



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS EMPLEADOS EN LA
AMPLIACIÓN DEL CENTRO COMERCIAL GRANSUR”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

GARCÍA COLÍN JOSÉ ALBERTO



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. LORENZO O. MIRANDA CORDERO.**

2015

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	6
Breve descripción de la evolución de los centros comerciales en México.....	6
CÁPITULO I ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	9
Antecedentes del centro comercial “GranSur” previos a la ampliación.	9
Descripción del proyecto de ampliación.	11
Aspectos constructivos.	13
Sectorización y utilización.....	13
Localización del proyecto.	17
Estudios preliminares.	18
Estudio preliminar de mecánica de suelos.....	18
Geología	19
Condiciones geotécnicas del sitio.....	22
Trabajos de campo.	24
Análisis y diseño geotécnico de la cimentación.....	28
Análisis de estabilidad.	32
Análisis de asentamientos.....	34
Empujes en muros.....	35
Revisión según el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.	35
Procedimiento constructivo y protección a colindancias.....	36
Construcción de zapatas.	36
Construcción de pilas.....	36
Conclusiones del estudio de mecánica de suelos y recomendaciones para la elaboración de la cimentación.	37
CÁPITULO II PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA.....	38

Clasificación de las cimentaciones.	39
Cimentaciones someras.	39
Cimentaciones profundas	39
Generalidades sobre pilas y pilotes.	40
Preesfuerzo.	41
Métodos de presforzado.	42
Materiales.	42
Importancia del acero de alta resistencia.....	43
Tipos de acero presforzado.	47
Propiedades esfuerzo-deformación del acero.	49
Tipos de concreto.	51
Cuerpo "A" zapatas corridas en una dirección.....	52
Actividades preliminares para la realización de la cimentación del cuerpo "A".....	52
Trazo y nivelación.....	54
Excavación del terreno.	55
Acero de refuerzo.	57
Procedimiento de colocación y aplicación del presfuerzo.....	58
Cimbra.	59
Concreto.	60
Cuerpo "B", pilas y zapatas corridas en dos direcciones.....	63
Problema presentado en obra en esta etapa y su solución.....	64
CÁPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA.....	67
Cuerpo "A".	67
Albañilerías y acabados.....	67
Estructura metálica.....	75

Materiales.....	76
Alcance de los trabajos.....	76
Uniones soldadas.....	76
Tipos de uniones.....	78
Procedimiento general de soldadura en campo.....	79
Montaje.....	79
Control de calidad en los trabajos de soldadura.....	80
Cubierta metálica.....	82
Características generales del sistema de cubierta.....	84
Especificaciones de la materia prima.....	84
Ventajas del uso de sistemas de cubierta.....	84
Descarga y almacenamiento.....	85
Almacenamiento en sitio para paneles que no se usaron de manera inmediata.....	85
Almacenamiento en sitio para paneles que se usaron de manera inmediata.....	85
Instalación de panel de techo.....	85
Modificación al proyecto original: Apertura de lucernario adicional en cubierta del cuerpo "A".....	88
Cuerpo "B" estacionamiento.....	89
Columnas.....	89
Losas de concreto.....	90
Cimbra.....	90
CÁPITULO IV INSTALACIONES HIDROSANITARIAS.....	92
Alcances del proyecto.....	92
Red de agua potable y de drenaje sanitario.....	92
Sistema de drenaje pluvial.....	92
Materiales utilizados en la red de aguas pluviales.....	94

Sistema de protección contra incendio.....	95
Materiales.....	95
Unión de tuberías y accesorios.....	99
Soportes para tuberías.....	100
Válvulas.....	101
Protección de tuberías contra daños por terremoto.....	101
CÁPITULO V. CONCLUSIONES.....	103
Anexo 1. Trabajos de campo.....	108
Bibliografía.....	116

INTRODUCCIÓN.

Breve descripción de la evolución de los centros comerciales en México.

El desarrollo y la evolución de los centros comerciales en México están ligados íntimamente con el crecimiento de la población. Para casi todos nosotros es claro que al crecer la población en cualquier parte de la ciudad se genera una demanda de servicios tales como agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, vías de comunicación, escuelas, etc. Del mismo modo es necesario crear espacios para diversión y esparcimiento (parques públicos, gimnasios). Actualmente uno de los lugares que ha tomado relevancia para la diversión es el “centro comercial” ya que en ellos podemos encontrar cines, pistas de patinaje y espectáculos en general además de los productos de consumo de primera necesidad.

De acuerdo con la Asociación Española de Centros Comerciales (A.E.C.C.) se define un centro comercial como “conjunto de establecimientos comerciales independientes, planificados y desarrollados por una o varias entidades, con criterio de unidad, cuyo tamaño, mezcla comercial, servicios comunes y actividades complementarias están relacionadas con su entorno, y que dispone permanentemente de una imagen y gestión unitaria”.¹

El centro comercial se configura por tanto como un espacio común en el que pueden llegar a coexistir superficies de venta de gran tamaño (hipermercados, supermercados, grandes almacenes.) con tiendas detallistas más tradicionales. Siguiendo la clasificación de Jonathan Reynolds, se destacan cuatro tipos de centros principalmente:

- a) Grandes centros comerciales: Son áreas de más de 30,000.00 m². Están situados en grandes centros periféricos y contarán con gran diversidad de tiendas. Es también destacable que los accesos estarán bien planificados, con transporte público.
- b) Centros intermedios: En estos centros el área de ventas oscila entre 10,000.00 m² y 30,000.00 m²
- c) Parques comerciales: Son centros con un área entre 5,000.00 m² y 20,000.00 m². Solo realizan actividad de ventas al por menor.
- d) Galerías comerciales: Son centros comerciales con un área menor o igual a 1,000.00 m².²

Sin embargo, los centros comerciales no siempre han sido como los conocemos en la actualidad.

¹ Enrique Gómez Navarro, “Centros comerciales. Ventajas competitivas y diseño del futuro”, en *Distribución y consumo*, núm. 18, oct.-nov. 1994, p. 70. Edición electrónica disponible en http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_1994_18_70_80.pdf

² *Ibidem*, p. 85.

Los centros comerciales comenzaron su evolución en Estados Unidos de América aproximadamente en 1957, cuando las tiendas departamentales y grandes almacenes integraron a pequeños minoristas y tiendas de descuento en un solo conjunto con la finalidad de incrementar sus ventas y tener todos los servicios en un mismo lugar.

En la Ciudad de México, el centro comercial hizo su aparición en 1969 con la construcción de “Plaza Universidad”. Dicho complejo se construyó principalmente con capital de la tienda de origen extranjero Sears Roebuck³, con la finalidad de acercar productos electrodomésticos a la población del Centro Urbano Presidente Alemán (C.U.P.A.), construido 20 años atrás y cuyas dimensiones lo hacían atractivo para la inversión. Además de la tienda departamental se integró una sala cinematográfica y pequeñas tiendas minoristas en un complejo moderno que dirigía al consumidor entre grandes pasillos.

Un año después, en la recién creada Ciudad Satélite se construyó “Plaza Satélite” con los mismos principios y capitales de “Plaza Universidad”; la idea básica fue la de “tecnificar”⁴, aprovechando así un mercado recién creado.

Los centros comerciales o plazas no sufrirían cambios significativos hasta 1975, año en que se construyó “Plaza Inn”, en la cual se pretendió integrar locales comerciales y oficinas en un mismo espacio. El resultado fue en términos generales aceptable, sin embargo este tipo de complejos se repitió poco en el futuro.

En 1981, al sur de la Ciudad de México se construyó “Perisur”. A este centro comercial se le puede definir como auto-contenido, es decir, sus grandes muros perimetrales y la falta de accesos a pie lo convierten en un lugar en el cual se privilegia la exclusividad de sus clientes. Muestra de ello es el hecho de que las principales tiendas departamentales o tiendas ancla fueran en esa época Liverpool, Palacio de Hierro, Sears, Paris Londres y Sanborns. Este centro comercial fue uno de los primeros en contar con dos niveles de tiendas y a diferencia de los anteriores no se incluyó sala cinematográfica.

Durante los siguientes años no se presentaron cambios en la evolución de las también llamadas Plazas sino hasta 1989, año en que se construyen “Centro Coyoacán” y “Plaza Tepeyac”. En el primero de ellos se incluyó un área especial para la venta y consumo de alimentos, conocida hoy en día como “comida rápida”

En 1992 se construyó “Plaza Interlomas”, dirigida a personas con ingresos superiores a los 75 salarios mínimos mensuales, convirtiéndola así en uno de los centros comerciales más exclusivos de su época.

³ Ahora propiedad del empresario mexicano Carlos Slim.

⁴ Entendiéndose por tecnificar el suministrar electrodomésticos tales como planchas, licuadoras, aspiradoras, televisiones y cualquier aparato que ayude en las labores domésticas.

Para 1993 se construyó “Plaza Loreto” en las instalaciones de lo que fue la fábrica de papel “Loreto y Peña Pobre”. La principal innovación de este lugar fue construir espacios abiertos, es decir, sin techo o cubierta en los pasillos entre locales, además se incluyó una oferta cultural al construir el “Museo Soumaya” y un complejo cinematográfico dedicado a proyectar películas denominadas de arte.

Otro de los grandes hitos en la construcción de los centros comerciales es “Mundo E”, construido en 1998 y cuyo principal atractivo es una ambientación “hiperrealista”, en la cual se incluyen pasillos que recrean calles parisinas y de algunos otros lugares.

El 29 de noviembre de 1999 abrió sus puertas el “Centro Comercial GranSur”, ubicado al sur de la Ciudad de México. Este centro comercial integró en sus instalaciones un “hipermercado” y tiendas, un complejo cinematográfico, además de un pasillo dedicado al arte de diferentes países. Este centro comercial en particular presenta aspectos dignos de ser analizados, pues no solo su oferta de tiendas y restaurantes lo hace un lugar atractivo, en sus instalaciones se incluyeron restaurantes de alta cocina y en la actualidad cuenta con un gimnasio.

Finalmente y a modo de conclusión se puede afirmar que los centros comerciales evolucionan con base en la oferta de consumo que hacen a sus potenciales clientes y, que en un afán de hacerlos más atractivos se construyen edificios cada vez más complejos, pues no solamente se deben hacer atractivos y cómodos sino también seguros.

El objeto de análisis del presente trabajo se centrará en la construcción de la ampliación del “Centro Comercial GranSur”, en la cual participé durante la construcción de la segunda y tercera etapas como parte del equipo de supervisión. El objetivo será describir los procesos constructivos y los criterios utilizados durante el proceso de la obra. Además de lo anterior comentaré algunos de los problemas a los que nos enfrentamos y la forma en que fueron solucionados para construir un área de tiendas de aproximadamente 14,000.00 m², así como la ampliación del estacionamiento en 500 cajones, desplantados sobre un área de 11,000.00 m².

CÁPITULO I ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Antecedentes del centro comercial “GranSur” previos a la ampliación.

El centro comercial “GranSur” fue un proyecto en el que participaron originalmente capitales de origen francés, representados por la tienda de autoservicio “Auchan”⁵ e inversionistas de origen mexicano representados por “Promotora Mar y Cielo”. Cada una de estas entidades mercantiles representa, controla, administra y da mantenimiento a las áreas correspondientes a sus participaciones económicas. Con base en lo anterior podemos afirmar que el centro comercial GranSur posee dos administraciones.

El proyecto arquitectónico fue desarrollado completamente en España y encargado a “Grupo Arquitect”. En México la supervisión del proyecto corrió a cargo de “Halff and GC Ingeniería”.

Por razones económicas se tomó la decisión por parte de los inversionistas de llevar a cabo la obra en etapas. La primera de ellas se terminó en 1999, la segunda etapa se denominó “Ampliación del centro comercial GranSur” y es el objeto del presente trabajo.

El predio en el que se desplantó la primera etapa tiene una área de 101, 834.00 m², una forma sensiblemente triangular y colinda con las siguientes avenidas:

- Al norte con avenida del Imán.
- Al sur con Periférico Sur.
- Al este con Boulevard GranSur.
- Al oeste con Unidad Habitacional Olímpica.

El terreno tiene un desnivel natural de aproximadamente 13 metros entre Avenida del Imán y Periférico Sur. Esta situación fue aprovechada perfectamente desde el punto de vista arquitectónico al construir un estacionamiento descubierto en prácticamente la totalidad de superficie y, por encima de ésta, una gran área comercial distribuida en una sola planta en forma de “V” con grandes pasillos longitudinales.

El edificio previo a la ampliación se conformaba de abajo a arriba de la siguiente manera:

Un nivel sótano **N -4.00 m**, utilizado fundamentalmente como estacionamiento con capacidad para 1915 autos, un acceso perimetral para proveedores y distribuidores, sin acceso para el público en general. Este nivel se subdivide en las siguientes áreas.

⁵ Actualmente retirada de México. Comercial Mexicana compró su participación en diciembre de 2002.

- a) Estacionamiento con 63,680.40 m².
- b) Vestíbulos de acceso y rampas mecánicas con un total de 1,388.45 m².
- c) Escaleras con 72.00 m² en total.
- d) Locales técnicos, depósitos de agua potable y contra incendio, con un área total de 1,481.14 m².

Nivel planta baja **N 0.00 m**, con accesos vinculados a la plaza y que quedó dividida en dos zonas principalmente:
Hipermercado y centro comercial:

Hipermercado:

- a) Área de ventas al público (Auchan), con 10,806.78 m².
- b) Andén de carga y descarga, con 767.10 m².
- c) Locales comerciales, con 2,716.72 m².
- d) Galería comercial y pasillos de emergencia, con 2,010.60 m².
- e) Rampas y servicios, con 151.76 m².

Centro comercial:

- a) Galería comercial, con 6,106.99 m².
- b) Locales comerciales, con 25,570.83 m².
- c) Andén de carga y descarga, con 1,162.97 m².
- d) Elevador público, con 4.00 m².
- e) Pasillos de emergencia y servicios, con 978.97 m².
- f) Rampas eléctricas, con 74.48 m².

Zona de restaurantes **N+3.90**. En esta zona se encontraba el mezzanine de restaurantes de comida internacional y en la parte posterior las oficinas administrativas del centro comercial.

El perímetro del edificio se construyó a base de muros prefabricados de concreto y para la cubierta se utilizó lamina tipo Romsa recubierta con impermeabilizante prefabricado de 3.5 mm de espesor.

Entre los principales atractivos del centro comercial previos a la ampliación se pueden mencionar los siguientes:

- a) Hipermercado de autoservicio Auchan.
- b) Zona de bancos.
- c) Pista de hielo.

- d) Zona de comida rápida o “fast food”.
- e) 12 salas de cine.
- f) Paseo del arte. En este lugar se montaban exposiciones de arte de distintos países.
- g) Pista de hielo.
- h) Zona de restaurantes entre los que se podía encontrar comida internacional española, argentina suiza y china de excelente calidad.

Descripción del proyecto de ampliación.

Tal como se describió en la sección anterior GranSur posee dos administraciones, cada una de las cuales aportó recursos económicos, proyecto arquitectónico, personal técnico y administrativo propios para las obras de ampliación. Esto quiere decir que aunque la obra se llevó a cabo de manera simultánea, el control de la misma fue responsabilidad de distintas entidades administrativas. El objeto de estudio del presente trabajo se enfocará en la obra desarrollada por “Promotora Mar y Cielo”, obra en la cual tuve participación directa como encargado de obra civil y acabados.

En el proyecto de ampliación se definen cuatro áreas específicas:

- a) Zona 1: Agencia (Desarrollada por “Promotora Mar y Cielo”).
- b) Zona 2: Tienda Ancla y Estacionamiento (Desarrollada por “Promotora Mar y Cielo”).
- c) Zona 3: Restaurante (Desarrollada por Comercial Mexicana).
- d) Zona 4: Promoción Inmobiliaria (Desarrollada por Comercial Mexicana). **Ver figura 1.**

La zona 1, Agencia, es un grupo de cinco locales comerciales y una agencia para autos con zonas de distribución e interconexión con la plaza, en la cual se genera un acceso peatonal a la misma.

La zona 2, Tienda ancla y estacionamiento, se construyó encima del estacionamiento original al descubierto de la plaza. Esta zona se subdivide en dos: locales comerciales y estacionamiento. En la zona de locales se distribuyen una tienda ancla y 24 locales comerciales que se unen a la actual plaza mediante un gran pasillo longitudinal. El estacionamiento alberga 398 cajones en la parte superior y 660 en la parte inferior y están ligados entre sí mediante rampas.

La zona 3: Restaurante, se ubica sobre un área abierta existente y se conforma en una estructura de forma triangular de un nivel.

La zona 4: Promoción Inmobiliaria, Es una galería comercial que rodean a un área abierta de estacionamiento, el cual tiene acceso y salida por avenida de la Imán, independiente al del centro comercial.

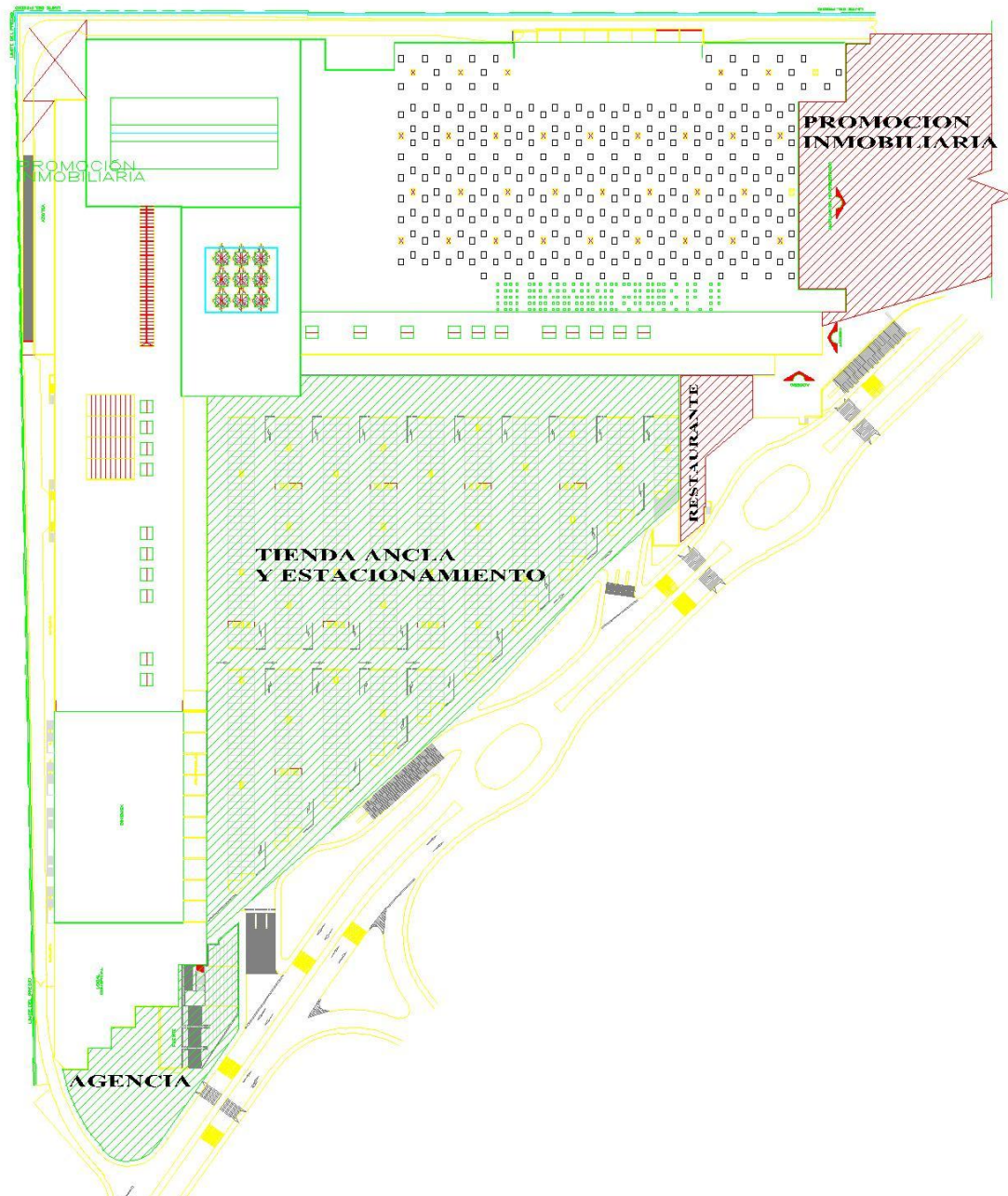


Figura 1 Croquis GranSur previo a las obras de ampliación y zonas a intervenir.

Aspectos constructivos.

Para la ampliación del centro comercial, se tomaron en cuenta las especificaciones del edificio construido en la primera etapa con la finalidad de dar continuidad a los niveles y acabados interiores y respetar la modulación de ejes. También se tomó en cuenta que la zona de ampliación sería separada mediante una junta constructiva mecánica con el edificio existente.

La nueva estructura contó con una cimentación independiente del edificio previamente construido, a base de zapatas y contratrabes de concreto armado postensado. La estructura general se preparó sobre una trama modular de entre ejes regulares, conformándose dicha trama a base de columnas y trabes de concreto armado, apoyándose en la parte superior armaduras y vigas metálicas, que soportan los elementos de cubierta. Sobre las vigas dispuestas a intervalos regulares, se apoyan láminas tipo Romsa que sirven de soporte al aislamiento e impermeabilización. La losa de entrepiso está realizada con sistema de nervaduras de concreto postensado con espesores según el tipo de carga prevista, con capa de compresión de concreto armado.

Sectorización y utilización.

Se entiende por sectorización o zonificación, dentro del lenguaje de la administración del centro comercial GranSur, a la división, por zonas y niveles, de las distintas partes que conforman el centro comercial, con la finalidad de controlar, administrar, proporcionar seguridad y en general dar mantenimiento a las mismas. **Ver tablas 1 y 2.**

Usos y superficies.

Las tablas 1 y 2 detallan las superficies construidas, por zona y nivel, durante los trabajos de ampliación del centro comercial GranSur.

ZONAS INTERIORES	SUPERFICIES CONSTRUIDAS (m ²)				TOTALES
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	
	AGENCIA	ANCLA Y ESTACIONAM.	RESTAURANTE	PROMOCIÓN INMOBILIARIA	
NIVEL SÓTANO 2					
<i>N -7.30 m</i>					
LOCAL COMERCIAL	82				
MALL	65				
CISTERNA	270				
BODEGA	147				
AREA DE CARGA Y DESCARGA		216			
PATIO DE MANIOBRAS		650			
TOTAL	564	866			1430
NIVEL SÓTANO 1					
<i>N -4.00 m</i>					
ESTACIONAMIENTO CUBIERTO		23960			
LOCAL COMERCIAL (AGENCIA)	600				
VESTIBULOS DE ACCESO Y ESCALERAS	97	40			
TOTAL	697	24000			24697
NIVEL PLANTA BAJA					
<i>N + 0.00 m</i>					
TIENDA ANCLA		6500			
LOCALES COMERCIALES	167	4186		3065	
MALL	90	1980		669	
ESTACIONAMIENTO		11300			
VESTIBULOS DE ACCESO Y ESCALERAS		34			
RESTAURANTE			865		
TOTAL	257	24000	865	3734	28856
TOTAL POR ZONAS	1518	48866	865	3734	
TOTAL DE SUPERFICIE CONSTRUIDA					54983

Tabla 1. Superficies construidas durante la ampliación.

Ampliación estacionamiento.

Superficie del predio: 101,834.00 m ² .	
USOS: Comercial, Oficinas, Servicios y Estacionamientos.	
Ampliación Centro Comercial: Sótano 2, Sótano 1, Planta Baja.	
Estacionamientos proyectados:	
Nivel planta baja. Zona 2. Tienda Ancla y Estacionamiento.....	398 cajones
Nivel planta baja. Zona 4. Promoción inmobiliaria.....	193 cajones
<i>Total Estacionamientos</i>	<i>591 cajones</i>
Superficies construidas proyectadas:	
Nivel sótano 2 (N. -7.30) nivel de banqueteta.....	1,430 m ²
Nivel sótano 1 (N. -4.00) nivel de estacionamiento	24,737 m ²
Nivel planta baja (N. +-0.00) nivel mall.....	28,908 m ²
<i>Total Construido</i>	<i>55,075 m²</i>

Total de Área rentable para cuantificación de cajones	
Ampliación.....	11, 202 m ²
Restaurante California.....	.940 m ²
Promoción Inmobiliaria.....	<u>3, 065 m²</u>
	15,207 m ²
Cajones requeridos por reglamento:	
1 por cada 40 m ² rentables = 380 cajones	

Tabla 2. Resumen de ampliación de estacionamiento y numero de cajones construidos.

Las obras de modificación y ampliación se conforman de abajo a arriba como sigue:

Nivel banqueta (también llamado sótano 2) **N. -7.30 m** a nivel de boulevard. En la zona 1 antes descrita, dentro del nivel sótano 2, se destinan 564 m² al desplante de un local comercial, cuartos técnicos y vestíbulo de acceso a plaza.

Nivel sótano (también llamado sótano 1) **N. -4.00 m.**, a nivel de estacionamiento original. En este nivel dentro de la zona 1 se contemplan aproximadamente 700 m² destinados a un local para agencia automotriz y vestíbulo de acceso a la plaza al extremo sur del conjunto comercial. Y la zona 2 contiene un área de 24,000 m² aproximadamente para estacionamiento cubierto (antes descubierta) para 660 cajones y rampas de acceso para autos al nivel superior, con accesos a través de la vialidad interior boulevard Gran Sur.

De esta forma, este nivel se subdivide en las siguientes áreas de ampliación:

- a) Estacionamiento cubierto de 24,000 m².
- b) Vestíbulos de acceso y escaleras 97 m².
- c) Local comercial para agencia de 600 m².
- d) Área de carga y descarga: 216 m².
- e) Patio de maniobras: 650 m².

Nivel planta baja, **N. +0.00 m**. La zona 1 contempla dentro de este nivel 240 m² que albergan accesos a plaza y 4 locales comerciales. La zona 2 tiene 12,600 m² para mall y locales comerciales y 11,300 m² para 398 cajones de estacionamiento y rampas para autos.

De esta forma, este nivel se subdivide en las siguientes áreas de ampliación:

- a) Tienda Ancla: 6,500 m².
- b) Locales Comerciales con un total de 4,186 m².
- c) Galería Comercial y pasillos de emergencia con 1,980 m².

Localización del proyecto.

El conjunto comercial se localiza en Periférico Sur 5550 colonia Pedregal de Carrasco, en la delegación Coyoacán, en México D.F., y queda situado dentro de la traza urbana.

Su perímetro se inscribe en una poligonal de 101,834.00 m², colindando con las avenidas:

- Periférico sur.
- Av. del Imán.
- Boulevard GranSur.

El edificio actual queda totalmente exento y separado de cualquier otra edificación, permitiendo que los vehículos pesados tengan un acceso fácil a través de las vialidades perimetrales. **Ver figura 2.**



Figura 2 Vista aérea de GranSur previo al inicio de obra de ampliación.

Estudios preliminares.

Para que todo proyecto de ingeniería civil se lleve a buen término es necesario realizar estudios preliminares que nos permitan conocer las condiciones del lugar donde se piensa desplantar cualquier obra, tales como topografía, el tipo de suelo y sus condiciones mecánicas, los niveles de aguas freáticas, si es que existen etc. Es de vital importancia que la información sea lo más completa posible ya que de ella dependen los procesos constructivos que serán utilizados y los costos asociados a estos. Con base en toda esta información se lleva a cabo el proyecto arquitectónico y el proyecto estructural. Dichos proyectos son la base para generar aún más proyectos, tales como las instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias, voz y datos, etc. Para el caso particular que nos ocupa, se llevaron a cabo únicamente dos estudios preliminares: Un estudio de mecánica de suelos y un levantamiento topográfico para conocer las condiciones de las instalaciones sanitarias, específicamente los drenajes pluviales y sanitarios.

En esta sección se presentan los resultados arrojados por estudio de mecánica de suelos. No se presentan los resultados del levantamiento topográfico.

Estudio preliminar de mecánica de suelos.

Introducción.

Antecedentes. GranSur a través de Promotora Mar y Cielo solicitó a Integración de la Ingeniería Geotécnica S.A. de C.V. (IIGSA S.A. de C.V.) el estudio geotécnico para el diseño de la cimentación del “Edificio de estacionamiento y locales comerciales dentro del centro comercial GranSur”, ubicado en Av. Del Imán N° 151, Col. Pedregal de Carrasco, delegación Coyoacán, México D.F.

Objetivo. Con base en los resultados de exploración y laboratorio se establecieron las condiciones estratigráficas del sitio para determinar el tipo de cimentación óptimo y sus profundidades de desplante, definiendo la capacidad de carga en condiciones estáticas y dinámicas del terreno de apoyo y los asentamientos; adicionalmente se dieron recomendaciones para su construcción, respetando los requerimientos de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones. (N.T.C.D.C.C.).

En la **figura 3** se presenta el algoritmo para el diseño de la cimentación del edificio de estacionamiento, del que se desprende que la definición del tipo de cimentación depende del proyecto arquitectónico, de la información geológica y de los resultados geotécnicos obtenidos con la exploración.

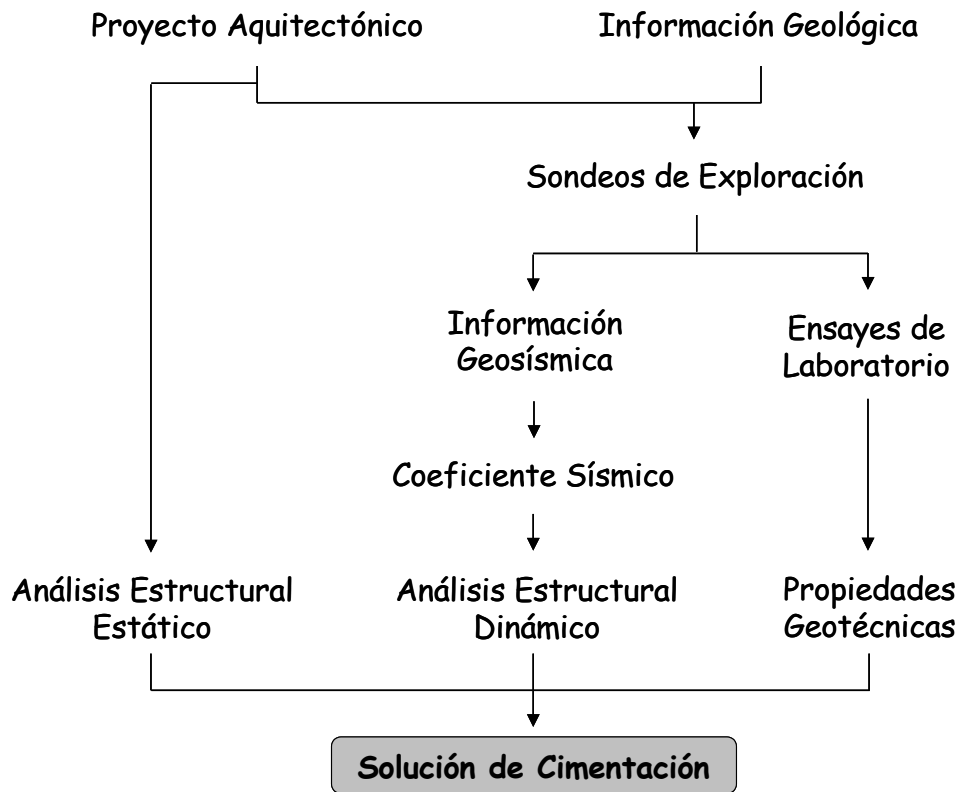


Figura 3 Algoritmo para el diseño de la cimentación.

Geología.

La cuenca del Valle de México asemeja una enorme presa azolvada: *la cortina*, situada en el sur, está representada por los basaltos de la sierra de Chichinautzin, mientras que *los rellenos* del vaso están en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por clásticos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes. **Ver figuras. 4 y 5.**

Todo material contenido en los depósitos de la cuenca del Valle de México es directa o indirectamente de origen volcánico. De origen volcánico directo son, por ejemplo, las lavas del cerro de Chapultepec, Tepeyac y la sierra de Chichinautzin, como también las lavas, brechas, tezontles y cenizas del Peñón del Marqués, la sierra de Santa Catarina y el Pedregal de San Ángel.

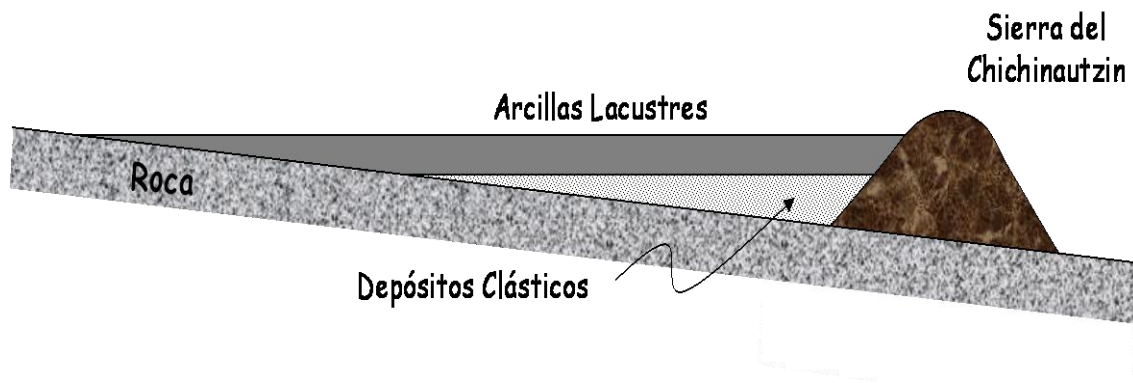


Figura 4 Esquema geológico general del Valle de México.

De origen volcánico indirecto se deben mencionar las acumulaciones de polvo eólico. En las regiones volcánicas abundan detritos finos derivados de cenizas volcánicas. El viento levanta este polvo y lo transporta a veces a grandes distancias; si el viento lo deposita en laderas durante períodos de clima frío, se transforma en suelos inmaduros que con el transcurso del tiempo se convierten en tobas amarillas que tanto abundan en la zona de Lomas. Sin embargo, si se depositan en un lago, como el antiguo vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan transformándose en arcillas.

Los depósitos de la planicie del Valle de México son los que comúnmente se conocen como los depósitos de Lago. Hay que señalar que ello solamente es válido y correcto para ciertos tiempos geológicos con condiciones climáticas que propiciaban la existencia de un lago. En la cuenca cerrada podía existir un lago cuando las lluvias superaban la evapo-transpiración, el que desaparecía cuando ésta superaba a las lluvias. Obviamente, el factor que dominaba dicho equilibrio era la temperatura ambiental: si el clima se enfriaba, se formaba un lago; si se calentaba el lago disminuía y hasta desaparecía

Otras breves interrupciones fueron provocadas por violentas etapas de actividad volcánica que cubrieron toda la cueca con mantos de arena basáltica o pumíticas. Eventualmente, en los períodos de sequía ocurría también una erupción volcánica, formándose costras duras cubiertas por arenas volcánicas.

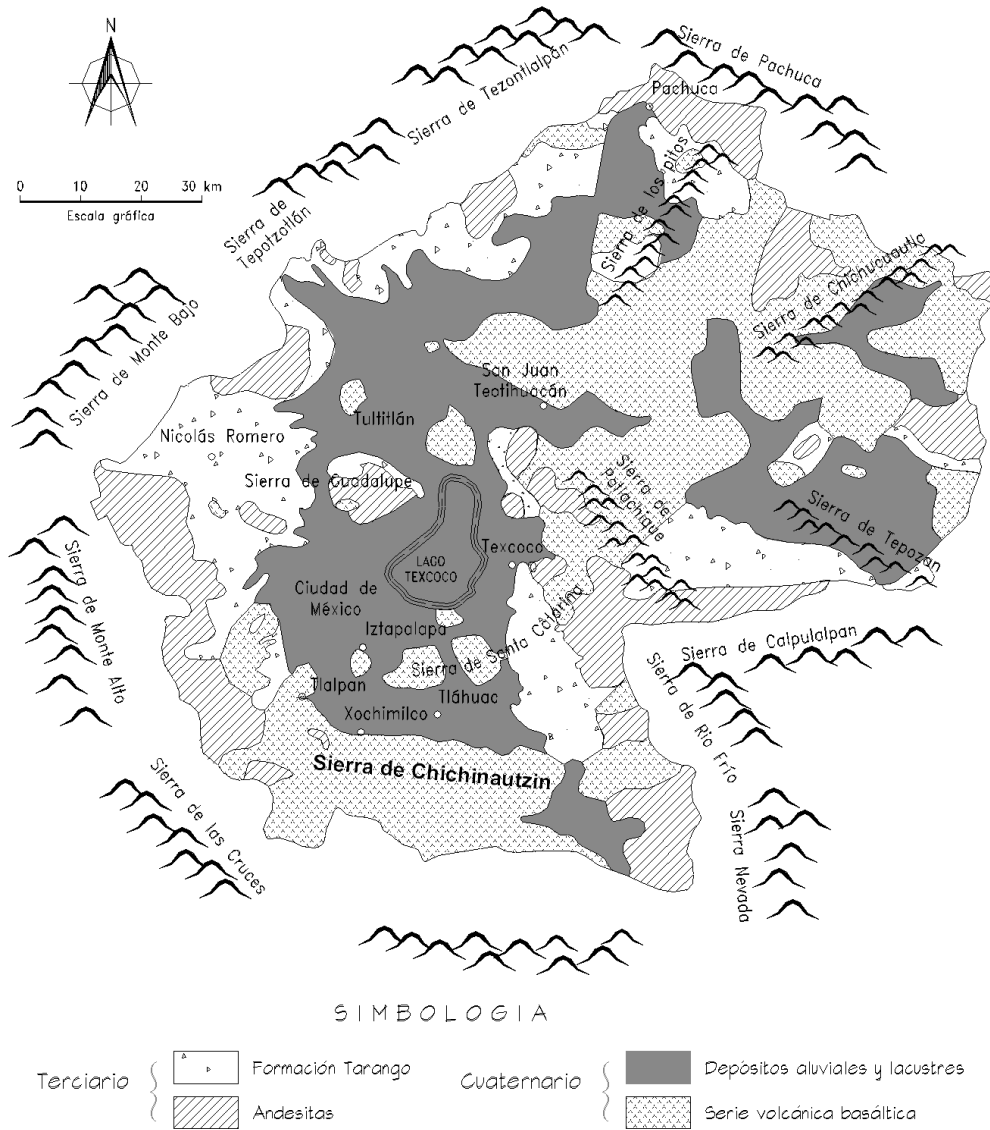


Figura 5 Mapa geológico general del Valle de México.

El proceso descrito anteriormente formó una secuencia ordenada de estratos de arcilla blanda separados por lentes duras de limo, cenizas, arcillas arenosas, costras secas, arenas de origen piro-clástico.

En lo que respecta a la zona de Lomas, la zona está formada por 4 unidades geológicas:

- a) La inferior consiste en aluviones y tobas arcillosas sin que se encuentren estratos arcillosos de importancia.
- b) La siguiente unidad, en orden ascendente, es una erupción paroxísmica que se produjo en la caldera del Cerro de la Palma, al oeste de la ciudad, representada por un cuerpo piroclástico y pumítico de gran fricción

interior, capaz de mantener taludes casi verticales, que requieren sin embargo, de una protección para evitar su intemperización.

- c) Después de la erupción se presenta una secuencia de depósitos aluviales y tobáceos.
- d) Sobreyaciendo a la secuencia de depósitos se encuentran erupciones volcánicas provenientes de Cuajimalpa. Sus tobas y erupciones iniciales rellenaron la parte baja del valle. En la parte media de esta unidad aparece un lahar ciclópeo formado por flujo piroclástico explosivo, conteniendo arenas azules y bloques de andesita. Después de esta erupción, pero pertenecientes a esta misma unidad, existe una capa de pómez gruesa, no habiendo elementos arcillosos deleznable.

Condiciones geotécnicas del sitio.

Información geotécnica disponible.

El predio en estudio se localiza en la zona geotécnica denominada Zona de Lomas⁶ **Ver figura 6**, que de acuerdo con la zonificación del Valle de México está formada por serranías que limitan a la cuenca al poniente y norte, además de los derrames basálticos del Xitle al sureste; en ella predominan tobas compactas de cementación variable, depósitos de origen glacial, aluviones y rellenos no compactados utilizados para nivelar terrenos.

En la zona poniente se encuentra la Sierra de las Cruces que está constituida por los abanicos volcánicos, caracterizándose superficialmente por la acumulación de materiales piroclásticos durante su actividad explosiva (principalmente en el Plioceno Inferior) y que fueron re-transportados por agua y hielo en épocas posteriores.

En la formación de las Lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de grandes volcanes andesíticos estratificados:

- A. *Horizontes de cenizas volcánicas* de granulometría variable, producidas por erupciones violentas que formaron tobas cementadas depositadas a decenas de kilómetros de distancia del cráter.
- B. *Capas de erupciones pumíticas* correspondientes a la actividad volcánica de mayor violencia y que se depositaron como lluvia, en capas de gran uniformidad hasta lugares muy distantes del cráter.
- C. *Lahares* definidos como acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado lentamente en corrientes lubricadas por agua, generadas por lluvia torrencial inmediata a la erupción.

⁶ Con base en figura 2.1 del artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y las Normas Técnicas complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones publicado en *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, tomo II, núm 103-bis 6 de octubre de 2004.

- D. *Lahares calientes* correspondientes a corrientes impulsadas y lubricadas por gases calientes; son las menos frecuentes ya que están asociadas a erupciones paroxísmicas de gran violencia; las arenas y gravas azules son las más representativas de estos depósitos.
- E. *Depósitos fluvioglaciares* producto de arrastre del agua que se derrite y sale del glaciar; se distinguen por su ligera estratificación.
- F. *Depósitos fluviales* correlacionables con la formación clástica aluvial del relleno de la cuenca del Valle de México.
- G. *Suelos* producto de la alteración de lahares y cenizas de color rojo y gris asociado a climas húmedos y áridos respectivamente.

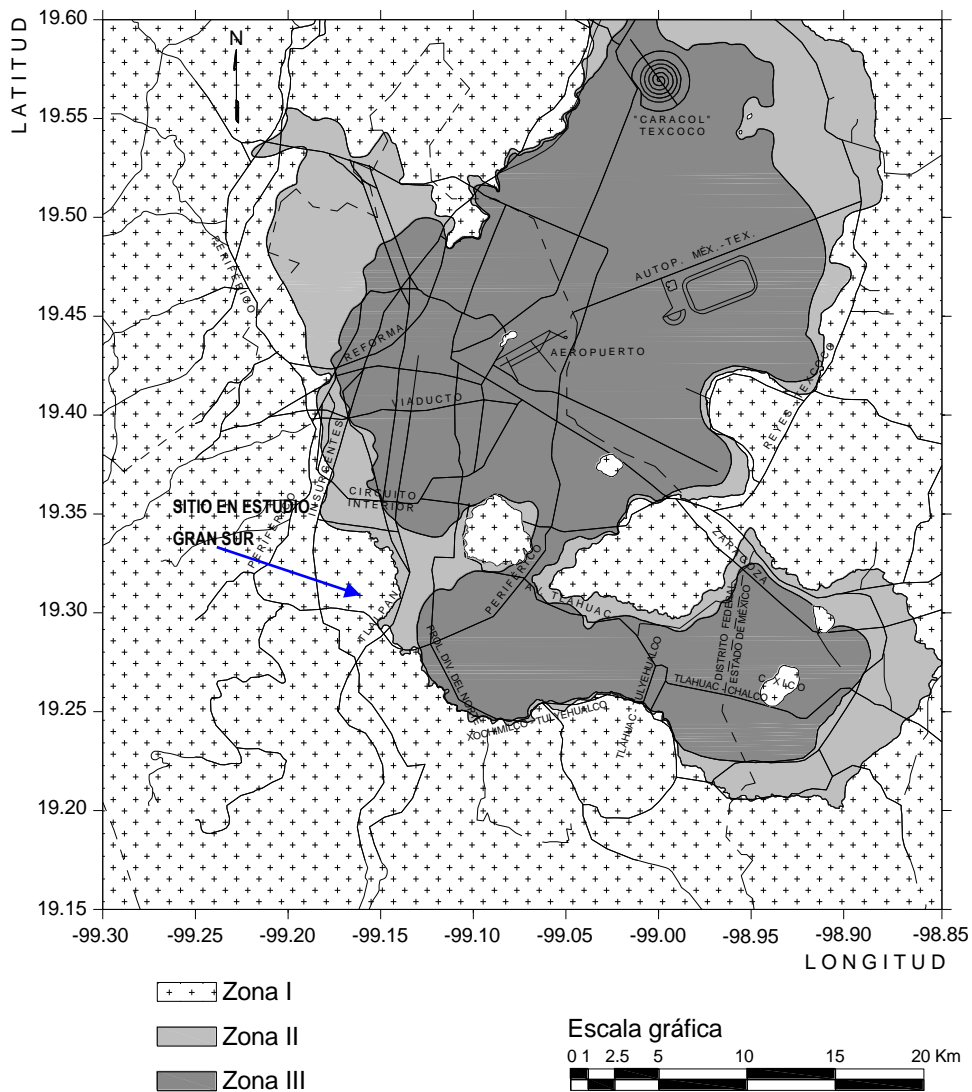


Figura 6 Zonificación geotécnica de la Ciudad de México.

Por otra parte los depósitos más antiguos presentan fracturamiento o fallamiento tectónico dirigidos principalmente al noreste, dirección que mantiene la mayoría de las barrancas de la zona.

Eventualmente, como en el presente caso, se encuentran rellenos no compactos, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas, minas a cielo abierto y tapar accesos y galerías de minas antiguas.

Trabajos de campo.

Para definir la estratigrafía superficial en el sitio se ejecutaron siete sondeos de penetración estándar (**SPT-1 a 7**) a una profundidad máxima de 10.40 m con extracción de muestras representativas alteradas. En la **figura 7** se muestra la planta arquitectónica del proyecto de ampliación con la distribución de sondeos y en el Anexo 1 el perfil estratigráfico de cada uno de los sondeos. El área triangular mostrada en la **figura 7** corresponde al sector 2 de la **figura 1**, página 11 de este trabajo.

Interpretación estratigráfica.

Estratigrafía. Con base en los trabajos de exploración realizados, a continuación se describen los resultados de dicha exploración. La información completa de los trabajos de exploración realizados para esta obra se puede consultar en el **Anexo 1**, al final de este trabajo. Se halló que la estratigrafía está constituida por los siguientes materiales (las profundidades que se reportan son a partir de terreno actual, incluyendo la zona excavada):

Sondeo de Penetración Estándar 1 (SPT-1) esquina suroeste del área triangular.

De 0.0 a 6.25 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo arcilloso con gravas de color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 20 golpes en promedio.

A partir de 6.25 m **Basalto** típico de la zona color negro que registró rebote de herramienta con la penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 2 (SPT-2) en esquina noroeste del área triangular.

De 0.0 a 6.80 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo arcilloso con gravas de color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 22 golpes en promedio.

De 6.80 a 9.00 m **Relleno natural** formado por arcilla con gravas color gris oscuro que registró entre 4 y 30 golpes con penetración estándar.

A partir de 9.00 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de la herramienta con la penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 3 (SPT-3) en zona baja de excavación.

De 0.00 a 5.30 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo poco arcilloso con gravas color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 22 golpes en promedio.

De 5.30 a 6.90 m **Escoria volcánica** formada por gravas y arena media en estado compacto y sin cementar, color café rojizo que registró 10 golpes en promedio con la penetración estándar.

A partir de 6.90 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de herramienta con penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 4 (SPT-4) en el lado norte del área triangular.

De 0.00 a 4.90 m **Relleno controlado** de mediana calidad, formado por un limo poco arcilloso con gravas color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 14 golpes en promedio.

De 4.90 a 10.00 m **Relleno controlado** de buena calidad formado por arcillas con gravas color gris oscuro que registró entre 15 y 50 golpes con penetración estándar.

A partir de 10.00 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de la herramienta con la penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 5 (SPT-5) en la esquina noreste del área triangular.

De 0.00 a 1.30 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo arenoso con gravas color café, compacto que registró 50 golpes en promedio.

A partir de 1.30 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de herramienta con la penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 6 (SPT-6) en lado colindante con la vialidad externa.

De 0.00 a 5.20 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo poco arcilloso con gravas color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 25 golpes en promedio.

A partir de 5.20 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de herramienta con la penetración estándar.

Sondeo de Penetración Estándar 7 (SPT-7) en lado colindante con la vialidad externa.

De 0.00 a 6.70 m **Relleno controlado** de buena calidad, formado por un limo poco arcilloso con gravas color café amarillento (tepetate) compacto, que registró 25 golpes en promedio.

De 6.70 a 7.90 m **Relleno natural** formado por arcillas con gravas color gris oscuro que registró 6 golpes con la penetración estándar.

A partir de 7.90 m **Basalto típico** de la zona color negro que registró rebote de herramienta con la penetración estándar.

Nivel freático. Éste no se detectó, debido a que en la zona se encuentra a grandes profundidades

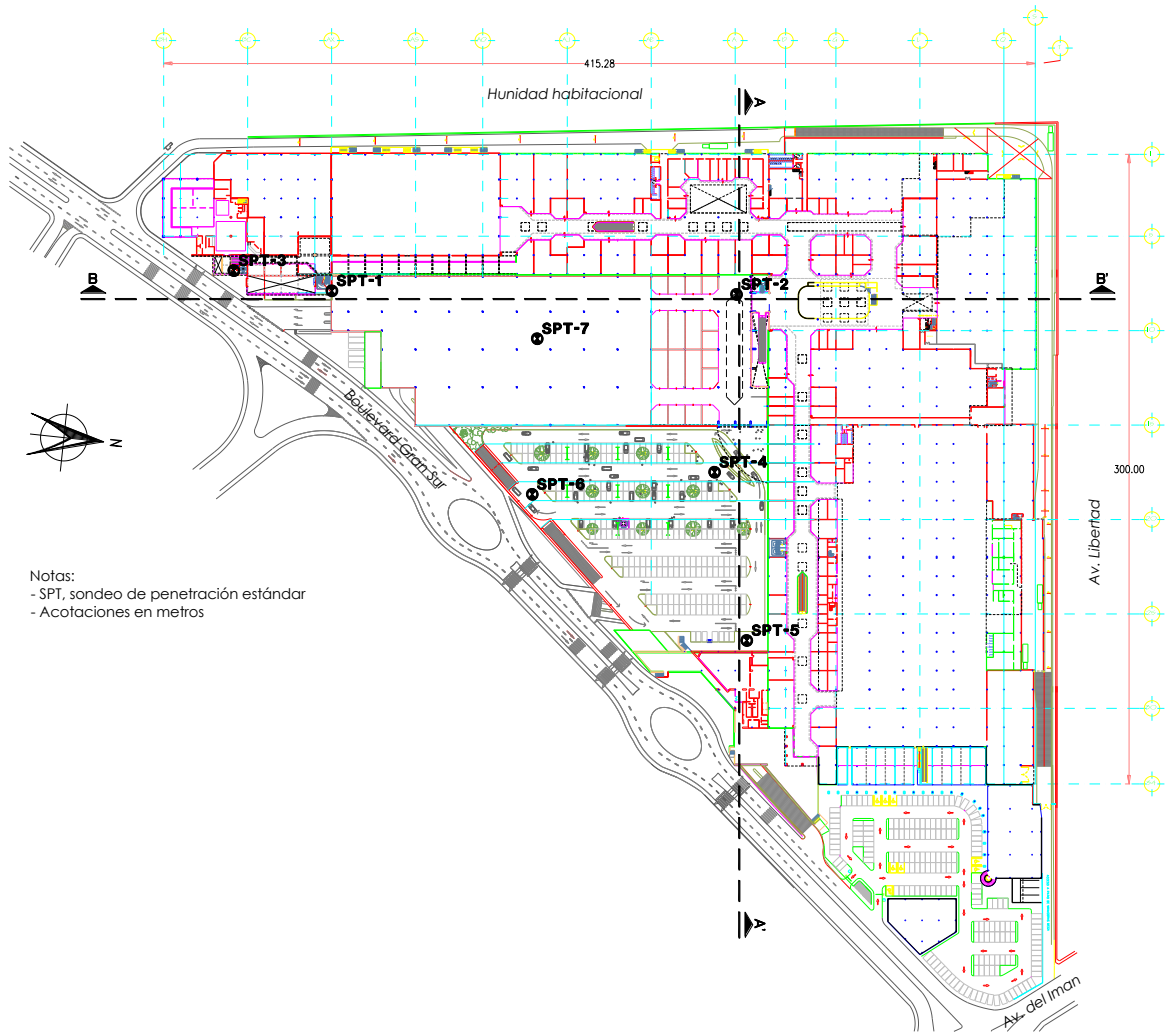


Figura 7 Localización de trabajos de exploración

Análisis y diseño geotécnico de la cimentación.

Con base en los resultados de los estudios de exploración de mecánica de suelos, la siguiente etapa consistió en realizar el análisis y diseño geotécnico de la cimentación.

El primer paso para analizar y diseñar la cimentación fue tomar en cuenta lo que se establece en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. El propósito de dichas normas es obtener una seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable no habrá fallas estructurales ni pérdida de vidas.

La estructura propuesta se analizó bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales, no simultáneos, del movimiento del terreno. Las deformaciones y fuerzas internas que resultaron se combinaron entre sí, y se combinaron con los efectos de fuerzas gravitacionales.

Se verificó que la estructura y su cimentación no rebasaran ningún estado límite de falla o de servicio a que se refiere el Reglamento de Construcciones.

Solución de la cimentación.

La solución de la cimentación pudo realizarse con dos alternativas, cada una con sus ventajas y desventajas. Una fue con zapatas aisladas y la otra con pilas de punta.

- a) **Con zapatas aisladas** bajo columnas o, corridas bajo muros, desplantadas directamente sobre el relleno controlado a 1.00 m de profundidad y sobre basalto en la parte noreste del área donde sólo se encontraron 1.3 m de espesor de rellenos, **Ver figuras 8 y 9.**

Ventajas

1. Trabajar con una cimentación superficial que evita la exploración dentro del basalto para confirmar su continuidad, ya que el bulbo de presiones que genera la cimentación no alcanza el basalto, siempre y cuando las dimensiones de la zapatas aisladas o el ancho de las corridas no sean mayores a 1.65 m

Desventajas.

1. Capacidad de carga baja.
2. La presencia de asentamientos diferenciales en estructura que deberá ser capaz de absorberlos.
3. El comportamiento de la edificación será diferente al del centro comercial que está desplantado en el basalto y que obligará a resolver con juntas flexibles y eventualmente algún pequeño escalón o rampa, si es que existe comunicación entre la nueva estructura y el centro comercial.

b) **Con pilas de punta**, una bajo cada columna o distribuidas bajo muros, desplantadas directamente sobre el basalto entre 5.20 m y 10.00 m de profundidad. **Ver figuras 10 y 11.**

Ventajas.

1. Capacidad de carga alta que permite tener una pila por apoyo y de un diámetro no muy grande.
2. No se genera ningún asentamiento de tipo diferencial y además los movimientos totales no excederán un centímetro.
3. El comportamiento de la nueva estructura será idéntico al del centro comercial.

Desventajas.

1. Cimentación profunda que requiere de equipo especial para su construcción.
2. Se requerirá de la verificación de la continuidad de basalto bajo pilas, en una primera etapa en un 5 ó 10 % de los elementos, y si resulta un basalto sano se suspende esta verificación, en caso contrario se aumenta el número de sondeos.

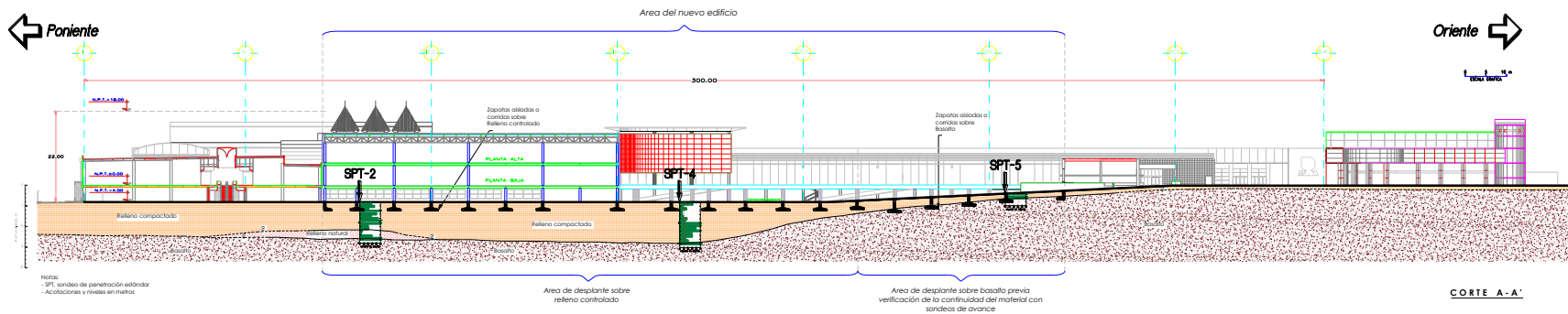


Figura 8 Interpretación estratigráfica corte A-A' y solución de cimentación con zapatas.

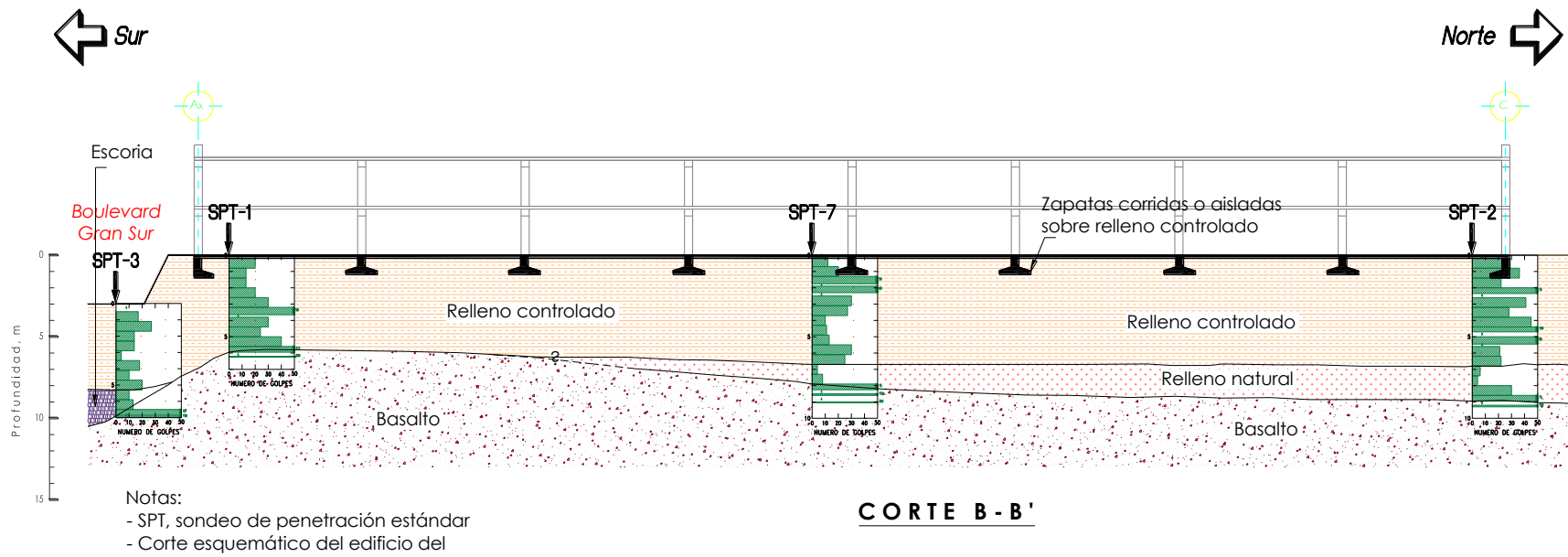


Figura 9 Interpretación estratigráfica corte B-B' y solución de cimentación con zapatas.

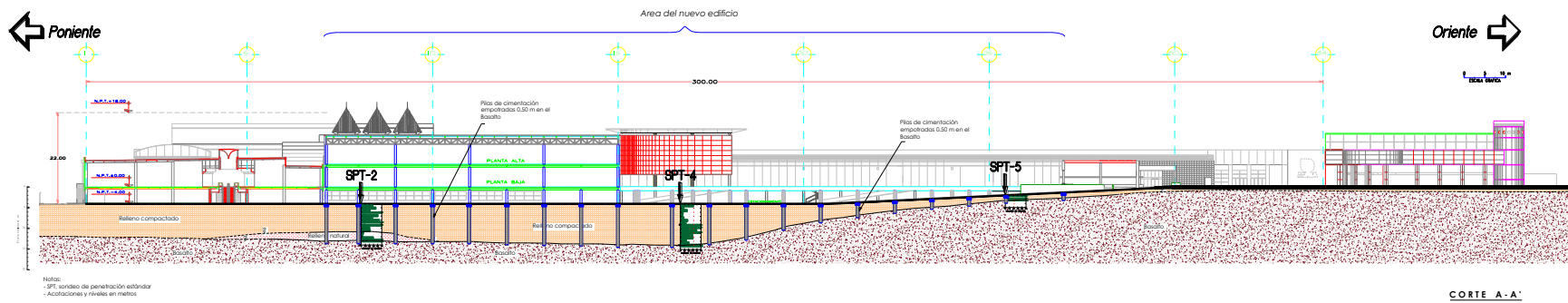


Figura 10 Interpretación estratigráfica corte A-A' y solución de cimentación con pilas.

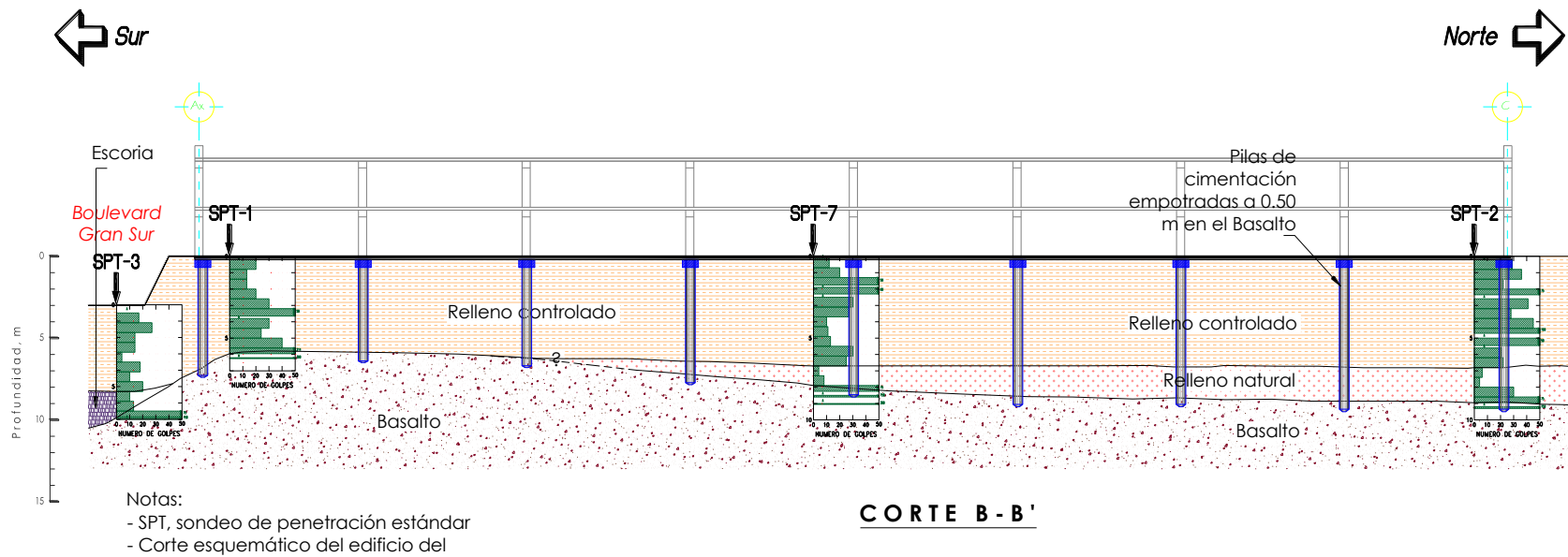


Figura 11 Interpretación estratigráfica corte B-B' y solución de cimentación con pilas.

Análisis de estabilidad.

El siguiente paso fue realizar el análisis de estabilidad del suelo; dicho análisis contempla la revisión del suelo en condiciones estáticas (capacidad de carga admisible y asentamientos) y sísmicas (capacidad de carga admisible, momentos de volteo e incrementos de los esfuerzos por sismo).

a) Capacidad de carga de zapatas sobre relleno controlado. Tomando en cuenta los parámetros de resistencia del relleno controlado, la capacidad de carga última se calculó mediante las siguientes ecuaciones con base en la teoría de Terzaghi:

$$q_u = cN_c + \sigma$$

donde

- c Parámetro de cohesión de apoyo en ton/m².
- σ Esfuerzo efectivo a nivel de desplante en ton/m².
- N_c Factor de capacidad de carga.

Sustituyendo los valores correspondientes, resultó una capacidad de carga última del suelo de sustentación de 45.00 ton/m². Aplicando un factor de seguridad de 3 para condiciones estáticas y de 2 para condiciones sísmicas, se obtuvo una capacidad de carga admisible de 15.00 ton/m² y 22.50 ton/m², respectivamente.

Si las dimensiones de las zapatas son mayores a 1.65 m, entonces sí será necesaria la revisión de la continuidad del basalto para que, en caso de encontrar oquedades, se proporcione el tratamiento adecuado mediante inyecciones de lechada de cemento para garantizar la continuidad.

Asimismo en la zona noreste del área, por existir poco relleno controlado, se requerirá la revisión de la continuidad de basalto para que en caso de encontrar oquedades se proporcione el tratamiento adecuado.

Para los casos anteriores, como se mencionó, el mejoramiento de una primera etapa debe ser en un 5 o 10 % de las zapatas en esta área y si resulta un basalto sano se suspende esta verificación, en caso contrario, se aumenta el número de sondeos.

Cuando se revisen los apoyos de esta zona deberá verificarse también el espesor de rellenos con la finalidad de desplantar estas zapatas sobre basalto y separar estructuralmente el edificio en esta zona con la de

espesores de relleno controlado mayores y evitar las distorsiones angulares provocadas por los asentamientos diferenciales importantes en distancias cortas.

b) Capacidad de carga de pilas de cimentación. La capacidad de carga admisible Q_a para las pilas de cimentación coladas "in situ" se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_a = \frac{Q_{pu}}{F_{Db}} + \frac{Q_{fu}}{F_{Df}}$$

donde:

Q_{pu} Capacidad de carga última por punta en toneladas.

Q_{fu} Fricción en el fuste de la pila.

F_{Db} Factor de dimensionamiento por punta, 3 (estático) y 2 (sísmico).

F_{Df} Factor de dimensionamiento por fricción, 2 (estático) y 1.5 (sísmico).

donde

Q_{pu} se calcula con la siguiente expresión propuesta por Vesic:

$$Q_{pu} = q_{cp} A_p$$

donde:

- A_p Es el área de la punta de la pila en m^2 .
- q_{cp} Es la resistencia de la punta del cono en ton/m^2 .
- De esta forma la capacidad de carga admisible por punta de pila apoyada en el basalto resultó de 200 ton/m^2 y 300 ton/m^2 en condiciones estática y sísmica respectivamente.

Es importante la revisión de la continuidad del basalto para que en caso contrario se proporcione el tratamiento adecuado mediante inyecciones de lechada que la garantice.

La capacidad de carga por fricción en el tepetate se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{fu} = C_t p l$$

donde:

- Q_{fu} Capacidad de carga por fricción en ton.
- c_t Cohesión total a lo largo de la pila en ton/m².
- p Perímetro de la pila en m.
- l Longitud de la pila en m.

Sustituyendo valores para pilas de 80 cm de diámetro, resulta una carga admisible por fricción de 70 ton para condiciones estática y sísmica.

Por lo tanto, la carga total por punta y fricción admisible para pilas de 80 cm de diámetro es de 170 ton y 200 ton en condiciones estática y sísmica respectivamente.

Análisis de asentamientos.

Los asentamientos que generará la cimentación en la masa de suelo serán del tipo elástico y se calcularon utilizando la solución elástica para una placa rígida apoyada en un medio elástico semi-infinito mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{\alpha (1 - \nu^2) q B}{E}$$

donde:

- δ Asentamiento bajo la cimentación en cm.
- ν Relación de Poisson, 0.25
- E Módulo de elasticidad en kg/cm².
- B Semiancho del cimiento en cm.
- q Carga media estática en la cimentación en kg/cm².
- α Factor de forma.

Sustituyendo los valores correspondientes para las zapatas se tendrán hundimientos del orden de 1.0 cm en el basalto a 7.0 cm en total en los rellenos controlados y por lo tanto con diferenciales de 6.0 cm.

Para el caso de las pilas los asentamientos totales serán de 1.0 cm como máximo y no se generará ningún movimiento diferencial.

Empujes en muros.

Se requirió de muros de contención para construir la estructura, por lo que las presiones horizontales con las que se diseñaron dichos muros se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$Ph=0.48h+0.45 \text{ ton/m}^2$$

donde:

Ph es la presión horizontal en ton/m².

h es la altura del muro en m.

Después del cálculo de las presiones horizontales, se procedió a revisar que los momentos de volteo no fueran excedidos de acuerdo a lo estipulado por el Reglamento de Construcción para el D.F.

Revisión según el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.

Estados límite de falla. La revisión de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal para cimentaciones, exige que la suma de cargas de la estructura multiplicada por un factor de carga, resulte menor que la capacidad de carga última del terreno de sustentación afectada de un factor de resistencia, pudiéndose concluir que se cumple con este requerimiento.

Estado límite de servicio. El buen funcionamiento de la cimentación, y por ende de la estructura en conjunto, está limitado por las deformaciones verticales que se presentarán en el suelo durante la construcción y la vida útil de la edificación, por ello el Reglamento de Construcciones para el D.F. exige que los asentamientos tienen que ser menores que el máximo admisible de 15 cm. Esta condición para el caso que nos ocupa se cumple ampliamente.

Procedimiento constructivo y protección a colindancias.

La construcción de la cimentación para la alternativa de zapatas o pilas será de acuerdo con las siguientes recomendaciones.

Construcción de zapatas.

- a) Localización y trazo del sitio en donde quedará ubicada la zapata.
- b) Demolición del pavimento existente en la superficie correspondiente a la zapata y excavación para su construcción, ésta se podrá realizar dejando paredes verticales utilizando equipo mecánico, excepto los últimos 10 cm, los cuales deberán realizarse con herramienta manual. Es importante contar con personal en obra que verifique los niveles de excavación de proyecto y asegurarse que los últimos 10 cm sean realizados a mano. El operador del equipo mecánico no cuenta con la sensibilidad para dejar los niveles requeridos en obra.
- c) Una vez concluida la excavación se procederá de manera inmediata con la colocación de una plantilla de concreto pobre de 7 cm de espesor para proteger el suelo de desplante y tener una superficie de trabajo adecuada.
- d) En seguida se procederá con el habilitado y armado de acero de refuerzo de la zapata y posteriormente se procederá con el cimbrado y colado de ésta.

Construcción de pilas.

- a) Localización y trazo de los puntos de perforación para la construcción de las pilas.
- b) Posteriormente se procederá con la perforación, la cual se realizará en seco mediante equipo rotatorio, el desplome permisible será del 2 % de su longitud sin exceder el 12 % de su diámetro o 38 cm en el fondo, la que resulte menor.
- c) Una vez concluida la perforación se procederá con el habilitado, armado y colocación del acero de refuerzo.
- d) En seguida se procederá con el vaciado de concreto, el cual se deberá realizar con tubería Tremie, el nivel tope de colado será 30 cm por arriba del de proyecto, los cuales se demolerán posteriormente (descabece), esto con la finalidad de garantizar un concreto sano en la continuidad de la construcción de la superestructura.

Conclusiones del estudio de mecánica de suelos y recomendaciones para la elaboración de la cimentación.

- a) El sitio en estudio se localiza dentro del centro Comercial GranSur en Periférico sur 5550 en la colonia Pedregal de Carrasco, al sur de la Ciudad de México.
- b) En el sitio la estratigrafía está constituida por: relleno controlado a base de arenas limosas y arcillas con algunas gravas (tepetate) con un espesor que varía entre 1.30 m y 9.00 m, le sigue un basalto fracturado de color gris. Hasta la profundidad explorada no se detectó el nivel freático. De acuerdo con la ubicación del sitio, el tipo de estructura, su periodo y a la estratigrafía encontrada le corresponde un coeficiente sísmico de 0.16
- c) Con base en las condiciones del terreno y el proyecto arquitectónico se plantean dos alternativas de cimentación del edificio: Con zapatas aisladas en columnas, o corridas en muros desplantadas a 1.00 m de profundidad. En la parte noroeste las zapatas se apoyarán sobre el basalto (rellenos de 1.30 m de espesor); el ancho máximo de las zapatas no deberá exceder de 1.65 m para evitar la influencia de éste en el basalto, de ser así deberá verificarse la calidad de éste para corroborar si es necesario el mejoramiento mediante la inyección de lechada de concreto.
- d) La otra alternativa de cimentación es mediante pilas de 0.80 m de diámetro coladas en el sitio, apoyadas sobre el basalto en cada uno de los apoyos de edificio, para este caso es necesario verificar la calidad de éste con la finalidad de ver si es necesario o no algún tipo de mejoramiento.
- e) La capacidad de carga admisible calculada para las zapatas desplantadas en los rellenos resultó de 15 ton/m² y 22.5 ton/m² en condiciones estática y sísmica respectivamente. Para las pilas la capacidad de carga admisible sobre el basalto resultó ser de 170 ton y 220 ton en condiciones estática y sísmica respectivamente.
- f) Los asentamientos calculados de acuerdo a la estratigrafía encontrada y a la carga neta por las zapata será de orden de 7.00 cm en los rellenos y de 1.00 cm en el basalto, para el caso de las pilas estos serán de 1.00 cm, en ambos casos estos se presentarán principalmente durante la construcción del inmueble.
- g) Los resultados aquí presentados son aplicables exclusivamente al predio en estudio, en el que se consideraron las condiciones locales de los materiales en el sitio y de las condiciones particulares del proyecto. Los cambios que se generen en el proyecto podrán modificar las recomendaciones de este informe.

CÁPITULO II PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA.

Con base en el informe de mecánica de suelos proporcionado por IIGSA, la empresa Taller III Arquitectura (proyectistas de la obra) decidió que la cimentación y la estructura del edificio de ampliación sería igual a la empleada en la primera etapa, es decir, una cimentación a base de zapatas corridas postensadas, todas en una dirección. Esta decisión permitió dar continuidad al nuevo edificio con respecto al anterior y ahorrar significativamente en los tiempos de construcción.

De manera general se dará a continuación una breve descripción de los métodos utilizados y algunos de los conceptos involucrados en ellos.

Se denomina subestructura o cimentación al conjunto de estructuras (zapatas aisladas, zapatas corridas, losas de cimentación, pilas o la combinación de ellas) que tienen por objeto recibir las cargas vivas, muertas y accidentales que bajan a través de la estructura y transmitir las al suelo soportante. Es decir, proporciona estabilidad a cualquier edificio mediante la distribución de las cargas al suelo, de tal manera que no superen la capacidad de carga de éste.

En otras palabras, el cometido de una cimentación es proporcionar al edificio una base rígida capaz de transmitir adecuadamente las acciones que se producen por la interacción entre el movimiento del suelo y el de la estructura, sin que se generen fallas o deformaciones excesivas en el suelo de apoyo.

Una cimentación requiere quedar desplantada en un terreno firme y protegida contra la acción de agentes externos, lo que implica excavar hasta encontrar un estrato con capacidad de carga igual o mayor a la presión que se desee le transmita la estructura del edificio, o sustituir y mejorar el terreno hasta una profundidad que ayude a la cimentación a estar protegida de erosiones y deslizamientos.

Lo anterior exige realizar la excavación consecuente con eficiencia y economía, seleccionando la alternativa más adecuada para extraer el material según sus características físicas de dureza, cohesión, abrasión y contenido de humedad, así como de accesibilidad y la profundidad del nivel de aguas freáticas. Para que las cargas se transmitan adecuadamente y con ello evitar hundimientos diferenciales es indispensable eliminar cualquier relleno o capa vegetal que impida desplantar directamente en el estrato resistente.

Clasificación de las cimentaciones.

Aunque existen diversas formas de clasificar a las cimentaciones, la manera más común de hacerlo es en función de la profundidad de los estratos a los que se transmite la mayor parte de las cargas que provienen de la superestructura. Atendiendo a este criterio tenemos:

Cimentaciones someras.

Son aquellas que se apoyan en estratos poco profundos que tienen suficiente capacidad para resistir las cargas de la estructura. En este grupo se encuentran las zapatas, que son ensanchamientos de la sección de las columnas o muros con los que se distribuye la carga de estos a un área mayor de suelo.

Las zapatas pueden ser:

- a) Aisladas, es decir, bajo la acción de una columna.
- b) Corridas, bajo un muro o una trabe.
- c) Combinadas, bajo acción de dos o más elementos.

Las losas de cimentación son consideradas otro tipo de cimentación somera. Las losas de cimentación se realizan sobre toda el área de la construcción.

Cimentaciones profundas.

Las condiciones del suelo superficial no siempre son apropiadas para permitir el uso de una cimentación superficial o poco profunda. En tal caso será preciso buscar terrenos de apoyo más resistentes a mayores profundidades.

Las cimentaciones profundas basan su funcionamiento en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o mejor dicho, exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno.

Las cimentaciones profundas se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a) Pilas.
- b) Pilotes.

Generalidades sobre pilas y pilotes.

En general, se usan pilas y pilotes como elementos de cimentación cuando se requiere:

- a) Transmitir las cargas de una estructura a través de un espesor de suelo blando o a través de agua, hasta un estrato de suelo resistente, que garantice el apoyo adecuado.
- b) Transmitir la carga a un cierto espesor de suelo blando, utilizando para ello la fricción lateral que se produce entre el suelo y el pilote.
- c) Alcanzar con la cimentación profundidades ya no sujetas a erosión, socavaciones u otros efectos nocivos.

Desde el punto de vista de su forma de trabajo las pilas y los pilotes se clasifican en:

- a) De punta: La capacidad de carga se obtiene con apoyo directo en un estrato resistente.
- b) Por fricción: La capacidad de carga se obtiene por fricción lateral.
- c) Mixtos.

Atendiendo al tipo de materiales se clasifican en:

- a) De madera.
- b) Concreto.
- c) Acero.

Con base en su procedimiento de construcción y colocación.

- a) Prefabricados e hincados a golpe o presión.
- b) Colocados en el lugar (con excavación previa).

El proceso de ejecución de una pila está compuesto básicamente de tres fases:

- a) Realización de la perforación.
- b) Colocación del armado de refuerzo.

- c) Colocación de concreto.

Preesfuerzo.

En la sección **Aspectos constructivos** se mencionó que la construcción de la cimentación y el edificio en general se realizaron utilizando concreto postensado. A continuación se dará una breve explicación sobre este tema.

El presforzado puede definirse en términos generales como el precargado de una estructura antes de la aplicación de las cargas de diseño requeridas, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general. Aunque los principios y las técnicas del presforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural.

En esencia el concreto es un material que trabaja a compresión. Su resistencia a la tensión es mucho más baja que a la compresión, y en muchos casos, al diseñar, se deja fuera de consideración aquella. Por tanto, el presforzado del concreto implica naturalmente la aplicación de una carga de compresión, previa a la aplicación de las cargas anticipadas de diseño, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían.

Aunque la primera proposición para aplicar el presforzado al concreto se hizo desde 1886 en los Estados Unidos, no fue sino hasta los años treinta del siglo XX que como resultado de los estudios del renombrado ingeniero francés Eugene Freyssinet, el concreto presforzado llegó a ser una realidad práctica. Los trabajos de Freyssinet habían iniciado al menos veinte años antes con el estudio de la contracción y el escurrimiento plástico del concreto en función del tiempo, esto lo llevo a comprender la importancia de usar acero sometido a un alto esfuerzo inicial para presforzar miembros de concreto.

Principalmente por razones económicas, la evolución del concreto presforzado ha tenido lugar en los Estados Unidos siguiendo líneas muy diferentes en comparación con el desarrollo que tuvo en Europa. Hasta tiempos recientes el interés principal había estado en unidades coladas pretensadas de claro corto a mediano, que podían llevarse a producción en masa con grandes ahorros económicos en los costos de mano de obra.

Sin embargo, las condiciones económicas cambiantes están dando origen a cambios importantes en la práctica. Los costos de los materiales están incrementandose constantemente, y existe una seria preocupación por la conservación de los recursos. En tales circunstancias, es natural que los ingenieros consideren la aceptabilidad de diseños más elaborados, que exploten en forma más completa la capacidad del presforzado.

Ventajas de usar elementos de concreto presforzados.

- a) Mejora el comportamiento de las estructuras bajo cargas de servicio.
- b) Permite el uso de materiales eficientes de alta resistencia.
- c) Pueden usarse miembros de menores dimensiones y más ligeros.
- d) Se reduce la relación de la carga muerta a la carga viva.
- e) Se aumentan los claros y se amplía considerablemente la gama de aplicaciones posibles del concreto estructural.

Métodos de presforzado.

Aunque se han empleado muchos métodos para producir el estado deseado de pre-compresión en los miembros de concreto, todos los miembros de concreto presforzado pueden considerarse dentro de una de dos categorías:

Pretensado: Los miembros de concreto pretensado presforzado se producen estirando o tensando los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el concreto fresco. Al endurecerse el concreto se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto.

Postensado: En el caso de los miembros de concreto postensados y presforzados, se esfuerzan los tendones después de que ha endurecido el concreto y de que se ha alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de gatos hidráulicos contra el miembro de concreto mismo.

Materiales.

Los materiales y sus miembros componentes son de concreto presforzado con tendones de acero. También considerará el empleo de elementos con refuerzo convencional, no presforzados, para diversos propósitos. Aunque las características generales de los materiales son bien conocidas, algunas propiedades especiales son de gran importancia en el diseño del concreto presforzado..

El uso de acero de muy alta resistencia para el presfuerzo es necesario por razones físicas básicas. Las propiedades mecánicas de este acero tal como lo revelan las curvas de esfuerzo-deformación, son algo diferentes de aquellas del acero convencional usado para el refuerzo del concreto. Adicionalmente a su alta resistencia, el proyectista debe tomar en cuenta las diferencias de ductilidad, carencia de un punto de fluencia bien definido, y otras características de importancia técnica.

Las varillas de refuerzo comunes usadas para estructuras no presforzadas, también desempeñan un papel importante dentro de la construcción presforzada. Se usan como refuerzo en el alma, refuerzo longitudinal suplementario, y para otros fines.

El concreto empleado en miembros presforzados es normalmente de resistencia más alta que el de las estructuras no presforzadas. Las diferencias en el módulo de elasticidad, capacidad de deformación y resistencia deberán tomarse en cuenta en el diseño, y la característica de dependencia del tiempo asume una crucial importancia.

El aumento del empleo de concretos ligeros en años recientes ha permitido la reducción de cargas muertas, lo cual es un hecho de especial importancia para estructuras de concreto, y ha facilitado el manejo de grandes componentes estructurales precolados. Los avances en la tecnología del concreto han resultado en el desarrollo de concretos de agregados ligeros con resistencia comparable a las de materiales con densidad normal. Sus características de deformación, inclusive los efectos que dependen del tiempo, deberán de comprenderse plenamente antes de ser usados con confianza.

Importancia del acero de alta resistencia.

La razón para el fracaso de la mayoría de los primeros intentos en concreto presforzado fue la falla de emplear aceros con inadecuado nivel de esfuerzo-deformación. Los cambios de longitud, función del tiempo, ocasionados por la contracción y escurrimiento plástico del concreto, fueron de tal magnitud que eliminaron el presfuerzo en el acero. La importancia de una deformación inicial elevada, y como consecuencia, esfuerzos iniciales elevados en el acero se puede mostrar en un simple ejemplo.

En la siguiente figura se muestra un miembro corto de concreto al cual se le esforzará axialmente usando un tendón de acero. En el estado sin presfuerzo el concreto tiene una longitud l_c y el acero sin presfuerzo tiene una longitud l_s . Después de tensar el acero y de que se transfiera la fuerza al concreto a través de los anclajes extremos, la longitud del concreto se acorta hasta l'_c y la longitud del acero estirado es $l's$. Estos valores, por supuesto, deben ser idénticos. **Ver figuras 12 y 13.**

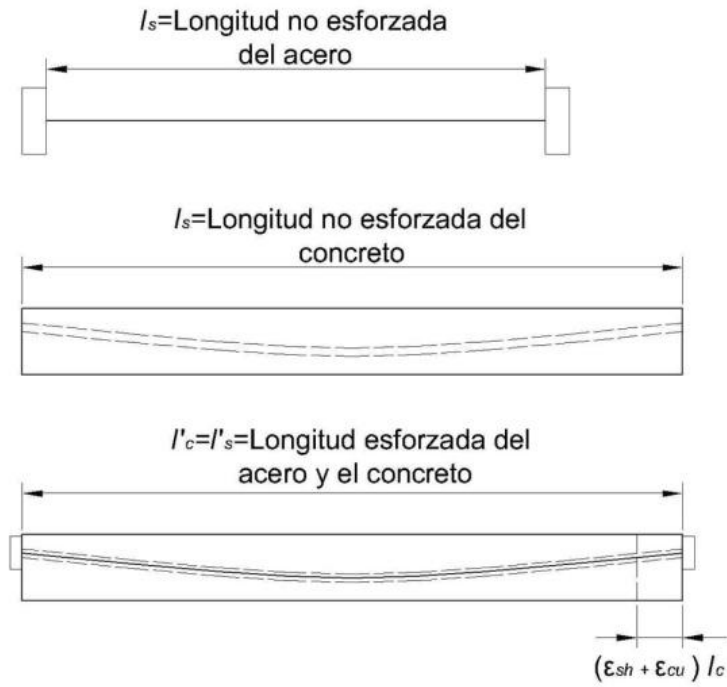


Figura 12 Miembro de concreto axialmente presforzado.

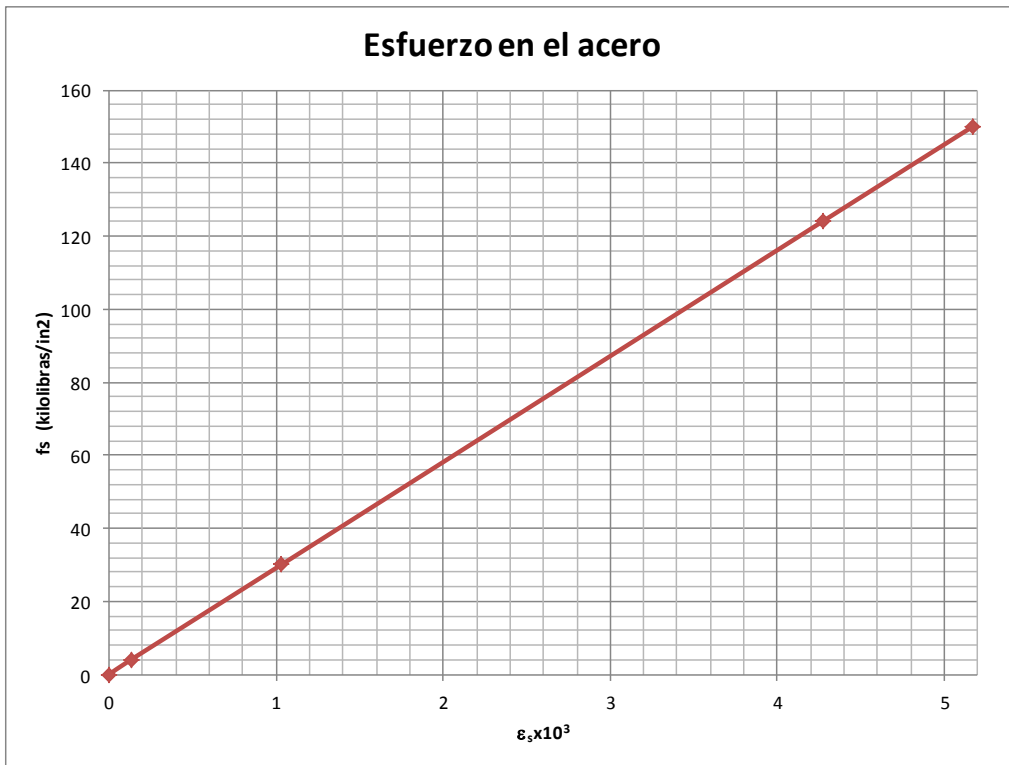


Figura 13 Esfuerzo-deformación en el acero.

Pero el concreto sufre una deformación por contracción ε_{sh} con el paso del tiempo y, adicionalmente, si se le mantiene bajo compresión sufrirá una deformación por escurrimiento plástico ε_{cu} . El cambio total en longitud del miembro vale

$$\Delta l_c = (\varepsilon_{sh} + \varepsilon_{cu}) l_c$$

y puede ser tal que exceda el estiramiento en el acero que produjo el esfuerzo inicial, y esto resultaría en la pérdida total de la fuerza pretensora.

La importancia de la contracción y la deformación por escurrimiento se puede minimizar utilizando deformaciones iniciales muy altas y esfuerzos iniciales altos en el acero. Esto es así debido a que la reducción en el esfuerzo del acero depende solamente de las deformaciones unitarias en el concreto relacionadas con la contracción y la deformación por escurrimiento y del módulo de elasticidad del acero E_s :

$$\Delta f_s = (\varepsilon_{sh} + \varepsilon_{cu}) E_s \quad (a)$$

y es independiente del esfuerzo inicial en el acero.

Es informativo estudiar los resultados de los cálculos para valores representativos de los diversos parámetros. Supóngase primero que el miembro se esfuerza empleando acero ordinario de refuerzo hasta un esfuerzo inicial f_{si} de 30 kilolibras/pulg². La deformación inicial en el acero es:

$$\varepsilon_{si} = \frac{f_{si}}{E_s} = \frac{30}{29000} = 1.03 \times 10^{-3} \quad (b)$$

y el alargamiento total del acero es.

$$\varepsilon_s l_s = 1.03 * 10^{-3} l_s \quad (c)$$

Pero una estimación conservadora de la suma de las deformaciones debidas a la contracción y al escurrimiento plástico del concreto es alrededor de 0.90×10^{-3} y su correspondiente cambio en longitud es

$$\varepsilon_{sh} + \varepsilon_{cu} l_s = 0.90 \times 10^{-3} l_c \quad (d)$$

Como l_s y l_c son casi iguales, resulta claro al comparar (c) y (d) que los efectos combinados de la contracción y el escurrimiento plástico del concreto equivalen casi a la total pérdida de esfuerzo en el acero. El esfuerzo efectivo remanente en el acero, después de que ocurren los efectos dependientes del tiempo sería:

$$f_{se} = 1.03 - 0.90 * 10^{-3} * 29 * 10^3 = 4 \text{ klb/in}^2$$

Alternativamente, supóngase que el presfuerzo se aplica usando acero de alta resistencia con un esfuerzo inicial de 150 kilolibras/pulg². En este caso la deformación sería:

$$\varepsilon_{si} = \frac{f_{si}}{E_s} = \frac{150}{29000} = 5.17 \times 10^{-3} \quad (e)$$

y el alargamiento total

$$\varepsilon_s l_s = 5.17 * 10^{-3} l_s \quad (f)$$

El cambio en la longitud debida a los efectos de la concentración y escurrimiento plástico, serían igual que anteriormente

$$\varepsilon_{sh} + \varepsilon_{cu} l_c = 0.90 \times 10^{-3} l_c$$

y el esfuerzo efectivo en el acero es f_{se} después de ocurridas las pérdidas por contracción y escurrimiento plástico serían

$$f_{se} = 150 - 0.90 * 10^{-3} * 29 * 10^3 = 124 \text{ klb/in}^2$$

En este caso la pérdida es alrededor de 17 por ciento del esfuerzo inicial en el acero, comparada con la pérdida de 87 por ciento que ocurriría al emplear acero suave.

Los resultados de estos cálculos muestran claramente la necesidad de usar acero capaz de soportar esfuerzos iniciales muy altos cuando se emplee el presforzado.

Tipos de acero presforzado.

Existen tres formas comunes en las cuales se emplea el acero como tendones en concreto presforzado:

- a) Alambres redondos estirados en frío.
- b) Cable trenzado.
- c) Varillas de un acero de aleación.

Los alambres y los cables trenzados tienen una resistencia a la tensión de más o menos 250,000 lb/pulg² (1720 N/mm²), en tanto que la resistencia de las varillas de aleación está entre 145, 000 y 160, 000 lb/pulg² (1000 y 1100 N/mm²) dependiendo del grado.

Los alambres redondos que se usan en la construcción de concreto presforzado postensado y ocasionalmente en obras pretensadas se fabrican en forma tal que se cumplan los requisitos de la especificación **ASTM-A421**, "Alambres sin revestimiento, relevados de esfuerzo, para concreto presforzado". Los alambres individuales se fabrican laminando en caliente lingotes de acero hasta obtener varillas redondas. Después del enfriamiento, las varillas se pasan a través troqueles para reducir su diámetro hasta el tamaño requerido. En el proceso de esta operación de estirado, se ejecuta trabajo en frío sobre el acero, lo cual modifica grandemente sus propiedades mecánicas e incrementa su resistencia. A los alambres se les libera de esfuerzo después de estirado en frío mediante un tratamiento continuo de calentamiento hasta obtener las propiedades mecánicas prescritas.

Los alambres se consiguen en cuanto a diámetros tal como se muestra en la Tabla 3 y en dos tipos. El alambre tipo BA se usa en aplicaciones para las que las deformaciones de los extremos del alambre en frío se usan como medio de anclaje (anclaje de botón), y el tipo WA se usa para aplicaciones en las cuales los extremos se anclan por medio de cuñas y no se encuentra involucrada ninguna deformación de extremo del alambre en frío (anclaje de cuña).

También se pueden conseguir alambres de bajo relajamiento, a veces conocidos como estabilizados, mediante pedido especial. Se emplean cuando se requiere reducir al máximo la pérdida de presfuerzo.

Los tendones están compuestos normalmente por grupos de alambres, dependiendo el número de alambres de cada grupo del sistema particular usado y de la magnitud de la fuerza pretensora requerida. Los tendones para prefabricados postensados típicos pueden consistir de 8 a 52 alambres individuales. Se pueden emplear tendones múltiples, cada uno de ellos compuesto de grupos de alambres para cumplir los requisitos. **Ver tabla 3.**

Diámetro nominal		Mínima resistencia de tensión				Mínimo esfuerzo para una elongación de 1%			
(in)	(mm)	TIPO BA (lb/in ²)	TIPO BA (N/mm ²)	TIPO WA (lb/in ²)	TIPO WA (N/mm ²)	TIPO BA (lb/in ²)	TIPO BA (N/mm ²)	TIPO WA (lb/in ²)	TIPO WA (N/mm ²)
0.192	4.8768	*	*	250,000.00	1,725.00	*	*	200,000.00	1,380.00
0.196	4.9784	240,000.00	1,655.00	250,000.00	1,725.00	192,000.00	1,325.00	200,000.00	1,380.00
0.250	6.3500	240,000.00	1,655.00	240,000.00	1,655.00	192,000.00	1,325.00	200,000.00	1,380.00
0.276	7.0104	*	*	235,000.00	1,622.00	*	*	200,000.00	1,380.00

Nota: * Estos tamaños no se suministran comúnmente para el alambre tipo BA

Tabla 3 Propiedades de los alambres sin revestimiento relevados de esfuerzo (ASTM A-421).

Cable trenzado

El cable trenzado se usa casi siempre en miembros pretensados y a menudo se usa también en construcción postensada. El cable trenzado se fabrica de acuerdo con la especificación **ASTM-A416**, "Cable trenzado, sin revestimiento de siete alambres, relevado de esfuerzo, para concreto presforzado". Es fabricado con siete alambres finamente torcidos alrededor de un séptimo de diámetro ligeramente mayor. El paso de la espiral del torcido es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. **Ver tabla 4.**

Para los cables trenzados se usa el mismo tipo de alambre que el que se usa para alambres individuales de presfuerzo, relevados de esfuerzo y estirados en frío. Sin embargo las propiedades mecánicas se evidencian ligeramente diferentes debido a la tendencia de los alambres torcidos a enderezarse cuando se les sujeta a tensión, porque el eje de los alambres no coincide con la dirección de la tensión. Al cable se le releva de esfuerzos mediante tratamiento térmico después del trenzado. Los cables de bajo relajamiento o estabilizados se pueden conseguir mediante pedido especial.

Los cables pueden obtenerse entre un rango de tamaños que van desde 0.250 hasta 0.600 in. Se fabrican 2 grados: el grado 250 y el grado 270, los cuales tienen una resistencia última mínima de 250,000.00 y 270, 000.00 lb/in² (1720 y 1860 N/mm²) respectivamente, estando éstas basadas en el área nominal del cable.

Diámetro nominal		Resistencia a la ruptura		Área nominal del cable		Mínimo esfuerzo para elongación de 1%	
Grado 250							
Diámetro nominal (in)	Diámetro nominal (mm)	(lb)	(kN)	(in ²)	(mm ²)	(lb)	(kN)
0.250	6.3500	9,000.00	40.00	0.036	23.22	7,650.00	34.00
0.313	7.9502	14,500.00	64.50	0.058	37.42	12,300.00	54.70
0.375	9.5250	20,000.00	89.00	0.080	51.61	17,000.00	75.60
0.438	11.1252	27,000.00	120.10	0.108	69.68	23,000.00	102.30
0.500	12.7000	36,000.00	160.10	0.144	92.00	30,600.00	136.20
0.600	15.2400	54,000.00	240.20	0.216	139.35	45,900.00	204.20
Grado 270							
0.375	9.5250	23,000.00	102.30	0.850	54.84	19,550.00	87.00
0.438	11.1252	31,000.00	137.90	0.115	74.19	26,350.00	117.20
0.5	12.7000	41,300.00	183.70	0.153	98.71	35,100.00	156.10
0.6	15.2400	58,600.00	260.70	0.217	140.00	49,800.00	221.50

Tabla 4 Propiedades del cable de 7 alambres sin revestimiento (ASTM A-416).

Propiedades esfuerzo-deformación del acero.

La mayoría de las propiedades mecánicas de los aceros que son de interés para el diseño se pueden obtener directamente de sus curvas esfuerzo-deformación. Tales características importantes como el límite elástico proporcional, el punto de fluencia, la resistencia, la ductilidad y las propiedades de endurecimiento por deformación son evidentes casi de inmediato.

Las diferencias más notables, en términos generales, al comparar las varillas de refuerzo ordinarias con las de aceros típicos para el presfuerzo son el mucho más elevado límite elástico proporcional y la resistencia disponible en alambres redondos y varillas de aleación usadas como presfuerzos y substancialmente más baja ductilidad.

En el acero de refuerzo ordinario, tipificado aquí mediante los grados 40 y 60, existe una respuesta inicial elástica hasta un punto de fluencia marcadamente definido, más allá del cual, ocurre un incremento sustancial en la deformación, sin que venga aparejado un incremento en el esfuerzo. Si se incrementa la carga, esta mesa de fluencia es seguida por una región de endurecimiento por deformación, durante la cual se obtiene una relación pronunciadamente no lineal entre el esfuerzo y la deformación. Eventualmente ocurrirá la ruptura del material, a una deformación bastante grande de alrededor del 13 por ciento para varillas grado 60 y del 20 por ciento para varillas grado 40.

El contraste con los aceros de presfuerzo es notable. Estos no presentan un esfuerzo de fluencia bien definido. El límite proporcional para alambres redondos (y para cables hechos con tales alambres), es de alrededor de 250 klb/in² (1720 N/mm²), casi cuatro veces más que el de las varillas grado 40, pero la deformación en la falla es casi la tercera parte. Las varillas de aleación tienen características similares a aquellas de los alambres redondos o de los cables trenzados, pero sus límites proporcionales y resistencias son 30 a 40 por ciento menores. **Ver figura 14.**

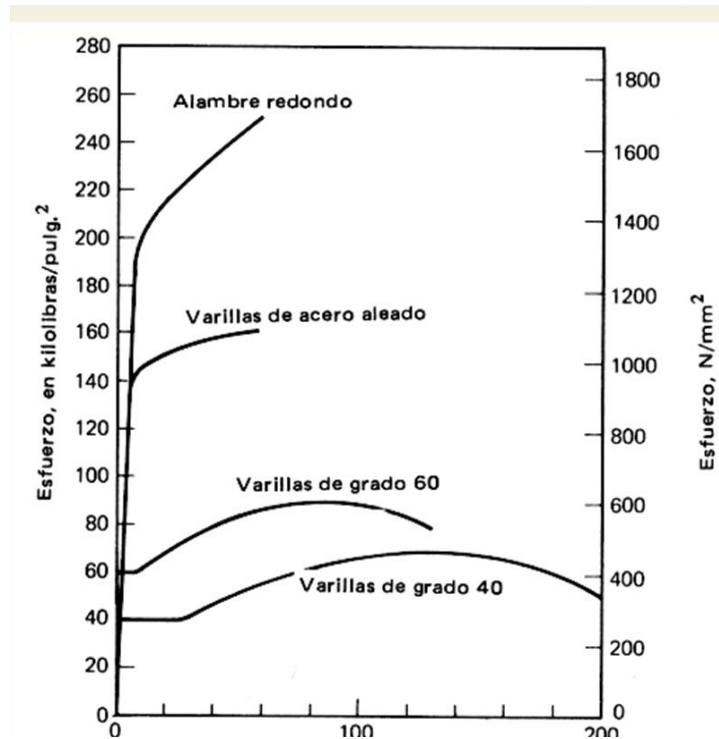


Figura 14 Curvas comparativas de esfuerzo-deformación para acero de refuerzo y acero de presfuerzo.

El módulo de elasticidad para tales aceros es más o menos el mismo: 29,000 klb/in² (200000 N/mm²). A pesar de que los aceros grado 40 y 60 generalmente presentan un punto de fluencia bien definido, esto no ocurre con los aceros de alta resistencia. Para tales casos se define un punto de fluencia equivalente, como el esfuerzo para el cual la deformación total tiene un valor determinado de 0.5 por ciento para varillas de los grados 40, 50 y 60 y 0.6 por ciento para varillas de grado 75. Todos los grados presentan un endurecimiento por deformación considerable después de haber alcanzado el esfuerzo de fluencia. La ductilidad, medida como la deformación total en el momento de falla, es significativamente menor para los grados mayores. Para alambres redondos lisos el módulo de elasticidad es más o menos el mismo que para el esfuerzo ordinario, esto es, alrededor de 29000 klb/in² (200000 N/mm²). Para cable trenzado, el modulo aparente es algo menor, alrededor de 27000 klb/in² (186,000 N/mm²) a pesar de que el cable se fabrica con el mismo alambre. Esto ocurre debido a que la espiral del torcido tiende a enderezarse ligeramente a medida que se aplica la tensión al cable. El módulo para cables embebidos en

concreto puede tener valores más próximos al de los alambres redondos. El módulo de elasticidad para varillas de aleación es también más o menos 27, 000.00 klb/in² (186000.00 N/mm²), la reducción en este caso se debe a la presencia de elementos de aleación.

Ante la ausencia de un esfuerzo de fluencia bien definido para los aceros de presfuerzo de todos los tipos, es necesario adoptar definiciones arbitrarias para la fluencia. Para alambres y cables el esfuerzo de fluencia se define como el esfuerzo al cual corresponde una deformación de 1 por ciento. Para varillas de aleación, el esfuerzo de fluencia se toma como aquel que produce una deformación de 0.7 por ciento.

Tipos de concreto.

Por muchas razones el concreto que se usa en la construcción presforzada se caracteriza por una mayor resistencia que aquel que se emplea en concreto reforzado ordinario. Se le somete a fuerzas más altas, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados más económicos. El uso de concreto de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros a un mínimo. Se logran ahorros significativos en carga muerta, y grandes claros resultan técnica y económicamente posibles.

Las objetables deflexiones y el agrietamiento, que de otra manera estarían asociados con el empleo de miembros esbeltos sujetos a elevados esfuerzos pueden controlarse con facilidad mediante el presfuerzo.

Existen otras ventajas. El concreto de alta resistencia tiene un módulo de elasticidad más alto que el concreto de baja resistencia, de tal manera que se reduce cualquier pérdida de la fuerza pretensora debida al acortamiento elástico del concreto. Las pérdidas por escurrimiento plástico que son aproximadamente proporcionales a las pérdidas elásticas, son también menores. Los elevados esfuerzos de aplastamiento que existen en las inmediaciones de los anclajes de los tendones de miembros postensados se pueden tomar más fácilmente, y se pueden reducir el tamaño y el costo de los dispositivos de anclaje. Finalmente, un concreto de alta resistencia a la compresión tiene también una mayor resistencia a la tensión, de tal manera que disminuye la formación de grietas debidas a la flexión y a la tensión diagonal.

Una vez revisados algunos de los conceptos involucrados en la construcción de la subestructura, pasaremos a describir el proceso constructivo de la misma.

Cuerpo “A” zapatas corridas en una dirección.

Actividades preliminares para la realización de la cimentación del cuerpo “A”.

Toda obra de ingeniería posee características que hace que los procesos constructivos empleados en ella sean únicos e irrepetibles. Aun cuando los procesos constructivos empleados en dos obras distintas sean similares, siempre existirán condiciones particulares que harán que cada una de ellas sea sui generis.

Para el caso particular que nos ocupa, los procesos utilizados en la primera etapa son similares a los empleados durante la obra de ampliación. Sin embargo, las condiciones en las que se llevó a cabo la obra generaron una dinámica completamente diferente en algunos procesos constructivos. A manera informativa diremos que la primera etapa se trató de una obra completamente nueva, en la que el control y la toma de decisiones dependieron única y exclusivamente de los constructores y supervisores. En cambio durante la ampliación el centro comercial no se detuvo la operación de venta al público en general y la toma de decisiones dependió, además de la supervisión y los constructores, de la administración del centro comercial, quienes nos indicaban o restringían horarios y acceso a algunas áreas con base en sus necesidades de operación.

La cimentación del cuerpo “A” está compuesta por zapatas corridas desplantadas a una profundidad de 1.00 m por debajo del nivel de piso terminado y el ancho de la sección varía entre 1.40 m y 2.05 m, dependiendo del eje en que se ubique; la altura de la zapata es de 0.75 m en todos los casos.

La primera actividad de la obra de ampliación del centro comercial para la construcción de la cimentación consistió en recopilar toda la información existente acerca de las instalaciones subterráneas que se encontraban en el área de estacionamiento descubierto. Entre los temas de mayor interés se encontraban:

- Instalaciones eléctricas subterráneas.
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Instalaciones especiales.

Fue de vital importancia contar con la mayor cantidad de información disponible antes de iniciar los trabajos de excavación con la finalidad de afectar lo menos posible las instalaciones y la operación.

Una vez recopilada la información, el siguiente trabajo consistió en aislar la zona de obra mediante un tapial perimetral de madera. El objetivo de dicho tapial fue separar la zona de estacionamiento y proteger a los posibles clientes de los riesgos generados dentro de la obra.

La siguiente actividad fue el desmontaje de todos y cada uno de los postes de alumbrado público diseminados por todo el estacionamiento descubierto. Previamente fue necesario que una cuadrilla de personal especializado en trabajos eléctricos cortara la energía que alimentaba dichos postes. Durante esta etapa se desmontó cualquier estructura metálica ya sea de almacenamiento de carros de supermercado o de señalización dentro del estacionamiento. Todo aquello que se transportó y almacenó en el lugar designado por la administración.

Posteriormente se demolieron las “islas” de concreto que delimitaban las zonas de estacionamiento y circulación dentro del estacionamiento descubierto. Con estos trabajos se dieron por concluidos los trabajos preliminares. **Ver figuras 15 y 16.**



Figura 15 Trabajos preliminares. Desmontaje de luminaria en estacionamiento.



Figura 16 Trabajos preliminares. En imagen demolición de isla de concreto y desmontaje de luminaria en estacionamiento.

Trazo y nivelación.

El trazo y la nivelación son, propiamente dicho, el inicio de cualquier obra de ingeniería civil. La importancia de dichos trabajos reside en que mediante el trazo y nivelación adecuada se puede verificar y/o corregir la posición de cualquier elemento de la estructura antes de construirla.

Para la elaboración de dichos trabajos se utilizaron equipos topográficos tradicionales, tales como tránsito y nivel de tripié; también se recurrió al uso de la estación total.

Los trabajos iniciaron reproduciendo, sobre el terreno, el trazo dado en el plano de cimentaciones, para lo cual hubo que ubicar los puntos de intersección entre los ejes y la poligonal de apoyo. En el caso de los ejes se utilizó la misma trama empleada en la primera etapa de construcción. Es decir, la distancia entre ejes fue de 8 m en un sentido y 9 m en el sentido perpendicular. Se tomó la decisión de usar la misma distribución de ejes para dar continuidad con respecto al edificio anterior.

Todas las marcas y niveles creados se hicieron fuera de la poligonal de la obra o en las columnas existentes y la fachada del edificio anterior, de tal manera que al momento de realizar los trabajos de excavación cualquier

marca que se perdiera, se repusiera con facilidad mediante el equipo de topografía, además de ayudar a verificar y controlar la exactitud de los trazos sin necesidad de reponerlos cada vez.

Una vez trazada la cimentación sobre el terreno, se empleó una cortadora de piso de 13 hp a gasolina con disco de rin segmentado para cortar el asfalto del estacionamiento. Se cortó la sección correspondiente al ancho de la zapata más un ancho adicional que permitiera la colocación de la cimbra de manera cómoda. Una vez cortada la carpeta asfáltica, ésta se retiró con equipo mecánico y se desalojó de la obra en camión de volteo de 7 m³.

Excavación del terreno.

Una cimentación requiere por lo general desalojar un material existente hasta llegar al estrato recomendado por el estudio de mecánica de suelos para su desplante, o en su defecto sustituirlo y mejorarlo, siempre y cuando las condiciones económicas lo permitan. Para nuestro caso se tomó en cuenta que durante la construcción del estacionamiento se mejoró la calidad del suelo sustituyéndolo para ser apto con base en las necesidades del centro comercial. Aunque no existe registro de la profundidad de las capas que se mejoraron, sabemos que se cumplieron las siguientes especificaciones.

- a) Rellenos: Se realizaron con tepetate en capas de 25 a 30 cm, compactadas al 90% de la prueba Proctor modificada.
- b) Sub-base: 15 cm de espesor, también de tepetate compactada al 95% de la Proctor modificada.
- c) Base: 15 de espesor compactada al 100% de la prueba Proctor modificada.

Por lo tanto las condiciones del suelo para la excavación lo hicieron óptimo, es decir, no fue necesario sustituir materiales. Únicamente se debieron cuidar los niveles de desplante de la cimentación.

Con base en los tiempo para la ejecución de la obra y los volúmenes a excavar se optó por utilizar equipo mecánico, específicamente una excavadora marca Caterpillar modelo 416-b con cargador frontal, y excavadora hidráulica marca Caterpillar modelo 320 C

El proceso de excavación fue el siguiente:

- a) El cucharón de la retroexcavadora penetró el terreno donde posteriormente se alojó la zapata de cimentación. El material producto de la excavación se cargó en camión de volteo de 7 m³.
- b) Aproximadamente 50% del material fue desalojado de la obra.
- c) El 50% del material restante fue llevado a una estación de almacenamiento cercana dentro de la obra para su posterior uso.

- d) Se asignó personal para medir la profundidad de la excavación dentro de la cepa con un escantillón para que indicara al operador del equipo mecánico hasta donde podía excavar. Tal como se indicó en el estudio de mecánica de suelos los últimos 10 cm se realizaron a mano.
- e) Se dejaron pozos de bombeo aproximadamente a cada 50 m a un costado y dentro de la cepa para desalojar posible agua de lluvia y evitar con ello la saturación del fondo de la excavación. Los pozos contaron con las siguientes dimensiones 50 cm x 50 cm x 50 cm.

Este proceso se repitió una y otra vez hasta alcanzar los niveles de desplante deseados y/o concluir con la excavación de las zapatas. **Ver figura 17.**



Figura 17 Trabajos de excavación de cepas de cimentación en estacionamiento.

Con respecto al material que se almacenó para el relleno de las cepas debieron observarse las siguientes condiciones:

- a) Evitar la exposición prolongada del material a la intemperie.
- b) Formar el acopio sobre una superficie que no contaminase el material.
- c) Evitar la mezcla de distintos tipos de materiales.
- d) Evitar la segregación en todo momento.
- e) En caso de lluvia, se cubrió con un material impermeable como el tepetate para evitar saturación.

Una vez concluida la excavación de cepas, se colocó sobre la superficie expuesta del terreno una plantilla de concreto de baja resistencia $f'c=100$ kg/cm², de 6 cm de espesor, cuyo nivel terminado corresponde al del desplante de la cimentación. La finalidad de la plantilla fue dar limpieza al fondo de la excavación, evitar que se dañara el suelo por el tránsito excesivo sobre él, e impedir la contaminación del concreto de la zapata de cimentación, además se aprovechó para marcar sobre ella los puntos de intersección de entre ejes.

Acero de refuerzo.

El concreto reforzado es el material de construcción ideado para que la combinación de acero y concreto trabajen como unidad estructural, con lo que se aprovechan de la mejor manera posible las propiedades de cada uno de los materiales.

El acero y el concreto trabajan exitosamente porque:

- a) Al endurecerse el concreto, aprisiona firmemente al acero de refuerzo.
- b) Cuando a esta unidad estructural se aplican cargas, los dos materiales actúan como si fueran uno solo.

Para que lo anteriormente descrito se cumpliera se debieron observar las siguientes recomendaciones.

Todas las remesas de acero de refuerzo debieron proceder de un fabricante previamente aprobado por la supervisión de obra y el laboratorio de control de calidad. Cada lote debió contar con sello o marca de garantía, o en su defecto, contar con un certificado expedido por el fabricante. Todo el acero de refuerzo para concreto armado contó con un límite elástico de 4200 kg/cm².

Todas las remesas de acero recibidas en obra se consideraron como lote y se estibarón separadamente de aquellas cuya calidad fue aprobada previamente.

Todo el acero de refuerzo fue inspeccionado al momento de ser recibido haciendo especial hincapié en la limpieza del material. Es decir, libre de oxidación, exceso de grasa, quiebres y escamas.

Del material así estibado se realizaron pruebas para verificar que el acero cumpliera con las normas establecidas. Se tomó una varilla por cada 10 toneladas para ser analizada por lote recibido.

- a) En todo momento el habilitado de acero debió ajustarse a lo establecido en el proyecto estructural.
- b) Únicamente se usó alambre recocido del n° 18 para fijar los estribos al acero principal. No se permitió el uso de soldadura para fijar estribos.

- c) No se permitió en ningún momento doblar el acero y después desdoblarlo para ser utilizado nuevamente.
- d) Quedó estrictamente prohibido calentar el acero para doblarlo.
- e) Se verificó que el acero quedara sujeto firmemente dentro de la cimbra para que no se moviese durante el proceso de vaciado y vibrado del concreto. **Ver figura 18.**



Figura 18 Colocación de acero de refuerzo en cepa de cimentación.

Procedimiento de colocación y aplicación del presfuerzo.

El uso de gatos hidráulicos es el método más utilizado para tensar los cables de presfuerzo, o mejor dicho, los cables de postensado.

El procedimiento general utilizado fue el siguiente.

- a) Se colocaron las tapas en los extremos de las trabes, losas y/o elementos a postensar después de haber colocado en posición todo el acero.
- b) Se colocaron los torones en la, o las posiciones indicadas, a lo largo del elemento con base en lo establecido por el plano correspondiente, fijando con alambre recocado los torones al acero para dejar fija su posición.

- c) Se prestó especial atención a la holgura en los extremos del cable para poder aplicar la tensión de proyecto en los extremos del cable con el gato hidráulico.
- d) Se coló el elemento, y una vez que éste alcanzó aproximadamente el 80% de su resistencia, se sujetó el torón en un extremo y se aplicó carga de tensión en el otro con el gato hidráulico, visualizando la tensión en el manómetro de la prensa hidráulica hasta alcanzar lo especificado en proyecto.
- e) Se retiró la prensa hidráulica y se colocaron nuevamente a los torones restantes, alternando cada lado del elemento para equilibrar los esfuerzos.
- f) Para comprobar el tensado en cada cable, se verificó que el alargamiento del torón correspondiera con el alargamiento esperado en el extremo del cable. **Ver figura 19.**



Figura 19. Colocación de cable de presfuerzo en cimentación.

Cimbra.

La cimbra en cimentación tiene como objeto dar la forma geométrica a la zapata con base en el proyecto estructural de cada elemento y conservar el concreto en su sitio hasta que haya alcanzado su fraguado final.

La selección de materiales, principalmente madera, se hizo fundamentalmente tomando en cuenta la seguridad, la economía y el tipo de acabado especificado en planos.

Toda cimbra deberá ser capaz de soportar con seguridad adecuada los empujes y la carga muerta que produzca el concreto, así como la carga adicional producida por las operaciones propias del colado. Para garantizar lo anterior se debe encargar esta tarea a personal con suficiente experiencia y conocimiento.

Características de una cimbra adecuada:

- a) Tener rigidez suficiente para evitar deformaciones.
- b) Tener unidas convenientemente duelas o cualquier otro elemento de la cara de contacto para que las juntas queden cerradas y garanticen la retención de la lechada.
- c) Estar saturadas antes del colado para evitar que absorba agua y se la reste al concreto.
- d) Durante el tiempo de fraguado del concreto la deformación de la cimbra debe ser mínima para no causar que se rebasen las tolerancias a deflexiones en elementos horizontales.

Con base en lo anterior se cimbraron los costados de las zapatas y dados hasta la altura a colar. Se utilizaron los costados de la excavación para troquelar la cimbra en el sentido longitudinal y se cuidó la alineación de la misma.

Concreto.

El concreto es un material de creación artificial pétreo integrado por componentes producto de la mezcla de componentes inertes tales como cemento (como agente aglutinante), agua, grava, arena (elementos que constituyen la pasta) y aire (en forma de burbujas). Además, si se desea, el concreto puede llevar diversos tipos de aditivos que modifiquen sus propiedades iniciales, no así su resistencia.

El concreto tiene la particularidad de ser, inicial y transitoriamente, una mezcla plástica, cuya forma final es la de un sólido resistente.

Características principales del concreto.

- a) Uniformidad. Considerando que el concreto es un material heterogéneo producido mediante la mezcla de diversos componentes en cantidades establecidas, es necesario que dicha mezcla sea uniforme, de buena cohesión y no segregarse.
- b) Trabajabilidad: Significa la facilidad que presenta un concreto para ser transportado, colocado y compactado. Hay que hacer especial hincapié en que la trabajabilidad es relativa y depende del elemento a colar.
- c) Segregación y sangrado: Se conoce como segregación a la separación de los elementos que forman una mezcla heterogénea de tal modo que su distribución deje de ser uniforme. En el concreto se presenta este

problema debido a la diferencia de tamaño de sus partículas y a la densidad de sus componentes. El sangrado es una forma de segregación en la cual una parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie del concreto recién colado.

d) Fraguado: Se refiere a su endurecimiento a través del tiempo.

Dados los volúmenes totales de obra, el concreto utilizado fue del tipo premezclado con un $f'c=250$ kg/cm², tamaño máximo de agregado (T.M.A.) de 1 pulgada, o menor, dependiendo del elemento a colar. En general no se permitió la fabricación de concreto en obra. **Ver figura 20**



Figura 20 Colocación de concreto en zapata de cimentación. Se observa también cable de presfuerzo en la posición definitiva dentro de la zapata.

Problema presentado en obra en esta etapa y su solución.

A medida que los trabajos para la cimentación avanzaron se hizo evidente que en poco tiempo sería obstruida la salida del centro comercial que da hacia Av. Periférico. Se hizo evidente además que se debía confinar el área de obra y separarla del estacionamiento usado de manera regular por los clientes del centro comercial, pues en algún momento se llegaron a juntar autos de clientes, revolvedoras de concreto y camiones cargados de tepetate con el riesgo de provocar alguna clase de accidente.

Para remediar esta situación se tomaron las siguientes medidas.

- a) Se recorrió completamente el tapial perimetral de la obra. Con esto se logró aislar el estacionamiento para clientes y el área de obra.
- b) Se generó una entrada y salida vehicular al estacionamiento, aproximadamente a la altura de la segunda glorieta de Boulevard GranSur.
- c) Una vez concluidos los trabajos de la nueva entrada se clausuró temporalmente la salida que da hacia Av. Periférico.

Los trabajos que se realizaron para la nueva entrada fueron los siguientes:

- a) Trazo del lugar donde fueron desplantadas las nuevas casetas.
- b) Demolición de banquetas y guarniciones.
- c) Reubicación de árboles y vegetación.
- d) Retiro de materia vegetal.
- e) Relleno con tepetate (capa de 80 cm aproximadamente).
- f) Compactación de terreno.
- g) Canalización para instalación eléctrica y especiales (para casetas de cobre y plumas)
- h) Losa de concreto armada con malla electrosoldada como refuerzo para resistir el tránsito de los vehículos.
- i) Trazo de guarniciones y banquetas.
- j) Cambio de casetas.

Los trabajos en general tuvieron una duración aproximada de dos semanas, y con ello se permitió desahogar significativamente el flujo vehicular del centro comercial y dar más seguridad a la obra. **Ver figura 21.**



Figura 21 Reubicación de casetas entrada y salida durante proceso de obra.

Cuerpo “B”, pilas y zapatas corridas en dos direcciones.

Los trabajos de excavación para la cimentación de cuerpo “A” se desarrollaron tal y como se tenía previsto en el programa de obra. El material producto de la excavación era de las características mencionadas en estudio de mecánica de suelos.

Problema presentado en obra en esta etapa y su solución.

Sin embargo, durante la excavación del denominado en proyecto “eje 15” (eje en el que se encuentra la junta constructiva entre los cuerpos “A” y “B”), se encontró un relleno de material heterogéneo (cascajo) de mala calidad sobre el que no debía construirse de acuerdo al reglamento de construcciones. **Ver figura 22.**

Se solicitó inmediatamente una visita de la empresa IIGSA (encargados de la realización del estudio de mecánica de suelos) para que emitiera una recomendación al respecto puesto que ellos fueron quienes realizaron el estudio de mecánica de suelos para el proyecto.

La primera recomendación, durante la visita a obra, fue excavar un par de metros adicionales al nivel de desplante de proyecto en la cepa ya excavada del eje 15 hasta encontrar material sano, sobre el cual se podría ya desplantar la cimentación.

La segunda recomendación fue realizar una serie de sondeos de exploración adicionales en el área de desplante de la cimentación, distribuidos de manera aleatoria en el estacionamiento descubierto.

Los resultados de los sondeos de exploración llevaron a hacer un replanteamiento de la cimentación de cuerpo “B”. Después de estudiar las posibles soluciones al problema se llegó a la conclusión de que la solución óptima consistió en una combinación de zapatas corridas en ambos sentidos (se debe recordar que la cimentación del cuerpo “A” se realizó a base de zapatas en un solo sentido) y pilas construidas en sitio.

Como resultado del cambio en la cimentación del cuerpo “B” se modificaron radicalmente los siguientes aspectos de la obra:

- a) Volúmenes de excavación.
- b) Volúmenes de acero.
- c) Volúmenes de concreto.
- d) Volúmenes de relleno.
- e) Tiempos generales de ejecución de los trabajos de obra.

- f) Incremento en los costos del presupuesto.



Figura 22. Relleno heterogéneo en cepa de cimentación eje 15 (junta constructiva entre ambos edificios.

Problema presentado en obra en esta etapa y su solución.

Una nueva contingencia se presentó durante los trabajos del cuerpo “B”, pues durante el trazo se observó que la posición de una columna, y por lo tanto de una pila, se ubicó sobre la losa tapa del pozo de absorción de aguas pluviales del centro comercial.

Una vez advertida la situación se reunió todo el personal encargado de la obra y se replanteó la estructura de concreto.

Específicamente, para solucionar la situación se tomaron las siguientes medidas:

- a) Suprimir la pila y la columna de concreto que se ubicó sobre la losa.
- b) Interrumpir las zapatas alrededor del pozo de absorción.
- c) Se construyó un marco de concreto con secciones de concreto más robustas que permitieran librar el claro de aproximadamente 16 m de longitud.

Sistema de ejecución de pilas.

Una vez resuelto el problema anterior, se continuó con el plan de perforación del terreno para colocar las pilas de la cimentación.

El sistema de perforación de pilas es una de las soluciones estándares de cimentación cuando en una obra aparecen problemas de capacidad de carga de los suelos, bien sea por baja capacidad de terreno o por la necesidad de soportar grandes cargas transmitidas por la estructura a cimentar.

Hoy en día el desarrollo de nuevas herramientas y equipos de construcción nos permite obtener mayores prestaciones en la ejecución de este tipo de estructuras, tales como mayores profundidades, mejores empotramientos, diámetros más anchos, etc., con menores tiempos de ejecución. Añadiendo a esto el significativo aumento en la calidad y seguridad en los trabajos.

Las pilas se diseñan normalmente para absorber combinaciones de esfuerzos verticales, horizontales, así como esfuerzos de flexión. Las pilas pueden emplearse en todo tipo de terrenos con los equipos de perforación adecuados.

La elección del método de perforación está determinada por el tipo de terreno a perforar y por la economía de la obra, teniendo en cuenta otra serie de factores como puede ser el entorno de la misma. Debido al tipo de suelo del lugar se eligió un sistema de perforación de rotación en seco. Este tipo de sistema se utiliza en terrenos estables, compactos y sin presencia de agua por medio de un equipo de perforación rotativo de hélices que no permite el desmoronamiento del terreno. El diámetro de las pilas fue de 80 cm. **Ver figura 23.**



Figura 23 Equipo utilizado en la perforación de pilas en cimentación de cuerpo “B” visto desde losa de concreto del cuerpo “A”.

Durante el proceso de ejecución ya no se presentaron más problemas dignos de mencionarse.

CÁPITULO III PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA.

Cuerpo “A”.

Dentro del proyecto de ampliación del centro comercial GranSur se definió como cuerpo “A” a la nueva galería comercial, es decir, a todos aquellos locales comerciales nuevos, a la tienda ancla, y en general cualquier espacio de venta al público, así como los pasillos que conectan al edificio de la primera etapa con la ampliación y los accesos a estacionamiento descubierto. Para la creación de dicha ampliación del edificio se escogió hacerla a base de estructura metálica para la parte estructural, acompañada de los trabajos inherentes de albañilería y pintura. Las razones para utilizar este procedimiento constructivo se expondrán en este mismo capítulo un poco más adelante. A continuación se comentan brevemente dichos trabajos.

Albañilerías y acabados.

El alcance de los siguientes trabajos se refiere a muros de block divisorios entre locales, recubrimientos (en su caso), pinturas, pisos y recubrimientos, plafones falsos de tablaroca.

Muros de block.

Los muros divisorios entre cada uno de los locales, laterales y de fondo, se realizaron con bloques huecos de mortero-cemento-arena de 12 cm de espesor, asentados con mortero-cemento-arena en proporción 1:4, con resistencia a la compresión de 40 kg/cm², de acuerdo a lo establecido por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, y a la norma **NMX-C-021ONNCCE-2004**. *Ver figura 24.*

Las piezas de concreto deben tener una resistencia a compresión, sobre un área bruta, de al menos 100 kg/cm² y carecer de grietas para poder colocarlas. El acabado de los muros se dejó aparente.

Se colocaron escalerillas a cada cinco hiladas, formadas de alambres paralelos unidos mediante soldadura con alambre diagonal continuo, acabado galvanizado en caliente o similar.

Castillos y cadenas.

La construcción de muros de block hueco requiere de refuerzos horizontales (dalas) y verticales (castillos) cuya función es rigidizar los muros.

Las dalas son elementos de concreto reforzado que se colocan en forma horizontal o inclinada a fin de:

- a) Transmitir cargas de manera uniforme.
- b) Ligar la estructura o muro permitiendo una resistencia homogénea ante movimientos horizontales.
- c) Distribuir los esfuerzos debidos a pequeños asentamientos.
- d) Rematar y proteger la parte superior de los muros.

La separación entre castillos será la que dé la menor longitud entre las siguientes alternativas.

- a) 20 veces el espesor del muro.
- b) 4 m.

En los extremos de cada muro se fabricó un castillo a modo de remate, independientemente de su longitud.

Todo el acero de refuerzo utilizado para dalas y castillos fue de grado 42, con un límite de fluencia mínimo de 4200 kg/cm². Los estribos fueron formados con acero del número 2 sin corrugar. El armado constó de 4 varillas del número 3 (3/8") y estribos a cada 20 cm.



Figura 24 Construcción de muros de block para división de locales comerciales.

Los acabados de un inmueble le dan, en gran medida, su presentación final, aportando la textura, color y frecuentemente la protección que, junto con los espacios, proporcionan al observador la sensación de confort.

Plafones falsos.

Los plafones del centro comercial fueron fabricados con paneles de yeso de 16 mm de espesor y se encuentran a diferentes alturas para dar la sensación de amplitud. *Ver figura 25.*

Se escogió el uso de paneles de yeso porque proporcionan las siguientes características:

- a) Construcción en seco. Se elimina la humedad excesiva en la obra.
- b) Rapidez de instalación. Los paneles se cortan a la medida con facilidad y su instalación es inmediata.
- c) Decoración. Permiten la aplicación de cualquier tipo de acabado final, desde pinturas, pastas texturizadas, molduras metálicas, madera, PVC, etc.
- d) Resistencia al agrietamiento. Si se colocan de manera adecuada, se obtienen superficies lisas de aspecto uniforme listas para recibir acabado final. Son altamente resistentes a presentar fisuras por movimiento de bastidores o de la estructura del edificio.
- e) Rapidez de colocación. Esta es tal vez una de las características más importantes del uso de paneles de yeso dados los tiempos de ejecución de cualquier obra.
- f) Facilidad para reparar y/o modificar la forma de los acabados.
- g) Permiten ocultar instalaciones y tuberías en general al variar el espacio entre la cubierta y el plafón.

El sistema de plafón corrido se compone de un bastidor metálico que se suspende de la estructura metálica o del sistema de cubierta, armado con canaletas de carga y canal listón. Este bastidor recibe los paneles de yeso que se fijan a los canales listón con tonillos, para posteriormente aplicar el tratamiento de juntas. Una vez terminado el plafón presenta una apariencia uniforme. Los paneles se colocan con base en las alturas establecidas en el proyecto arquitectónico.

Pintura vinílica.

La pintura es un producto fluido que, aplicado sobre una superficie en capas relativamente delgadas, se transforma al cabo del tiempo en una película sólida que se adhiere a dicha superficie, de tal forma que recubre, protege y decora el elemento sobre el que se ha aplicado.

Por su excelente cubriente es recomendado para agilizar el trabajo en grandes obras, ayuda a disimular imperfecciones en muros, su aspecto mate ayuda a crear ambientes interiores con sensaciones íntimas y cálidas

La pintura vinílica se puede aplicar sobre muros interiores, exteriores, plafones de concreto, paneles de yeso, aplanados de yeso y en cualquier material compuesto a base de cemento y todo tipo de aplanados. Resiste la formación de hongos y algas en muros.

Procedimiento de aplicación.

- a) Verificar que los materiales sobre los que será aplicado el recubrimiento esté completamente seco y fraguado.
- b) Preparación de la superficie. Limpiar la superficie perfectamente, removiendo partículas de polvo, grasa, salitre y en general cualquier partícula que inhiba la adherencia.
- c) Aplicar una mano de sellador, previo a la pintura, con base en las características proporcionadas por el fabricante y de acuerdo con el tipo de superficie a pintar.
- d) Mezclar perfectamente la pintura antes de aplicarla y ocasionalmente durante la aplicación.
- e) Cuando el producto se aplica con equipo de aspersión, se puede diluir con agua hasta en un 15%, y cuando se usa rodillo es posible diluir hasta en un 10%.
- f) Aplicar la pintura a dos manos uniformes, dejando secar entre mano y mano un mínimo de 60 minutos.

Precauciones al aplicar pintura vinílica.

La pintura vinílica se debe aplicar únicamente si la temperatura ambiente oscila entre los 10°C y los 33° C. Se debe evitar aplicar pintura si la humedad es igual o superior al 80%, ya que estas condiciones no permiten el secado.

Se recomienda, para un mejor acabado, un espesor de 2 a 3 milésimas de pulgada por capa seca.

Después de la aplicación se deben evitar la manipulación de materiales y trabajos que generen polvo o dejen partículas en suspensión.

Las pinturas se dejaron secar con base en los instructivos el tiempo indicado por el fabricante. Quedó estrictamente prohibido el uso de procedimientos artificiales de secado.



Figura 25 Colocación de paneles de yeso en faldones y plafones falsos de áreas comunes, previo a la aplicación de pintura vinílica.

Pisos y recubrimientos.

El uso de pisos cerámicos mejora notablemente no sólo el aspecto visual de las superficies, además ayuda a evitar desgastes de pisos, permite que las superficies se mantengan limpias durante más tiempo y evita ralladuras. Los alcances de los trabajos incluyeron la colocación de piso en las áreas comunes de la ampliación, y el cambio de piso del resto del centro comercial. En total se colocaron un poco más de 14,000.00 m² de piso.

El material que se utilizó fue un porcelanato (mezcla de arcillas y feldespatos de alta calidad) de 60 x 60 cm con las siguientes características.

- a) Absorción de agua $\leq 1\%$.
- b) Resistencia a la flexión $\geq 200 \text{ kg/cm}^2$.
- c) Peso específico $\geq 2200 \text{ kg/m}^3$.
- d) Acabado superficial esmaltado, impermeable al agua.
- e) Inalterable a la luz.
- f) Medidas rectificadas.
- g) Exenta de grietas o manchas.
- h) Cara posterior con relieve para facilitar adherencia.

Para la instalación de piso se escogió un material adhesivo porcelánico adecuado para la instalación de piezas cerámicas de baja o nula absorción de agua. El adhesivo está formulado a base de cemento portland, arenas graduadas, carbonato y polímeros que ayudan a mejorar las propiedades físicas y adhesivas y cumple con las normas ANSI 118.4. **Ver figura 26.**

Procedimiento de instalación.

- a) Delimitar el área a revestir, ubicando los accesos y sectores de mayor golpe de vista, todo esto con el fin de determinar dónde quedarán los cortes.
- b) Revisar los niveles en cada punto del área de piso. Para esto se puede utilizar el sistema de nivel óptico, marcando en uno de los muros una altura de un metro; también se utiliza la regla de aluminio. Esta medida se deberá ir traspasando de muro en muro. No se recomienda realizar nivelación con adhesivo cuando existen fuertes diferencias de nivel en el piso; en estos casos se recomienda realizar la nivelación del piso previamente.
- c) Se debe revisar todo el producto antes de proceder a la instalación, verificando el tono, el calibre, etc., ya que las variaciones son inherentes a estos procesos industriales. Es recomendable una vez verificado el porcelanato, ir mezclando varias cajas entre sí y en ese momento proceder a la instalación.
- d) Los adhesivos requieren de una preparación previa de 10 a 12 minutos para que todos sus componentes se hidraten adecuadamente, para luego volver a revolverlos.
- e) Una vez realizados estos pasos previos, se puede comenzar, extendiendo el adhesivo con una llana dentada, que permite arrastrar pegamento de forma uniforme.
- f) Colocar la pieza de porcelanato cuidando la alineación en ambos sentidos, Es recomendable marcar guías con hilos o maestras y realizar los remates inmediatamente.
- g) Curado: se deja secar la instalación por 24 horas antes de emboquillar o abrir al tráfico, dependiendo de la temperatura y humedad.
- h) Limpieza: usar una esponja húmeda para retirar el exceso de material que pudiera haber quedado sobre la superficie.
- i) Se debe evitar la colocación de materiales cerámicos cuando la temperatura sea inferior a los 6° C y superior a los 30°C a la sombra.



Figura 26 Colocación de piso de porcelanato en área de pasillo de tiendas, previa demolición de acabado anterior.

Juntas de dilatación.

Las juntas de dilatación en piso permiten la unión del edificio nuevo (ampliación) con el edificio de la primera etapa logrando una transición suave y sin cambio. Se debe recordar que los edificios están separados por una junta constructiva de al menos 10 cm, tal como lo marca el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Las juntas de dilatación en piso se hicieron mediante una charola de aluminio en la cual se puede asentar piso cerámico con mortero epóxico para aumentar la adherencia. La charola se fija en un lado de la junta por medio de un perno fijo, y en el otro un perno deslizante en un ojillo que permite desplazamientos. Los pernos se colocan a cada 25 cm de distancia a lo largo de la junta en ambos lados. La junta cuenta además con una capa de neopreno de 1" de espesor para absorber parte de los movimientos.

Modificación al proyecto original: Demolición de columna y armadura metálica para refuerzo en cuerpo primera etapa.

Los trabajos en el cuerpo "A" avanzaron con base en lo establecido en el programa de obra y también con base en el proyecto arquitectónico. Sin embargo, un nuevo cambio de alto impacto, desde el punto de vista estructural y para la obra, se presentó nuevamente durante un recorrido de obra.

Los propietarios solicitaron a “Taller III Arquitectura” (encargados del proyecto arquitectónico) mandar hacer los cálculos estructurales necesarios para la demolición de una columna de concreto ubicada justo a la mitad de pasillo que conecta los cuerpos “A” de la ampliación y el cuerpo de la primera etapa. Dicha columna obstruía el paso y la visibilidad de los clientes.

La solución a este problema no fue sencilla, pues se debió librar un claro de 18 m de longitud sin afectar la cubierta ya instalada, no afectar los locales laterales al pasillo de comunicación y demoler la columna. **Ver figura 27**

La solución se realizó de la siguiente forma:

- a) Se demolió el plafón de tablarroca para tener acceso a la cubierta desde la parte inferior de la misma.
- b) Se realizó un corte a la cubierta para permitir el paso de una armadura metálica que conectara las dos columnas de concreto contiguas a aquella a demoler.
- c) Se fabricó una armadura metálica a base de vigas “I” que instalada sobresalió por encima de la cubierta.
- d) Una vez instalada la armadura metálica se inició la demolición.

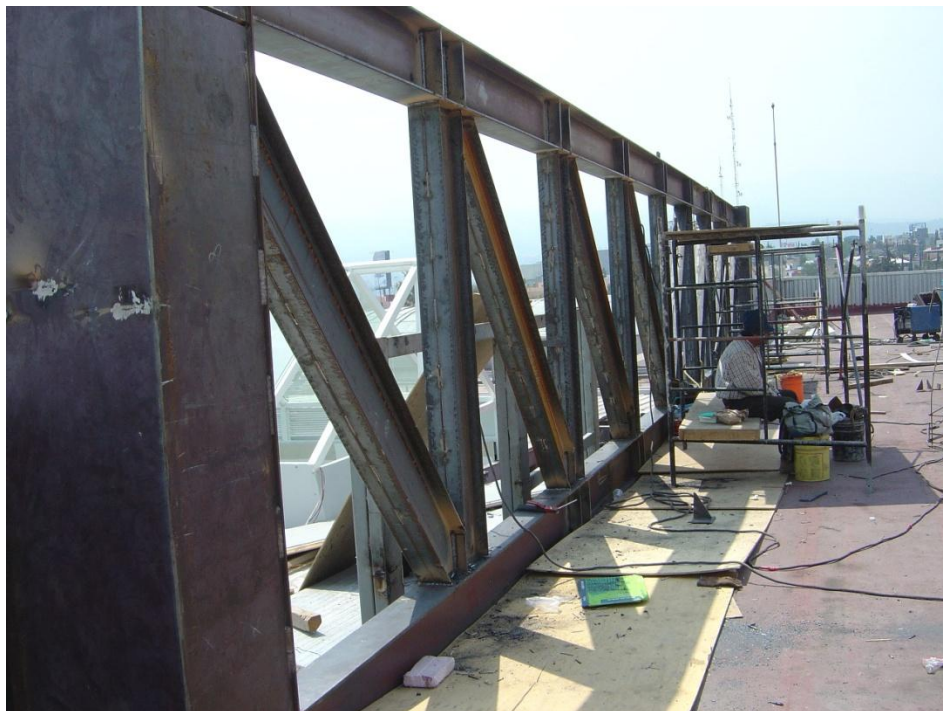


Figura 27 Armadura creada para poder demoler columna en pasillo interior de tienda.

Estructura metálica.

Antes de empezar a hablar de estructuras metálicas definiremos de forma sencilla y general qué es una estructura.

Una estructura es un conjunto de partes unidas entre sí que forman un cuerpo, una forma o un todo, destinadas a soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo.

Condiciones que debe cumplir cualquier estructura

- a) Que sea rígida: Es decir, que la estructura no se deforme de modo excesivo al aplicar fuerzas sobre ella.
- b) Que sea estable. Que se mantenga sin peligro de cambiar o caer debido a fuerzas naturales.
- c) Que sea resistente: Que al aplicarle las fuerzas para las que fue calculada, todos los elementos que la conforman sean capaces de soportarlas sin romperse o deformarse de manera excesiva.

Ventajas de las estructuras metálicas frente a las estructuras de concreto.

Hoy en día, el acero es el material de construcción más utilizado en todo el mundo, ya sea solo o combinado con otros materiales. Entre las ventajas de usar acero en la construcción podemos mencionar las siguientes:

- a) Menor peso. Los elementos metálicos en general tienen menor sección, por lo tanto menor peso que los elementos de concreto.
- b) Las secciones son más esbeltas. Esto permite disponer de mayores espacios tanto verticales como horizontales.
- c) Tiempo de ejecución. Generalmente es mucho menor que la ejecución de una estructura de concreto.
- d) Construcción. El montaje representa una simplificación en campo con respecto a la fabricación masiva de concreto.
- e) Modificaciones. Es más sencillo modificar una estructura metálica que una de concreto.

Como desventajas en el uso de las estructuras metálicas podemos mencionar.

- a) Se requiere de personal calificado para su fabricación y montaje.
- b) Las estructuras metálicas corren mayor riesgo de ser dañadas por el fuego y la corrosión; esto obliga a recubrimientos costosos.

Materiales.

Todos los materiales a emplear, sean placas o perfiles, en la ejecución de los trabajos del cuerpo "A" fueron de acero ASTM -36, con un esfuerzo mínimo de fluencia de 2530 kg/cm² y un esfuerzo mínimo de ruptura de 4200 kg/cm².

Alcance de los trabajos.

De modo general, el alcance de los trabajos consistió en la fabricación y montaje de una estructura metálica, compuesta por columnas metálicas a base de tubo sin costura, armaduras de gran peralte, armaduras secundarias, también conocidas como "joist"; pequeños soportes de placa, soldadura y aplicación de primario anticorrosivo, y tratamiento retardante a fuego de los diferentes elementos metálicos.

Todos los trabajos de fabricación y montaje cumplieron con lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras Metálicas, así como por la American Welding Society, Sociedad Americana de Soldadura, (AWS, por sus siglas en inglés).

Uniones soldadas.

Para unir las distintas partes y/o perfiles utilizados en la estructura metálica del cuerpo "A" del centro comercial, se eligió el método de soldadura por arco eléctrico, o simplemente conocida como soldadura de arco. Este proceso es el de más amplia aceptación como el mejor, el más económico y práctico para unir metales.

En el proceso de soldadura manual por arco, el soldador selecciona un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo, y ajusta la corriente eléctrica para "hacer saltar el arco"; es decir, crear una corriente eléctrica intensa que salte entre el electrodo y el metal. Enseguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que se ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta, y, junto con el metal fundido de los bordes, se solidifican para formar una junta uniforme y sólida. En acero A-36 se utilizó soldadura del tipo E-70XX, es decir de la serie E-7018, E-7012 y E-7010. **Ver figuras 28 y 29.**



Figura 28 Colocación de estructura metálica en nave durante el proceso de fabricación.

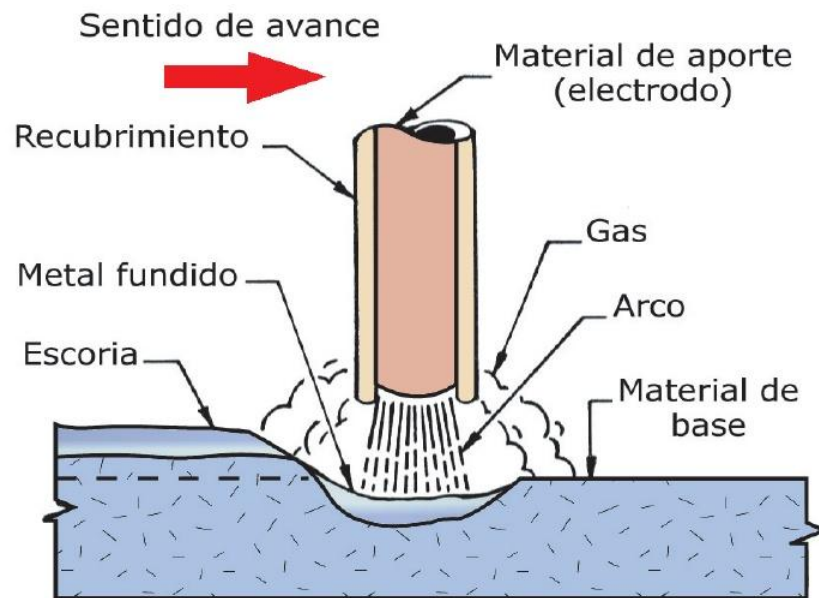


Figura 29 Proceso general de soldadura por arco.

Tipos de uniones.

Las uniones entre los distintos elementos metálicos fueron las siguientes.

- a) Unión de fuerza: es aquella que tiene por misión transmitir, entre perfiles o piezas de la estructura, un esfuerzo calculado.
- b) Unión de atado: es aquella cuya misión es mantener en posición perfiles de una pieza, y no transmiten un esfuerzo calculado.

El espesor de garganta mínimo de los cordones de soldadura de ángulo, fue de tres milímetros; el espesor máximo de soldadura se designó como siete décimas (0.7) de e_{\min} , siendo e_{\min} el menor de los espesores de las dos placas o perfiles a unir por el cordón de soldadura.

En general se prohibió cualquier soldadura de tapón y/o ranura, así como rellenar con soldadura los agujeros practicados en la estructura, roblones⁷, remaches o tornillos provisionales de montaje.

Con relación a los medios de fijación provisionales, se permitió el uso de puntos de soldadura depositados entre los bordes de piezas a unir; el número e importancia se limitó al mínimo compatible con la inmovilización de piezas.

Antes de soldar de manera definitiva las piezas, se limpiaron los bordes, eliminando cuidadosamente toda cascarilla, herrumbre o suciedad, teniendo especial cuidado con las manchas de grasa o pintura.

Durante la aplicación de la soldadura se deben mantener secas y protegidas de la lluvia las partes soldadas y aquellas por soldar, o cuando menos una superficie lo suficientemente amplia alrededor de la zona que se está soldando.

Después de aplicar el cordón de soldadura, y antes de depositar el siguiente, se debe limpiar con cepillo de alambre cualquier rastro de escoria. Quedó estrictamente prohibido acelerar el enfriamiento por medios artificiales.

⁷ Roblón: elemento de acero para hacer uniones en estructura metálica, de forma similar a un tornillo pero sin rosca.

Procedimiento general de soldadura en campo.

El procedimiento es el siguiente:

- a) Preparar el material. Que esté bien perfilado, limpio, sin rebabas, grasa, pintura o humedad.
- b) Comprobar que los biseles correspondan a lo estipulado en planos.
- c) Verificar detalles de tolerancia en juntas.
- d) Identificar el procedimiento de operación. Es decir, determinar la posición en la que las piezas deben soldarse.
- e) Revisar el tipo y tamaño de electrodo.
- f) Verificar el tipo de fundente.
- g) Determinar el voltaje de acuerdo con el diámetro del electrodo.
- h) Determinar la secuencia de pases con el electrodo.
- i) Verificar que no haya indicaciones adicionales en plano o boletines de obra.
- j) Iniciar el proceso de soldadura.
- k) Después de soldar, revisar que la soldadura no presente defectos de importancia como cráteres o socavaciones y que se haya respetado el tamaño de la garganta y longitud de la soldadura.
- l) Las soldaduras que se seleccionaron por ser importantes, presentaron duda o correspondieron al espécimen seleccionado aleatoriamente, se revisaron con radiografías, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido (procedimientos que se expondrán un poco más adelante).

Montaje.

El montaje de los distintos elementos metálicos se refiere a la manipulación, maniobras para la carga y descarga, almacenamiento, en su caso, e izaje de las diferentes partes que conforman la estructura.

Para un adecuado procedimiento de montaje se tomaron en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Los primeros elementos a montar fueron las columnas, y para su fijación a la estructura de concreto se hizo mediante una placa base con perforaciones donde entraron las anclas de varilla. La estabilidad de la columna se realizó mediante apuntalamiento, mientras el topógrafo realizó el alineamiento y plomeo.
- b) Antes de soldar la placa base a la columna, se rellenó el espacio entre éste y la parte superior de la estructura de concreto mediante un mortero autonivelante de alta resistencia con aditivo expansor.
- c) Toda la estructura quedó a plomo y nivel, de acuerdo con lo establecido en planos y con el alineamiento indicado.

- d) Una vez fijada la columna en su sitio, y manteniendo el apuntalamiento, se colocaron las armaduras principales, después las secundarias y por último el sistema de cubierta o techumbre.
- e) Se colocó soldadura provisional en las uniones de elementos metálicos a fin de fijarlos en su posición antes de aplicar la soldadura definitiva.
- f) Finalmente, y con base en un programa de trabajo, se seccionó la estructura para aplicar la totalidad de la soldadura definitiva a fin de reducir riesgos de colapso.

Control de calidad en los trabajos de soldadura.

“Calidad de la soldadura” es una expresión cuyo significado depende del uso final que se dé a la soldadura. Las soldaduras de calidad pueden clasificarse como “buenas” y “muy buenas”. Las buenas soldaduras son las que cumplen con los requisitos de aspecto y que a la vez se comportan de acuerdo con lo previsto hasta que son retiradas del servicio por decisión del usuario. Las soldaduras muy buenas son las efectuadas bajo condiciones de intenso control de calidad.

A continuación se mencionarán, de manera breve, los distintos tipos de inspecciones de calidad realizados durante los trabajos de la estructura metálica.

Inspección radiográfica: Este método de prueba aprovecha la posibilidad que ofrecen las radiaciones de onda corta, como los rayos X y los gama, de penetrar a través de objetos opacos a la luz ordinaria. No toda la radiación penetra a través de la soldadura, parte de ella es absorbida. La magnitud de la absorción es función de la densidad y del espesor de la soldadura, el haz de radiación tendrá menos metal que traspasar que en una soldadura sana. La imagen es una sombra de rayos X del defecto interno.

El método de los rayos X es el de más éxito y el más confiable para la prueba no destructiva de soldadura. No obstante, como la mayoría de las herramientas, tiene ciertas limitaciones, y su aplicación e interpretación requieren de un conocimiento técnico, de una concepción razonable del tipo de defectos descubiertos y de un conocimiento de la relación entre los defectos y la especificación aplicable.

Inspección por partículas magnéticas: La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar discontinuidades en los materiales magnéticos. Es excelente para detectar defectos superficiales en soldaduras porque revela discontinuidades que son demasiado finas para apreciarse a simple vista.

Inspección con líquido penetrante: La inspección con líquido penetrante es un método no destructivo para localizar grietas superficiales y pequeños poros invisibles a simple vista.

En la inspección por colorante penetrante se aplica un líquido altamente fluorescente, con buena calidad de penetración a la superficie de la parte que va a ser examinada. La acción capilar arrastra al líquido al interior de las aberturas de la superficie. Luego se elimina el exceso de líquido de la pieza, y se usa un revelador para sacar el penetrante a la superficie.

La inspección con líquido penetrante se usa en la inspección de conjuntos soldados, grandes y pequeños, para localizar grietas y porosidad cuando los materiales no son magnéticos. Debe recordarse que sólo se detectan por este método defectos superficiales.

Inspección ultrasónica: La inspección ultrasónica es un método muy sensible para detectar, localizar y medir defectos tanto superficiales como sub-superficiales en los metales. Las fallas que no pueden descubrirse por otros métodos, y hasta las grietas suficientemente pequeñas para clasificarse como micro-separaciones pueden detectarse por éste.

La inspección ultrasónica se basa en el hecho de que una discontinuidad y cambio de densidad actúa como reflector de las vibraciones de alta frecuencia propagadas a través del metal.

Protección definitiva: Toda estructura metálica se debe proteger contra fenómenos de oxidación y corrosión, y dada la importancia de la estructura objeto de análisis, contra fuego por medio de un recubrimiento intumescente.

Se debe limpiar perfectamente la estructura y aplicar una capa pintura anticorrosiva, tradicionalmente conocida como primario, por encima de ella se coloca la una capa de pintura definitiva y por último el recubrimiento final, en este caso pintura intumescente.

Cubierta metálica.

El techo o cubierta de un edificio es una de las partes más importantes del mismo. Su misión, al igual que la de las paredes exteriores, es la de brindar protección contra todos los agentes externos a los ocupantes. Por su exposición directa a la intemperie, necesita estar formada por materiales de gran resistencia a las variaciones térmicas y agentes hidráulicos de la atmosfera. **Ver figura 30.**



Figura 30 Colocación de cubierta en proceso vista desde el interior de la ampliación.

Son tres los elementos principales de cualquier cubierta:

- 1) Aquel que soporta directamente la exposición a la intemperie y/o agentes externos.
- 2) Barrera impermeable.
- 3) Barrera térmica.

Además de cumplir con los requisitos anteriores, las cubiertas deben ser elementos de fácil colocación y ser razonablemente económicos. En razón de esta complejidad, la cubierta resulta conformada de tal manera que no puede, además, ser resistente mecánicamente hablando; necesita siempre una estructura que la soporte, de la cual hablamos en el subcapítulo anterior.

De todos los agentes de la intemperie, el agua es el más difícil de combatir. La función principal de la cubierta resulta ser, entonces, la de rechazar el agua, sea de lluvia o de humedad ambiental. Para ello, diseñadores y constructores resuelven las cubiertas de modo tal que el agua se aleje lo más rápido posible variando las pendientes.

Con base en la pendiente podemos decir que existen tres grandes grupos de cubiertas:

- 1) Aquellas de pendiente muy pequeña, de superficie casi horizontal, ejecutadas generalmente sobre una superficie horizontal (por ejemplo una losa de concreto armado, cuyo tipo representativo es la azotea). Reciben el nombre de cubiertas planas, en donde esta palabra no está usada en su sentido geométrico estricto, sino en el sentido más corriente de llano u horizontal.
- 2) Aquellas de pendiente acentuada, a veces muy fuerte, ejecutadas sobre una base inclinada (estructura metálica o de madera, generalmente), cuyo tipo representativo es el techo de una o más aguas; reciben el nombre de cubiertas en pendiente.
- 3) Aquellas de pendiente variable en el sentido vertical, según directrices curvas en una o más direcciones; reciben el nombre de bóvedas y cúpulas.

La elección del material es un problema de proyecto y en la gran mayoría de los casos se resuelve por razones económicas y arquitectónicas, sin que pesen mucho las de orden técnico. Afortunadamente existen en el mercado una gran variedad de sistemas o métodos que resuelven de manera simple los problemas técnicos de colocación de una cubierta.

La construcción de un techo presenta dificultades especiales en ciertos lugares que llamaremos puntos singulares, que se caracterizan por ser más difíciles cuanto mayor sea el juego de las distintas pendientes. Algunos de estos puntos singulares en los techos requieren verdaderos trabajos de artesanía.

El encuentro de un techo con una pared, el encuentro de dos faldones formando valle o cumbre, los bordes de terminación en indistintas situaciones de alero, el paso de cañones de ventilación o chimeneas, etc., son motivo de un tratamiento especial no solo por su importancia en el comportamiento del conjunto, sino también por el valor que pueden tener para la belleza de la obra.

En estos puntos se concentran los movimientos del edificio y los propios del techo y en ellos suele también acumularse la máxima energía del agua durante los temporales, aumentando así el peligro de su penetración.

Características generales del sistema de cubierta.

Los sistemas galvanel poseen características que hacen que su transporte, la elevación de materiales y específicamente su colocación sean procesos realmente rápidos.

El producto está diseñado para cubiertas de todo tipo de construcción. El sistema de unión de traslape recorta notablemente los tiempos de instalación, se evita con este sistema el uso de tapajuntas, eliminando al mismo tiempo las posibles filtraciones.

Especificaciones de la materia prima.

Lámina de acero galvanizado: la lámina de acero es galvanizada por un proceso continuo de inmersión en caliente para garantizar una distribución uniforme y adherencia perfecta de lámina con zinc con base en la norma ASTM A-653.

Pintado: después de galvanizada, la lámina es pintada en un proceso continuo que incluye preparación, aplicación de primario y recubrimiento.

El recubrimiento estándar es de pintura poliéster modificado con un espesor de 8 ± 1 mils⁸.

Espuma: aislante de espuma rígida de poliuretano con agente de espumante bajo de ODP (Ozone Depletion Potential), densidad de 38 a 40 kg/m³, estructura de celda cerrada de 90% mínimo y conductividad térmica K de 0.12 BTU/(hr ft² °F) por cada pulgada de espesor.

Los paneles se fabrican en anchos de un metro y hasta 12 m de longitud.

Ventajas del uso de sistemas de cubierta.

- 1) Rapidez de instalación: Por las características del panel y por el tipo de estructura que necesita el tiempo de construcción, es más corto que los sistemas tradicionales.
- 2) Aislamiento térmico: La espuma rígida de poliuretano brinda mayor capacidad de aislamiento por espesor que cualquier otro material aislante.
- 3) Ligereza: Por las características anteriores, la estructura y cimentación son más ligeras, y por lo tanto se tiene un ahorro en términos económicos.

⁸ mils: Unidad de longitud en el sistema inglés equivalente a la milésima parte de una pulgada. Se usa normalmente para medir espesores y longitudes muy cortas (como aplicación de pinturas o en la fabricación de piezas).

- 4) Recuperable: En caso de ser necesario, los paneles pueden desmontarse e instalarse en otro lugar.
- 5) Facilidad de instalación: El sistema de instalación requiere de una mínima supervisión ya que las instrucciones de instalación son fáciles de seguir.

Descarga y almacenamiento.

Al momento de llegar al sitio, los paneles se bajaron con el siguiente procedimiento utilizando grúa tipo Hiab:

Los paquetes se sujetaron como mínimo en dos puntos diferentes con eslingas de nylon localizadas como mínimo en dos puntos a lo largo del paquete. Es necesario colocar elementos rígidos en forma adecuada entre el paquete y la eslinga para evitar daños en los paneles ubicados en la parte superior de paquete; para ello se recomienda usar ángulos de madera.

Almacenamiento en sitio para paneles que no se usaron de manera inmediata.

Los paneles deben ser colocados en un área definida previamente y que esté cubierta preferentemente. Los paquetes se deberán colocar en una superficie firme nivelada y libre de protuberancias. No se deben estibar más de dos paquetes y cuando se tenga que hacer esto último, los apoyos del paquete superior deben coincidir con los de inferior. Se recomienda almacenar el menor tiempo posible los materiales en general.

En caso de no poder contar con un área cubierta, se deben hacer cortes o incisiones a la envoltura del paquete y acomodarlos de tal manera que se logre una ligera inclinación, cuando menos un 5%, para evitar que se acumule agua y produzca humedad dentro de los paquetes.

Almacenamiento en sitio para paneles que se usaron de manera inmediata.

Los paquetes se ubicaron en áreas estratégicamente planeadas alrededor del edificio tan cerca como fue posible de las áreas de trabajo donde el panel fue finalmente colocado. Lo anterior se logró únicamente coordinando a todos los contratistas y consultando planos para establecer áreas de trabajo y analizando perfectamente las áreas con el fin de evitar maniobras posteriores.

Instalación de panel de techo.

Antes de iniciar la instalación de panel de techo es muy importante inspeccionar la estructura para asegurarse que se encuentra perfectamente nivelada, alineada y escuadrada.

La instalación de los paneles se dividió en cinco pasos básicos:

- 1) Escuadre.
- 2) Alineación.
- 3) Fijación.
- 4) Fijación de accesorios.
- 5) Limpieza.

Escuadre: Debe tomarse como punto de arranque la esquina inferior izquierda o derecha de área a cubrir, la cual servirá para escuadrar el trazo de la instalación. Se recomienda escuadrar por su simplicidad el método 3-4-5 usando hilos, desplantando un hilo en el sentido transversal partiendo hacia la cumbrera y otro en sentido longitudinal hacia el largo total a cubrir. Una vez que se ha verificado el escuadre en el trazo, se puede alinear la primera pieza de panel.

La colocación de la primera pieza requiere de especial atención ya que marcará la posición de los paneles subsecuentes. El proceso se repite por cada una de las áreas a cubrir.

Alineación: Para iniciar el desplante de los paneles subsecuentes se usan hilos o reventones en el sentido longitudinal, de acuerdo al escuadre previamente verificado. Es recomendable colocar uno en la parte superior y otro en la parte inferior para garantizar que todas las piezas están escuadradas y alineadas.

Este procedimiento se repetirá cuantas veces se comience un área nueva a cubrir. Del mismo modo es recomendable verificar tanto escuadre como alineación a cada 10 piezas colocadas, dependiendo del área a cubrir.

Fijación: La fijación se hace mediante pijas autorroscantes de 3 ½" hasta 7" de cabeza hexagonal con rondanas, dependiendo del espesor del panel y del perfil metálico donde será fijado. Además de lo anterior se utiliza un clip de sujeción. La fijación se realiza sobre la cresta de los paneles. **Ver figuras 31 y 32.**



Figura 31 Instalación de panel de cubierta y modo visto desde la parte superior de la estructura metálica.

FIJACIÓN TÍPICA DE GALVATECHO

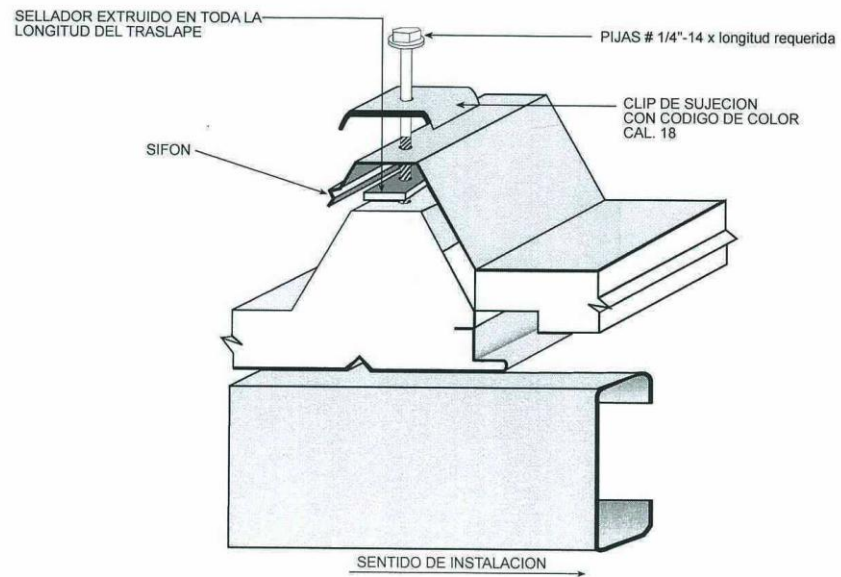


Figura 32 Sistema de fijación utilizado en cubierta.

Modificación al proyecto original: Apertura de lucernario adicional en cubierta del cuerpo “A”.

Dentro del proyecto arquitectónico del centro comercial sólo se tenía contemplada la realización de un lucernario en la cubierta sobre el pasillo principal que conecta el cuerpo “A” de la ampliación con la primera etapa. Sin embargo, durante un recorrido de la obra con los propietarios y el personal encargado de la administración, se hizo la observación que el pasillo que conecta hacia el estacionamiento tenía poca luz y que se tendría aún menos luz natural cuando estuviera en completa operación. Los propietarios solicitaron en ese momento se iniciaran los trabajos para fabricación de un lucernario adicional. **Ver figura 33.**

Los trabajos necesarios para la fabricación de dicho elemento requirieron de un gran esfuerzo de parte de todo el personal de la obra puesto que la cubierta ya estaba colocada. El procedimiento constructivo fue el siguiente:

- a) Trazo del nuevo elemento.
- b) Corte de la cubierta y retiro de paneles.
- c) Preparación de canalones y tuberías de PVC para instalación pluvial.
- d) Montaje de estructura metálica para dar forma a lucernario.
- e) Montaje de vidrios.
- f) Sellado de cubierta
- g) Cambio en volúmenes de tablarroca para forro de armaduras metálicas correspondientes a la cubierta.



Figura 33 Corte en cubierta para creación de lucernario visto desde el interior de la tienda.

Cuerpo “B” estacionamiento.

El denominado cuerpo “B” es un estacionamiento con capacidad para 500 autos que conecta con el cuerpo “A” en un mismo nivel, tiene un área aproximada de 11, 000.00 m² y cuenta con dos rampas con una inclinación del 15 %; una de ellas se utiliza para el acceso y la otra para el descenso de vehículos. Para el acceso de los peatones se cuenta con una escalera de concreto aproximadamente al centro del área que conecta los dos estacionamientos. Este estacionamiento fue construido sobre el antiguo estacionamiento descubierto de la primera etapa del centro comercial.

Aunque su proceso constructivo fue relativamente sencillo se tuvo que poner especial atención y seguir todas las recomendaciones pues existía el peligro de obtener elementos defectuosos y/o de baja calidad.

Columnas.

Una vez concluida la cimentación del cuerpo “B” se inició la fabricación de columnas de concreto, distribuidas en una trama en tableros de 8 m x 9 m. La sección de cada una de las columnas fue de 80 cm y el armado del acero de refuerzo se realizó con base en el proyecto estructural. La altura de cada una de las columnas dependió de las condiciones del terreno.

Las columnas se fabricaron siguiendo estas recomendaciones:

- a) Todos los elementos se colaron de manera monolítica, es decir que se colaron en su totalidad al mismo tiempo.
- b) El revenimiento del concreto elegido fue de entre 10 y 14 cm, con una tolerancia de ± 3 cm dependiendo de qué tan cerrados o abiertos fueran los espacios entre el acero de refuerzo.
- c) El vibrado del concreto es el proceso que debió vigilarse exhaustivamente, pues en caso de excederse podía provocar segregación del concreto, y en caso de ser muy pobre podía dejar oquedades.
- d) Para poder vibrar adecuadamente las columnas se debió preparar un andamiaje adecuado para que el personal encargado del vibrado tuviera acceso adecuado.
- e) La altura de cada columna se verificó con equipo y personal de topografía.

Como comentario sobre la fabricación de las columnas comentaré a manera de anécdota que solo una columna del total de las construidas tuvo que ser demolida debido al mal vibrado. Con ello se concluye que la mano de obra fue de buena calidad, así como el de los materiales. **Ver figura 34.**



Figura 34 Vibrado deficiente en columna de concreto. El elemento se demolió y se coló nuevamente.

Losa de concreto.

La losa de concreto está constituida por una trama de traveses de concreto de distintas secciones, casetón de poliestireno y una capa de 5 cm de firme de compresión. Tal como se ha comentado en secciones anteriores la estructura es de tipo postensada. En esta sección omitiré hablar del postensado y me enfocaré más en el resto de los procesos constructivos.

Por tratarse de un área muy extensa – aproximadamente 11, 000.00 m²- se decidió dividir la losa en cuadrantes, cada uno de ellos con una inclinación distinta de tal manera que la captación pluvial pudiera desalojarse por gravedad hacia un sistema de drenes o coladeras colocado en lugares asignados previamente y conectados a la red general del centro comercial. Cada uno de los cuadrantes de la losa fue estudiado con detenimiento y su fabricación dependió casi de manera exclusiva de la conformación de la cimbra.

Cimbra

El sistema para soportar la cimbra y dar las pendientes adecuadas a la losa se realizó mediante cimbra metálica, es decir, un cuerpo de andamios tubulares o pies derechos de altura ajustable, el cual sirvió como soporte a una red de vigas, maderas y polines. Encima de esta red se colocó una cama de triplay sujetado únicamente por

algunos clavos que evitaron su desplazamiento. Lo anterior permitió a su vez que la cimbra fuera removida fácilmente al término de su uso. **Ver figura 35.**

Utilizando este tipo de cimbra y con el resto de los procesos constructivos se pudieron colar 1300 m² de losa aproximadamente cada 10 días.



Figura 35 Cimbra cuerpo "B". Se observan claramente pies derechos, vigas madrina, polines y cama de triplay.

Durante la construcción de las losas no sucedieron incidentes dignos de mencionarse.

CÁPITULO IV INSTALACIONES HIDROSANITARIAS.

Alcances del proyecto.

El proyecto incluyó soluciones para las siguientes instalaciones:

Instalación de red de agua potable: Alimentación a núcleo de sanitarios en área común y alimentación a cada uno de los locales por medio de la misma línea

Instalación de red de drenaje sanitario: Recibir los desagües interiores del núcleo de sanitarios, desagües de cada uno de los locales y descargarlos al sistema de drenaje interno que a su vez conecta con el drenaje de la ciudad.

Instalación de red de drenaje pluvial: Debido a las dimensiones de los cuerpos "A" y "B" fue necesario captar todas las aportaciones pluviales y conducirlos a través de un sistema separado de aguas residuales.

Sistema de protección contra incendio: Este sistema de protección contra incendios a base de gabinetes con mangueras distribuidos a lo largo de pasillos en áreas comunes.

Red de agua potable y de drenaje sanitario.

En esta sección no serán desarrollados los temas de red de agua potable y drenaje sanitario debido a su extensión. Me enfocaré en el desarrollo del sistema de drenaje pluvial y el sistema de protección contra incendio.

Sistema de drenaje pluvial.

El sistema de drenaje pluvial es una red de tuberías de PVC de 8" de diámetro y canalones de lámina galvanizada distribuidos a lo largo de la cubierta del cuerpo "A" que capta el 100 % de las aportaciones pluviales y conduce el total del gasto a través de una serie de "columnas" o tuberías de PVC verticales que a su vez se conecta a una red subterránea de tuberías y registros preexistentes en el antiguo estacionamiento descubierto. **Ver figura 36.**

Para calcular el diámetro de las tuberías a utilizar el primer paso es conocer el gasto a desalojar mediante la fórmula general.

$$Q = C * I * A$$

donde:

- a) C es el coeficiente de escurrimiento. Para azoteas C varía entre 0.90 y 1.00
- b) I es la intensidad de lluvia en mm/h.
- c) A área de captación en m².

Por lo que se refiere a la intensidad los primeros 5 minutos de precipitación suelen ser los más intensos, por esta razón se tomó como base el promedio de las intensidades máximas anuales de los aguaceros para la Ciudad de México cuya intensidad varía entre 100 y 150 mm/h.

El siguiente paso es determinar el diámetro que desaloje dicho gasto. Para tal efecto despejamos el valor del área A del tubo utilizando la fórmula de continuidad.

$$Q = V * A$$

donde:

- a) Q es el gasto obtenido con la formula en el paso anterior
- b) V velocidad dentro del tubo. Por recomendación la velocidad debe estar entre $0.6 < v < 1.5$ m/s

Una vez obtenido el diámetro adecuado para desalojar los gastos de la cubierta y el estacionamiento se observaron las siguientes recomendaciones para la instalación de las tuberías de PVC.

- a) El espaciamiento entre bajadas pluviales no debió exceder 15 m, puesto que la cubierta tiene una pendiente del 5%.
- b) En los cambios de dirección de los desagües se utilizaron conexiones de radio largo para evitar obstrucciones.

- c) El cálculo y la instalación de columnas pluviales se hizo considerando en gasto equivalente a un cuarto de tubo y no a tubo lleno para que en caso de tener una precipitación mayor no se vea comprometida la capacidad del tubo.

Materiales utilizados en la red de aguas pluviales.

Las tuberías de plástico conocidas como PVC (Cloruro de Polivinilo) son las utilizadas en la actualidad para las redes de desalojo de aguas negras y pluviales. Entre algunas de las razones para utilizar este material podemos mencionar:

- a) Su facilidad de manejo.
- b) Sus paredes tersas, casi libres de fricción dejan pasar mejor el agua que cualquier otro material.
- c) Su peso es mucho menor que la tubería galvanizada y la de cobre.
- d) No es necesario utilizar soplete, pasta o soldadura. Únicamente se requiere tomar la medida correcta al tramo de tubo, aplicar pegamento y llevar a cabo la unión.
- e) Para fijar la tubería se utilizan sistemas de colgantes tipo pera u omega galvanizados.



Figura 36 Bajadas pluviales en estacionamiento cuerpo B.

Sistema de protección contra incendio.

El sistema de protección contra incendio del centro comercial es una red de tuberías de acero galvanizado de diferentes diámetros y cédulas, válvulas, equipos de bombeo, gabinetes, y mangueras que se distribuye a lo largo de toda la ampliación al centro comercial, localizados en los pasillos de servicio y el estacionamiento. La red de tubería está conectada al sistema de bombeo original fabricado durante la construcción de la primera etapa y se agregaron de manera adicional una serie de sistemas de bombeo de apoyo a las presiones y gastos requeridos en el caso de un posible evento. El sistema cuenta además con una serie de alarmas sonoras y sensores de humo que se conectan al centro de video y vigilancia del centro comercial para que caso necesario se activen los protocolos internos y en su caso se de aviso a las autoridades.

Materiales.

Bombas principales.

Se instalaron dos bombas en paralelo, de tal forma que una de ellas pudiera suministrar la totalidad de gasto necesario.

Las características de las bombas fueron las siguientes:

- 1) Bomba centrífuga de eje horizontal, para uso en abastecimiento de agua para sistemas de protección contra incendio, con acoplamiento a motor eléctrico trifásico y protección de su envolvente contra polvo y protección de agua para 460 V/3 Ph/ 60 Hz, y acoplamiento a motor de combustión interna de diésel.
- 2) Cada unidad proporcionará el gasto y la presión en la descarga, según lo indicado en el proyecto.
Las bombas forman un conjunto compacto, y se usaron sistemas elásticos para no transmitir vibraciones a los puntos de anclaje.
- 3) Las bombas están equilibradas hidráulica y dinámicamente, y no transmitirán empujes axiales.
- 4) Las bombas son de tipo monobloc, con el cuerpo de bomba impulsor y tapa portacierre de hierro fundido GG-25.
- 5) El eje de la bomba es de acero F-114.
- 6) El cierre hidráulico es de tipo mecánico.
- 7) Los elementos móviles o sometidos a fricción son de materiales que impiden la corrosión de manera que se pueda producir bloqueo.
- 8) Las conexiones se realizaron mediante bridas normalizadas.
- 9) Los motores eléctricos suplen la potencia necesaria con, al menos, un +10% de margen sobre la nominal.
- 10) Las bombas siempre se encuentran en carga para evitar cavitaciones por descebamiento.

- 11) En los cabezales de succión y descarga se montaron válvulas de seccionamiento que permiten, en caso de avería, el desmontaje de la bomba, y así no perjudicar la continuidad del funcionamiento de la instalación. Estas válvulas entre otras, disponen de contacto eléctrico para su señalización en control al inicio del cierre.
- 12) Las bombas disponen de una válvula de no retorno (check) de cierre amortiguado que impide el retorno hacia la bomba en situación de paro.
- 13) La totalidad del sistema de protección contra incendio cuenta con manómetros de esfera para control de la presión, colocados cerca de la descarga de la bomba pero con la precaución de alejarlos lo suficiente para evitar flujos turbulentos.

Bomba Jockey.

Las bombas principales se dispusieron de manera que no arrancaran de forma periódica para mantener presurizada la red. En caso de posibles fugas admisibles dentro del sistema se cuenta con una bomba Jockey (también conocida como bomba conservadora de presión).

Esta bomba será de arranque y paro automático, mediante un presostato que actúa ante la bajada de presión en la red. Adicionalmente el sistema dispone de control para parada y arranque manual.

La bomba Jockey esta accionada por motor eléctrico y es de iguales características que las bombas principales, cuentan además con una válvula de compuerta de husillo ascendente.

Para el control de funcionamiento de la bomba Jockey y para comprobar la existencia de fugas importantes en la red se dispuso de un doble piloto que señala el funcionamiento de la bomba y un contador de arranques de la misma. Se colocó además un contador de horas de funcionamiento.

La presión de descarga de la bomba Jockey es mayor que la presión de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendio mayor que la presión nominal de las bombas principales.

La tara de presión del presostato de arranque es igual a la presión nominal de la bomba principal, más la presión estática de succión más 0.7 bar.

La tara de presión de parada será la de mantenimiento de los sistemas de protección contra incendios.

La tara de presión de los presostatos de arranque de las bombas principales es igual a la presión nominal de proyecto +- 5%, siempre que en este margen la presión sea menor al menos 0.5 bar que la tara de presión de tara

del presostato de arranque de la bomba Jockey. Se debe dar mantenimiento de tal manera que la tara de presión entre los presostatos de arranque de la bomba Jockey y la principal sea de entre 0.5 y 1 bar.

Tablero de control.

El tablero de control del equipo está situado en la sala de bombas o cuarto de máquinas en posición que no puede sufrir salpicaduras de agua de las bombas o conducciones de los equipos bombeo y se encuentra protegido contra la humedad.

El tablero de control cuenta con las siguientes características de mando y control:

- a) El interruptor general opera manualmente.
- b) El sistema está protegido mediante disyuntores magnéticos con fusibles asociados.
- c) El dispositivo de arranque es de tipo magnético, con contacto en cada fase activa. El periodo de aceleración del motor no excede de 10 segundos.
- d) El sistema está protegido mediante interruptores diferenciales de aviso de los circuitos derivados.
- e) Mando automático de arranque mediante presostatos.
- f) Selector manual-automático-fuera de servicio.
- g) Voltímetro, amperímetro y medidor del factor de potencia con control en cada fase.
- h) Además existen pilotos dobles para la señalización de:
 - a. Tensión eléctrica adecuada en la red.
 - b. Funcionamiento automático.
 - c. Funcionamiento manual con alarma acústica que se activa siempre que cualquier interruptor o conmutador bloquee el arranque automático.
 - d. Alarma acústica en caso de bajo voltaje en cualquiera de las fases.

Hidrantes Interiores.

Las características de los hidrantes, así como las de las mangueras, tubería y demás accesorios son las siguientes.

Caudal (l/min)	140
Diámetro de la válvula	2"
Boquillas chiflon neblina	1 1/2"
Diámetro de la manguera	1 1/2"
Longitud de la manguera (m)	30
Presión psi (kg/cm ²)	50 (3.5)

El gabinete metálico para alojar la manguera debe fabricarse en lámina calibre 20 con puerta de cristal corrido, incluso éste, cerraduras con bisagra. Las dimensiones estándar son 0.60 x 0.60 x 0.20 m, salvo que se indique en proyecto con base en la necesidades del lugar.

Las mangueras deben ser de neopreno y poliéster de 38 mm de diámetro y 30 m de largo acopladas con coples giratorios de 38 mm de diámetro y montadas en pliegues sobre un soporte automático para manguera.

La válvula angular debe ser de latón pulido de 50 mm de diámetro con asiento intercambiable y probada a 10.5 kg/cm². La conexión con la manguera se debe hacer con un conector reductor de fierro galvanizado de 50 x 38 mm y un niple al cual deberá estar sujeto el soporte de la manguera.

El chiflón de la manguera es de tipo ajustable (chorro y/o neblina) de 50 mm de diámetro para tres posiciones. El material de fabricación debe siempre ser bronce cromado o no.

Los hidrantes se deben colocar siempre de forma tal que la válvula esté colocada a una altura no mayor de 1.60 m sobre el nivel de piso terminado y asegurarse que el chiflón de su manguera pueda llegar hasta 3 m de cualquier área que se protege.

La presión del agua de la red de hidrantes debe probarse en el chiflón de los dos hidrantes más altos al mismo tiempo y en el chiflón de los dos más lejanos siempre al mismo tiempo por separado teniendo los hidrantes sus válvulas completamente abiertas.

Extintores móviles.

Se instalaron extintores móviles de forma que estén accesibles en el interior de los gabinetes. La altura de colocación es de 1.60 m, medidos desde el nivel de piso terminado hasta la parte superior del extintor.

Tuberías.

La tubería usada en los sistemas de protección contra incendios debe cumplir con las siguientes características:

- a) El espesor mínimo de la pared es el correspondiente a cédula 10 para diámetros hasta 5" y presión hasta 21.1 kg/cm², 3.40 mm para 6", y 4.8 mm para 8" y 10".
- b) Cuando fue necesario usar conexiones roscadas el espesor mínimo de la pared correspondiente es cédula 30 para diámetros de 8" y 40 en diámetros menores.

Unión de tuberías y accesorios.

Uniones roscadas.

Todas las tuberías y accesorios roscados cumplen con la norma ANSI/ASME B1.20.1

- a) No se permitió el uso de uniones roscadas en tuberías mayores a 2" (50 mm).
- b) Los elementos de sellado (masilla, teflón, etc.) se aplicaron sobre las roscas macho.

Uniones por soldadura.

Para todas aquellas uniones soldadas se observó la norma AWS D10.9.

Las tuberías de rociadores se soldaron en taller. En ningún caso se permitió el corte con soplete y soldar en el lugar de la instalación.

Al momento de realizar una soldadura debió observarse lo siguiente:

- a) Los orificios para los injertos se practicaron en las tuberías antes de soldar los accesorios y de forma que su diámetro se ajuste al diámetro interior de estos.
- b) Se retiraron los discos de material sobrante producidos al corte.

- c) Los orificios para injertos deben ser taladros lisos, y los restos de las limaduras y soldaduras deben retirarse del interior.
- d) Los accesorios no deben penetrar el diámetro interior de las tuberías.
- e) No se deben soldar placas de acero en los extremos de las tuberías ni en los accesorios.
- f) No se modificaron los accesorios antes y durante su instalación.
- g) Los soportes y cualquier elemento de fijación no se debe soldar (tuercas, varillas, perfiles angulares etc.) a las tuberías ni a los accesorios.
- h) Sólo se permitió soldar a las tuberías anclajes para fijaciones antiterremoto longitudinales.

Soportes para tuberías.

La distancia máxima entre colgadores para tuberías de acero o de cobre no debió exceder de 3.7 m para diámetros de tubería de 1", ni de 4.6 m para 1 1/2" y mayores.

Para el soporte de tuberías bajo elementos constructivos de concreto se permitió el uso de taquetes de expansión instalados en posición horizontal en los laterales de las vigas. Únicamente en el caso de contener el concreto agregados gruesos, se permitió el uso de taquetes de expansión en posición vertical para el soporte de tuberías hasta de 4" de diámetro.

Para el soporte de tuberías de 5" y mayores, y en el caso de usar taquetes de expansión en posición vertical, estos deben alternarse con soportes fijados directamente a elementos estructurales o a los laterales de las vigas de concreto.

Se permitió el uso de pernos para concreto siempre que no dañaran la estructura y que fueran capaces de sostener una carga de 340 kg para tuberías de 2" o menores, 454 kg para 2 1/2", 3", 3 1/2" y 545 kg para 4" o 5"

No se permitió el uso de soldadura para colgadores en acero estructural menor de calibre 12.

Las varillas que forman parte de un colgador deben tener como mínimo las dimensiones siguientes:

Diámetro del tubo	Diámetro de la varilla
$\leq 4"$	3/8"
$4" < D \leq 8"$	1/2"
$D > 8"$	5/8"

Para ramales debió colocarse no menos de un colgador por cada tramo de tubo.

Los alimentadores verticales deben ser soportados por colgadores directos a estos, o por colgadores colocados en las tuberías horizontales más cercanas al alimentador.

Válvulas.

Todas las válvulas de seccionamiento en puntos de conexión o acometida a los diferentes puntos son de esfera con mando por maneta hasta diámetros de 2" y, a partir de ese valor, de mariposa, con mando por volante con reductora. En aquellos casos en que se tenga la seguridad de que no vaya a producirse cavitación o golpe de ariete por un cierre rápido de la válvula, podrá eliminarse la reductora.

Mientras las válvulas de diámetro de 2" o menores se conectaran mediante rosca o manguitos roscados, las de diámetros superiores lo harán con bridas y contrabridas.

El material de fabricación de las válvulas, tanto en el cuerpo como el sistema de cierre es del mismo material que la tubería, o lo más próximo posible dentro de la serie electroquímica, buscando el mismo efecto a la corrosión.

Cuando fue necesario, se utilizaron elementos de conexión intermedios que, impidan o dificulten la corrosión.

Además de lo anterior, deben ser resistentes a la oxidación y al ataque químico del propio fluido o de las sales, ácidos u otros compuestos químicos que puedan contener.

En cuanto a otro tipo de válvulas (p. ej. de retención), cumplen las mismas especificaciones anteriores.

Toda la tornillería de apriete de bridas o similares es del mismo material o lo más próximo posible en la serie electroquímica, o en su defecto protegidos contra la oxidación.

Protección de tuberías contra daños por terremoto.

Los esfuerzos a los que se ven sometidas las tuberías debido a los movimientos diferenciales del edificio se reducen mediante juntas flexibles y holguras.

Se utilizaron fijaciones para mantener las tuberías adecuadamente rígidas cuando estén soportadas por un elemento del edificio.

Juntas flexibles.

Se dispusieron juntas flexibles consistentes en manguitos flexibles que unan los extremos ranurados de las tuberías, para permitir el movimiento diferenciado de los distintos tramos de tubería de diámetro igual o superior a 90 mm (3 1/2"), junto con las respectivas secciones del edificio al que está fijada. Las juntas flexibles se dispusieron de forma que coincidieran con las separaciones estructurales del edificio de acuerdo con lo siguiente:

A una distancia de la parte superior y de la parte inferior de todos los montantes no mayor a 610 mm.

En los montantes de longitud comprendida entre 0.90 y 2.10 m se usó al menos una junta flexible.

- a) A un lado de los muros de concreto, a una distancia de la superficie del muro no superior a 0.90m.
- b) En las juntas de dilatación del edificio o próximas a ellas.
- c) A una distancia del techo no superior a 610 mm, en la parte superior de las bajantes a conexiones de mangueras, regaderas en estantería y entreplantas, independientemente del diámetro de la tubería.

Holguras.

Se dejaron holguras alrededor de todas las tuberías que atravesen muros, entrepisos y cimientos, incluidas tuberías auxiliares.

La holgura mínima no debe ser inferior a 25 mm para las tuberías de diámetro comprendido entre 1" y 3 1/2", ni inferior a 50 mm para las tuberías de diámetro igual o superior a 4".

Las holguras se rellenaron con material flexible (espuma de poliuretano), adoptando las medidas adecuadas para evitar el paso del agua, del humo y del fuego.

CÁPITULO V. CONCLUSIONES.

Los centros comerciales hicieron su aparición en Estados Unidos de América en 1957 cuando los grandes almacenes decidieron acercarse a pequeños minoristas para ofrecer sus mercancías y servicios en un solo lugar.

En México lo hicieron en 1969 con la construcción de Plaza Universidad conservando los mismos principios que les dieron origen en Estados Unidos.

A partir de ese momento los diseñadores y propietarios de centros comerciales comenzaron a introducir pequeños cambios, ya sea arquitectónicos o en su oferta comercial, con la finalidad de hacerlos más atractivos para sus clientes potenciales. Es así que se da una evolución que continúa hasta la fecha en la construcción de este tipo de edificios.

Entre los muchos cambios que se han introducido en los centros comerciales se pueden mencionar algunos que han marcado la evolución de los mismos en México.

- a) Incorporación de oficinas con locales comerciales. Este modelo de centro comercial inició con la construcción de Plaza Inn a principios de los años setentas y aunque no se repitió mucho en los años siguientes en la actualidad está retomando fuerza con la creación de oficinas, consultorios médicos y las también llamadas oficinas virtuales.
- b) Incorporación de salas cinematográficas dentro de su oferta comercial.
- c) En 1989 se crea la primera zona de comida rápida en México en Plaza Coyoacán. A partir de ese momento todos los centros comerciales tienen una.
- d) En 1981 con la construcción de Perisur se crea un área específica de bancos con la cual se pueden tener varios servicios en un solo lugar.
- e) Incorporación de pistas, espacios destinados a espectáculos o presentación de artistas. Opción ofrecida en Plaza de las Estrellas.
- f) Creación de pistas de hielo, en las cuales no solo se puede patinar, también se realizan torneos atléticos.

A primera vista los cambios mencionados anteriormente parecieran simples o comunes hoy en día, pero hace poco más de treinta años eran prácticamente impensables.

Como hemos podido observar la evolución de los centros comerciales se da con base en la oferta comercial que se hace a sus posibles y potenciales clientes. Esto a su vez genera una estructura organizacional cada vez más compleja. De cierto modo, y de manera simbólica podemos afirmar que tales espacios no pertenecen más a

sus dueños, pues las estructuras, o mejor dicho, el espacio físico está pensado en complacer, atraer la mirada, las nociones y sensaciones de quienes más tiempo pasan en ellos.

En este afán de atraer y conservar clientes, los diseñadores y propietarios crean edificios cada vez más complejos, pues no solo se deben hacer atractivos, también deben ser seguros, confortables, con una oferta comercial de altura.

La creación de espacios atractivos para los clientes no sólo debe estar referida a edificios nuevos. Recientemente se han remodelado, e incluso ampliado, algunos de los primeros centros comerciales de la Ciudad de México. Como ejemplos podemos mencionar la remodelación a cargo del renombrado arquitecto Javier Sordo Madaleno de Plaza Universidad en 2002, en la cual se construyó un complejo cinematográfico de lo más moderno, y se cambió por completo la imagen de todo el centro comercial. Otro caso digno de mencionar es la ampliación que se llevó a cabo en Perisur al crear 16 salas de cine, y al menos dos ampliaciones al estacionamiento al descubierto.

Con base en información obtenida del periódico “El Financiero”, para los próximos años se contempla la ampliación de Parque Tezontle y Parque Delta, con lo que podemos afirmar que no es extraño este tipo de obras.⁹

Es así como llegamos a GranSur, nuestro caso de estudio. GranSur fue planeado desde un inicio para ser construido en diferentes etapas. La construcción de la ampliación obedeció a un plan trazado previamente.

La primera etapa se construyó sobre un terreno cuya área es de un poco más de 100, 000.00 m². En esta terreno se tienen poco más 35,000.00 m² de locales comerciales, un estacionamiento cubierto y uno más al descubierto con capacidad para cerca de 2000 autos.

Los trabajos de ampliación contemplaron la creación de una estructura de concreto y una más metálica, sobre la totalidad del estacionamiento descubierto para crear las siguientes estructuras nuevas.

- a) 10,700.00 m² de locales nuevos, y áreas de circulación.
- b) Estacionamiento al descubierto a nivel de tienda para 500 autos en 11, 300.00 m².

El objetivo principal del presente trabajo fue dar un panorama general de la construcción de la ampliación de un centro comercial y de sus procesos constructivos, dejando constancia de algunos de los problemas más comunes

⁹ Información obtenida de <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/los-nuevos-centros-comerciales-que-se-alistan-en-la-ciudad-de-mexico.html>

a los que se enfrentarán quienes a ello se dediquen en el futuro, pues como ya vimos con lo anteriormente expuesto, las ampliaciones y/o remodelaciones no son cosa poco común hoy en día.

Para llevar a cabo una obra de esta magnitud en tiempo y forma es de vital importancia contar con un proyecto ejecutivo completamente terminado y que no se permitan cambios durante la ejecución de la obra. De presentarse esta última situación, se afectan los costos de la obra en general y la duración de la misma. En particular la solución a los problemas presentados durante la obra y la ejecución de trabajos debidos a cambios en el proyecto arquitectónico tuvieron un impacto aproximado de 60 días laborales. Si tomamos en cuenta que en la obra intervinieron alrededor de 500 personas, los costos fueron significativos.

La planeación es un aspecto fundamental para satisfacer las necesidades de la obra y al mismo tiempo afectar a la menor cantidad de usuarios y/o clientes. Es muy importante recordar que durante este tipo de ampliaciones o remodelaciones los centros comerciales no cierran sus puertas a los clientes habituales. Por esta razón se debe contar una planeación flexible y una ejecución de trabajos de obra rigurosa que ayude a evitar accidentes, tanto de personal de obra como de los posibles clientes, ya que ambos conviven en el espacio propio de la obra, o cercano a la misma. Es importante resaltar que el ignorar sistemáticamente la planeación, la seguridad y los cuidados en la realización de los trabajos, puede exponer a quienes laboran dentro de la obra y a clientes, a lesiones, demandas, multas y hasta clausuras por parte de las autoridades correspondientes.

La coordinación entre el personal que está a cargo de la obra y aquellos encargados de la administración del centro comercial debe ser constante y fluida. La realización de algunos trabajos no puede llevarse a cabo dentro de las áreas comunes sin la autorización de la administración y durante ciertos horarios, lo que ocasiona que los trabajos tengan que ser planeados y en ocasiones reprogramados una y otra vez. Es por esta razón que se dijo en el párrafo anterior que la planeación debe ser flexible y ajustarse a lo dispuesto por la administración.

En otras ocasiones es el personal de obra el que tiene la responsabilidad de establecer las formas y los criterios para la realización de los trabajos, siempre en coordinación y comunicación con la administración para evitar accidentes.

El personal encargado de dirigir los trabajos debe ser calificado y contar con experiencia suficiente para resolver los problemas que se presentan durante la duración de la obra. Debe además de ser capaz de detectar y anticipar situaciones que pudieran interferir no sólo con la obra, sino además con la operación del centro comercial. Debe ser capaz de coordinar y coordinarse con el personal técnico de la obra, los trabajadores de las diferentes áreas y con la administración y los propietarios.

Con respecto a la obra, en términos generales, se deben cuidar tres aspectos que hacen de ella una obra de calidad. Estos aspectos son:

- a) Seguridad: Toda obra debe ser segura para sus ocupantes.
- b) Costo: Se debe llevar a cabo a un costo razonable.
- c) Tiempo: Debe construirse en el menor tiempo posible.

Con base en mi experiencia el aspecto más importante es el tiempo. Ello no significa de modo alguno que los otros dos deban descuidarse o hacerse a un lado. En el caso particular de la ampliación de GranSur, el tiempo siempre fue un factor determinante en la obra, pues la operación y los clientes del centro comercial debieron afectarse lo menos posible.

La forma de hacer esto posible fue mediante la elección una estructura de concreto postensada (utilizada para la construcción del estacionamiento, los pasillos y áreas de locales), y una estructura metálica (utilizada para la nave de locales y dar soporte a la cubierta). Ambos métodos constructivos permitieron ahorros significativos en tiempo.

Las estructuras de concreto postensadas son usadas tradicionalmente en grandes obras, tales como puentes de concreto, pero poco a poco se han ido aceptando y adaptando a otro tipo de obras, como por ejemplo, edificios de oficinas, vivienda y centros comerciales. Este tipo de estructuras permiten colar grandes áreas y descimbrarlas en un corto periodo. En nuestro caso particular, fuimos capaces de construir la losa de nivel de tienda y el estacionamiento (aproximadamente 23,000.00 m²) en 19 semanas.

La estructura metálica también permitió ahorros significativos en el tiempo de construcción pues muchos de los elementos pudieron ser fabricados en taller y ser montados en obra. La estructura metálica permite salvar grandes claros, lo que permitió ahorros en mano de obra y tiempo en los procesos constructivos.

En el trabajo se mencionaron y destacaron los siguientes problemas y sus soluciones:

- 1) Durante los trabajos de excavación se encontró material de muy baja calidad para soportar la estructura. El problema se solucionó replanteando la cimentación mediante la integración de pilas bajo cada una de las columnas y zapatas en sentido perpendicular a las originalmente planteadas.
- 2) También durante los trabajos para la cimentación, se encontró que la posición de una columna coincidió con la losa tapa del pozo de absorción de aguas pluviales del centro comercial, haciendo imposible colocarla en ese lugar. La solución se materializó mediante la eliminación de la columna, la pila, la

interrupción de las zapatas alrededor del pozo y el cambio de secciones de concreto de tal forma que se librara el claro.

- 3) A medida que los trabajos de cimentación se extendieron por todo el estacionamiento, se obstruyó la salida de vehículos que da hacia Av. Periférico, por lo tanto fue necesario crear una entrada y salida de vehículos nuevas en un punto que no se tenía considerado en la planeación.
- 4) Se solicitó, por parte de los propietarios, la creación de un lucernario adicional sobre la cubierta ya instalada en el pasillo que da al estacionamiento. Este cambio se solucionó cortando la cubierta y llevando nuevas instalaciones y haciendo cambios al proyecto de acabados.
- 5) El último cambio significativo consistió en la demolición de una columna de concreto que conecta el pasillo de la ampliación con el cuerpo antiguo de la primera etapa. La solución se llevó a cabo cortando la cubierta y fabricando una armadura metálica nueva.

El haber trabajado en esta obra las experiencias y aprendizajes fueron muchos, valiosos porque:

- 1) Me permitió participar desde la fase del diseño arquitectónico del centro comercial mediante algunas consultas y sugerencias que posteriormente se aplicaron en obra. Debo reconocer que el mérito del diseño corresponde a los destacados arquitectos de Taller III arquitectura.
- 2) Como encargado de la supervisión de obra civil y acabados, me fue posible aprender a trabajar en equipos que involucran distintas disciplinas para resolver problemas comunes a la obra.
- 3) Aprendí y conocí acerca de nuevos materiales de construcción y nuevos procesos constructivos. Me refiero específicamente a la colocación de fachada de aluminio y los sistemas postensados.
- 4) Aprendí que la comunicación, organización y coordinación de los distintos grupos de trabajo es fundamental para llevar a cabo los trabajos en tiempo y forma. Por grupos de trabajo me refiero, no solamente a aquellos que ejecutan los trabajos, específicamente me refiero a aquellos que se formaron entre los propietarios, la administración del centro comercial, los contratistas de la obra y la supervisión.
- 5) Me permitió darme cuenta que sin importar cuan cuidadosa se la planeación se tenga en una obra, siempre surgirán problemas que no se tenían contemplados y que se deberán resolver paralelamente a la ejecución de otros trabajos.
- 6) Con respecto a los procesos constructivos, fueron tantos y tan variados que no se puede hablar de todos ellos. Sin embargo resaltaría el uso de los concretos postensados y la estructura metálica. Sin estos procesos no habría sido posible concluir en tiempo la obra.

Anexo 1. Trabajos de campo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante los sondeos de penetración estándar en el estacionamiento del centro comercial GranSur.



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

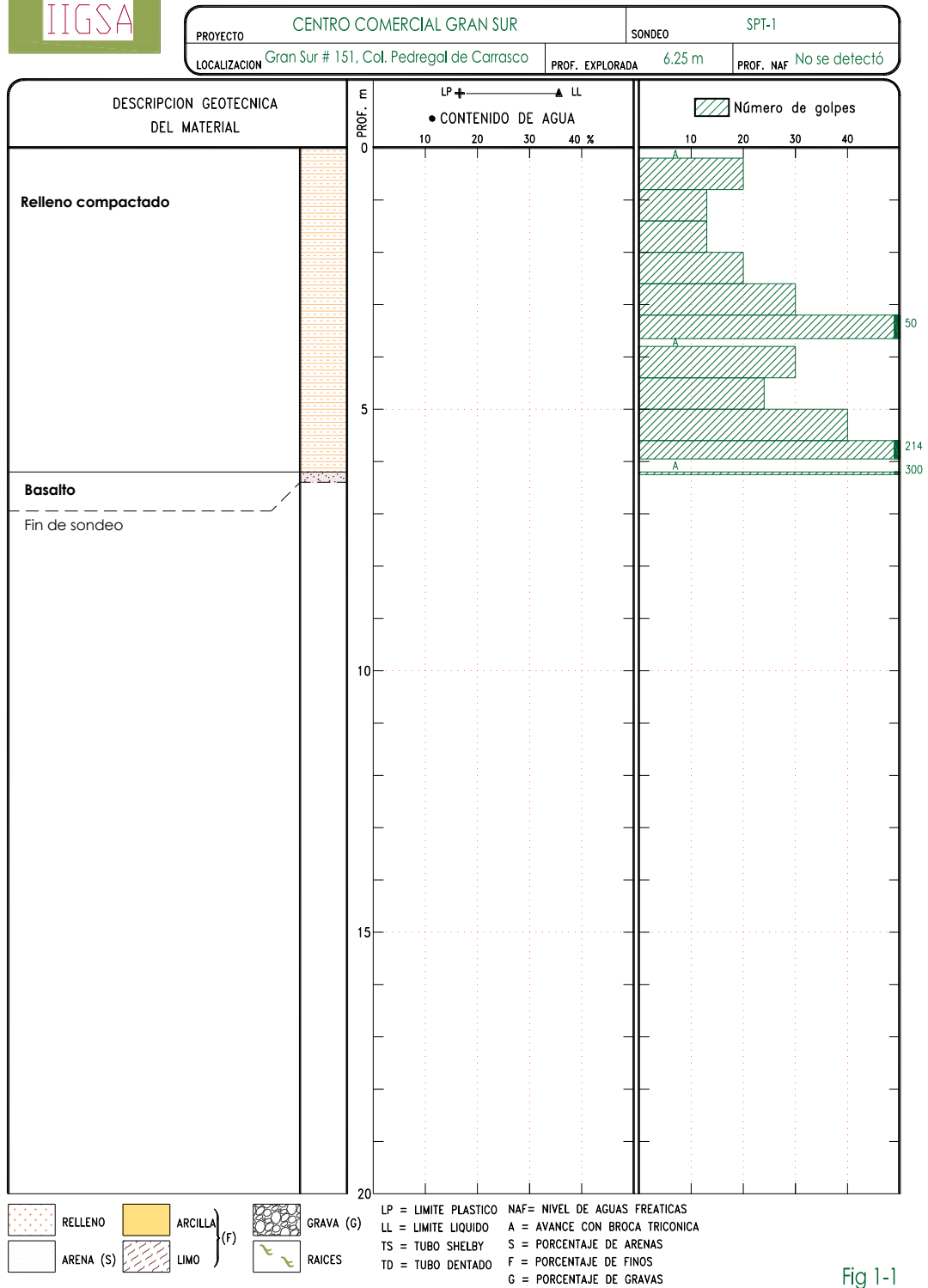
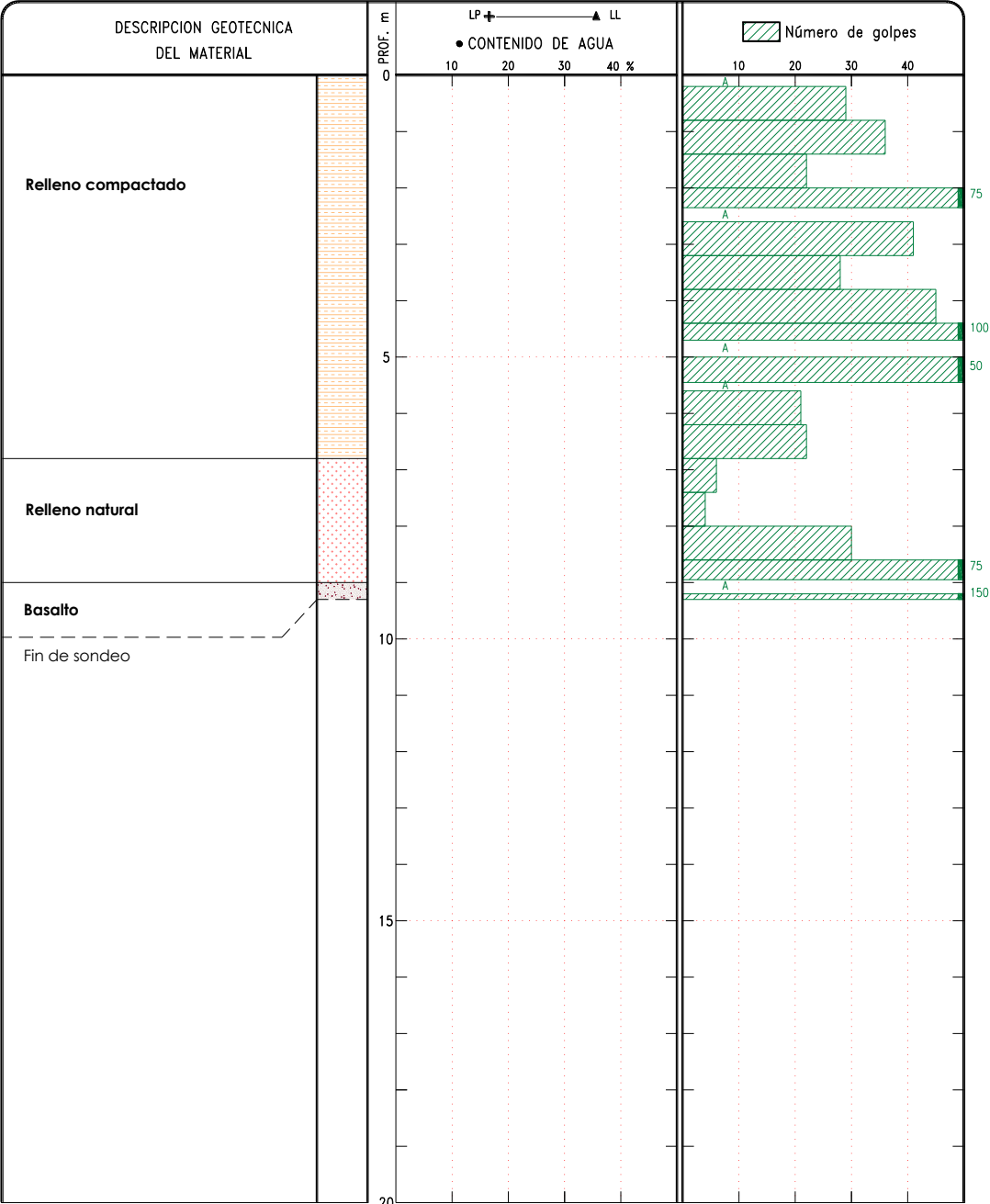


Fig 1-1



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-2
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	9.30 m
		PROF. NAF	No se detectó



- RELLENO
 - ARCILLA
 - GRAVA (G)
 - ARENA (S)
 - LIMO
 - RAICES
- LP = LIMITE PLASTICO NAF = NIVEL DE AGUAS FREATICAS
 LL = LIMITE LIQUIDO A = AVANCE CON BROCA TRICONICA
 TS = TUBO SHELBY S = PORCENTAJE DE ARENAS
 TD = TUBO DENTADO F = PORCENTAJE DE FINOS
 G = PORCENTAJE DE GRAVAS

Fig 1-2



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-3
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	7.00 m
		PROF. NAF	No se detectó

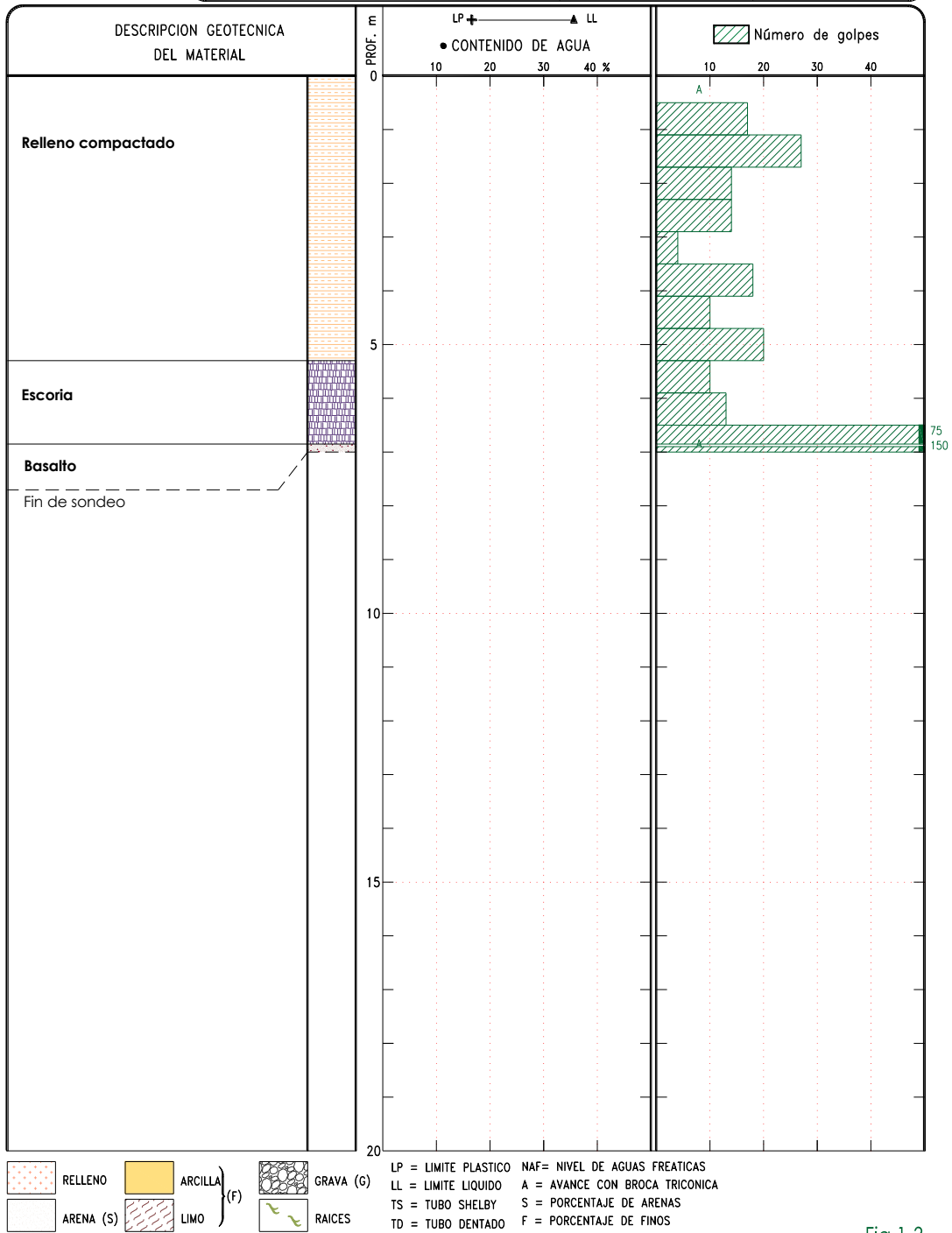


Fig 1-3



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-4
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	10.35 m
		PROF. NAF	No se detectó

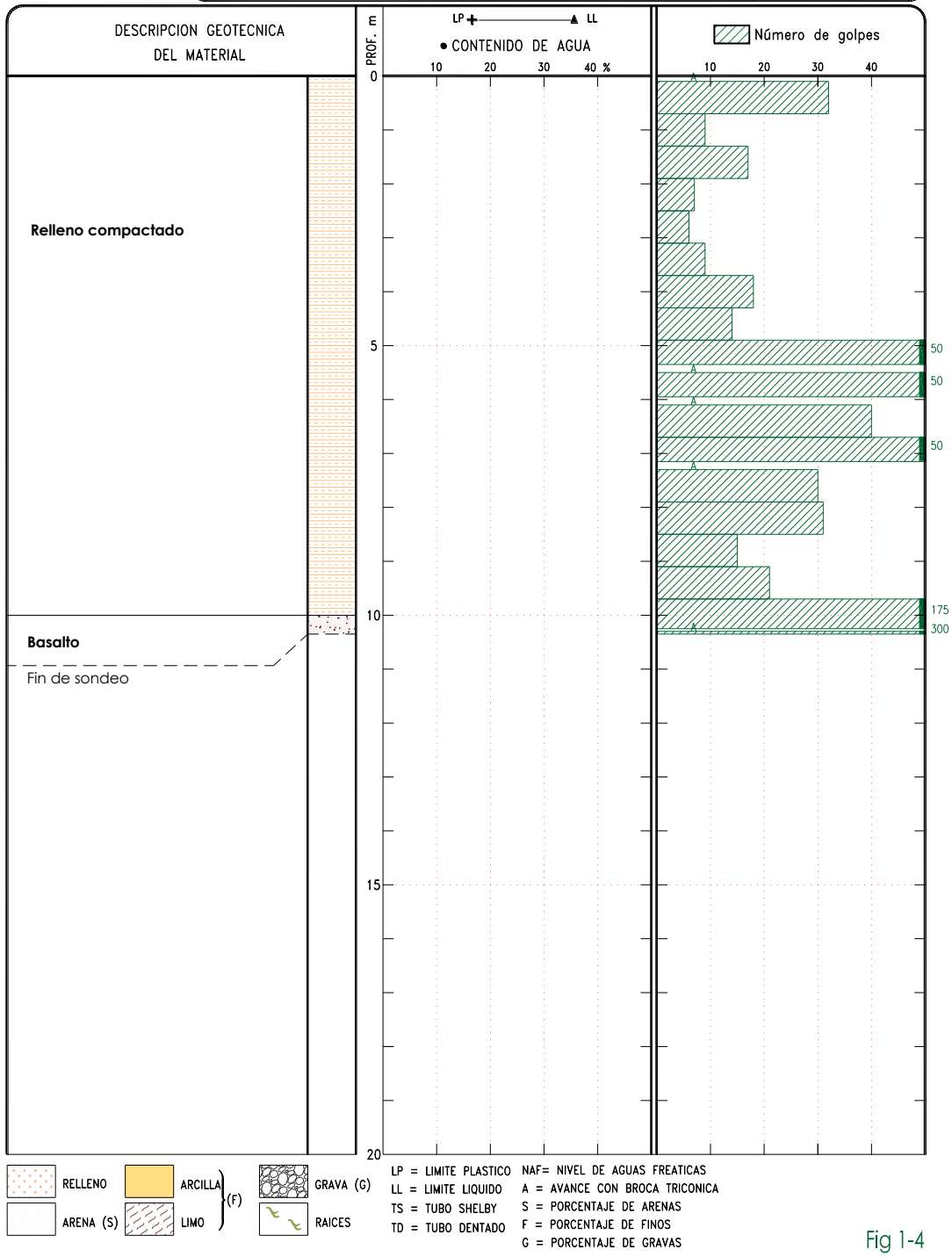


Fig 1-4



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-5
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	1.40 m
		PROF. NAF	No se detectó

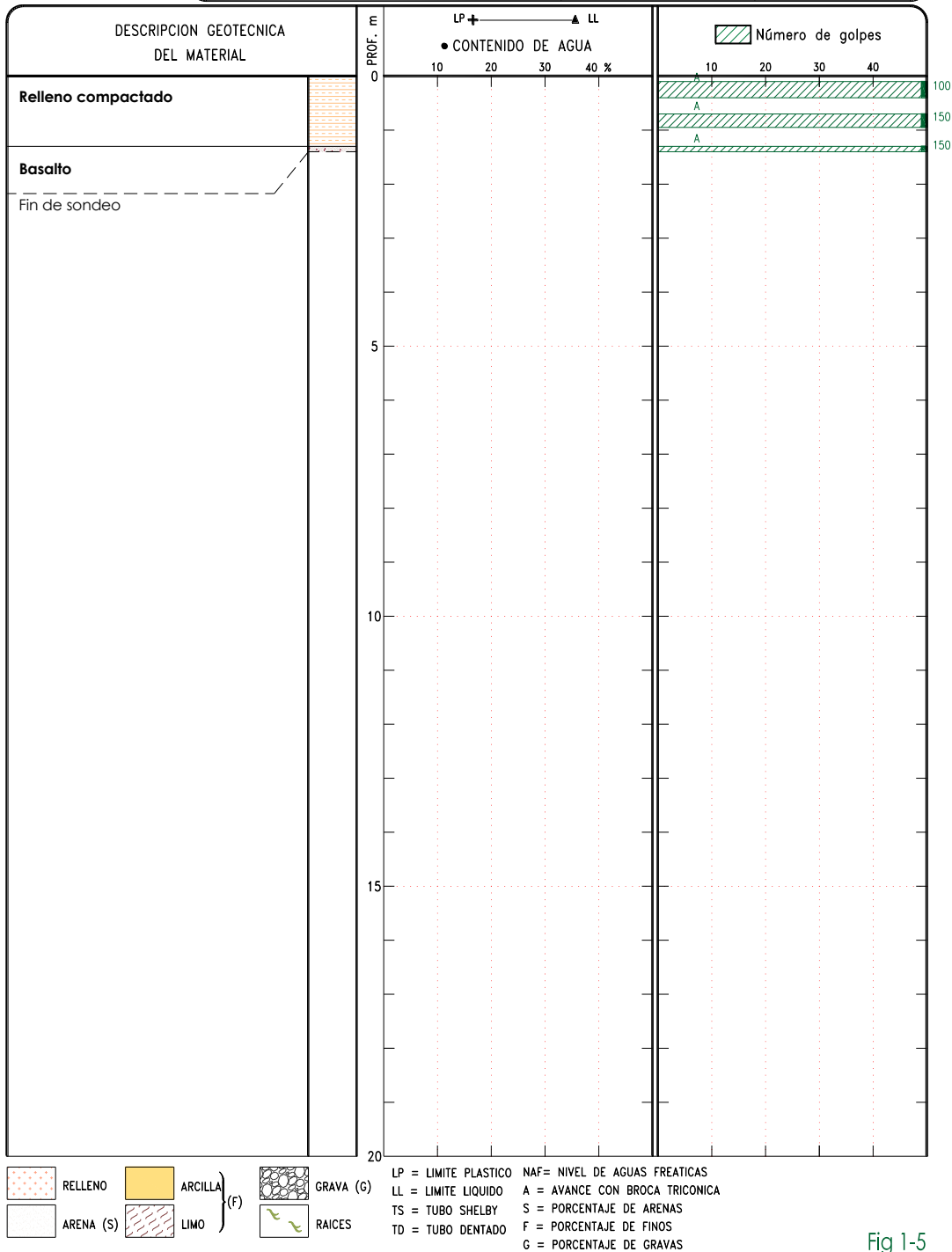


Fig 1-5



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-6
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	5.23 m
		PROF. NAF	No se detectó

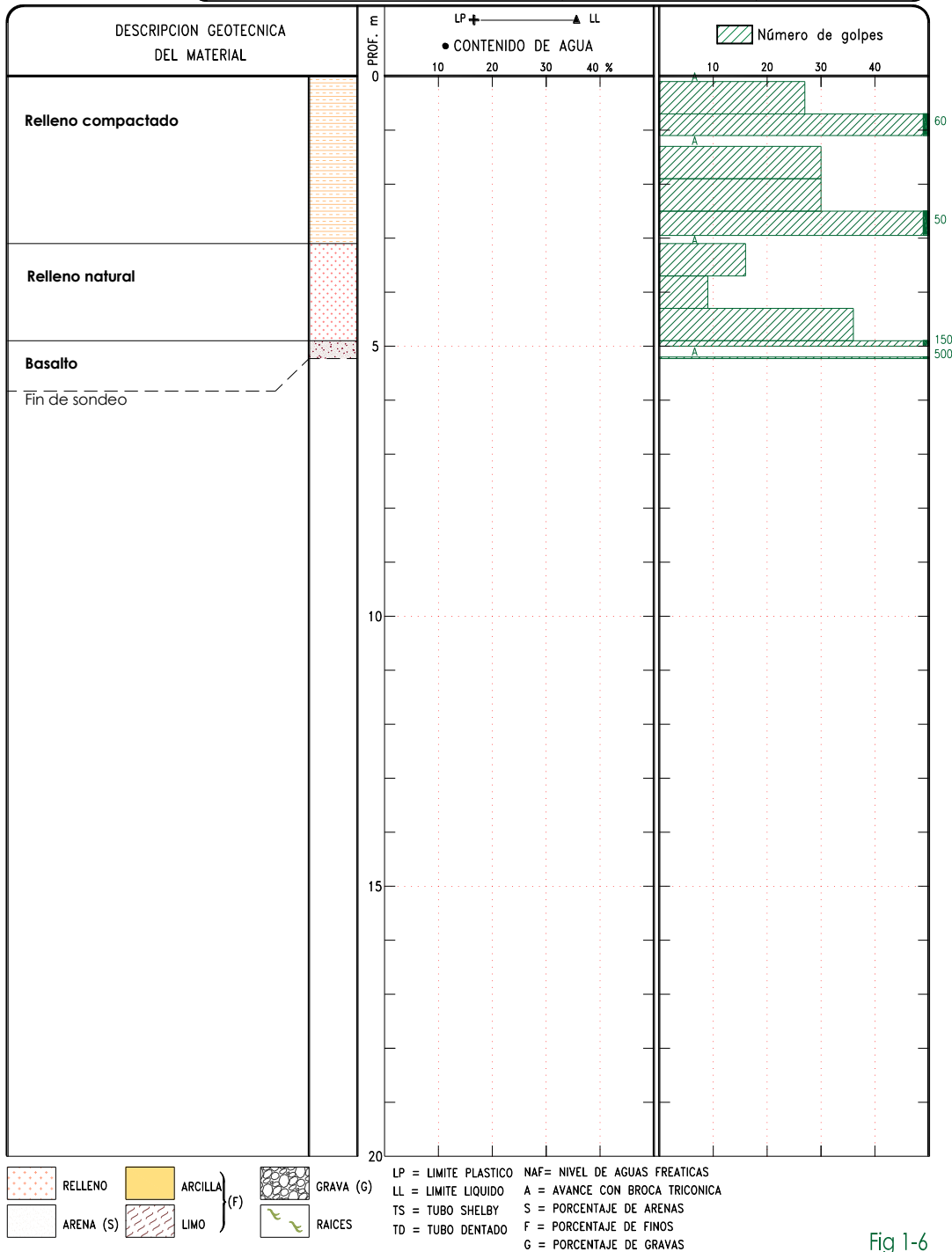
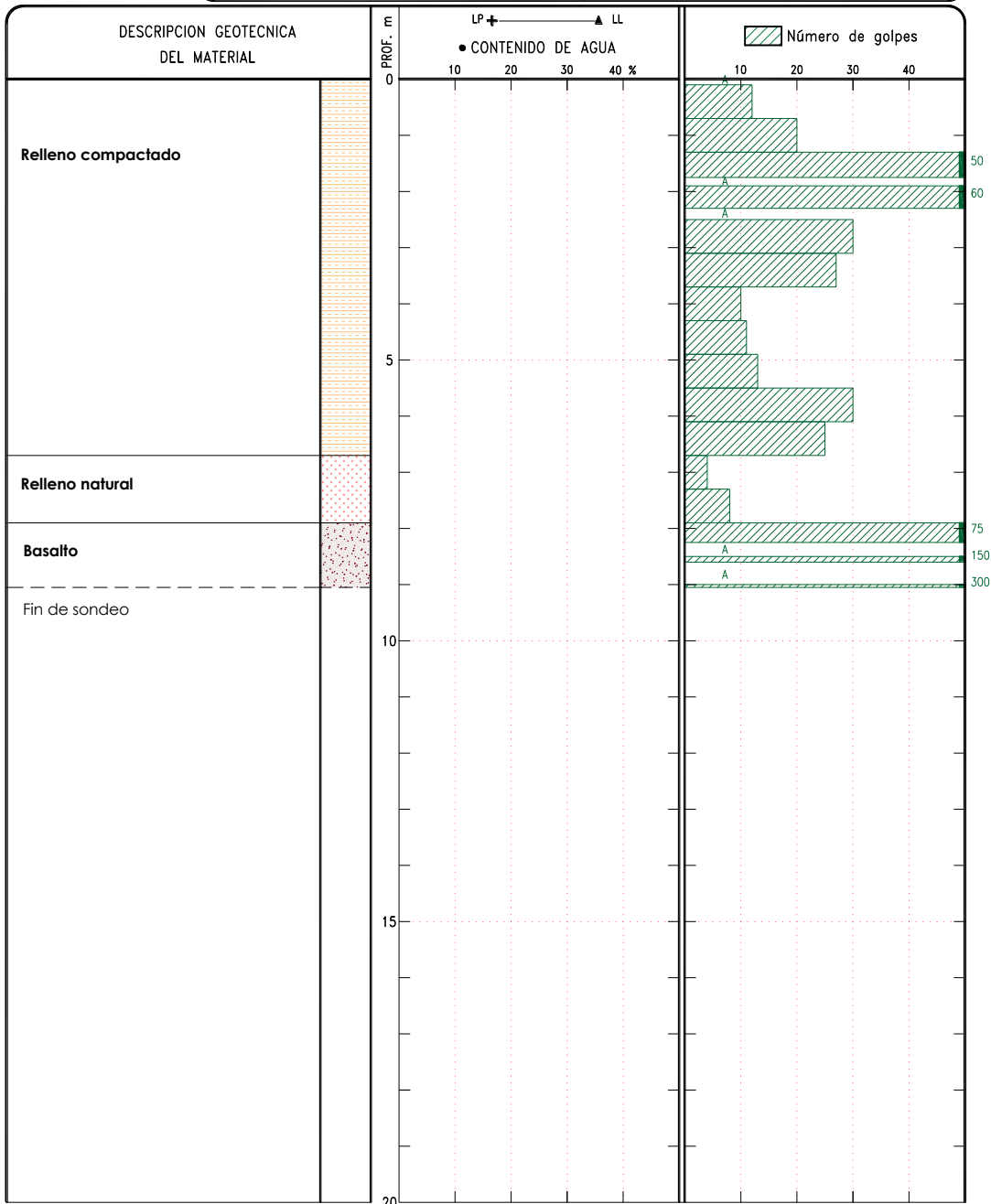


Fig 1-6



SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL GRAN SUR	SONDEO	SPT-7
LOCALIZACION	Gran Sur # 151, Col. Pedregal de Carrasco	PROF. EXPLORADA	9.05 m
		PROF. NAF	No se detectó



- | | | | | | |
|-----------|---------|-------|-----------|----------------------|--------------------------------|
| RELLENO | ARCILLA | } (F) | GRAVA (G) | LP = LIMITE PLASTICO | NAF = NIVEL DE AGUAS FREATICAS |
| ARENA (S) | LIMO | | RAICES | LL = LIMITE LIQUIDO | A = AVANCE CON BROCA TRICONICA |
| | | | | TS = TUBO SHELBY | S = PORCENTAJE DE ARENAS |
| | | | | TD = TUBO DENTADO | F = PORCENTAJE DE FINOS |
| | | | | | G = PORCENTAJE DE GRAVAS |

Fig 1-7

Bibliografía.

1. Gómez Navarro, Enrique, “Centros comerciales. Ventajas competitivas y diseño del futuro”, en Distribución y consumo, núm. 18, oct.-nov. 1994, p. 70. Recuperado de: http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_1994_18_70_80.pdf.
2. Arnal, S. L. (2005), *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, México: Editorial Trillas.
3. “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones”. - Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto en Arnal Simón, Luis, *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Editorial Trillas. México, 2005.
4. “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones”- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo en Arnal Simón, Luis, *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Editorial Trillas. México, 2005.
5. “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones”- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Cimentaciones en Arnal Simón, Luis, *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Editorial Trillas. México, 2005.
6. “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones”- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de estructuras de Mampostería en Arnal Simón, Luis, *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Editorial Trillas. México, 2005.
7. “Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones”- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción y Construcción de Estructuras Metálicas en Arnal Simón, Luis, *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Editorial Trillas México, 2005.
8. Nilson, A.H. (1990) *Diseño de estructuras de concreto presforzado*, México: Editorial Limusa.
9. Horowitz, H.(1997) *Soldadura, aplicaciones y práctica*. Alfaomega grupo editor. México.
10. Valle, Ana “Los nuevos centros comerciales que se alistan en México” en Empresas, El Financiero, 14 de abril de 2014. Recuperado de : <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/los-nuevos-centros-comerciales-que-se-alistan-en-la-ciudad-de-mexico.html>.