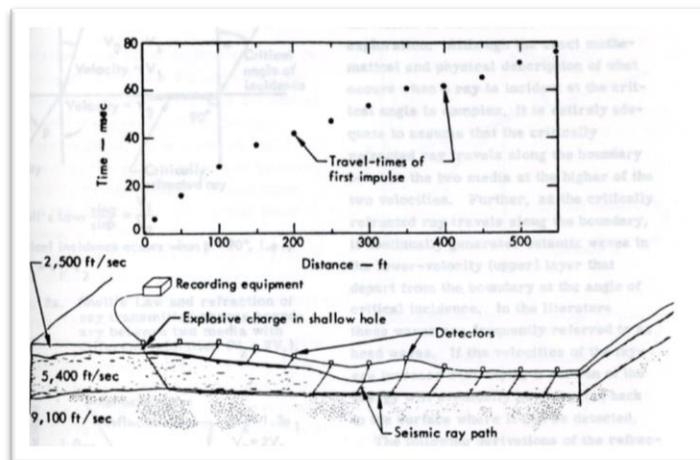
En aplicaciones de ingeniería civil el método sísmico de refracción es el más utilizado para evaluar las condiciones litológicas y tipo de materiales del subsuelo donde se pretenda construir una obra de ingeniería (puente, túnel, edificio, etc.) Este método se basa en evaluar las velocidades de propagación de ondas de sonido en el subsuelo generadas a través de una fuente (golpe, explosión, etc.). Permite caracterizar los diferentes tipos de materiales en el subsuelo a través de la velocidad de onda p (longitudinal).

Método Sísmico de Refracción

Fundamentos teóricos

El método sísmico de refracción consiste en medir varios puntos a lo largo de una línea (tendido) los tiempos de viaje de las ondas compresionales generadas por una fuente de energía impulsiva, esto se ilustra en la gráfica No.2. Las ondas generadas en la superficie viajan a través del subsuelo, la propagación de la energía sísmica es descrita esencialmente por las leyes que gobiernan la circulación de rayos de luz en un medio transparente. La ley fundamental que describe la refracción sísmica de los rayos es la *ley de Snell*, que junto con el fenómeno de *incidencia crítica* es el fundamento físico del método sísmico de refracción.

Cuando encuentran un contraste de velocidades que se relaciona con una capa de diferente material las ondas que inciden con un ángulo crítico viajan a través de la interface y posteriormente se refractan hacia la superficie en donde son detectadas, los primeros arribos a cada uno de los sensores (geófonos) están asociados a las ondas refractadas, al determinarlos y graficarlos en curvas tiempo-distancia (domocronas) generamos una gráfica cuyas diferentes pendientes están relacionadas directamente con la velocidad de propagación de las ondas en el subsuelo a través de las distintas capas, lo que nos permite obtener la estratigrafía del subsuelo a lo largo del perfil.



GRAFICA No.2.- Esquema del método sísmico de refracción

El procesamiento de la información se realizó utilizando el Software denominado **SEISIMAGER2D** versión estándar desarrollado por Geometrics Inc.

El cual está formado por dos módulos: el primero denominado *Pickwin* utilizado para procesar los sismogramas y elegir los tiempo de los primeros arribos, y así generar las curvas tiempo-distancia de cada uno de los tendidos sísmicos de refracción.

El segundo módulo denominado *Plotrefa-2D* sirve para generar los modelos de velocidades de las ondas compresionales a partir de las curvas tiempo-distancia de cada uno de los tendidos o de varios si son coloniales, se realizó un procesado estándar mediante técnicas de inversión 2D a partir de un modelo inicial y posterior ajuste automático de los datos. Cada uno de los modelos de velocidades obtenidos se interpretó de acuerdo a sus valores de velocidades y en función de la Geología local, para presentar los resultados y conclusiones de cada uno de los sitios propuestos (áreas de estudio).

RESULTADOS ALCANZADOS

Modelos de Velocidad

De la información procesada e interpretada de los 16 tendidos sísmicos realizados en la zona donde se proyectó el Puente San Marcos, se obtuvo un modelo de velocidad por cada tendido sísmico mostrado en la Figura 3, donde se identificaron en general 3 capas con rangos de velocidad diferentes las cuales se describen a continuación:

GRUPO A.- Varía en un rango de 200 a 600 m/seg, tiene un espesor menor a 4 metros, se localizó en todos los tendidos sísmicos realizados y se asocian a cubierta superficial constituida por suelo residual arcilloso y fragmentos de roca.

GRUPO A1.- Varía en un rango de 500 a 1300 m/seg, tiene un espesor menor de 2 metros, se detectó únicamente en tendido TSR-9 realizado en medio del cauce del río San Marcos y se asocian a cubierta superficial constituida por arenas y gravas, no saturadas con agua.

GRUPO B. Varía en un rango de velocidad de 800 a 2000 m/seg. Asociadas a roca calcárea fracturada y alterada, con intercalaciones de lutita. Presentan un espesor promedio de 10 metros.

GRUPO B1. Varía en un rango de velocidad de 1500 a 2500 m/seg. Se detectó únicamente en el tendido TSR-9 realizado en medio del cauce del río San Marcos. Se asocia con depósitos fluviales depositados a lo largo del río, constituidos por arenas, gravas y bloques saturados con agua. Presentan un espesor de 10 metros.

GRUPO C. Varía en un rango de velocidades de 1800 a 2900 m/seg a una profundidad de 13 a 15 metros en promedio, se identificó en todos los tendidos sísmicos realizados. Se correlaciona con rocas calcáreas semi-fracturadas.

2.2 ESTUDIOS HIDRÁULICOS DEL SITIO

El informe tiene como objeto principal el estudio hidráulico en el río San Marcos, así como el análisis de la socavación y el control de erosión de la estructura definitiva, y la repercusión en el río de la posible ejecución de una península provisional para construir el apoyo del nuevo puente de la carretera.

La misión principal de las penínsulas es crear una plataforma de trabajo sobre el cauce del río, elevada respecto del lecho actual, de forma que los caudales ordinarios durante la época de ejecución, cuya disquisición se realiza más adelante, no inunden la zona de trabajo. Sin embargo, hay ocasiones en que el volumen del cauce y las velocidades de circulación del flujo resultantes del estrechamiento necesario durante la construcción, hacen que no sea posible la ejecución de esta plataforma.

El área de estudio se localiza en la parte Norte del Estado de Puebla, entre los poblados de Xicotepec de Juárez y Ávila Camacho, Puebla, y comprende una longitud de aproximadamente 2000 m, si bien la actuación se centrará únicamente en el entorno del puente y la península provisional.

Para el cálculo de las curvas de remanso y variables hidráulicas se han considerado 14 secciones principales entre las que se encuentran la sección de paso del nuevo puente a construir.

La estimación de caudales se realiza sobre la base de datos dada en el proyecto.

El análisis hidráulico incluye el cálculo de las curvas de remanso y variables hidráulicas a partir de las secciones transversales principales del cauce. El programa empleado en este estudio es el HEC-RAS del US Army Corp of Engineers, versión 3.1.2 de Abril de 2004.

DATOS DE PARTIDA

Se parte del “Estudio Topo-hidráulico e Hidrológico del Río San Marcos”, realizado por COMEC S.A. de C.V., en el que se determina las siguientes características físicas de la cuenca vertiente y el caudal de diseño para 50 años de periodo de retorno.

También se dispone de la Segunda parte de la “Memoria Fotográfica del Trazado del Proyecto Carretero de nuevo Necaxa-Tihuatlán”, tramo Km 854+000 al 876+200, realizado por COPEI Ingeniería.

Se tiene la publicación de “Envolvente de gastos máximos observados y probables en la República Mexicana 1977-1978”, editado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Para la determinación de los caudales y criterios de diseño hidráulico, se han seguido las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT).

PC-CRI-NX-002: criterios de diseño de Estructuras

TR-CRI-NX-001: criterios de diseño de caminos de Acceso y Terracerías

N-PRY-CAR-1-06-001: Norma de Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes

N-PRY-CAR-1-06-002: Norma de Trabajos de campo

N-PRY-CAR-1-06-003: Norma de Procesamiento de Información

M-PRY-CAR-1-06-003: Manual de Procesamiento de Información

N-PRY-CAR-1-06-004: Norma de Análisis Hidrológicos

M-PRY-CAR-1-06-004: Manual de Análisis Hidrológicos

N-PRY-CAR-1-06-005: Norma de Análisis Hidráulicos

M-PRY-CAR-1-06-005: Manual de Análisis Hidráulicos

La Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos ha facilitado los datos de la estación Hidrométrica de Poza Rica Veracruz, que comprende los datos de 1957 al 2002.

Se tiene el Informe Geotécnico Definitivo del Río San Marcos, con fecha del 4-07-2008, junto con los registros de los sondeos correspondientes (Anexo 6).

Además de la documentación anterior se tienen 14 perfiles trasversales del río San Marcos 1000 m aguas arriba de la estructura y 1000 m aguas abajo de la misma, tomadas por la obra conforme a la Norma anterior, N-PRY-CAR-1-06-002 de la SCT de México.

Caudales

Generalidades del río San Marcos

El recorrido de este río se ubica entre el Tuxpan y Tecolutla, nace con los arroyos Los María y Cuarco a 2 500 m.s.n.m. Estos arroyos confluyen en las inmediaciones del poblado de Xilepa y forman el río San Marcos que recibe aportaciones de arroyos diversos y de los ríos Trinidad, Mamiquetla y Nauapan.

Aguas abajo y, en las inmediaciones de Villa Ávila Camacho (La Ceiba), el río recibe por margen derecha al río Amixtlán, que tiene como uno de sus afluentes al río Cilima. Aproximadamente a 5 km aguas abajo de la población de El Tepetate, el río San Marcos recibe las aportaciones del río El Metate.

Asimismo, en las inmediaciones del poblado de La Lima recibe por margen derecha al río Buenavista y aguas abajo pasa en las inmediaciones de la Ciudad de Poza Rica, donde cambia su nombre a río Cazones.

Datos del Cauce

La cuenca del Río San Marcos en la zona de estudio tiene una superficie de 580 km² y la longitud del cauce principal en este punto es de 60 km, según datos del proyecto de Comec.

En la zona del puente San Marcos en el km 863+000, la topografía es abrupta con cañadas y cantiles profundos producidos por la presencia de fallas y fracturas continuas que han sido fuertemente erosionadas. El trazo exterior de la autopista sigue un curso muy pegado a los cantiles existiendo la posibilidad de que sea afectada por desprendimientos de roca.

La zona en estudio comprende un tramo de unos 2000 m de longitud, para cuya definición se ha partido de 14 perfiles transversales del cauce, más los perfiles correspondientes al nuevo puente de la carretera sobre el San Marcos.

Dichas secciones se han situado superponiendo la planta de las mismas con el plano topográfico. De esta forma, se han podido determinar distancias horizontales, ángulos entre secciones y forma aproximada de la llanura de inundación.

Caudales de proyecto

De acuerdo con el Estudio Topo-hidráulico e Hidrológico de Comec, el caudal de diseño resulta ser de 4000 m³/s, que se corresponde con un caudal unitario de 7 m³/s/km², obtenido a partir de la lámina 110 de la publicación de "Envolventes de Gastos máximos Observados y Probables en la República Mexicana, 1977-1978", para 50 años de periodo de retorno.

En esta publicación se da una expresión para calcular el valor del máximo caudal observado para cada región. La zona de estudio corresponde con la Región hidrológica 27 – Tuxpan-Nautla, en la que se aplica la ecuación No 1:

Ecuación No. 1.
$$q = 2450(A + 250)^{-0.85}$$

Dónde:

q es el gasto en $m^3/s/km^2$

A es el área de la cuenca en km^2

De donde se obtiene un valor máximo observado de $4690 m^3/s$ ($q=8.09 m^3/s/km^2$).

En el mismo informe se hace referencia en la lámina 74 de la misma publicación, donde se recogen los Gastos Máximos Probables para un periodo de retorno de 50 años, que se corresponden con un caudal específico de $7 m^3/s/km^2$, y se obtiene un caudal de unos $4000 m^3/s$.

Sin embargo, el caudal de diseño según la Norma N-PRY-CAR-1-06-004 de la SCT de México, debería ser mayor, correspondiente a 100 años de periodo de retorno.

Para el cálculo del caudal de diseño, en el proyecto se hace mención del método de Ven Te Chow con un número de curva de 54 equivalente a un umbral de escorrentía corregido de 36.8 mm, pero finalmente no se aplica.

Otro método de cálculo para la estimación de los caudales que se emplea en el proyecto de Comec, es el Método Racional para contrastar con el “Método de envolvente de gastos máximo”, a pesar de que según la Norma N-PRY-CAR-1-06-004 de la SCT de México, no es aplicable para cuencas de más de $100 km^2$ (en nuestro caso $580 km^2$).

Además, se toma un periodo de retorno de 50 años, cuando para el gasto teórico de diseño (QTDI), según la Norma N-PRY-CAR-1-06-004 de la SCT de México, el caudal de diseño debe ser de 100 años para puentes de carreteras con más de 100 m de longitud, independientemente del tipo de carretera que sea.

Esto no es importante porque al haber tanta diferencia respecto al método de la envolvente de gastos máximos, al final no se tienen en cuenta los resultados del método racional (1200 m³/s frente a los 4000 m³/s).

Extrapolación de caudales

En la norma N-PRY-CAR-1-06-004 de la SCT de México también se indica que el gasto de construcción (Qco) el cual determina el nivel de aguas de construcción (NAC), es el correspondiente a 5 años de periodo de retorno. Los gastos complementarios son las avenidas de 500 y 1000 años de periodo de retorno, que sólo se estudian para valorar los daños pero no para diseñar.

Por otra parte, para obras auxiliares de duración correspondiente a un estío, siendo esta época la de menor afluencia de caudales, el período de retorno empleado es de T = 1 año (Suarez Villar, Small Dams,...). En este caso se va a considerar un caudal algo superior, correspondiente al máximo de período de retorno T = 5 años, ya que es posible que la ejecución de los pilotes no se realice en la época de estío.

Dado que en el proyecto no aparecen los resultados para este periodo de retorno, se ha aplicado el método de Fuller para extrapolación de caudales para un periodo de retorno dado a partir de otro conocido:

Ecuación No.2.

$$Q_T = Q_1 \cdot (1 + 0.8 \cdot \log T)$$

donde Q_T el caudal a obtener para T años de periodo de retorno

De esta forma los caudales asociados a cada periodo de retorno son:

PERIODO DE RETORNO (años)	CAUDAL (m ³ /s)
5	2600
50	4000
100	4400
500	5300

TABLA No.1.- Periodos de retorno y gastos. Fuente (ICA-FCC)

Si se aplica una proporcionalidad entre los caudales de este río y los obtenidos para el río Tecolutla, un poco más hacia el sur dentro del mismo área hidrográfica, según aparecen calculados en el Boletín 55 de Investigaciones Geográficas: “Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz”, por Ricardo J. Garnica e Irasema Alcántara en el año 2004, se obtendría:

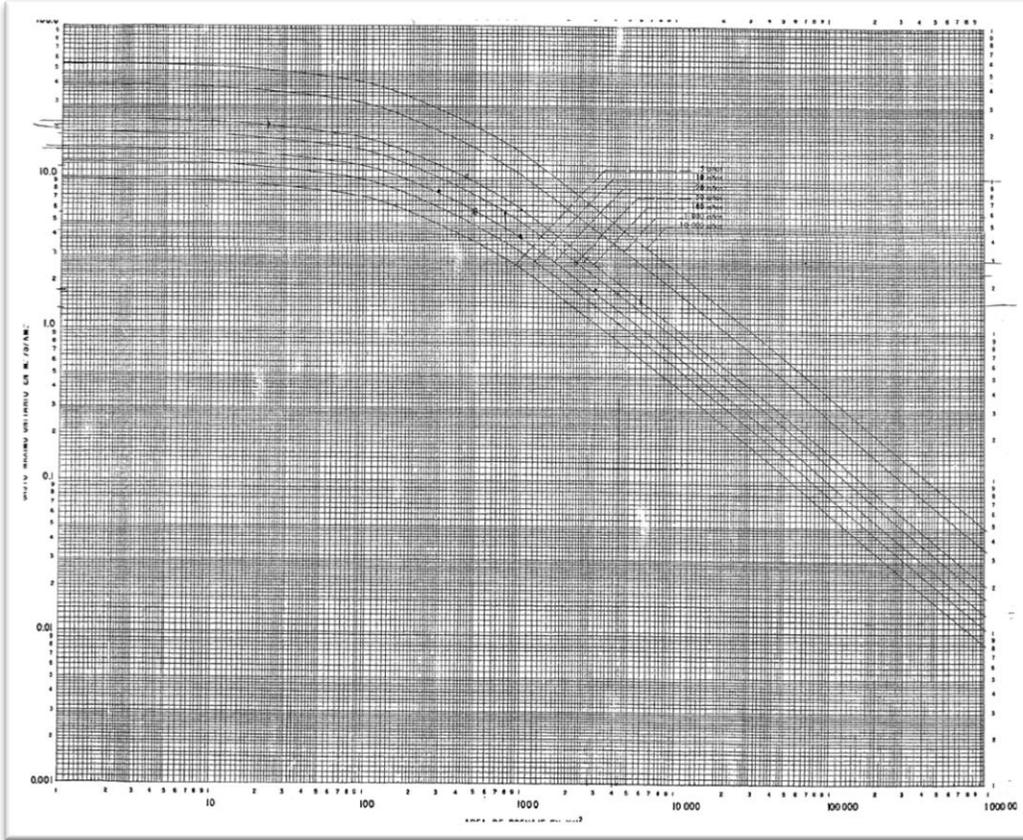
PERIODO DE RETORNO (años)	CAUDAL (m ³ /s)
5	950
50	4000
100	4300
500	5000

TABLA No.2.- Periodos de retorno y gastos año 2004. Fuente (ICA-FCC)

Publicación de Gastos máximos observados y probables

Al igual que se hace en el Estudio Topo-hidráulico, se puede emplear la publicación de “Envolvente de Gastos máximos observados y probables de la república mexicana”, editado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para determinar el caudal correspondiente a distintos periodos de retorno.

Para obtener los caudales específicos para la Región Hidrológica nº27 (Tuxpan-Nautla), es necesario tener el periodo de retorno según la gráfica No.3:



GRAFICA No.3.- periodos de retorno

De esta gráfica, para 580 km² se obtienen los siguientes caudales:

PERIODO DE RETORNO (años)	CAUDAL (m ³ /s)
5	1800
50	4000
100	4600
500	6400
1000	8000

TABLA No.3.- Gastos obtenidos por Grafica No.3. Fuente (ICA-FCC)

Determinación de caudales mediante la estación de Poza Rica

Se han facilitado los datos de la estación Hidrométrica más cercana al punto de estudio, que está localizada en Poza Rica Veracruz, y aunque no tiene datos actualizados esto debido a

que faltan los registros de los 6 últimos años, la serie va de 1957 al 2002 y es suficientemente larga para estimar los caudales mediante una distribución de Gumbel.

El estudio de los gastos máximos previsible se realiza a partir de los resúmenes anuales, mensuales y diarios, de los datos proporcionados en la estación de Poza Rica. Los datos de esta estación Hidrométrica se recogen en los anexos al final de este informe.

El resumen de los resultados medios y máximos mensuales y diarios se incluyen en la siguiente tabla:

Meses	Caudales medios diarios (m3/s)	Caudales medios mensuales (m3/s)	Caudales máximos mensuales (m3/s)
Enero	89	30	105
Febrero	74	25	92
Marzo	106	22	165
Abril	202	29	408
Mayo	287	41	887
Junio	898	133	1380
Julio	941	229	2106
Agosto	1356	178	2387
Septiembre	2248	309	5413
Octubre	2715	376	3223
Noviembre	429	137	1120
Diciembre	189	54	265

TABLA No.4.-Tabla resumen Gastos. Fuente (ICA-FCC)

A partir de los datos en la estación de Poza Rica se obtienen los gastos máximos mensuales y anuales, a los que se le aplicarán las distribuciones de Gumbel para calcular los gastos máximos previsible para los siguientes períodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años.

La función de distribución de Gumbel corresponde a las máximas extraídas de una distribución normal. Esta función es:

Ecuación No.3.

$$F(x) = e^{-e^{-y}}$$

Donde $F(x)$ es la función de densidad, es decir la probabilidad de no superar el valor de x , que sería la precipitación máxima.

La variable y , variable de Gumbel, es:

Ecuación No.4.

$$y = \alpha \cdot (x - x_0)$$

Según la teoría de la probabilidad:

Ecuación No.5.

$$G(x) = 1 - F(x)$$

$G(x)$ representaría la probabilidad del suceso complementario, es decir, la probabilidad de superar la magnitud x .

Según la definición de periodo de retorno T se tiene.

$$\frac{1}{T} = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Ecuación No.6.

Tomando logaritmos naturales dos veces:

$$y = -\text{LnLn} \frac{T}{T-1}$$

Ecuación No.7.

El ajuste de la función de distribución de Gumbel se realizará por el método de máxima verosimilitud. Los parámetros a ajustar serán x_0 y $1/\alpha$, que con los datos de la estación de Poza Rica se obtiene que:

$$x_0 = 877.12 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/\alpha = 854.05$$

De donde se obtienen los caudales asociados a cada periodo de retorno:

PERIODO DE RETORNO (años)	CAUDAL (m ³ /s)
2	1190
5	2160
10	2800
25	3610
50	4210
100	4800
500	6200

TABLA No.5.- periodo gasto calculado. Fuente (ICA-FCC)

Estos resultados se podrían reducir un poco teniendo en cuenta que la estación Hidrométrica se encuentra 30 km aguas abajo del punto en estudio, mientras que la cuenca vertiente real tiene una longitud de cauce de 60 km.

Sin embargo, como el caudal de diseño del puente según la Normativa mexicana es para 100 años de periodo de retorno y en todos los procedimientos de cálculo se han obtenido unos 5000 m³/s, se toma este caudal como de diseño de la estructura, que además es superior que el Gasto máximo Observado según la publicación de la Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos.

Puente sobre el Río San Marcos

Según el informe de "VIADUCTO DE SAN MARCOS. ESTUDIO CONCEPTUAL DEL PUENTE", el mismo consta con una longitud de 810 m, repartidos en 8 vanos con luces de: 45 + 90 + 180+ 180 + 180 + 90 + 45 m. De esta forma el viaducto queda apoyado sobre seis pilas y sobre los estribos.

La pila que previsiblemente será mojada por el cauce es la P4, queda en la zona más profunda del valle, y tiene un espesor de 12 m normal al eje del puente, y resultará algo mayor como obstrucción proyectada en la dirección de la corriente.

La cimentación de las pilas es de tipo directo mediante zapatas, que en el caso de la pila P4 es de 32.5 m x 21.0 m y 5.0 m de canto.

La rasante del viaducto está en torno a la cota +420 m., según la topografía de la obra.

Se propone un sistema constructivo mediante dovelas de concreto in situ ejecutados en avance en voladizo, para independizar la ejecución del tablero del suelo, principalmente en la zona central del valle.

Se ha efectuado el estudio hidráulico y de la plataforma de trabajo provisional del puente sobre el San Marcos, perteneciente a la obra de la carretera de Necaxa a Tihuatlán. De los estudios realizados se obtienen las siguientes conclusiones:

- A partir de los datos del "Estudio Topo-hidráulico e Hidrológico del Río San Marcos", realizado por Comec S.A., y de los criterios de diseño de la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), se ha determinado que el caudal de diseño del puente sea de 5000m³/s, que es superior que el Gasto Máximo Observado en la zona de estudio.
- Para la determinación de caudales menores asociados a menores periodos de retorno, se han empleado diversos métodos de extrapolación, la envolvente de

gastos máximos probables y los registros de los gastos en la estación de Poza Rica, Veracruz, unos 30 km aguas abajo del puente.

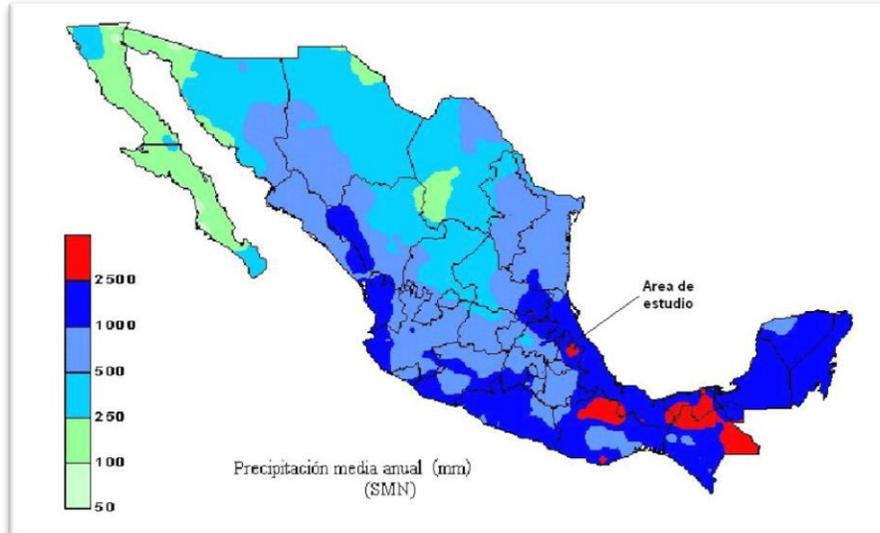
- El valor máximo de la socavación total en la pila P-5, teniendo en cuenta el acorazamiento del cauce, y para un caudal de diseño de $5000 \text{ m}^3/\text{s}$, está en torno a los 8.3 m, pero para el cálculo de la cimentación y para quedar del lado de la seguridad, se considerará todo el espesor del aluvión es socavable. Si se dispusiera de otro tipo de cimentación con mayor anchura de obstrucción a la corriente (como un encepado de pilotes, por ejemplo), la socavación teórica aumentaría, pero dicha socavación se producirá sólo hasta la cota de la roca.
- Para la construcción de la pila P-4 del puente sobre el río San Marcos, se propone la realización una plataforma de trabajo provisional en la época de estiaje, de noviembre a abril según los registros de la Estación Hidrométrica de Poza Rica, para un caudal de diseño de $300 \text{ m}^3/\text{s}$, que corone a la cota +203. Para caudales mayores se producirá el sobrevertido por encima de la misma, y la ruina del terraplén.
- En la parte exterior de la plataforma se colocará una escollera de protección con $D50 = 0.60 \text{ m}$, que equivale a un peso de unos 300 kg. Por debajo de esta escollera se colocará un filtro o un Geo-textil.
- Todas las cotas están referidas a la topografía de la obra, cuyos perfiles fueron enviados con fecha de 20-05-2008.

2.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL SITIO

El clima según la clasificación Köppen es variable del tipo Cfwb al Cfw'bg, que se caracterizan por ser templado lluvioso, con lluvias todo el año, predominando en el verano y con temperatura media en el mes más cálido de 22° C . Presenta una precipitación media anual de más de 1,000 mm. (Figura 2.)

Las condiciones climáticas en la zona se pueden considerar extremas ya que en tiempo de frío ha llegado a nevar y en tiempos de calor llega a 40° C húmedo lo cual se debe de considerar para los momentos de fraguado de concreto.

En la siguiente figura se puede observar la precipitación media anual, el punto en rojo es el área de estudio, en donde se puede ver que la precipitación varía de 1000 a 2500 mm.



GRAFICA No.4.- Mapa de precipitación media anual de la República Mexicana

2.4 INSTRUMENTACIÓN Y POST-ANALISIS

Para cada estudio realizado en campo se utilizan diferentes tipos de equipos de medición, ya que en cada una de ellas miden diferentes parámetros y a su vez la instrumentación realiza varios sondeos o mediciones para generar un campo de resultados más amplios para llegar a conclusiones de su estudio.

A continuación se describen los equipos utilizados en cada estudio:

El equipo a utilizar para grabar los datos de campo consistió en un sismógrafo de 12 canales diseñado y construido por la empresa Geometrics Inc. Modelo ES-3000.

Como fuente sísmica se utilizó un marro de 14 libras. El equipo se conecta a una computadora portátil y se comunica con el equipo a través del software de adquisición ESOS.



GRAFICA No.5.-Instrumentacion

ENSAYOS ULTRASONICOS MEDIANTE CROSS-HOLE

Este método suele usarse en pilotes colados in situ de diferentes longitudes y secciones. Tiene la ventaja que pueden identificarse los defectos con certeza a cualquier profundidad. Tiene el inconveniente que los tubos requieren estar embebidos dentro del concreto; por ende, en los pilotes prefabricados este método no es posible de hacer. En algunos casos, puede que se deterioren los tubos quedando inutilizables.

Para efectuar el ensayo se necesita dejar instalados dentro de los pilotes, tubos para poder introducir sondas hasta la profundidad que se quiera ensayar.

Los tubos por lo general son de acero, con diámetros entre 40 y 50 mm, prefiriéndose el de mayor diámetro. También se usan tubos plásticos en pilotes cortos, pero no convienen pues se deterioran fácilmente durante el colado quedando inutilizados.

Los empalmes se realizan con manguitos roscados, no se usan uniones soldadas pues dejan rebabas que dificultan el paso de las sondas o perjudican los cables.

El extremo inferior de cada tubo debe cerrarse con tapones metálicos en forma totalmente hermética, de esta manera se impide que ingresen elementos extraños y que haya pérdida de agua que deberá contener al momento del ensayo.

El extremo superior debe cerrarse para impedir que caiga cualquier material hasta el momento del ensayo; deben sobresalir como mínimo 40 cm del concreto del pilote.

Antes del ensayo se llenan los tubos con agua limpia, comprobando que no haya obstrucciones ni pérdidas de agua.

Número de tubos por pilote:

2 tubos para \varnothing de pilote igual o menor a 60 cm.

3 tubos para \varnothing de pilote hasta 120 cm.

4 tubos para \varnothing de pilotes mayores a 120 cm.

El concreto deberá tener al menos una semana de construido habiendo adquirido cierta resistencia para efectuar el ensayo.

Conviene disponer de un plano identificando cada pilote, longitud aproximada y datos sobre posibles incidencias durante su elaboración.

Antes del ensayo se debe pasar una plomada por cada tubo midiendo su longitud y comprobando que no haya obstrucciones.

Comprobar previamente que estén llenos de agua.

ENSAYO

Este método consiste en introducir y hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos en el interior del fuste del pilote, guardando registro del tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos.

Si se encontraran defectos en el paso de las ondas, como oquedades, coqueas, inclusiones de tierras u otro problema que alargue el tiempo de recorrido, esto queda reflejado en la gráfica de ensayo indicando en las variaciones y marcando la profundidad donde se ha encontrado.

En los pilotes con 4 tubos, se efectúan 6 ensayos, 4 en las parejas de tubos adyacentes y 2 en parejas de tubos opuestos en diagonal.

El ensayo se realiza cuando se han bajado las sondas hasta el fondo de los tubos, levantando ambas al mismo tiempo después de cerciorarse que se encuentren en el mismo plano horizontal.

Aceptación o Rechazo del Pilote

Los pilotes que muestran una gráfica uniforme de tiempo de llegada de la onda ultrasónica en toda su longitud y en todos los perfiles ensayados, son aceptados.

Cuando uno o varios de los perfiles entre parejas de tubos muestran retrasos notables o pérdidas de la señal a una o varias profundidades, el ingeniero especialista dará una interpretación evaluando los defectos probables del pilote.

La disposición y la cantidad de perfiles de una anomalía detectada a una misma profundidad puede indicar el lugar afectado en planta.

Para tener mayores precisiones, el ingeniero especialista acudirá a la información del constructor, y de todos aquellos agentes que intervengan en el proceso constructivo.



**PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO DE LA
CIMENTACION PILA 4**

3.1 EXCAVACIÓN Y COLOCACIÓN DE ATAGUÍA

El primer proceso constructivo en el puente después de la realización de estudios y sondeos en la zona, fue la construcción de la zapata de la pila 4, marcado así en el procedimiento del Proceso Técnico Constructivo (PTC) del proyecto y para los trabajos de este elemento se llevaron a cabo actividades preliminares que permitieron la realización de esta etapa con seguridad, limpieza y maniobrabilidad del entorno.

Ya conociendo las dimensiones del elemento y sus coordenadas se comenzó a trabajar en la ataguía o comúnmente conocida como Obra de Desvío, que sirve para aislar y resguardar del agua la estructura que se va a construir; para esta barrera se utilizó material depositado en el lugar por el río y se removieron alrededor de 45,000 m³, de dimensiones mayores a 4 m de altura y longitud aproximada de 150 m. Siendo así una de las etapas principales y con mayor importancia para la eficiencia de los trabajos posteriores de este elemento.

El material que se removió para la obra de desvío fue estratégicamente extraído del área de la zapata, con lo cual se utilizó el material excedente para reforzar la ataguía y así en una misma etapa avanzar con los trabajos de excavación del elemento.

3.2 PILOTES

En la terminología de cimentaciones son comúnmente conocidos como pilotes y pilas a la cimentación profunda utilizada para la estabilización de los elementos. En nuestro caso, basándose en los estudios geotécnicos de la zona donde se ubicaría la zapata, se determinó por el diseñador que ésta cimentación sería parcialmente combinada con pilotes e incluiría 64 pilas de 1,5 m de diámetro con longitud variable dependiendo la profundidad del estrato de roca sana, siendo 8 en el eje longitudinal de la A a la Z y 8 en el eje transversal del 1 al 8 siendo sus profundidades las siguientes:

h	A	B	C	D	E	F	G	H
1	19.6	12.0	9.0	10.7	13.8	10.7	9.0	9.0
2	13.5	13.5	10.4	9.5	10.7	9.0	9.0	9.0
3	13.7	11.5	10.5	10.5	10.5	9.0	9.0	9.0
4	15.4	12.3	13.1	10.5	10.5	10.5	9.0	9.0
5	17.2	15.3	16.2	13.1	11.3	11.0	10.5	10.3
6	19.6	18.4	19.3	16.2	14.4	13.5	21.7	12.2
7	22.7	21.5	22.4	19.3	17.5	16.4	14.9	14.5
8	25.4	24.5	25.5	22.4	20.6	19.5	18.0	16.1

TABLA No.6.dimencionamiento de pilotes zapata 4

Cabe mencionar que la longitud de penetración del pilote en la roca sana es mayor a 2.5 m, esto significa que para asegurar el buen funcionamiento de los pilotes, no solo se considera que están apoyados en el estrato firme sino también están ahogados dentro del mismo.

Ya conociendo las especificaciones requeridas para la construcción de la cimentación profunda, se definió el orden de las actividades a realizar para evitar interferencias entre los equipos utilizados para dicho proceso; esto llevó a que la organización de la maquinaria y personal fuera con eficiencia y calidad.

El orden de las actividades para la construcción profunda puede tener variaciones que dependerán de las condiciones que se presenten en cada caso; para el estudio en cuestión se realizó una colocación de pilotes fabricados in situ y el proceso que se realizó se mencionará en los siguientes subtemas.

3.2.1 PERFORACION DE PILOTES

Teniendo la plataforma de desplante realizada previamente en la excavación de la zapata, se utilizaron equipos de perforación de alta productividad, con esto quiero hacer mención que se utilizó maquinaria única en el país como fue el caso de la Bauer BG 28, así como una Bauer BG 24 que agilizaron la perforación de los 64 pilotes y su productividad llegó a perforar un total de 1.5 pilotes promedio al día, ya que como sabemos las longitudes eran variables y los estratos no estaban en forma uniforme.

En cada pilote se vivieron experiencias únicas y problemas a resolver de manera adecuada a cada situación, pero para generalizar el proceso voy a describir la excavación de un pilote para darnos una idea de cuál es el método que se siguió.

Primero el topógrafo da la ubicación exacta del pilote que se perforaría. Ya ubicado el centro se coloca la Perforadora BG 28 y con una serie de botes y cuchillas comienza la perforación, siempre cuidando la verticalidad de la excavación para asegurar que la profundidad marcada sea la adecuada. Ya terminada la perforación se realizó un lavado del mismo para garantizar que las impurezas de la perforación o gravas excedentes no contaminen el concreto del pilote, para esto se utilizaron equipos de bombeo de 6" y 8" además de compresores de aire de alta presión. El proceso de limpieza se realizaba inmediatamente después de la perforación del pilote y se introducía agua limpia a presión por medio de un mecanismo entre la bomba y el compresor y se absorbía por otra tubería desde el fondo por medio de la bomba de mayor capacidad. Este ciclo tenía una duración aproximada a una hora, ya que se determinaba el fin con la claridad del agua que se extraía de la perforación. Inmediatamente después de la perforación y limpieza se procedía al siguiente paso, que a la par se realizaba en otra zona de trabajo, ya que el fin de esta actividad marcaba el inicio de la otra.

3.2.2 ARMADO, COLOCACIÓN Y COLADO DE CONCRETO

El acero de refuerzo utilizado para los pilotes se colocó de forma perimetral de dos maneras, los de TIPO I que se colocaron en la zona de mayor profundidad y contienen varillas del No 12, 27 en la parte superior y 22 en la parte inferior; los del TIPO II que tienen 18 varillas del No 12 a lo largo de su longitud. Los pilotes tienen varillas del No 12 o comúnmente conocido como calibre 1 ½" en forma longitudinal y para los sunchos o "cuerpo" se utilizó del No 5 o 5/8" sumando un total de 150,000 kg de acero de refuerzo para esta estructura. Además del acero de refuerzo se le dejaron unas preparaciones fijadas al armado, que están compuestas de 4 tubos: 2 de 2" y 2 de 4" colocados en cada eje del trazo, para posteriormente realizar los estudios al concreto del pilote; en el armado del acero se le dejan colocados unos separadores de concreto (donas) para permitir la separación de refuerzo a las paredes perimetrales y con esto dejar el recubrimiento requerido de concreto en el elemento y así evitar la oxidación del acero al contacto con el agua.

Habiendo realizado el armado del pilote en la plataforma se utilizó una grúa Link Belt 118 y con ayuda de la perforadora se efectuó el izaje del armado ya que por las dimensiones tan largas era necesario un equipo de esta capacidad y a su vez evitar la deformación del acero de refuerzo.

Teniendo contemplada la dimensión de la perforación, es decir, la profundidad del pilote ya excavada, en el armado, se podía apreciar que la longitud de este era mayor en 2.5 m ; este acero excedente era el acero que se deja empotrado en la zapata y sirve para la unión de estos dos elementos.

Ya colocado el acero del pilote, se realiza una inspección de alturas para verificar que el acero no quede atorado o torcido y aprobado este chequeo se comienza el proceso de concreto.

Para este proceso se colocó una camisa de acero que se le llama “ademe” que sirve como funda del concreto y evita la contaminación de éste con el agua que existe por las corrientes subterráneas; este ademe está unido mediante unos tornillos, dividido en tramos de 2.5 m y fijado a una máquina osciladora que permite el movimiento como bien lo dice oscilatorio y a su vez va levantando la camisa cuando se lleva colando el pilote y dejando el concreto ya en proceso de fraguado en contacto con el terreno; a este proceso se le lleva un registro del tiempo para verificar que el concreto ya esté fraguando y se realice la operación adecuadamente.

En el proceso de colado del pilote se utiliza un tubo para evitar la segregación del concreto en la caída por la profundidad del pilote, para este se utiliza un tubo de 10” en tramos de 3 m y un embudo con una parrilla para filtrar los grumos de concreto que puedan aparecer por desperfectos de la planta; al inicio del colado se coloca una pelota del diámetro de la tubería cuya función es controlar la caída gradual del concreto al inicio del colado y evitar la segregación de éste, llegando al fondo de la tubería por medio de la presión y el peso del concreto la pelota sale por el pilote y flota o a veces se truena pero se recupera siempre en el proceso.

La colocación de concreto se realiza por medio una olla y se vacía al embudo del tubo tremi, en partes de tal forma que permita que la grúa pueda subir y bajar el tubo tremi haciendo un “chicoteo” y así permitir que el concreto se coloque a través de todo el pilote

desplazando el exceso de agua que existe en el fondo del pilote hasta que salga todo el concreto puro.

Para el concreto de pilotes se utilizó una resistencia de 250 kg/cm² marcado así por el diseñador y también es necesario colar el pilote 1 metro por arriba del nivel de desplante de la zapata para su descabece; el concreto de línea fue suministrado por la planta “San Marcos” de CEMEX. Para verificar la resistencia, el revenimiento y la calidad del mismo siempre en un colado se cuenta con laboratorio que toma muestras y una serie de análisis de campo para la verificación de los componentes requeridos.

3.2.3 DESCABECE DE PILOTES, ESTUDIOS Y SONDEOS SÓNICOS.

Ya terminado el procedimiento de colado de los pilotes se realiza el descabece de los mismos y este se debe a que como lo mencione antes se deja el pilote un metro por arriba del nivel de desplante de la zapata, para que al cortar los tubos de los sondeos sónicos o análisis de concreto de los pilotes no se contaminen de impurezas, arena o agua existente en el medio.

El descabece del pilote se realiza por medio de martillos rompedor de punta hexagonal que se alimenta por medio de una compresora de alta presión que facilita el trabajo; para realizar el descabece es necesario esperar que el concreto alcance la dureza mínima de 100 kg/cm² y tener cuidado de no perforar los tubos para las pruebas de sondeo sónico así como no lastimar el acero de refuerzo del pilote.

El trabajo a veces tenía complicaciones debidas a las condiciones climáticas de la zona, no se podía descabezar en el momento adecuado, dejándolo más tiempo y eso provocaba una mayor dureza del concreto.

Los estudios que se le realizaron a los pilotes fueron los comúnmente conocidos para las estructuras: resistencia de concreto y fluidez de acero.

Para los estudio fue necesario enviar a laboratorio muestras de las varillas y los corazones o muestras que se sacan de las ollas de concreto para hacerles pruebas triaxiales, carga, tensión, etc. Previo a estos estudios se piden los análisis que se le hacen al lote de acero que se surte, estos constan de un certificado de calidad por la fundidora que respalda que el mineral extraído de ese lote está cumpliendo las especificaciones de $f'c = 42\ 000\text{ kg/cm}^2$; así como a CEMEX se le pide un certificado de calidad de sus materias primas (arena, cemento portland, grava y agua) para respaldar la calidad de los materiales utilizados en el proyecto.

Los sondeos sínicos son pruebas recientes que se realizan a los pilotes; estas constan de un análisis por medio de la refracción de las ondas sonoras en el material estudiado y permiten comprobar por medio de unas gráficas si el material contiene cavidades o deformaciones. Estos análisis se mandan a ingeniería y el cuerpo de diseño evalúan si los resultados presentados afectan o no al elemento.

Estos estudios fueron solicitados y enviados desde España ya que en el país aún no se tienen. El proceso del sondeo sínico es muy sencillo, previamente ya descabezado el pilote y cortados los tubos de la parte superior se llenan de agua, numerando los tubos del 1 al 4 se mete a los tubos 1 y 3 dos sondas hasta el fondo, para iniciar el estudio se debe de dar inicio a la transmisión de señales y a su vez se comienzan a subir las sondas paralelas para que una transmita y otra reciba la señal y describa en las gráficas el comportamiento del material. Luego se cambia a los tubos 2-4 y se repite la operación. A su vez en los tubos 1-2,1-4,3-2 y 3-4; analizando esto se tiene cubierta el área del pilote, sin considerar el recubrimiento ya que como los tubos están colocados en el interior del acero de refuerzo se tiene una representación más exacta que cualquier otro análisis de pilotes.



FOTOGRAFIA No.1. Instrumentación utilizada



FOTOGRAFIA No.2. Instrumentación utilizada

Con base a los estudios realizados a los 64 pilotes construidos se determinó por el cuerpo de diseño e ingeniería de la compañía, un refuerzo a la zapata que consta de 14 pilotes de 1.2 m de diámetro resistencia de 300 Kg/cm² y longitudes que muestro en la siguiente tabla:

h	AB	BC	CD	FG	GH
45	16				
56	18.7	18			
67	21.1	20.3	20.3		13.7
78	23.5	23.5	23.1	17.4	16

TABLA No.6.longitud de pilotes adicionales

El armado de estos pilotes es de 11 varillas del No 12 colocadas perimetralmente y cuerpo o sunchos de calibre No 5, a cada 20 cm. Incluyendo cada uno sus tubos para inspección sónica o estudios de concreto. A diferencia de los otros pilotes principales se consideró que el ademe o camisa de recubrimiento que se utiliza para estos pilotes de refuerzo se dejó ahogado en el concreto con la finalidad de evitar las filtraciones que se presentaron en el procedimiento anterior y así se aseguró que el concreto no se lavó con el agua del subsuelo.

También se requirió sustituir el concreto de tres pilotes en su parte superior y se tuvieron que descabezar estos un metro por debajo del desplante de la zapata y colocar concreto de nuevo.

3.3 COLOCACIÓN DE ACERO EN ZAPATA

Ya terminado el proceso de pilotes de la zapata se realizó una limpieza y se colocó una plantilla de 10 cm de una resistencia 150 kg/cm² con la finalidad de trabajar en un lugar limpio para asegurar la calidad de este elemento y poder colocar el acero con uniformidad y cuidar el recubrimiento inferior de la zapata. Teniendo esta plataforma se realizó un análisis de ataque por el equipo de fierros los cuales previamente fueron uniendo algunas piezas por medio de empalmes mecánicos conocidos como coples de presión, ya que el traslape de acero se volvería un peso excedente y un costo mayor a la zapata, para estos empalmes se utilizó una prensa hidráulica manual con capacidad de 500 bares de presión y este empalme tiene una resistencia de 1.25 veces mayor a la misma del acero.

El acero de refuerzo de la zapata se dividió en tres etapas: Base, Cuerpo-Fuste y Parrilla Superior. Para cada etapa se requería tener por lo menos el 70 % de avance del proceso anterior, por lo se unió el acero de la Base o parrillas inferiores cuando se estaban colocando los pilotes y estos tramos largos fueron colocados por medio de la Grúa Torre y un balancín que se fabricó en campo, generalmente colocándose las mayores cantidades de acero de la siguiente forma:

CLASIFICACIÓN	No	CONECTORES	PESO TOTAL Kg
ACERO DE JUNTA DE CONCRETO LONG	8,10 y 12	820	19,648.00
ACERO DE JUNTA DE CONCRETO TRANS	8,10 y 12	632	35,437.00
ARMADO DE ACERO CAPA INFERIOR	5 y 8		399,643.00
ACERO ADICIONAL TRASLAPE PILOTES	12		8,688.00
		TOTAL	463,416.00 Kg

TABLA No.7. Acero colocado en la Base

CLASIFICACIÓN	No	CONECTORES	PESO TOTAL Kg
ACERO DE ESTRIBOS DE ZAPATAS	5		73,858.00
ACERO DE PILA PUNTAS	10	400	1,330.00
ACERO DE FUSTE	5	740	68,561.00
ACERO DE SILLETAS O SEPARADORES	5		5,987.00
ACERO DE SOSTENIMIENTO DE MUROS	5		4,000.00
TOTAL			149,736.00 Kg

TABLA No.8. Acero colocado en el cuerpo y fuste

CLASIFICACIÓN	No	CONECTORES	PESO TOTAL Kg
ACERO REVESTIDO DE PILA	5		8,674.00
ACERO PARA SOPORTE DE CAPA SUP	8		4,360.00
ARMADO CAPA SUPERIOR PERIMETRAL	8,10	292	128,045.00
TOTAL			141,079.00 Kg

TABLA No.9. Acero colocado en la parrilla superior

TOTAL DE ACERO COLOCADO EN ZAPATA PILA 4= 754,231 Kg

Este proceso de colocación se llevó a lo largo de cuatro semanas de trabajo con dos turnos de 12 hrs cada uno (7 a 7), compuesto por un ingeniero, dos cabos, 30 oficiales ferreros, 15 ayudantes generales por turno. Para la colocación del acero se utilizaron siete ton. aproximadamente de alambre recocido y cinco ton. de alambón para contra-venteos temporales.

El proceso de colocación se realizó según lo planeado, ya que el personal cooperó para la terminación de este proceso.

3.4 COLOCACIÓN DE MURO PERIMETRAL

El procedimiento a seguir después de la colocación del acero, es la colocación de la cimbra perimetral que permite dar forma y retener el concreto de la zapata en su momento de colocación; pero en este caso especial, por ser una estructura a nivel del río y conociendo las condiciones climáticas del lugar se dificultaría este cimbrado y tomando en cuenta las experiencias del río y las constantes lluvias, se decidió fortalecer esta cimbra por medio de unos muros perimetrales.

Se mandó la propuesta de la solución en campo al equipo de diseño e ingeniería que aprobó satisfactoriamente el diseño y en su caso se comenzó a construir al mismo tiempo que se colocaba el acero de refuerzo de la zapata. Para esto se coordinaron las actividades con los responsables de cada frente y trabajando en equipo se facilitó la colocación de este muro. Con el prefabricado del acero la actividad se aceleró de tal forma que los muros colocados el mismo día se cimbraban y colaban.

Esto se debía a que los constantes torrenciales que se presentaron en esa temporada amenazaban a que el nivel del río creciera y a su vez inundase la zapata. Previo a estos diagnósticos se consideró que en su caso se utilizarían bombas sumergibles y de lodos para la extracción del agua que pudiese entrar a la zapata; así que se tenían listos cuatro equipos de 8", dos de 10" y una bomba centrífuga de 80 hp.

El proceso del muro perimetral fue muy sencillo, se consideró un muro perimetral en tres caras de la zapata, ya que la cara cercana al cerro estaba resguardada por el mismo corte de la excavación y se dividió en dos módulos cada cara por facilidad de dimensiones. El armado de cada módulo se hacía en un sitio donde no estorbara el procedimiento a otras actividades y ya terminado estos módulos mediante el balancín y la Grúa Torre se colocaba cada módulo en su lugar y se comenzaba el proceso de cimbrado de módulos, que permitía colar en un día el pie del módulo y al día siguiente el cuerpo del muro. Como estos muros estarían en contacto directo con el concreto de la zapata, el espaciamiento entre muro y acero de zapata era de 15 cm dando a la zapata un mayor recubrimiento de su acero pero a su vez una mayor confianza de la resistencia de este muro al peso del concreto de la zapata el día del colado.

3.5 PRELIMINARES Y PLANEACIÓN DEL COLADO MASIVO

El proceso de colocación de concreto es el más crítico en cualquier estructura, pues este define la calidad del trabajo hecho por todo el frente; y más, si hablamos de un colado masivo, ya que en este consideramos un volumen importante de concreto. En estos casos se consideran otros factores que marcan la diferencia entre un colado masivo y uno común. En nuestro caso de estudio se tuvo que considerar los siguientes:

- Las condiciones climáticas (lluvias, creciente del río, calor excesivo, etc.)
- Tiempo de ciclo de colado
- Temperatura del concreto (que no rebase la temperatura de fraguado)
- Caminos de acceso
- Casos imprevistos (descompostura de plantas de concreto)
- Colocación de concreto, entre otros.

A esto se le llama la planeación del colado, permite evaluar con todos los factores las posibilidades de que el evento sea un éxito o un fracaso. Y con base a los conocimientos y las experiencias vividas aportar ideas y desarrollar un plan de ataque para reducir las posibilidades del fracaso del colado. Por esto mismo se va a hacer mención de las soluciones y planeación a cada una de las problemáticas e incertidumbres que se presentaron previas al colado.

En el aspecto del clima se tenía que considerar que el proyecto se ubica en la zona con mayor humedad y lluvias en el país, considerando también los acontecimientos ocurridos en los años pasados, era una época en que el río aumentaba la corriente hasta 4 metros de altura, y a pesar de ser húmedo el lugar, en el área de la zapata se llegaba a sentir temperaturas mayores de los 35°C, ya que no circulaba las corrientes de aire; por lo cual se consideraron tres soluciones a estos puntos mencionados.

Con respecto a las lluvias se tomó en cuenta una carpa que abarcara el área de la zapata para evitar que el agua que se precipitara en la zapata se acumulara y afectara al concreto en su momento de colocación.

En cuestión de la creciente del río se realizaron dos maniobras, la primera fue ampliar el área hidráulica del río para que mantenga su altura constante aún con lluvias que se presentasen aguas arriba; para esto se utilizó el equipo pesado que se tenía en el puente como excavadoras con brazo largo y yuncles articulados para remover el material extraído del río; en segunda se reforzó la ataguía de la zapata, ya que el material extraído del río servía para elevar la altura de ésta y a su vez rellenar la zona entre el ataguía lo cual

ocupo alrededor de 17 000 m³ y los muros perimetrales para evitar que por diferencia de presiones, el agua se filtrase del caudal a la zona vacía entre zapata y ataguía.

Para cuestión de la temperatura del lugar se tenía la incertidumbre si ésta aumentaría en el momento del colado, lo cual afectaría el colado del concreto acelerándolo, para esto se utilizaron los estudios de temperaturas realizados a las otras zapatas, para analizar qué pasaría en esta estructura en cuestión, además se solicitó información y asesoría a la contratista de cemento para que dieran su opinión y llegáramos a una planeación en conjunto de este procedimiento; con estos análisis de campo se determinó que el concreto que se utilizaría para la zapata estaría compuesto por aditivos especiales y hielo triturado en su mezcla para evitar los cambios bruscos de temperatura provocados por el fraguado.

El ciclo de colado fue considerado para conocer la cantidad de equipos que se utilizaría en el colado, para esto se analizó el tiempo de recorrido de la olla (trituradora de hielo- la planta "San Marcos"-camino a zapata 4- vaciado-lavado de unidad-camino a trituradora), se consideró que este abarcaría un promedio de 55 minutos por olla, lo que genero un total de 45 ollas en proceso de colado; con esto se plantearon varias propuestas de las cuales se resumieron a tres soluciones; tomando en cuenta que en el colado se utilizarían tres bombas tipo pluma de 33 metros cada una y también que se utilizarían dos plantas de concreto como dos de trituración de hielo se dieron las siguientes soluciones:

- Acelerar el recorrido de las unidades en el camino, suspendiendo el tránsito de otros frentes por el camino entre la planta y la zapata, así como ampliar este en dos carriles en la mayor parte de la trayectoria; colar caminos en las curvas y pendientes del puente los cuales se realizaron más de 400 m. lineales de camino todo con el fin de reducir el recorrido de 25 min a 15 min.

- Diseñar un ciclo eficiente donde se tendrá un sentido de entrada y salida para los equipos de colado, y que la fosa de limpieza de las ollas quedara de camino a la trituradora.

- Una solución básica y que permitiría mayor fluidez de las unidades es que el equipo de laboratorio solo sacara pruebas de revenimiento a las ollas y este sería aleatorio, considerando un volumen de 6000 m³ se estarían contando alrededor de 1000 ollas y eso en pruebas sería excesivo.

Con estas tres soluciones básicas se determinó que el tiempo de recorrido sería de 25 min y reduciendo a 25 ollas en proceso, con lo cual se necesitaba una coordinación eficiente entre CEMEX-ICA, colaborando cada uno para que esto fuera posible.

En el caso de que se presentaran lluvias en exceso se consideraron maquinaria a disposición para jalar las ollas, así como personal de bandereros dirigiendo el tránsito de los caminos, personal de seguridad y primeros auxilios en caso necesario.

Una de los puntos más importantes para el colado masivo fue mencionado por el diseñador de la mezcla de parte de Cemex, el cual, especificaba que el comité técnico en su norma ACI 116 define a concreto masivo como “Cualquier gran volumen de concreto colado en la obra, con dimensiones suficientemente grandes que requieran medidas para enfrentar la generación de calor y para controlar los cambios de volumen, a fin de minimizar el agrietamiento”, entre otras como la ACI 207.1 menciona que establece una curva máxima de temperatura que va de 14°C a 19°C, por lo cual, recomienda que no tuviera una variación o un gradiente de 20° de diferencia en su totalidad. Para esto se planeó que la colocación del concreto se realizaría por capas, en caso de que se presentara esta situación, por este método se tendría una regulación uniforme de temperatura y se podría controlar mayormente esta variación.

3.6 COLADO MASIVO DE ZAPATA PILA 4

Uno de los puntos a tratar en varias de las juntas entre diseñadores e ingenieros de campo, fue el tema del colado masivo de la zapata pila cuatro, ya que este colado era uno de los más críticos para el proyecto y no se había presentado volumen semejante en el mundo colocado en una sola exhibición. Algunas de las propuestas de los diseñadores fue dividir la zapata en cuatro partes cortando por los ejes de simetría y el escarpio en una sola exhibición lo cual daría volúmenes razonables de colocación y más fáciles de controlar; pero ya hecha la evaluación por el equipo de campo y planeado con los frentes respectivos, se rechazó la observación de los diseñadores y se siguió el plan conforme a lo planeado.

El día del colado se tenía considerado la colocación de la carpa que serviría en condiciones de lluvia, pero resultaron complicaciones para su colocación y se decidió que esta se retiraría del lugar. Pero no se tenían consideradas lonas enroscadas del tamaño de la zapata para que en el momento de una lluvia solamente se desarrollaran y colocarlas en la misma para su finalidad.

El colado dio inicio el día viernes 24 de julio del 2010 a las 5 am tuvo un volumen promedio por hora de 60 a 70 m³, dando con esto una duración total de 98 hrs continuas, terminando este el día martes 27 de julio del 2010, con un total de 6011 m³ colocados; el concreto utilizado fue de resistencia $F'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ surtido por Cemex y contaba además de sus compuestos: hielo, aditivos de línea y aditivo fluidizante "duramax"; que permitía una fácil colocación y sin vibrar tanto este compuesto. El uso de aditivos en la mezcla de la estructura ayudó a retardar el tiempo de fraguado que va de 6 a 10 horas permitiendo que el concreto ya colocado tuviera una homogenización más uniforme con el concreto fresco.

Para el colado se utilizaron 16 vibradores eléctricos de 3" de diámetro con los cuales se permitía una colocación más eficiente, ya que éste entraba entre las parrillas de acero de refuerzo sin atorarse. Para el turno nocturno se colocaron 16 lámparas de halógeno de 500 w y se utilizaron las seis de aditivos metálicos de la Grúa Torre haciendo una visibilidad perfecta aún dentro de las parrillas de la zapata y facilitando para los turnos el colocado del concreto.

En el colado masivo participaron dos ingenieros, un sobrestante, dos cabos, 20 oficiales albañiles y 10 ayudantes por turno; considerando al personal de apoyo, 15 personas se completó un total de 50 personas por turno.

3.7 CURADO DE CONCRETO Y SONDEO DE TEMPERATURA

Al termino del colado se consideró que el curado de concreto se realizaría por medio de una membrana la cual permitió que el vapor del concreto fraguado no se escapara fácilmente, por lo que cuando se iba terminando un tramo de colocación de concreto a su vez se le aplicaba la membrana por medio de una bomba de aspersion manual, la cual permitió una colocación fácil y uniforme; después de colocar tres capas de esta membrana, se le puso a la cara de concreto una pantalla de polietileno evitando que el aire del clima chocara con el concreto y creara grietas por contracción brusca de temperaturas. Debido a los cambios de temperatura y condiciones climáticas se le colocó a esta cara por encima del polietileno las lonas, para que estas hicieran su función de permeabilidad, ya sea para que el vapor del concreto no saliera al exterior o que la lluvia se filtrara a la cara del elemento.

Estas tres capas que se le colocaron de sistema de curado al concreto permitieron y funcionaron de tal forma que mantuvieron la estructura estable, no se presentaron grietas en la zapata ni se detectaron cambios bruscos de temperatura en todo el cuerpo de la zapata.

El sondeo que se le realizó al colado fue por medio de termopares colocados estratégicamente en zonas del elemento a varias profundidades de la superficie (0.2m, 1.0m y 1.8m), las temperaturas se registraron en el equipo “Channel termocouple temperatura recorder”, con el cual se procesaron los datos para revisar si el gradiente de temperaturas que surgieron a lo largo del colado y curado del concreto no excediera el límite de 20°.

Una vez concluido el periodo de evaluación se graficaron los datos para conocer el diferencial de temperatura entre la superficial y la más profunda, los cuales se presentaron favorables ya que estos resultaron el diferencial térmico máximo detectado durante la prueba de 12.39° muy por debajo el recomendado por el ACI de 20° lo que concluye que esta estructura no está en riesgo de presentar fisuramiento térmico.

CONCLUSIONES

En la construcción se ha generalizado el procedimiento como un proceso inalterable, con lo que he llegado a concluir que en los procesos constructivos no existe una reglamentación ya que se han implementado nuevas técnicas, materiales y tecnologías; esto lleva a que según las necesidades del proyectos se va a aplicar el proceso constructivo más conveniente, en algunos casos el proceso que se aplica no llega a ser el más económico posible, pero en la mayoría de esta toma de decisiones el factor que manda para decidir esta opción es la seguridad. En algunos casos el criterio que manda es la eficiencia, ya que el factor tiempo puede mandar en el proyecto más que el económico y es justificable par el fin propuesto.

En cuanto a los métodos recomendables utilizados se han implementado nuevas técnicas, las cuales facilitan los procesos, ya que muchos de estos solo se han automatizado los procedimientos de construcción conocidos, también se aplican equipos capaces de facilitar y reducir costos, tiempos y mano de obra.

En general se puede concluir que los procesos aplicados a este proyecto no fueron los más económicos, pero si puede asegurar la calidad, seguridad del elemento y el tiempo programado de construcción, ya que al ser la ruta crítica del proyecto carretero se debe de asegurar que estos factores cuenten con todas las especificaciones necesarias para el cumplimiento de los reglamentos y normatividades aplicadas a este.

BIBLIOGRAFIA

-INTODUCCION A LA MECANICA DE SUELOS

SOWERS-MENENDEZ

Sexta Reimpresión 1990 EDITORIAL LIMUSA PAG. 478-179,576-587

-INGENIERIA DE CIMENTACIOES, FUNDAMENTOS E INTRODUCCION AL ANALISIS GEOTECNICO

DELGADO VARGAS

2ª edición 1999 ALFA-OMEGA PAG.477- 499

-GEOLOGIA PARA INGENIEROS.

BLYTH-FREITAS

2ª REIMPRISION 1995 COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL SA DE CV MEXICO PAG.412-414

-MECANICA DE SUELOS, FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS

JUAREZ BADILLO-RICO RODRIGUEZ

TOMO 1, 3ª EDICION 1982 EDITORIAL LIMUSA

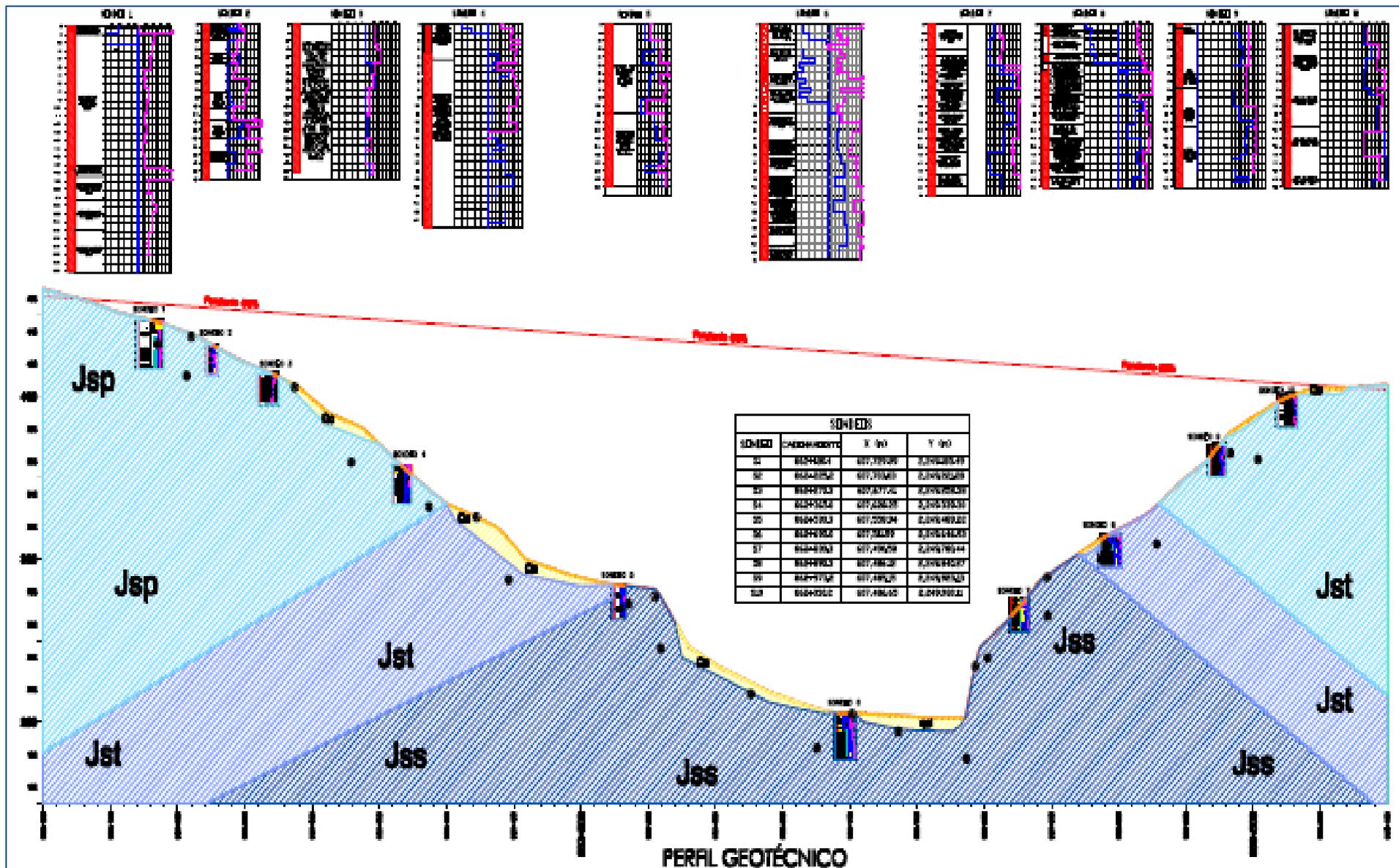
-CONCRETE INTERNATIONAL

JANUARY 2008 “CONTRACTORS GUIDE TO MASS CONCRETE (GUIA DE CONTRACCIONES EN COLADOS MASIVOS)”

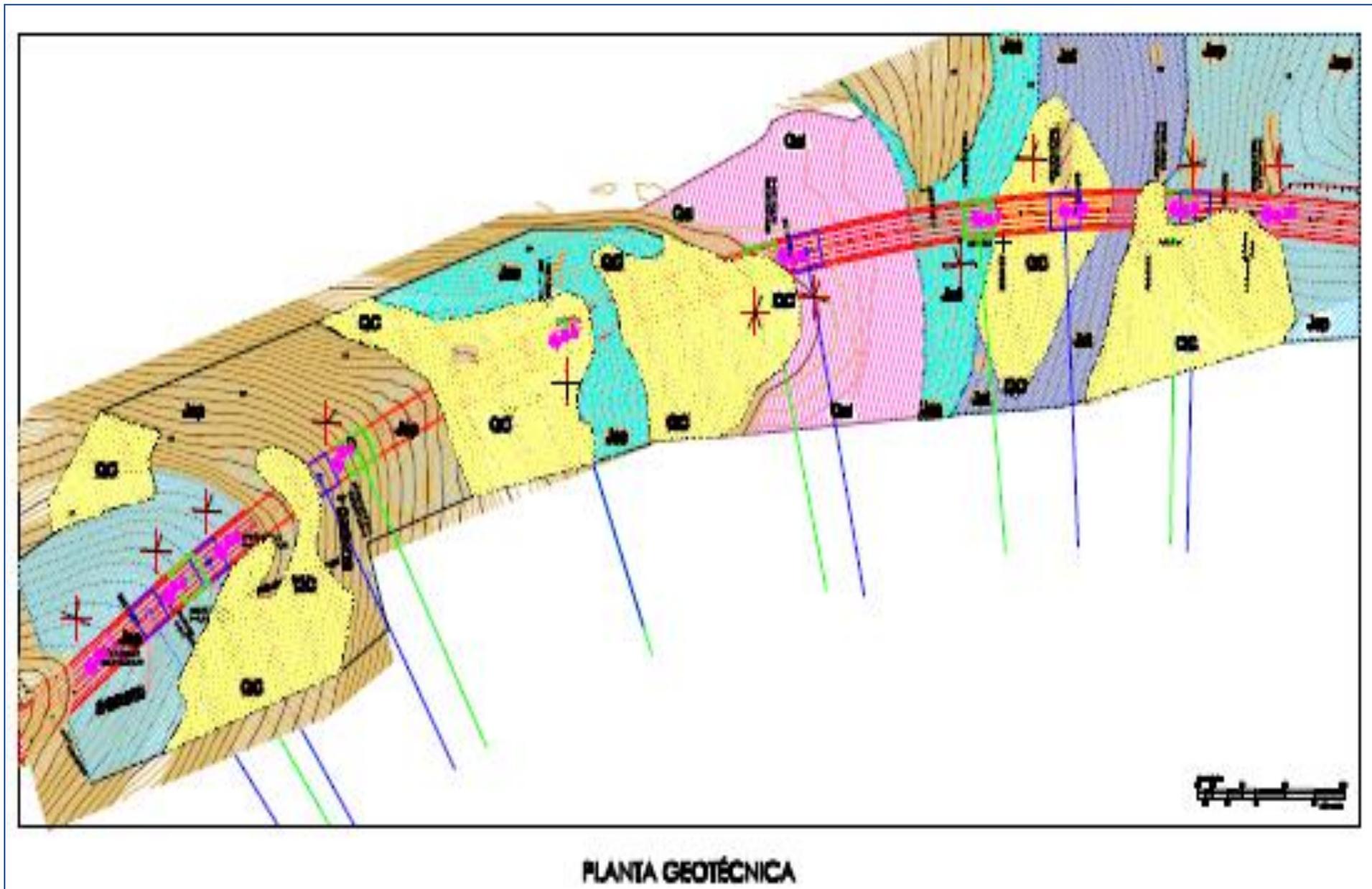
BRUCE A. SUPRENANTAND WARDR. MALISCH

ANEXOS

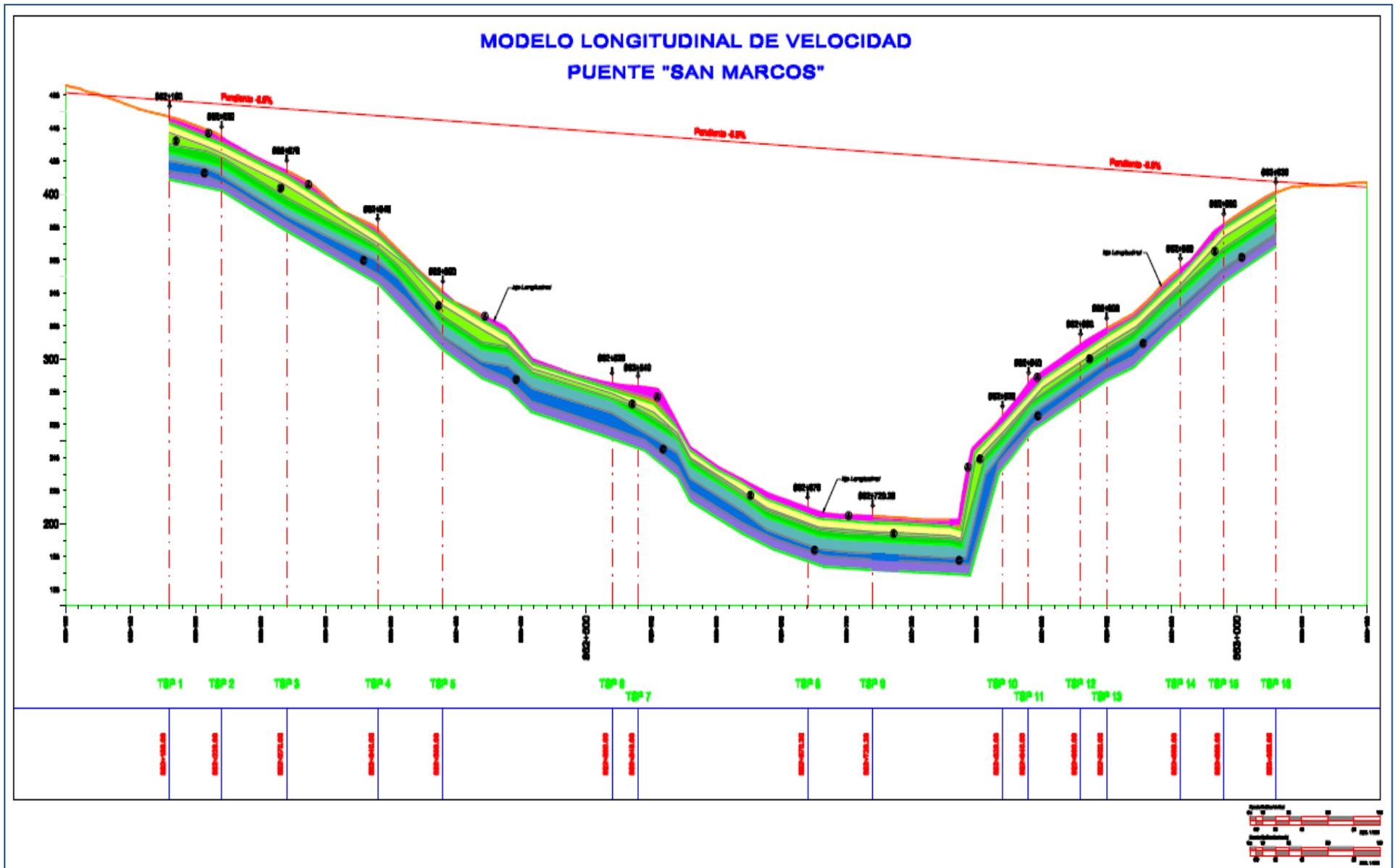
GRÁFICAS DE ESTUDIOS Y TABLAS



GRAFICAS NO. 6.-PLANOS PERFIL DE ESTUDIOS GEOTECNICOS EN ZONA DE OBRA

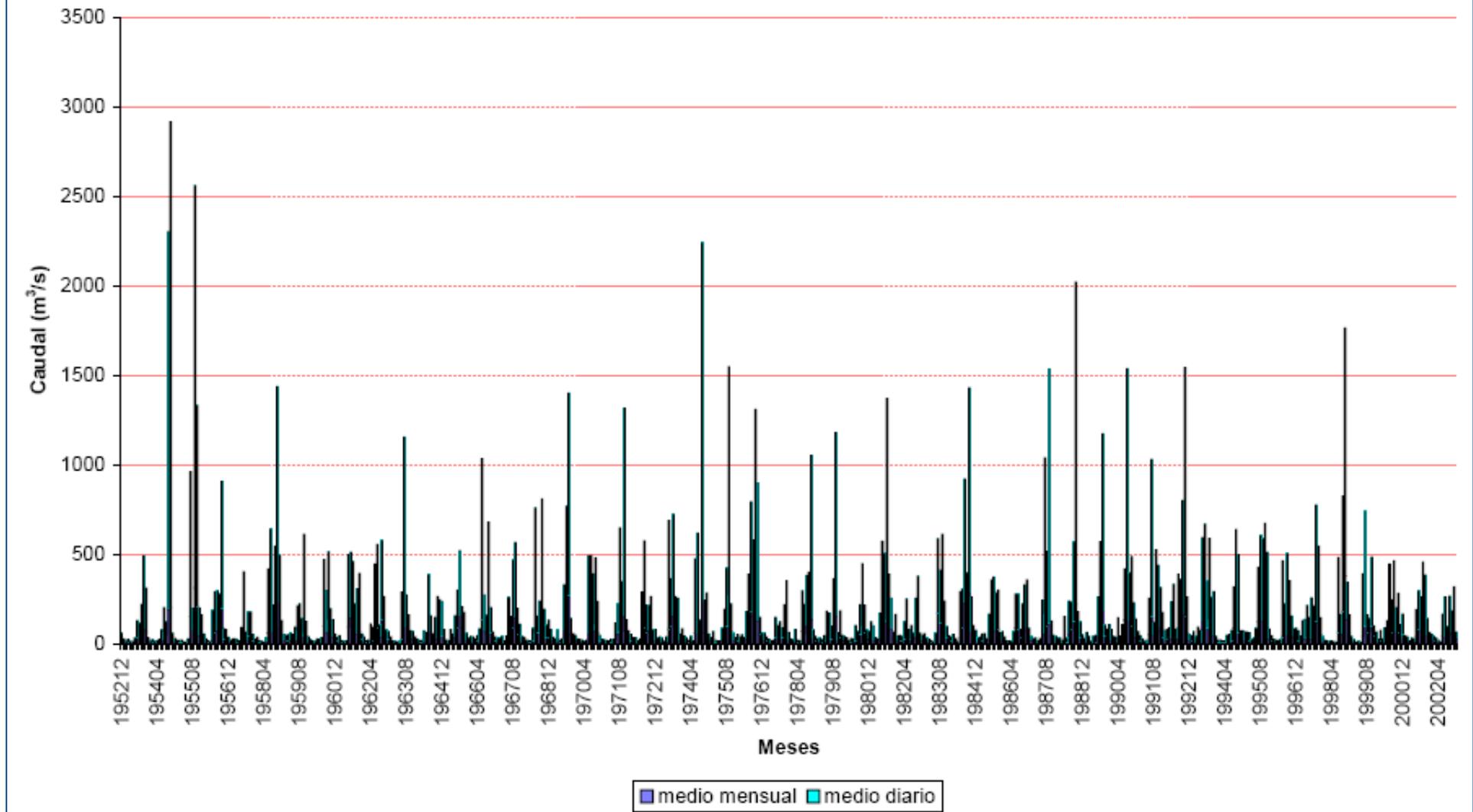


GRAFICA No. 7.-PLANTA GEERAL DE ESTRATOS DE MATERIALES EN ZONA DE OBRA.



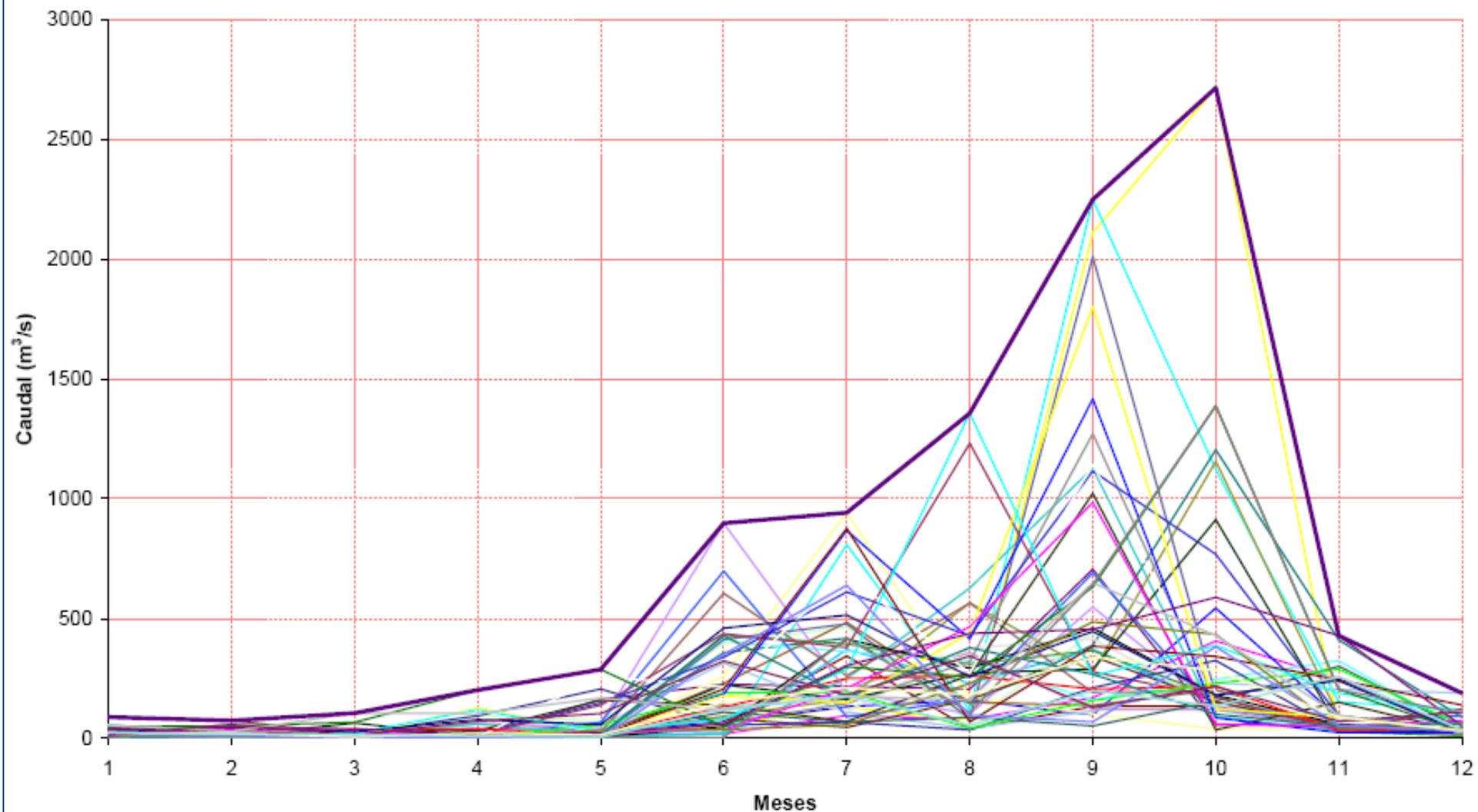
GRAFICA No.8.-PLANO DE VELOCIDADES DE SISMO EN ZONA DE OBRA.

Caudales medios diarios

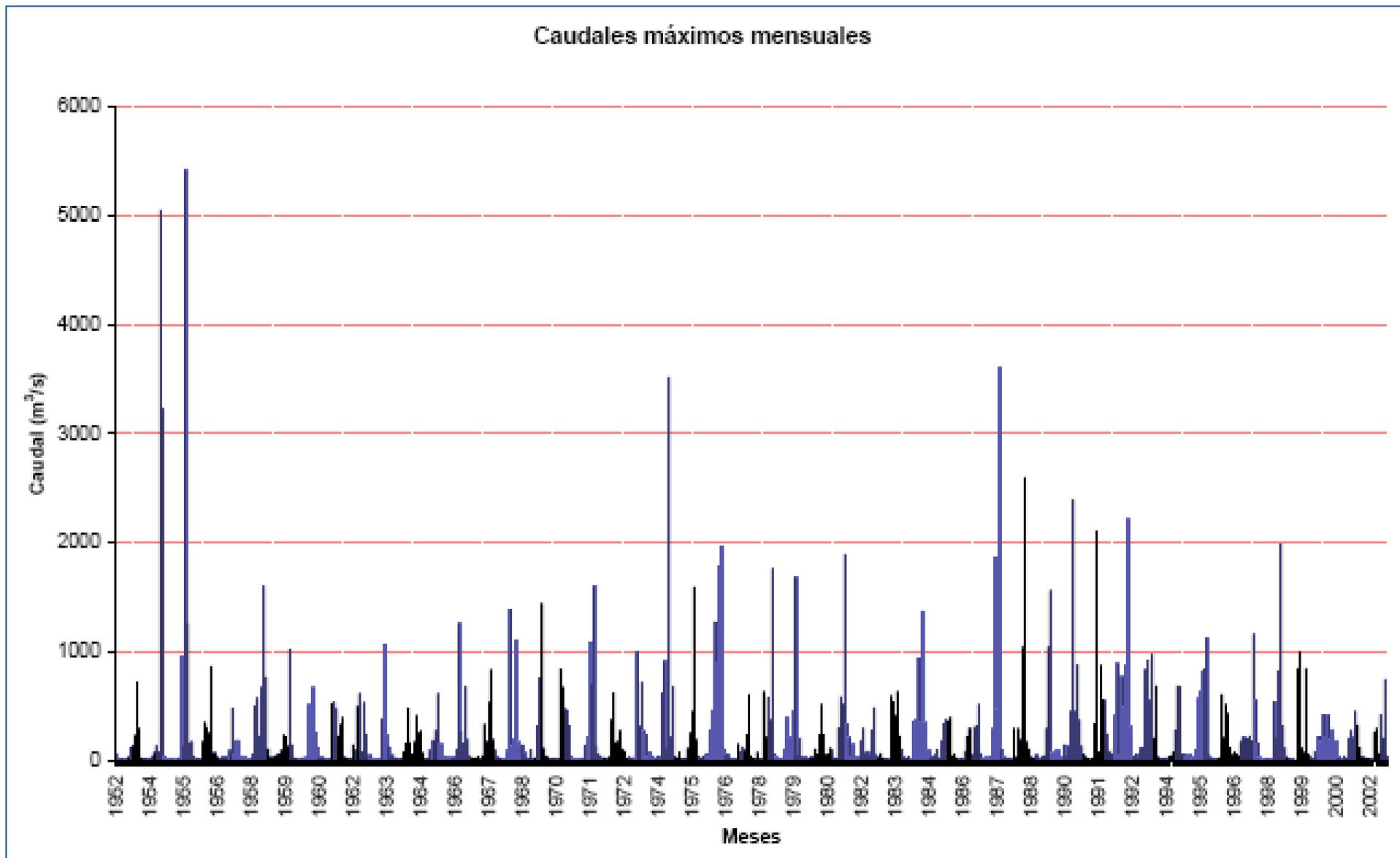


GRAFICA No.9-MONITOREO DE GASTOS EN RIO SAN MARCOS.

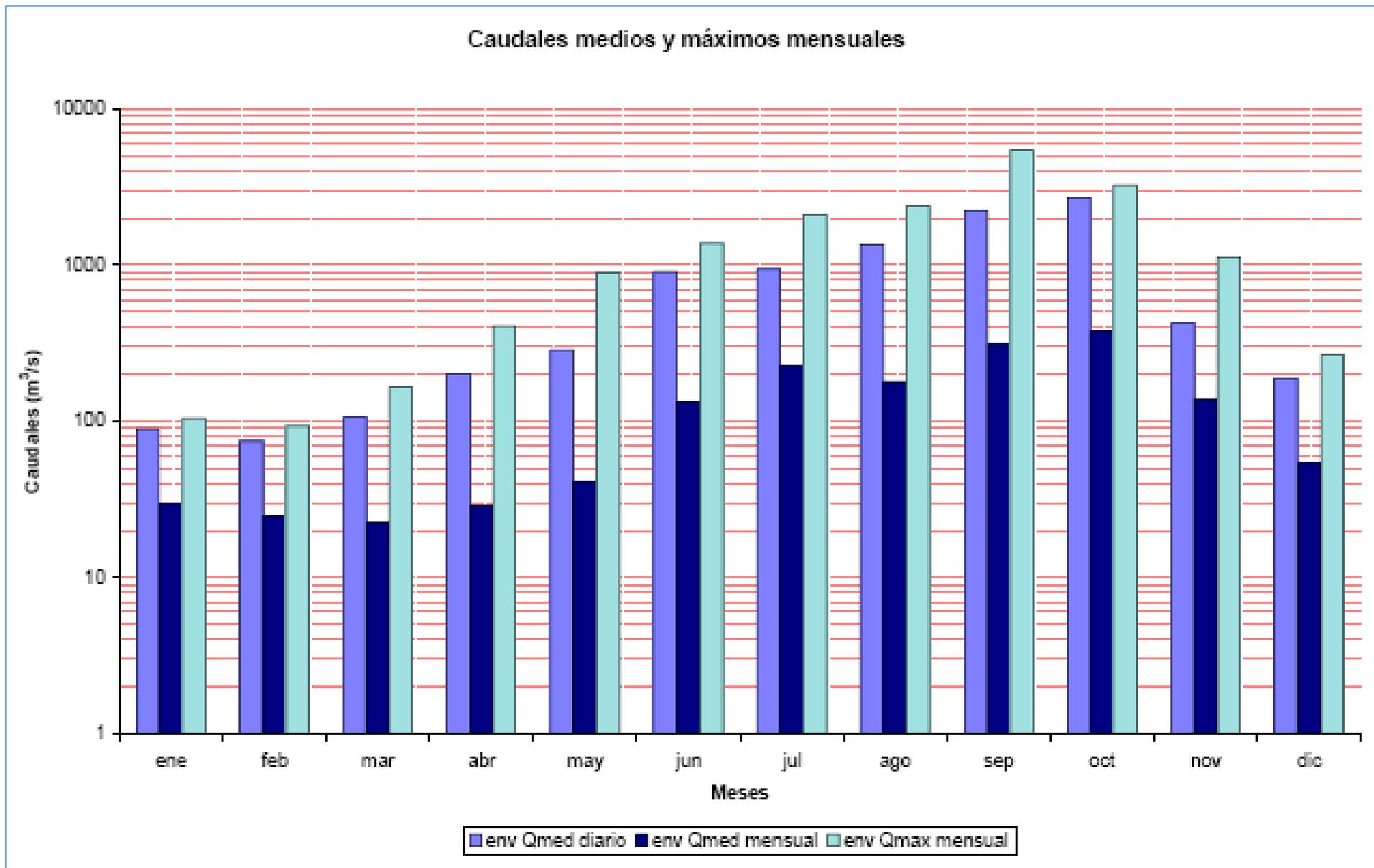
Caudales medios diarios



GRAFICA No.10.-CAUDALES MEDIO DIARIOS DEL RIO SAN MARCOS.

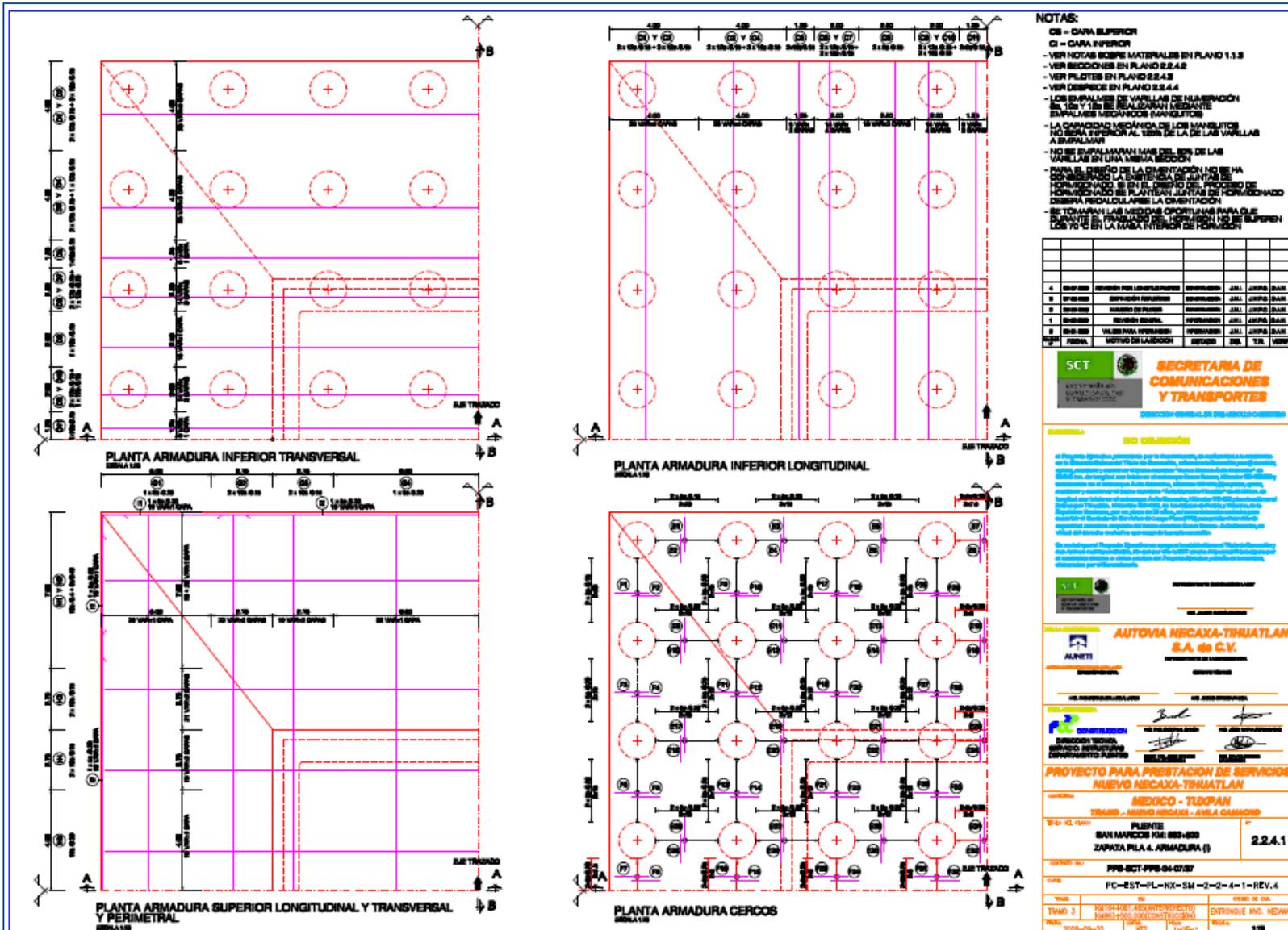


GRAFICA No.11.-CAUDALES MAXIMOS MESUALES DEL RIO SAN MARCOS.



GRAFICA No.12.-CAUDALES MEDIOS Y MAXIMOS MENSUALES DEL RIO SAN MARCOS.

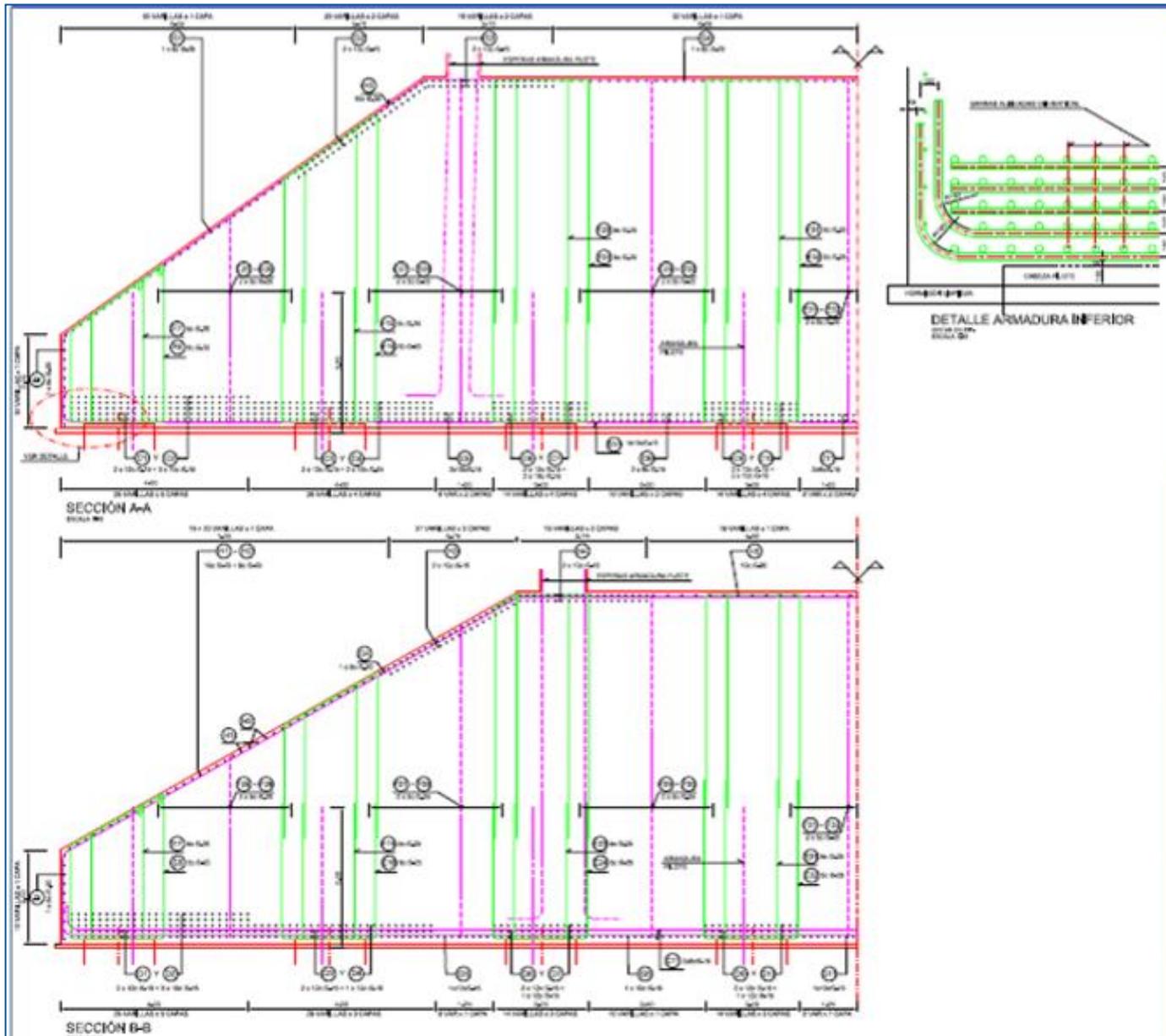
PLANOS GEOMETRICOS, ACERO Y PILOTES EN ZAPATA PILA 4



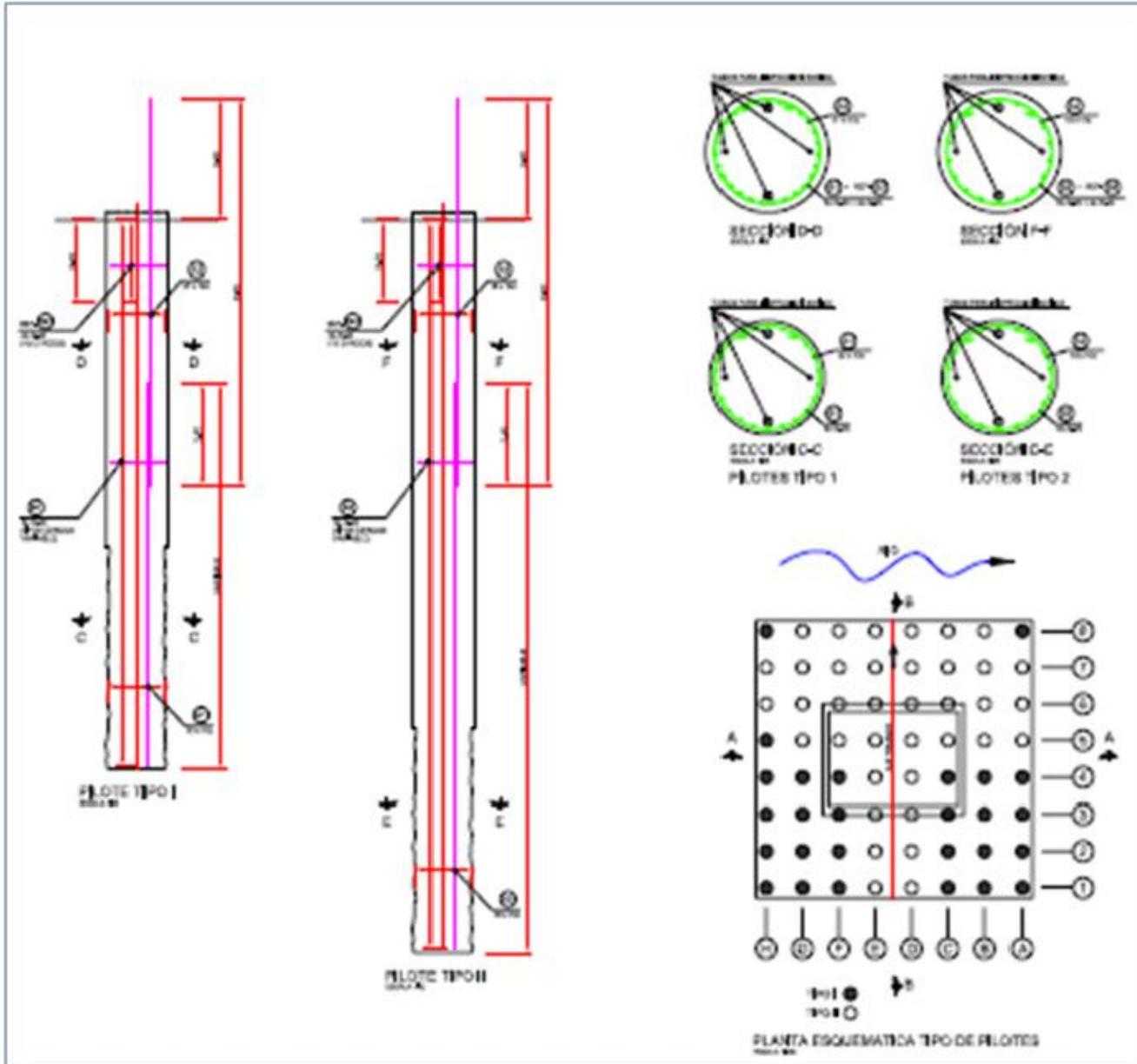
GRAFICA No.13.-PLANOS UBICACIÓN PILOTES.



GRAFICA No.14.-PLANO UBICACIÓN CIMBRA MODULOS PERIMETRALES.

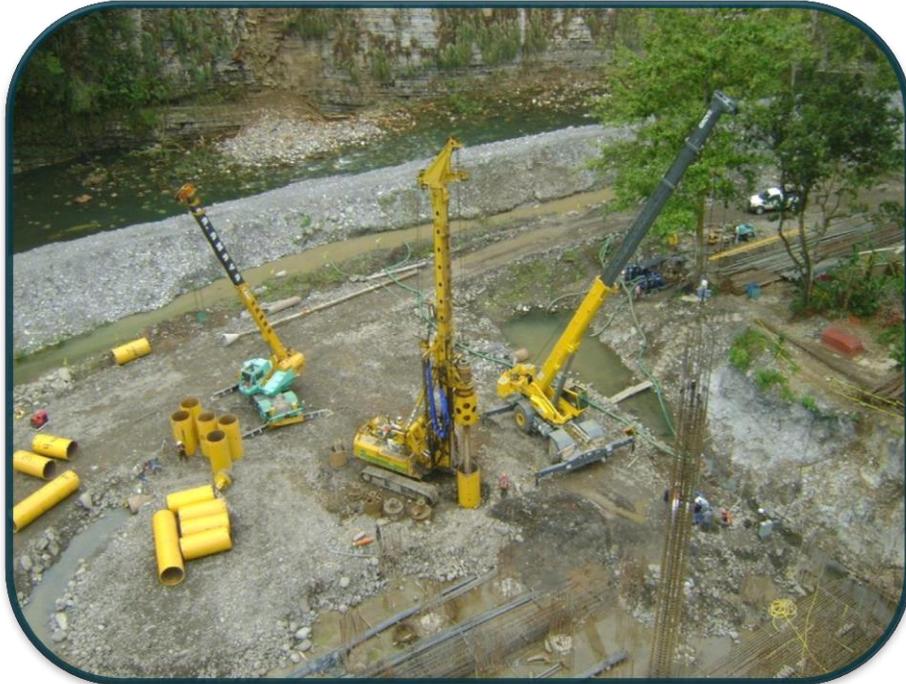


GRAFICA No.16.-PLANO ACOMODO DE ACERO DE REFUERZO EN ZAPATA (ARMADO INFERIOR Y CUERPO DE ZAPATA).

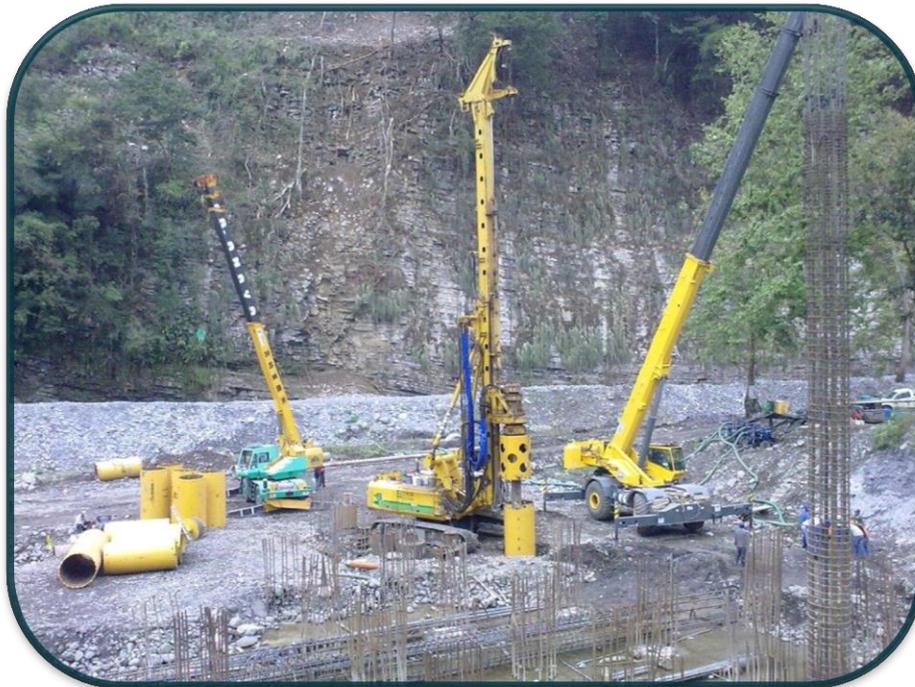


GRAFICA No.17.- REFUERZO, LONGITUD Y ACOMODO DE PILOTES DE ZAPATA.

REPORTE FOTOGRAFICO



FOTOGRAFIA No.3.-Después de la primera etapa se realizo la perforación de los pilotes que adhieren a la zapata con el suelo.



FOTOGRAFIA No.4.-En lo que la perforadora trabaja las grúas realizan el izaje y colocación del acero del pilote ya que se termino de perforar y limpiar.



FOTOGRAFIA No.5.-Para estos pilotes se utilizo un ademe de acero de 0.5" de espesor que se armaba conforme se perforaba.



FOTOGRAFIA No.6.-Por cuestiones de rendimiento se utilizaron dos perforadoras de distintas capacidades y en dos turnos.



FOTOGRAFIA No.7.-Previo a la excavación se le da trazo topográfico de cada centro de pilote y se verifica su verticalidad constantemente además de que se construye una plataforma de trabajo a la perforadora de 1 m de espesor.



FOTOGRAFIA No.8.-Como se aprecia en esta foto los accesos a la zapata de la pila 4 presentaban dificultad po sus pendientes máximas.



FOTOGRAFIA No.9.-Como ya se menciona se realizaron trabajos de mejoramiento de caminos y ampliaciones de curvas para la facilitación del acceso a los equipos de trabajo.



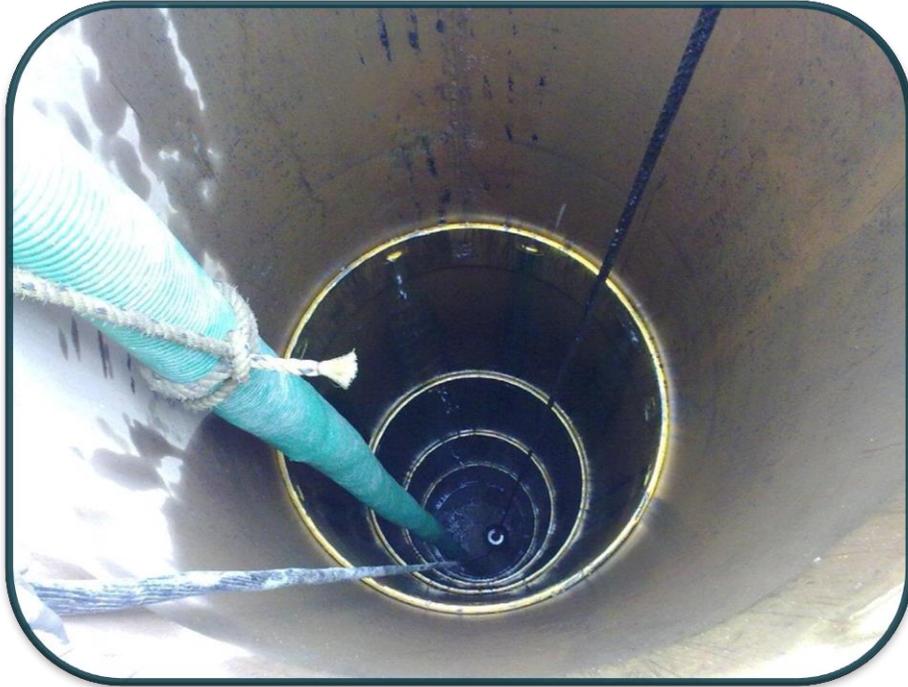
FOTOGRAFIA No.10.-Los colados de los caminos se realizaban los sábados para no estorbar a otros frentes que ocupaban estos accesos, o en algunas ocasiones en la semana por las tardes.



FOTOGRAFIA No.11.-Principalmente se ampliaron las curvas de los accesos y las pendientes mas críticas.



FOTOGRAFIA No.12.-Ya terminados los trabajos de perforación se realiza limpieza de los pilotes introduciéndoles agua y bombeando el lodo que se genere por medio de compresoras, mangueras y bombas de lodos.



FOTOGRAFIA No.13.-Se introduce una bomba de lodos para la extracción del agua limpia.



FOTOGRAFIA No.14.-El agua que se introduce al pilote es limpia.



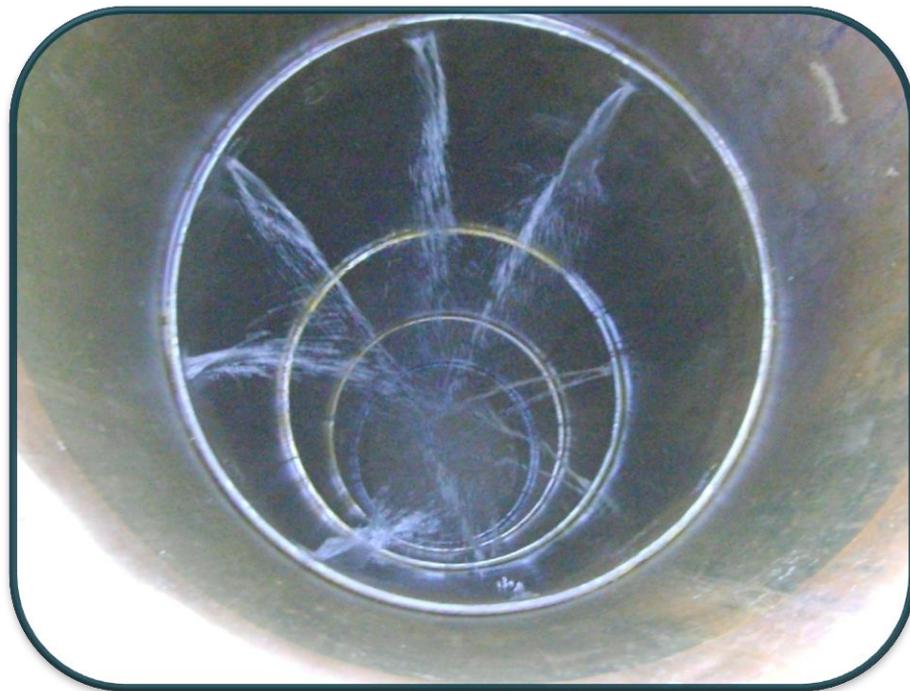
FOTOGRAFIA No.15.-El resultado de la extracción de agua es una mezcla de lodo a principio.



FOTOGRAFIA No.16.-Hasta que sale de nuevo el agua limpia se considera que esta libre de impurezas.



FOTOGRAFIA No.17.-Algunas veces se diseñaron tuberías a presión con aire para limpieza de arenas existentes



FOTOGRAFIA No.18.-Por el nivel freático la presión de agua se filtraba por las uniones del ademe y eso podría provocar al momento del colado un lavado del concreto y resultaría ineficiente el pilote en estudio.



FOTOGRAFIA No.19.-Para evitar esas filtraciones se soldaron todas las uniones posibles.



FOTOGRAFIA No.20.-Se utilizo el espacio de al zapata para el armado de los pilotes.



FOTOGRAFIA No.21.-Se necesito una coordinación metódica para la fabricación de los pilotes conforme se iban perforando.



FOTOGRAFIA No.22.-A todos los pilotes se le colocaron los tubos para sus estudios posteriores y unos separadores en forma de donas para que permitiera el deslizamiento del pilote en su colocación.



FOTOGRAFIA No.23.-Ya colocado el acero se introduce un tubo tremie que no permite la segregación del concreto vaciado al pilote.



FOTOGRAFIA No.24.-En algunos izajes se utilizaron dos grúas para evitar que con el peso del acero se doblara el pilote cuando este se coloca en su ademe.



FOTOGRAFIA No.25.-El tubo tremi tiene uniones y un embudo con el cual se puede colocar el concreto mas fácilmente.



FOTOGRAFIA No.26.-El proceso es sencillo conforme se llena se realiza un movimiento ascendente y descendente controlado que permite que no se contamine el concreto con las partículas sobrantes y el agua existente.



FOTOGRAFIA No.27.-A este tubo se le coloca un pelota que permite que el concreto no se segregue cuando se llena el tubo.



FOTOGRAFIA No.28.-El tubo llega hasta el fondo del pilote y el colado es en forma ascendente.



FOTOGRAFIA No.29.-El concreto va subiendo y desplaza toda las impurezas que aparezcan a lo largo del pilote.



FOTOGRAFIA No.30.-Se puede ver a simple vista como sale de contaminado el concreto y como baja la calidad de este al principio.



FOTOGRAFIA No.31.-Hasta que el resultado es el concreto limpio y de buena calidad.



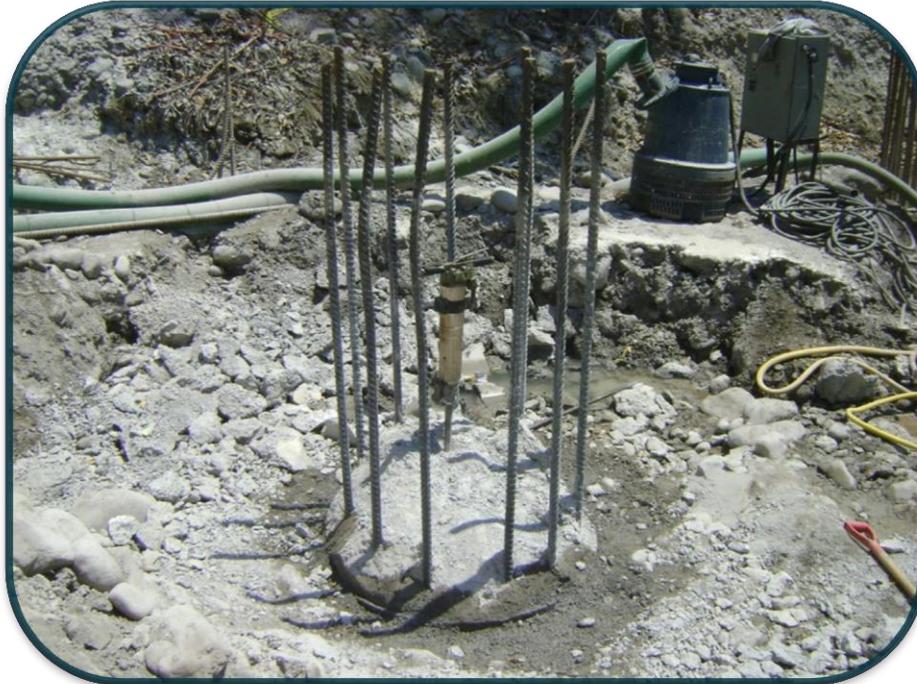
FOTOGRAFIA No.32.-Aproximadamente se desperdicia 1.5 m3 de cada pilote por la contaminación de esta con el suelo.



FOTOGRAFIA No.33.-Y como se cometo anteriormente se deja el pilote por lo menos 1m arriba del desplante de la zapata para el descabece de este.



FOTOGRAFIA No.34.-Se realizaba 18 hrs después de su colado ya que este se pone tan duro que entre más tiempo se deja pasar más difícil es el descabece.



FOTOGRAFIA No.35.-En algunos casos se llegaba a tardar hasta 3 turnos completos en descabezar el pilote.



FOTOGRAFIA No.36.-Previo a los estudios se realizaba el descabece y se procuraba tener varios pilotes listos para estudiar el mayor numero posible.



FOTOGRAFIA No.37.-Todos los resultados de loa análisis se revisaban con los diseñadores y estructuristas que daban el visto bueno o en su caso la corrección necesaria al pilote estudiado.



FOTOGRAFIA No.38.-Ya terminados los pilotes se realizo la limpieza del desplante con agua a presión y aire para quitar las impurezas del piso y poder colar la plantilla.



FOTOGRAFIA No.39.-Con la limpieza realizada se nivelaron algunos pilotes que quedaban bajo el nivel de desplante



FOTOGRAFIA No.40.-Las labores no terminaban, mientras se realizaba la limpieza se colocaba acero ya acoplado.



FOTOGRAFIA No.41.-El muro que tubo función de cimbra de la zapata y evitar contaminación en caso de inundación se realizo en varias etapas.



FOTOGRAFIA No.42.-Se colaban los apoyos y luego el muro perimetral.



FOTOGRAFIA No.43.-Por medio de una olla portátil y la grúa torre se realizo el colado.



FOTOGRAFIA No.44.-Ya terminado el muro perimetral y siguiendo con los demás módulos se continuaba con la labor de relleno de material a nivel de muro.



FOTOGRAFIA No.45.-En este elemento se vio que ningún equipo de trabajo tenía espacio libre para trabajar sino en conjunto de los demás frentes.



FOTOGRAFIA No.46.-Los módulos del muro perimetral se diseñaron de tal forma que su fabricación fue rápida y sencilla.



FOTOGRAFIA No.47.-Algunos de los colados se realizaron a pesar de las lluvias que se presentaron.



FOTOGRAFIA No.48.-El esqueleto del muro se armó a un lado de la zapata para mayor maniobrabilidad de estos.



FOTOGRAFIA No.49.-A los pilotes se les acoplaron varillas por medio de un cople de compresión.



FOTOGRAFIA No.50.-En este proyecto se utilizaron coples de rosca y de compresión para este caso por su comodidad se utilizo el de compresión por medio hidráulico.



FOTOGRAFIA No.51.-El ataguía que separaba el río de la zapata se mantuvo el nivel hasta el muro perimetral de la zapata.



FOTOGRAFIA No.52.-Como la zapata se encontraba a altura del río el nivel freático llegaba a elevarse a nivel del armado.



FOTOGRAFIA No.53.-Varios procesos se realizaron al mismo tiempo entre ellos la colocación de acero de la zapata.



FOTOGRAFIA No.54.-Se realizaron dos equipos de trabajo, uno para cada turno.



FOTOGRAFIA No.55.-Las cantidades de acero por día superaron la tonelada de acero por obrero.



FOTOGRAFIA No.56.-Día a día se vio el avance en la colocación de acero de la zapata.



FOTOGRAFIA No.57.-Las varillas se movieron por medio de la grúa torre para mayor facilidad y movilidad.



FOTOGRAFIA No.58.-Previo al armado de la zapata se analizo la complejidad de esta y la mejor forma de acoplar esta.



FOTOGRAFIA No.59.-La dirección de varios equipos de trabajo fue esencial en este elemento.



FOTOGRAFIA No.60.-A pesar de que solo se colara la zapata se tenia que colocar las varillas que se desplantan desde esta por lo cual complico la maniobra.



FOTOGRAFIA No.61.-Algunas veces el exceso de lluvia provoco que esta se inundara pero los equipos de bombeo desalojaban el agua en unas horas.



FOTOGRAFIA No.62.-En varias ocasiones se traslapaba el uso de la grúa torre pro lo cual nos auxiliábamos de las móviles y en muchos casos algún equipo tenia que esperar para que otro acabara.



FOTOGRAFIA No.63.-El personal comprometido y el entendimiento de la importancia de esta zapata contribuyo a la eficiencia.



FOTOGRAFIA No.64.-Aunque algunas veces en la estética no ayuda las anclas de acero que se necesitaban para mantener la estructura en su lugar.



FOTOGRAFIA No.65.-A principio el avance no se veía ya que se tenían 5 camas de acero en el desplante de la zapata.



FOTOGRAFIA No.66.-La forma de la estructura se mostro al colocar los fustes de la columna 4.



FOTOGRAFIA No.67.-La mayor parte de la colocación de acero se apoyó con la grúa pero en otros elementos no se pudo por el detalle que se entrelazaban parrillas con parrillas.



FOTOGRAFIA No.68.-El balancín que se diseño para cargar atados de varillas fue de gran apoyo.



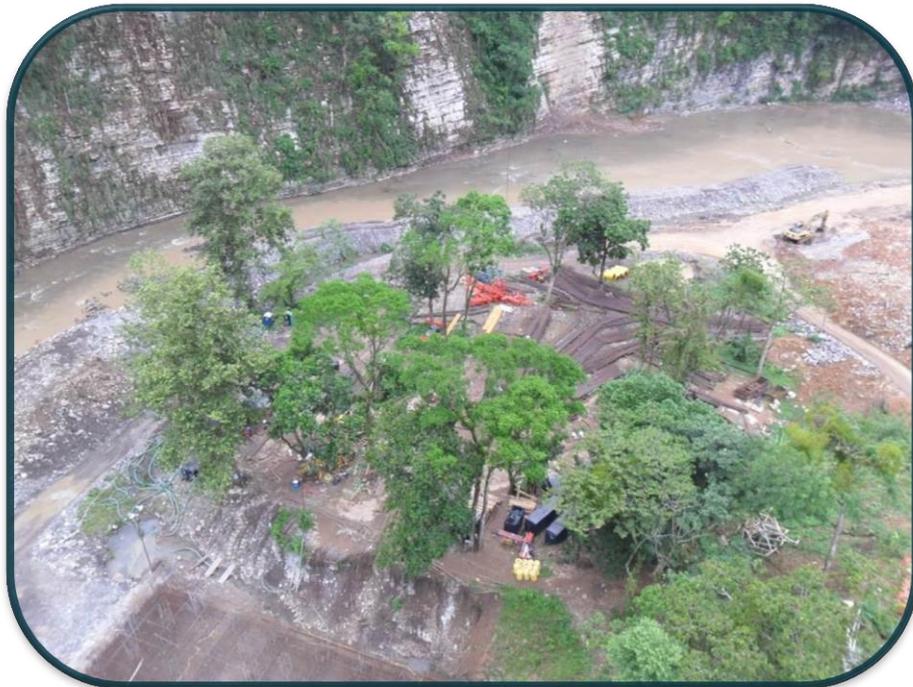
FOTOGRAFIA No.69.-Llegaba el acero por medio de la grúa y a mano colocaban varilla por varilla.



FOTOGRAFIA No.70.-En la mayoría de las veces el rendimiento nocturno era menor que el del matutino.



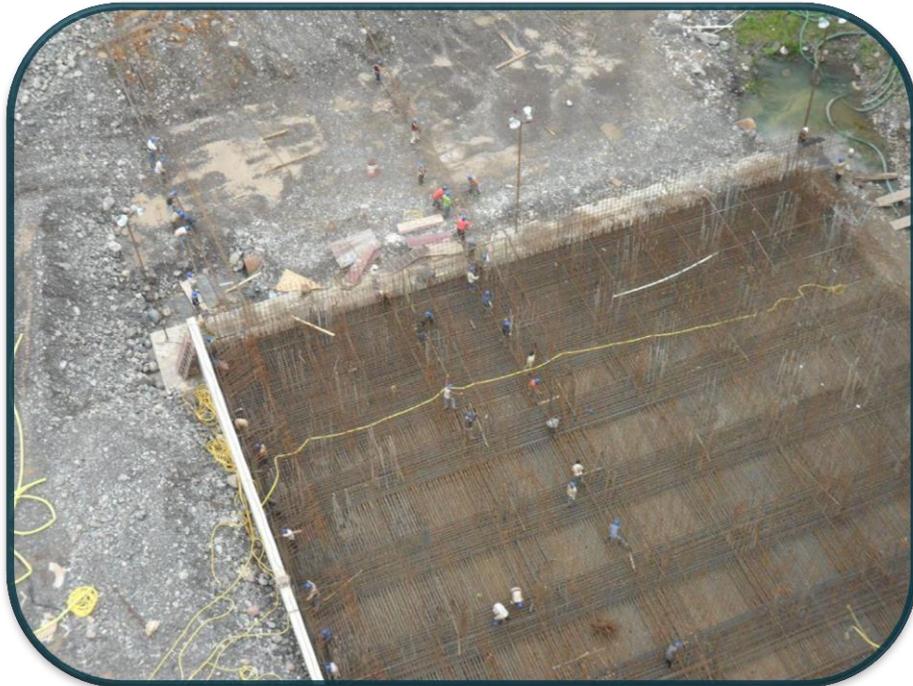
FOTOGRAFIA No.71.-Cuando la grúa se ocupaba se apoyaban del desnivel del almacén a la zapata para el traslado de este.



FOTOGRAFIA No.72.-El almacén de acero quedaba a un lado de la zapata en un área determinada de bodega.



FOTOGRAFIA No.73.-A pesar de las dimensiones tan grades del elemento su compejidad en el armado y en el tamaño tan largo de sus varilas hicieron de este un proceso lento.



FOTOGRAFIA No.74.-El personal designado a este tarea se organizaba en grubos para colocación amarre y acoplamiento.



FOTOGRAFIA No.75.-En el diseño perimetral se considero que primero tendría que colocar la capas inferiores de acero para así poder cerrar los muros y que este no estorbara en el momento de colocacion de acero.



FOTOGRAFIA No.76.-En esta foto panorámica se aprecia el camino de descenso, desde el estribo 1 hasta la pila 4 con un desnivel de 200 m aprox.



FOTOGRAFIA No.77.-Los trabajos constantes en la zapata resultaban casi un pilote completo al día (excavación, limpieza, armado , colado y descabece).



FOTOGRAFIA No.78.-Las pruebas de laboratorio que se realizaba eran las comunes pero se hacían aleatorias como lo especifica la norma cada 10 ollas en su caso.



FOTOGRAFIA No.79.-A las pruebas de laboratorio comunes se le agrego la medición de temperatura en frio, ya que el hielo permitió que el concreto estuviera dormido.



FOTOGRAFIA No.80.-El colado se dio inicio y los equipos de trabajo se repartieron en dos turnos de los cuales al principio una parte de estos estaban dentro de la estructura y otros por arriba.



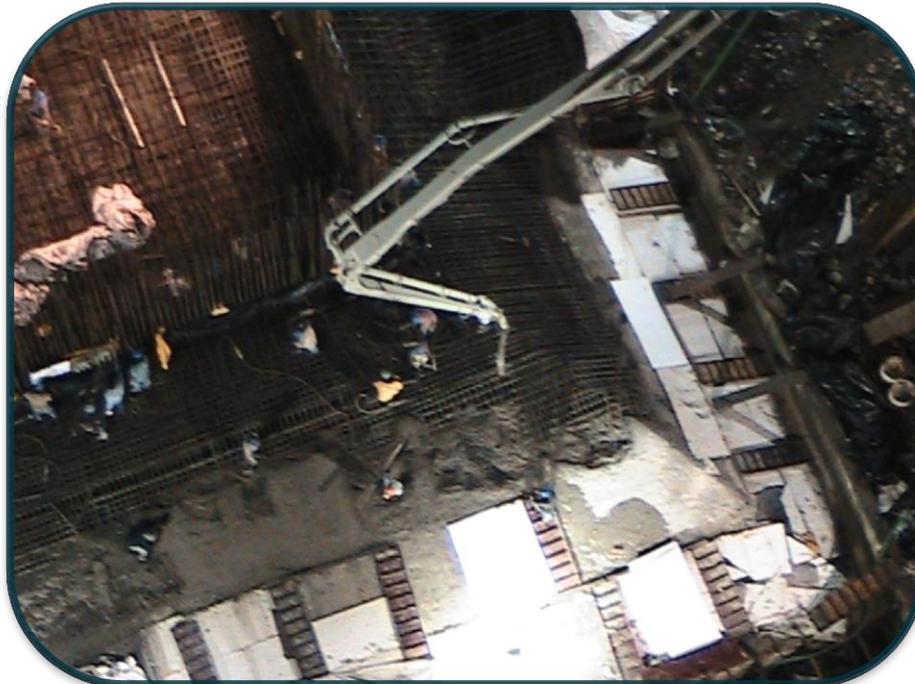
FOTOGRAFIA No.81.-El sentido de transito de las ollas permitió que ninguna bomba quedase sin suministro.



FOTOGRAFIA No.82.-El personal que estaba dentro de la estructura se dedicaba a vibrar ya direccionar el vaciado de la bomba para evitar que segregase este y que se repartiera uniforme.



FOTOGRAFIA No.83.-En algunas partes de la zapata el volumen de acero permitía la maniobrabilidad de los equipos lo cual facilitaba muchas labores en el colado.



FOTOGRAFIA No.84.-Cuando en concreto llego a dar el recubrimiento en la parte baja de la zapata se comenzó a colocar una capa de curacreto y a ponerle la membrana que permitió mantener su temperatura.



FOTOGRAFIA No.85.-Casi al término del colado se verificaron en los termopares que las temperaturas no rebasaran el gradiente en la temperatura de inicio y así asegurar el compuesto del concreto.



FOTOGRAFIA No.86.-Sobre la membrana de curado y el panel de polipropileno (unicel) se colocaron lonas que mantenía la humedad del colado y no permitió que la lluvia actuara sobre la cara expuesta.



FOTOGRAFIA No.87.-Ya terminado el proceso de colado de la zapata, se monitoreo la temperatura del fraguado para verificar que no rebasara el gradiente durante una semana y se continuo el armado de acero del fuste.