

II. ESTUDIOS PREVIOS

II.1 ESTUDIO DE VIALIDAD

Para este punto se realizaron una serie de estudios de tránsito y aforo vehicular en el circuito interior del Distrito Federal, y para el caso que nos compete en el cruce con Av. Ermita y Av. Las Torres, estos estudios se dividen en:

- Antecedentes
- Trabajos de Campo
- Captura y procesamiento de la información
- Análisis de aforos y determinación del TDPA (Tránsito Diario Promedio Anual)
- Análisis de tránsito
- Análisis de capacidad actual
- Análisis de capacidad de proyecto

A continuación se detallará un poco más cada uno de los estudios realizados y mencionados anteriormente.

ANTECEDENTES

Dentro de la ciudad de México en el Distrito Federal se cuenta con varias vialidades importantes para el mismo, una de ellas es el circuito interior (Río Churubusco), ya que se constituye como una vialidad de acceso controlado en su mayor parte.

El resto de su longitud está operado con semáforos, como los comprendidos entre el eje 4 Sur Xola hasta Calzada de la Viga, de la Calzada de la Viga a Calzada de Tlalpan y de Calzada de Tlalpan a Av. Universidad. En el tramo comprendido entre Av. Universidad y Av. Revolución se tiene solo un cuerpo por sentido. A partir de Molinos se inicia un par vial formado por Av. Revolución de norte a sur y Av. Patriotismo en sentido sur-norte. Estas vialidades están operando con semáforos.

La sección transversal del circuito interior, en el tramo de acceso controlado, es en general de 3 carriles por sentido en los cuerpos centrales, y en los arroyos laterales se tienen dos carriles de circulación. En los tramos controlados por semáforos la sección transversal es variable, los carriles centrales de Av. Río Churubusco con Av. Las Torres y Av. Ermita son de 3 carriles, y los arroyos laterales son de dos carriles.

En el tramo comprendido entre Av. Universidad y Av. Molinos se tiene solo un cuerpo por sentido, con 5 carriles en promedio. El par vial formado por Av. Revolución y Av. Patriotismo tienen 6 y 7 carriles por sentido operando con semáforos. En el cruce de Extremadura, con sentido de oriente a poniente y cruce con Av. Patriotismo con sentido de Sur a Norte se cuenta con 5 carriles por sentido, operando con semáforos.

TRABAJOS DE CAMPO

Con la finalidad de verificar la cantidad de vehículos que transitan por los lugares de interés para el proyecto se realizaron aforos vehiculares en seis intersecciones semaforizadas ubicadas en la parte sur del Circuito Interior.

Estos aforos se realizaron durante un día hábil, realizando dos clasificaciones generales por cuerpo central y cuerpo lateral en ambos sentidos y tomando en cuenta la siguiente clasificación vehicular.

AUTOS PICK UP MICROBUSES BUSES B2 B3 C2 C3 T2-S2 T3-S2 T3-S3
T3-S2-R2 T3-S2-R3 T3-S2-R4

La designación de estas siglas son proporcionadas por la SCT

AFOROS VEHICULARES.

Para conocer la operación del tránsito y los movimientos vehiculares que se generan en los cruceros en estudio fueron realizados los aforos direccionales durante 9 horas, en un día hábil de la semana, en todos los accesos de las intersecciones en estudio.

Estos trabajos se realizaron en tres horarios distintos tomando en cuenta las llamadas horas pico, un primer horario fue de las 7:00 a las 10:00 horas en el periodo de la mañana, el siguiente periodo comprende de las 12:00 horas hasta las 15:00 horas para tomar en cuenta el periodo del medio día. Y por último se verifico el aforo desde las 17:00 horas hasta las 20:00 horas.

Lo que se realizo en cada uno de los tres horarios anteriores fue el registro del tránsito de paso por una sección dada de la vialidad, efectuando los conteos en periodos de cada 15 minutos y se realizo una clasificación del tránsito según los diferentes tipos de vehículos como son autos, microbuses, autobuses y camiones de carga, con sus diferentes ejes.

El objetivo principal de este estudio fue conocer la variación horaria del tránsito e identificar la hora de máxima demanda (HMD) por la mañana, al medio día y por la tarde.

Esta información permitió estimar posteriormente los parámetros cualitativos y cuantitativos de la calidad y eficiencia del tránsito en los cruceros, tales como la capacidad y el nivel de servicio.

INVENTARIOS DE SEMAFOROS.

Se hizo el inventario de semáforos en cada uno de los cruceros en estudio, identificando los tipos de soporte de los semáforos ya sea en poste o en mensura y ubicando su posición en el crucero. También se registraron los programas con los cuales están operando los semáforos, obteniendo las fases y los tiempos de cada fase.

CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION

Después de tener todos los datos del aforo vehicular se realiza la captura de la información obtenida en campo en un formato específico, obteniendo la clasificación desglosada de cada cuerpo, tanto el central como el lateral y además por sentido.

Esta información se presenta en tablas para su mejor comprensión, a continuación se muestra una de ellas como ejemplo de los resúmenes de dichos aforos realizados en uno de los puntos.

ACCESO: LAS TORRES

SENTIDO: VUELTA IZQUIERDA

CLASIFICACIÓN VEHICULAR POR PERIODOS DE 15 MINUTOS

PERIODO	AUTOS	PICK UP	MICRO	BUS	B2	B3	C2	C3 Y C4	C5 Y C6	C7, C8, C9	TOTAL
06:00 – 06:15											0
06:15 – 06:30											0
06:30 – 06:45											0
06:45 – 07:00											0
07:00 – 07:15											0
07:15 – 07:30											0
07:30 – 07:45											0
07:45 – 08:00											0
08:00 – 08:15	33	5	3	1			2				44
08:15 – 08:30	36	3	4	2			3				48
08:30 – 08:45	36	4	7	4			2				53
08:45 – 09:00	40	6	6	2							54
09:00 – 09:15	29	3	2								34
09:15 – 09:30	34	2	4	2							42
09:30 – 09:45	33	5	3	1							42
09:45 – 10:00	36	3	4	2							45
10:00 – 10:15	32	3	1	1			2	1			40
10:15 – 10:30	29	3	2								34
10:30 – 10:45	34	2	4	2			3				45
10:45 – 11:00	36	4	2	2				2			46
11:00 – 11:15											0
11:15 – 11:30											0
11:30 – 11:45											0
11:45 – 12:00											0
12:00 – 12:15	36	4	7	4			2	2			55
12:15 – 12:30	40	6	6	2							54
12:30 – 12:45	36	5	7	2			3				53
12:45 – 13:00	46	6	5	3			1				61
13:00 – 13:15	40	2	4	1							47

13:15 – 13:30	33	5	3	1			2					44
13:30 – 13:45	36	3	4	2			3					48
13:45 – 14:00	41											41
14:00 – 14:15	40	4	6	3			2					55
14:15 – 14:30	43	6	5	2			1					57
14:30 – 14:45	42	5	7	1			3					58
14:45 – 15:00	44	3	5	3			2					57
15:00 – 15:15												0
15:15 – 15:30												0
15:30 – 15:45												0
15:45 – 16:00												0
16:00 – 16:15												0
16:15 – 16:30												0
16:30 – 16:45												0
16:45 – 17:00												0
17:00 – 17:15	45	6	3				1					56
17:15 – 17:30	32	7	5									44
17:30 – 17:45	49	4	4				3					65
17:45 – 18:00	46	6	3									57
18:00 – 18:15	58	5	5				2					72
18:15 – 18:30	60	6	6				6					82
18:30 – 18:45	64	8	9				4					87
18:45 – 19:00	81	5	8				5					104
19:00 – 19:15	68	4	3				1					79
19:15 – 19:30	79	8	7				3					102
19:30 – 19:45	75	10	9				5					106
19:45 – 20:00	78	11	5				5					104
20:00 – 20:15												0
20:15 – 20:30												0
20:30 – 20:45												0
20:45 – 21:00												0
21:00 – 21:15												0
21:15 – 21:30												0
21:30 – 21:45												0
21:45 – 22:00												0
TOTAL	1620	172	168	84	0	0	66	5	0	0	0	2115

Tabla 1. Aforos de 9 horas en la estación 1 Las Torres

Teniendo la información anterior se agrupan los diferentes tipos de vehículos en 5 clases, siendo estos los siguientes:

- Autos
- Buses
- Camiones unitarios
- Camiones articulados 1
- Camiones articulados 2

Obteniendo una tabla como la que se muestra enseguida por cada cuerpo (central y lateral) y por sentido:

PERIODO	AUTOS	TAXIS	COMBIS	MICROBUS	BUSES	FORANEOS	C2	C3 Y C4	C5 Y C6	C7 o MAS	0	TOTAL
06:00 - 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00 - 08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 09:00	4517	161	32	22	5	10	35	0	0	0	0	4782
09:00 - 10:00	4020	77	38	16	1	0	15	0	0	0	0	4167
10:00 - 11:00	4425	178	39	19	4	8	18	4	2	0	0	4697
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	5010	210	59	27	0	11	30	2	0	0	0	5349

13:00 - 14:00	4659	191	45	15	4	7	44	1	0	0	0	4966
14:00 - 15:00	4775	209	51	22	2	3	47	3	0	0	0	5112
15:00 - 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00 - 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	4372	179	51	24	0	4	22	0	0	0	0	4652
18:00 - 19:00	4960	176	71	28	1	5	38	0	7	0	0	5286
19:00 - 20:00	4967	170	56	27	1	3	27	0	0	0	0	5251
20:00 - 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	41705	1551	442	200	18	51	276	10	9	0	0	44262
	94%	3.5%	1.0%	0.5%	0.0%	0.1%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	

Tabla 2. Resumen Por Hora de la Intersección 1 Las Torres.

ANALISIS DE AFOROS Y DETERMINACION DEL TPDA

Como se menciona anteriormente se realizo el aforo en las seis intersecciones 9 horas del día durante un día hábil de la semana, tomando en cuenta la separación de central y lateral de la Av. Río Churubusco, según si le correspondía el caso.

Después de capturar y procesar la información del tránsito obtenido durante las 9 horas de un día de la semana, se aplicaron los factores diario, semanal y mensual para obtener un tránsito promedio diario.

Estación 1 Circuito Interior (Río Churubusco) y Av. De las Torres (Cuerpo Central)

En esta estación se aforo el día 01/Julio/08 y aplicándole los factores correspondientes se obtuvo lo siguiente:

AFORO DIRECCIONAL EN CERRO DE LAS TORREES VIA LACTEA

ESTACION: 4 ACCESOS
TODOS LOS MOVIMIENTOS

	AUTOS	MICROBUS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
FACTOR DIA	0.4934	0.4934	0.4934	0.4934	
VOLUMEN 24 H	88573	405	140	598	89716
FACTOR SEM	1.0089	1.0089	1.0089	1.0089	
VOLUMEN SEM	87792	401	139	593	88925
FACTOR MES	1.095	1.095	1.095	1.095	
TPDA	80175	366	127	542	81210

Tabla 3. TDPA Río Churubusco y Av. De las Torres (Cuerpo Central)

Obteniendo el TDPA de 81,210 vehículos en esta intersección.

Estación 1 Las Torres (Cuerpo Lateral)

AFORO DIRECCIONAL EN CERRO DE LAS TORREES VIA LACTEA

ESTACION: 4 ACCESOS

TODOS LOS MOVIMIENTOS

	AUTOS	MICROBUS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
FACTOR DIA	0.4934	0.4934	0.4934	0.4934	
VOLUMEN 24 H	97005	438	162	651	98256
FACTOR SEM	1.0089	1.0089	1.0089	1.0089	
VOLUMEN SEM	96150	434	161	645	97390
FACTOR MES	1.095	1.095	1.095	1.095	
TPDA	87808	396	147	589	88940

Tabla 4. TDPA Río Churubusco y Av. De las Torres (Cuerpo Lateral)

Obteniendo el TDPA de 88,940 vehículos en esta intersección

Estación 2 Circuito Interior (Río Churubusco) y Ermita Iztapalapa (Cuerpo Central)

En esta estación se aforo el día 01/Julio/08 y aplicándole los factores correspondientes se obtuvo lo siguiente:

AFORO DIRECCIONAL EN RIO CHURUBUSCO Y ERMITA IZTAPALAPA

TODOS LOS MOVIMIENTOS

	AUTOS	MICROBUS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
FACTOR DIA	0.4934	0.4934	0.4934	0.4934	
VOLUMEN 24 H	87600	859	955	1638	91052
FACTOR SEM	1.0089	1.0089	1.0089	1.0089	
VOLUMEN SEM	86828	851	947	1624	90250
FACTOR MES	1.095	1.095	1.095	1.095	
TPDA	79295	777	865	1483	82420

Tabla 5. TDPA Río Churubusco y Calz. Ermita Iztapalapa (Cuerpo Central)

Obteniendo el TDPA de 82,420 vehículos en esta intersección.

Estación 2 Circuito Interior (Río Churubusco) y Ermita Iztapalapa (Cuerpo Lateral)

AFORO DIRECCIONAL EN ERMITA LATERAL

ESTACION: 4 ACCESOS

TODOS LOS MOVIMIENTOS

	AUTOS	MICROBUS	BUSES	CAMIONES	TOTAL
FACTOR DIA	0.4934	0.4934	0.4934	0.4934	
VOLUMEN 24 H	56120	835	866	3571	61392
FACTOR SEM	1.0089	1.0089	1.0089	1.0089	
VOLUMEN SEM	55625	828	858	3540	60851
FACTOR MES	1.095	1.095	1.095	1.095	
TPDA	50799	756	784	3233	55572

Tabla 6. TDPA Río Churubusco y Calz. Ermita Iztapalapa (Cuerpo Lateral)

Obteniendo el TDPA de 55,572 vehículos en esta intersección.

ANALISIS DEL TRANSITO

ESTACION 1 LAS TORRES

CARRILES CENTRALES.- El flujo total observado de sur a norte fue de 20,902 Vehículos. De norte a sur con 18,793 Vehículos, de poniente a oriente un flujo total de 13,405 Vehículos. Compuesto por 4,596 Vehículos. En carriles centrales, y 8,809 Vehículos. En carriles laterales.

Las horas de máxima demanda en carriles centrales son de 8 a 9 en la mañana con un total de 4,789 Vehículos., al medio día de 12 a 13 horas con 5,349 Vehículos. Y por la noche de las 18:30 a 19:30 horas con 5,816 Vehículos.

El TPDA en carriles centrales, es de 81,210 Vehículos.

CARRILES LATERALES.- Las horas de máxima demanda en carriles laterales son de 8 a 9 en las mañana con un total de 5,267 Vehículos., al medio día de 13:30 a 14:30 horas con 5,967 Vehículos. Y por la noche de las 18:30 a 19:30 horas con 6,008 Vehículos.

El TDPA en carriles laterales es de 88,940 Vehículos.

ESTACION 2 CALZADA ERMITA IZTAPALAPA

CARRILES CENTRALES.-El flujo total observado de norte a sur fue de 20,716 Vehículos. Compuesto en carriles centrales de 14,958 Vehículos. Y en carriles laterales 5,803 Vehículos. Un flujo total de sur a norte de 17,376 Vehículos. Compuesto en carriles centrales 14,294 Vehículos. Y en carriles laterales 3,082 Vehículos., de poniente a oriente un flujo total de 15,258 Vehículos., de oriente a poniente con un flujo total de 425 Vehículos.

Las horas de máxima demanda en carriles centrales son de 10 a 11 en la mañana con 5,064 Vehículos., al medio día de 12:30 a 13:30 horas con 5,963 Vehículos., y por la noche de las 17:30 a 18:30 horas con 5,573 Vehículos.

El TDPA en carriles centrales, es de 82,420 Vehículos.

CARRILES LATERALES.- Las horas de máxima demanda en carriles laterales son de 8:30 a 9:30 en la mañana con 3,256 Vehículos., al medio día de 14 a 15 horas con 3,739 Vehículos. Y por la noche de las 17:15 a 18:15 horas con 4,260 Vehículos.

El TDPA en carriles laterales es de 55,572 Vehículos.

ANALISIS DE CAPACIDAD ACTUAL

Con la información recopilada en campo (aforos direccionales e inventario de semáforos) y la determinación de las horas de máxima demanda en cada una de las intersecciones estudiadas se procedió a determinar el nivel de servicio de cada una de las intersecciones.

Con ayuda de un programa de análisis de capacidad Syncho en su versión 5, se procedió a determinar los niveles de servicio de cada intersección. Los niveles de servicio se determinan de acuerdo al Highway Capacity Manual de los Estados Unidos de América, los cuales se determinan de acuerdo a la demora en la intersección. En la siguiente tabla se observan las demoras en la intersección y su nivel de servicio correspondiente.

NIVELES DE SERVICIO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA POR VEHICULO	OPERACION
A	< = 5 seg	EXCELENTE
B	5.1 a 15 seg	BUENA
C	15.1 a 25 seg	ACEPTABLE
D	25.1 a 40 seg	MALA
E	40.1 a 60 seg	MUY MALA
F	> = 60 seg	FUERA DE CONTROL

Fuente: Highway Capacity Manual. Ed. 2000. Transportation Research Board, U.S.A.
 Tabla 7 Niveles de Servicio del HCM

Aplicando el programa Syncho en su versión 5, se obtuvieron los niveles de servicio de cada una de las intersecciones estudiadas, dando como resultado en el tramo que nos compete lo siguiente:

AV. RIO CHURUBUSCO Y CALZADA ERMITA IZTAPALAPA

Se determinaron los niveles de servicio para cada una de las horas de máxima demanda, obteniendo lo siguiente:

Periodo	Nivel de Servicio
AM	C
MD	C
PM	C

Lo cual indica que esta intersección está funcionando aceptablemente durante sus tres periodos de máxima demanda pero está en el límite de su capacidad.

ANALISIS DE CAPACIDAD DE PROYECTO

El Gobierno del Distrito Federal ha implementado la construcción de pasos elevados en las intersecciones en estudio, observándose las siguientes soluciones:

- El puente de Av. Revolución y Av. Molinos.- Comprende de Av. Revolución antes de la Av. Extremadura hasta pasando la Av. Félix Parra, en el sentido norte – sur.
- El puente de Av. Río Churubusco y Av. Centenario.- Comprende el paso de este cruce de oriente a poniente en ambos sentidos.

- **El puente de Río Churubusco y Calz. Ermita Iztapalapa.- Comprende desde antes de Ermita Iztapalapa hasta pasando la Av. De las Torres (Andrés Molina)**

Con la información referente al proyecto a ser implementado en las intersecciones estudiadas se procedió a determinar los niveles de servicio ya con el proyecto aplicado.

Para este caso se utilizaron los dos periodos de mayor demanda en cada una de las intersecciones, obteniendo los siguientes niveles de servicio.

AV. PATRIOTISMO Y AV. MOLINOS.- Se determinaron los niveles de servicio para las horas de máxima demanda obteniendo lo siguiente:

Periodo	Nivel de Servicio
AM	C
PM	C

Pasando del nivel F a nivel C en cada una de las horas estudiadas, lo que significa que si habrá una mejora considerable.

AV. RIO CHURUBUSCO Y AV. CENTENARIO.- Se determinaron los niveles de servicio para las horas de máxima demanda obteniendo lo siguiente:

Periodo	Nivel de Servicio
AM	C
PM	B

Pasando de niveles B y F a niveles B y C en las horas estudiadas, lo que significa que si habrá una mejora considerable.

AV. RIO CHURUBUSCO Y CALZADA ERMITA IZTAPALAPA.- Se determinaron los niveles de servicio para las dos horas de máxima demanda obteniendo lo siguiente:

Periodo	Nivel de Servicio
MD	B
PM	B

Pasando de nivel C a nivel B en las horas estudiadas, lo que significa que si habrá una mejora considerable.

AV. RIO CHURUBUSCO Y LAS TORRES.- Se determinaron los niveles de servicio para las dos horas de máxima demanda obteniendo lo siguiente:

Periodo	Nivel de Servicio
MD	C

PM

C

Pasando de nivel D a nivel B en las horas estudiadas, lo que significa que si habrá una mejora considerable.

II.2 MECÁNICA DE SUELOS

Una parte muy importante de todo proyecto es lo relativo a la composición del suelo sobre el cual se desplantará la estructura o construcción, debido a que en función de lo que se encuentre conforme a los estudios, se determinará la cimentación óptima para cada proyecto.

Con el objeto de determinar las condiciones geotécnicas en las que se desarrolla el proyecto del puente vehicular Ermita, se recopiló la mayor información posible de la zona y posteriormente esta información fue verificada mediante recorridos de inspección superficial.

A partir del reconocimiento se planteó el programa de exploración de campo en 2 etapas; en una primera etapa se ejecutó un sondeo exploratorio denominado SE-01 a 35 m de profundidad y tuvo como finalidad conocer la composición de los estratos mediante la combinación del muestreo alterado y el empleo del tubo de pared delgada para la recuperación de las muestras inalteradas.

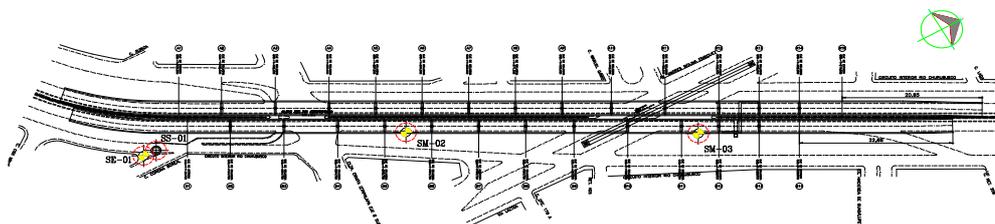
En una segunda etapa, a un lado del SE-01 se programó un sondeo selectivo de donde se recuperaron únicamente muestras inalteradas con el tubo de pared delgada de los estratos más vulnerables a las cargas que se impondrán por el puente.

Adicionalmente se contempló en esta segunda etapa, dos sondeos más, denominados SM-02 y SM-03 a 35 m de profundidad cada uno, que se distribuyeron sobre el desarrollo del puente. En estos se alternó la prueba de penetración estándar con la extracción de muestras inalteradas con el tubo de pared delgada o Shelby. El muestreo alterado se obtuvo con el equipo y procedimiento de la prueba de penetración estándar (SPT).

Este método, además de permitir la obtención de muestras, proporciona un índice cualitativo de la compacidad o consistencia de los suelos, en función de su resistencia a la penetración, definida ésta como el número de golpes necesario para avanzar 30 cm. El muestreo inalterado como se dijo se realizó con el empleo del tubo Shelby.

La ubicación de los sondeos se muestra en la siguiente figura:

PUENTE VEHICULAR
 ERMITA IZTAPALAPA – LAS TORRES – CHURUBUSCO
 LOCALIZACION DE SONDEOS



Todas las muestras de suelo fueron clasificadas manual y visualmente en el campo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y posteriormente fueron protegidas contra la humedad y etiquetadas convenientemente para su traslado al laboratorio.

En las muestras obtenidas durante la exploración, se efectuaron los ensayos de laboratorio necesarios tanto para definir la clasificación de los materiales como para determinar los parámetros mecánicos que interesa conocer para los análisis geotécnicos requeridos. A continuación, se hace una breve descripción de todos los ensayos efectuados.

Las propiedades índice se determinaron a partir de los siguientes ensayos:

- Clasificación visual y al tacto (SUCS)
- Contenido natural de agua
- Límites de plasticidad (líquido y plástico)
- Densidad de Sólidos
- Granulometría
- Porcentaje de finos

De las muestras alteradas e inalteradas, se extrajo una porción del material para efectuar la clasificación visual y al tacto, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como para la determinación de su contenido natural de agua.

Para precisar la clasificación del material, en muestras selectivas, se realizaron granulometrías, porcentaje de finos y se determinaron los límites de plasticidad.

Los datos así obtenidos sirvieron para elaborar los perfiles estratigráficos de los sondeos, los cuales se presentan también en la figura 3 en la que se incluye la ubicación de los sondeos, el contenido natural de agua, límites de plasticidad, número de golpes de la prueba de penetración estándar, porcentaje de grava, arena y finos y clasificación.



ENSAYES PARA DETERMINAR PARÁMETROS MECÁNICOS

Sobre las muestras inalteradas se efectuaron ensayos para la determinación de los parámetros de resistencia y deformación. Las pruebas mecánicas realizadas a las muestras fueron los siguientes:

- Ensaye de compresión simple cíclica q_u
- Ensaye de resistencia al esfuerzo cortante tipo Triaxial $\mu\mu$ (no consolidada no drenada)
- Ensayes de consolidación

La resistencia a la compresión simple y compresión Triaxial se determinó en probetas cilíndricas de 3.5 cm de diámetro y 8.5 cm de altura, aplicando una velocidad de deformación controlada de 1 mm/min, obteniéndose las curvas esfuerzo deformación y resistencia última.

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con la Zonificación Geotécnica establecida en las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para el diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), el puente se ubica en la Zona del Lago (Anexo I), que se caracteriza por tener una costra superficial, una formación arcillosa superior que se caracteriza por tener materiales limosos y arcillosos de alta plasticidad y una capa dura.

De acuerdo con el mapa de isopropundidades a los depósitos profundos que aparece en las NTC para diseño por sismo (Anexo I), se tiene que para el puente en estudio, los depósitos profundos se encuentran entre 20 y 30 m de profundidad.

HUNDIMIENTO REGIONAL

Otro punto importante que debe tomarse en cuenta es el hundimiento regional, esto se realiza con el objeto de establecer la velocidad de hundimiento regional que se presenta en la zona

donde se construirá la obra, para nuestro caso se recopiló la mayor información posible de la siguiente manera.

Como es sabido la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) lleva a cabo nivelaciones de manera periódica en los bancos de nivel que tiene a su cargo y que se encuentran distribuidos en todo el Distrito Federal, se localizaron los más cercanos a área en estudio, esto fue mediante coordenadas en Unidades Técnicas de Mercator (UTM) utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), encontrando que los bancos ubicados cerca de la zona en estudio tienen información por periodos de dos años generalmente, desde 1983 y hasta 1998.

A partir de la última nivelación disponible, efectuada ente 1992 y 2005, se tiene que los bancos más próximos al puente manifiestan velocidades de hundimiento de 2 a 4 cm por año. Este dato se tomará en cuenta para el desarrollo del proyecto.

ZONA SÍSMICA

También es de suma importancia los datos en cuestión de sismos, debido a que el sitio en estudio pertenece a la zona geotécnica del lago, se estima un periodo dominante del suelo de 0.75s de acuerdo con lo observado en curvas de igual periodo dominante en esta zona.

COEFICIENTE SÍSMICO

El coeficiente sísmico aplicable al análisis sísmico de las estructuras, se definirá en función de los espectros de respuesta calculados y las características de las estructuras; sin embargo, se tomó un coeficiente sísmico de 0.4g que deberá incrementarse en 50% para estructuras del grupo "A" como es el caso de este puente de acuerdo al RCDF y sus Normas Técnicas Complementarias aplicables.

ESTRATIGRAFÍA

Tal y como se observó en el punto de Zonificación Geológica, los perfiles estratigráficos muestran claramente los 3 depósitos característicos que definen la zona del lago; es decir, se tiene una costra superficial, la formación arcillosa superior intercalada por lentes arenosos y limosos y una capa dura que se presenta a diferentes profundidades comprendidas entre 25 y 27m. En el Anexo I se muestran los resultados de los sondeos realizados así mismo se describen las propiedades obtenidas en ellos tanto en campo como en laboratorio y para cada sondeo.

Del análisis de cada uno de los sondeos se puede concluir que la estratigrafía que presenta la zona es la típica de la zona del lago con espesores compresibles que se extienden hasta los 25 y 27 de profundidad y que a partir de éstas se tiene un estrato de mayor resistencia que se conoce como capa dura.

A continuación, se hará la revisión de los estados límites de falla de tal manera que dichas cargas no excedan lo recomendado por la expresión que se señala en el siguiente capítulo.

ESTADOS LÍMITES DE FALLA

El criterio de revisión de este estado límite de falla se basó en las expresiones propuestas en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y Construcción de Cimentaciones y que se mencionan a continuación

CAPACIDAD DE CARGA POR PUNTA

La capacidad de carga última por punta para los pilotes se definió mediante la siguiente ecuación propuesta en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones:

$$C_p = (P'_v N_q F_R + P_v) A \dots \dots \dots II.1$$

Donde C_p representa la capacidad de carga última por punta,

Siendo A_b el área de la sección del pilote a nivel de desplante, N_q es un factor de capacidad de carga que depende del ángulo de fricción interna del depósito de apoyo (ϕ) y de la geometría de la superficie potencial de deslizamiento asumida,

P'_v Es el esfuerzo vertical efectivo a la profundidad de desplante del pilote.

P_v Es el esfuerzo vertical total a la profundidad de desplante del pilote.

CAPACIDAD DE CARGA POR FRICCIÓN

La capacidad de carga por fricción (Q_{cf}) en un suelo estratificado, como el que nos ocupa, se consideró como la suma de las capacidades friccionantes desarrolladas por cada estrato sobre el perímetro del pilote, lo cual se calculó con la siguiente expresión:

$$Q_{cf} = \sum Q_{fk}$$

Donde $\sum Q_{fk}$ representó la sumatoria de la fuerza friccionante que puede desarrollarse en cada capa de suelo.

Para el proyecto que nos ocupa, se consideró que la aportación de la fricción en perímetro del pilote está dada por la contribución de los suelos cohesivos para lo cual se aplicó la siguiente expresión también tomada de las Normas Técnicas Complementarias que para el caso de los suelos cohesivos, la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo del perímetro de los pilotes se obtuvo para cada estrato con la siguiente expresión:

$$Cf_i = \sum_{i=1}^n f_i$$

Donde:

$$f_i = C * A_l * F_r \dots \dots \dots II.2$$

Donde C es la cohesión obtenida en pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas
 A_l= Área lateral del perímetro del pilote
 A_r = es el factor de resistencia

Otro aspecto que se consideró es el relativo al desarrollo de la fricción negativa que se presentará a lo largo del perímetro del pilote de tal manera que se revisó con la siguiente expresión:

$$\sum QF_c + FN < R \dots \dots \dots II.3$$

Σ QF_c. Suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación de carga considerada, afectada por su respectivo factor de carga f_c. Se deberá considerar el efecto de fricción negativa (FN) que pudiera desarrollarse sobre el perímetro de los mismos o sobre su envolvente con factor de carga unitario.

R Capacidad de carga del sistema constituido por los pilotes de cimentación, en toneladas utilizando las expresiones II.1 y II.2.

REVISIÓN EN CONDICIONES ESTÁTICAS

Aplicando las expresiones para el cálculo de capacidad de carga por punta y por fricción, anteriormente mencionadas, y para cada uno de los estratos, se obtuvo para cada pilote, las siguientes capacidades de carga última.

Donde:

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE PILOTES DE 0.4 X 0.4 M (m)	Qp (ton)	FP (ton)	Qp + FP (ton)	FN (ton)	Po. Po. Pilote, en ton	QP+FP-FN-PoPo Carga de servicio (ton)
22	7	112	119	46.2	7.7	65.1

Tabla I. Carga admisible por cada pilote.

Donde:

Q_u Carga ultima por punta, en toneladas, sin factor de reducción por escala, F_u .

FP Fricción positiva en el fuste de la pila a 22 m, en toneladas.

FN Fricción negativa desarrollada en el tramo superior del pilote de 2.5 a 20 m

$Q_p + FP - FN - P_0$ P_0 : Carga de servicio del pilote, en ton.

Del análisis de esta tabla se concluye que la presencia de la fricción negativa, el peso de la estructura y el peso propio de los pilotes se equilibrarán con la capacidad de carga admisible dada por la punta y la fricción y que este equilibrio se encuentra a 13m de profundidad que es donde se encuentra el eje neutro y donde de este eje neutro hacia arriba se presenta la fricción negativa de 46.2 ton y del eje neutro hacia abajo se desarrolla la fricción positiva de 88 ton y por lo tanto las zapatas en conjunto con los pilotes irán bajando con el hundimiento regional.

REVISIÓN EN CONDICIONES SÍSMICAS

En condiciones sísmicas y considerando que la capacidad de carga admisible total es de 119 toneladas y dado que tenemos descargas máximas de 115 toneladas ya factorizadas, se concluye que ante un evento sísmico no se tendrán problemas de capacidad de carga.

REVISIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

Se considera que los asentamientos que se presentarán bajo los pilotes serán fundamentalmente de tipo diferido, es decir se presentarán a largo plazo, razón por la cual se utilizaron las pruebas de compresibilidad y como teoría de apoyo la de consolidación de Terzaghi.

Se eligieron 4 zapatas representativas del eje A con sus respectivas cargas y número de pilotes y son las que se enlistan a continuación:

EJE	Zapata rectangular	No. de pilotes
A3 y A8	13.80 x 6.60	54
A9 y A11	15.00 x 6.60	64
A2 y A14	11.40 x 6.60	44
A1 y A15	3.20 x 8.50	12

Para el cálculo de asentamientos al centro de cada zapata, se utilizó un programa de computadora que toma en cuenta las dimensiones de la zapata y la deformabilidad de los estratos.

A continuación en la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos.

EJE	Zapata rectangular	Asentamiento en cm
A3 a A8	13.80 x 6.60	5.8
A9 a A11	15.00 x 6.60	5.5
A2 y A14	11.40 x 6.60	6.8
A1 y A15	3.20 x 8.50	12

De los resultados obtenidos, puede concluirse que los asentamientos entre zapatas cercanas son pequeños, es decir, entre el eje A8 y A9, se tendrá un asentamiento diferencial de 0.3 cm y entre las zapatas A1 y A2 se tendrá un asentamiento diferencial de 5.2 cm. La relación entre estos asentamientos diferenciales y su respectivo claro se tiene para el primero de $0.3/3470 = 0.000086$ y para el segundo de $5.2/3200 = 0.0016$, los cuales se consideran para fines prácticos imperceptibles y dentro de la reglamentación vigente.

Con base en el análisis e interpretación de la información recopilada y junto con los resultados del estudio se presentan e siguiente resumen:

1. De acuerdo con los resultados de la exploración de campo, laboratorio y datos de proyecto, en donde se considera un tipo de cimentación profundo consistente en zapatas rectangulares trabajando con pilotes de concreto reforzado de 0.4 x 0.4 m, desplantados a una profundidad de 22 m. Los pilotes desplantados a esta profundidad trabajarán básicamente por fricción dejando en todos los casos un colchón compresible mínimo de 3m entre la punta del pilote y la capa dura para el fenómeno de hundimiento regional.
2. Del análisis estructural se obtuvieron las descargas máximas en condiciones estáticas de 41 ton/ pilote y en condiciones sísmicas de 105 ton/pilote.
3. La capacidad de carga admisible total a tomar en cuenta para los pilotes es de 119 ton (por punta es igual a 7 y por fricción es de 112), los pilotes serán de sección 0.4 x 0.4 m y profundidad de desplante D_f de 22m en promedio.

4. Se concluye que ante las cargas de servicio máximas de 115 ton debidas al sismo a que se verán sometidas los pilotes, éstos no tendrán ningún problema debido a que su capacidad de carga admisible es de 119 ton.
5. Los asentamientos de cada zapata estarán comprendidos entre 5.5 y 6.8 cm y la relación de asentamiento diferenciales con respecto al claro cumplen con la Normatividad vigente tal y como se mencionó anteriormente serán para fines prácticos despreciables.
6. Durante la construcción de la cimentación, es conveniente contar en obra con un ingeniero especialista en cimentaciones con experiencia para garantizar la calidad de la obra y se alcancen los objetivos del proyecto.

II.3 INSTALACIONES EXISTENTES

Durante la construcción y ejecución de este proyecto se cuidó el no dañar las instalaciones existentes; y en su caso, realizar las desviaciones pertinentes para no entorpecer el proceso constructivo del mismo. A continuación se enumeran las instalaciones más importantes que se localizaron y que de alguna manera se modificaron en cuanto a trayectoria, ubicación, modificación de proyecto, etc. Previo estudio de factibilidad en cada caso.

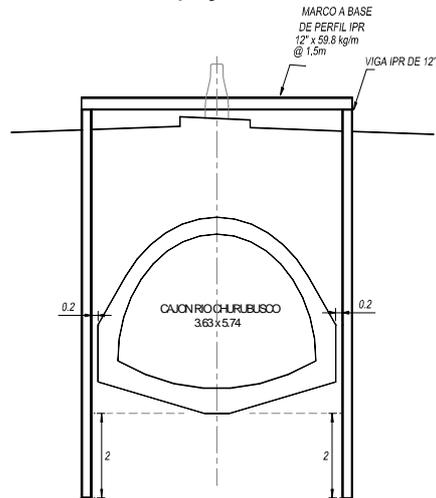
- Antiguo Rio Churubusco
- Líneas de alta tensión sobre avenida de las Torres
- Líneas de agua potable
- Línea de energía para trolebús sobre Av. Ermita
- Instalaciones de telefonía y fibra óptica sobre Av. Ermita
- Instalaciones de alumbrado público
- Semáforos
- Edificaciones contiguas a ambos ejes

Mencionare en seguida los estudios que se realizaron para cada uno de los puntos anteriormente descritos y la propuesta de solución en el caso que corresponda.

PROTECCION DEL CAJON DE RIO CHURUBUSCO.

Como reto principal está el de no dañar el cajón que conduce las aguas negras (lo que era el antiguo río churubusco), actualmente este río está encofrado y será el que prácticamente divida los dos cuerpos del puente. Para lograr esto se realizó lo siguiente:

Se localizo y trazó el recorrido del cajón sobre la superficie del terreno mediante calas, después de tener perfectamente identificada la trayectoria (ancho y largo), se analizó y se concluyó que la mejor manera de proteger el cajón es mediante una especie de bastidor metálico a base de viga IPR de 12", hincada a todo lo largo del recorrido a cada 1.50m, adicionalmente a esto se soldará una vigueta transversal de 12" montada sobre las viguetas verticales, para así formar varios marcos de protección para el cajón que eviten que al momento de hincar los pilotes el terreno empuje directamente sobre las paredes del cajón.



LINEAS DE ALTA TENSIÓN.

Dentro del recorrido que tendrá el puente se detecta que sobre el circuito interior al cruce con la Av. Las Torres las líneas de energía eléctrica están por debajo de la altura necesaria para el cruce del puente, motivo por el cual se propone la reubicación en altura de dichas líneas de energía, esto se logrará construyendo tres torres nuevas en los lugares estratégicos (se indica en los círculos sobre av. Las torres) para dar nueva altura a estas líneas y así poder cumplir con las normas.





Altura actual la cual
No es suficiente

LINEAS DE AGUA POTABLE

En este caso se localizaron las líneas de conducción de agua potable que deberían ser reubicadas con otra trayectoria, una de estas líneas se localizo cerca de la zapata A5 en el cruce de rio churubusco y Av. Ermita Iztapalapa.

LINEAS DE ENERGIA PARA TROLEBUS

Para este punto solamente se solicitará una liberación para poder trabajar en el hincado de pilotes y otra para la colocación de las traveses, no será necesaria la reubicación de la línea de energía solo se cubrirá con poliducto en todo el tramo donde pasan debajo del puente.

INSTALACIONES DE TELEFONÍA Y FIBRA ÓPTICA

Se localizaron instalaciones de fibra óptica cerca de la zapata B2, la trayectoria de estas instalaciones pasan dentro del área de la zapata mencionada y complicaba la colocación de los pilotes marcados en proyecto, se analizó las opciones que eran: reubicar las líneas de fibra óptica o modificar la zapata en cuestión. De un análisis minucioso se llego a la conclusión de que lo mejor en cuanto a costo y tiempo sería modificar el proyecto en cuestión de esta zapata, se realizaron los cálculos necesarios y se determino la nueva disposición de los pilotes para esta zapata y dimensiones de la misma, además como protección adicional se encofraron las instalaciones de fibra óptica.

INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO

Todas las instalaciones de alumbrado público que entorpecían el proyecto fueron desmanteladas principalmente las instalaciones que se encontraban sobre el camellón principal del rio churubusco ya que al término de la obra éstas serán sustituidas.

SEMÁFOROS EN LA ZONA

También en este aspecto se llevo a cabo un censo de los semáforos en la zona y se analizó cuales deberían ser desmantelados debido a que dejarán de ser útiles al término de la obra.

