UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

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 :

LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

MÉXICO, D. F. 2008

VNIVERSIDAD NACIONAL
AVTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/023/05

Señor
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
P r e s e n t e

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

	INTRODUCCIÓN
I.	ANTECEDENTES
II.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA
III.	ANÁLISIS DE CARGAS
IV.	MODELACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS
VI.	CIMENTACIÓN
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

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

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

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 17 de Marzo de 2005.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/crc.

A G R A D E C I M I E N T O S

A mis padres Clara E. y Jaime, por el amor, apoyo y comprensión que siempre recibiré de ellos, por la formación y por fomentar en mí el deseo de superarme.

A mis hermanos Laura A. y C. Rogelio, por la compañía y el apoyo que me brindan, se que cuento con ellos siempre y deseando que logren todas sus metas.

A mi familia y amigos, por el cariño y confianza que me brindan en todo momento, pero sobre todo por estar cada uno a su manera, respaldándome para alcanzar mis objetivos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por cuanto he recibido en ella, tanto de mis maestros, como de mis compañeros.

Al M. en I. José Luis Trigos Suárez, mi más sincera gratitud por su confianza, paciencia y disposición en todo momento. José Luis mi mayor agradecimiento por aceptar dirigir mi trabajo de tesis y enseñarme a disfrutar de él, pero sobre todo gracias por tu amistad.

T E S I S P R O F E S I O N A L:

REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

C O N T E N I D O

INTRODUCCIÓN.

A. OBJETIVOS.

B. ALCANCE.

I. ANTECEDENTES. I - 1

A. HISTORIA. I - 1

B. CARACTERÍSTICAS GENERALES. I - 6

1. Física. I - 6
2. Funcionamiento. I - 9
3. Elementos. I - 10

C. CLASIFICACIÓN. I - 13

D. MONTAÑAS RUSAS EN EL MUNDO. I - 14

1. Montañas Rusas de Madera. I - 14
2. Montañas Rusas de Acero. I - 14

E. MONTAÑAS RUSAS EN MÉXICO. I - 15

1. Medusa. I - 15
2. Montaña Rusa. I - 16
3. Superman el Último Escape. I - 16
4. Batman the Ride. I - 16

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA. II - 1

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO. II - 3

1. Planta General. II - 4
2. Isométrico General. II - 5
3. Zona A (Embarque y Salida). II - 6
4. Zona B (Ascenso e Impulso). II - 7
5. Zona C (Primera Vuelta). II - 8
6. Zona D (Segunda Vuelta). II - 9
7. Zona E (Jorobas). II - 10
8. Zona F (Llegada). II - 11
9. Fotografías 01 a 05. II - 12
10. Fotografías 06 a 10. II - 13
11. Fotografías 11 a 15. II - 14

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. II - 15

1. Soportes Tipo. II - 16
2. Columnas ST1 a ST4. II - 17
3. Columnas de 18" y Marco Columnas 8 y 9. II - 18
4. Columnas de 24", 30" y 36". II - 19
5. Columnas AB1 a AB3. II - 20
6. Torres de Ascenso, Corona e Impulso. II - 21
7. Columnas 75 a 90. II - 22
8. Columnas 91, 92, 93 y 163, 164, 165. II - 23
9. Columnas de 24", 30", 36" y 42". II - 24
10. Columnas con Diagonal. II - 25
11. Columnas 153, BB1, BB2 y BB3. II - 26
12. Columnas 154 y 155. II - 27
13. Columnas 196 a 203. II - 28
14. Columnas 193, 194, 195 y 204, 205, 206. II - 29
15. Columnas CB1 a TL1. II - 30
16. Tramo de Vía y Placas Tipo de Conexión. II - 31

III. ANÁLISIS DE CARGAS. III - 1

A. CARGA MUERTA. III - 1

1. Peso Propio. III - 1
2. Instalaciones. III - 1
3. Plataformas y Escaleras. III - 1
4. Equipos. III - 2
5. Equipos en Operación. III - 2

B. CARGA VIVA. III - 2

1. Carga Viva Máxima. III - 2

2. Carga Viva Instantánea. III - 2

C. FUERZAS SÍSMICAS. III - 3

D. FUERZAS EÓLICAS. III - 5

1. Estructuras Reticulares. III - 5
2. Chimeneas, Silos y Similares. III - 6
3. Antenas y Torres con Celosía. III - 6

E. EFECTOS DINÁMICOS. III - 7

1. Tren de Carros Articulados. III - 9

IV. MODELACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA. IV - 1

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL. IV - 1

1. Isométrico Zona A. IV - 3
2. Isométrico Zona B. IV - 4
3. Isométrico Zona C. IV - 5
4. Isométrico Zona D. IV - 6
5. Isométrico Zona E. IV - 7
6. Isométrico Zona F. IV - 8
7. Isométrico Modelo Tridimensional. IV - 9

B. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS. IV - 10

1. Trabes. IV - 10
2. Columnas. IV - 11
3. Contravientos y Tensores. IV - 12

C. PROPIEDADES MECÁNICAS. IV - 12

D. CONDICIONES BÁSICAS DE CARGA. IV - 13

1. Condiciones Básicas de Cargas Permanentes. IV - 13
2. Condiciones Básicas de Cargas Variables. IV - 13
3. Condiciones Básicas de Cargas Accidentales. IV - 13

E. COMBINACIONES DE CARGA PARA REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. IV - 14

F. COMBINACIONES DE CARGA PARA REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA. IV - 15

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS. V - 1

A. ELECCIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA CRÍTICAS. V - 2

B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. V - 2

1. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 53A y 53B. V - 5
2. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 54A y 54B. V - 6
3. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 55A y 55B. V - 7
4. Isométrico Zona A, CC 923. V - 8
5. Isométrico Zona B, CC 1399. V - 9
6. Isométrico Zona C, CC 308. V - 10
7. Isométrico Zona D, CC 1716. V - 11
8. Isométrico Zona E, CC 1285. V - 12
9. Isométrico Zona F, CC 885. V - 13

C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA. V - 14

1. Isométrico Esfuerzos Máximos. V - 21
2. Isométrico Zona A Esfuerzos Máximos. V - 22
3. Isométrico Zona B Esfuerzos Máximos. V - 23
4. Isométrico Zona C Esfuerzos Máximos. V - 24
5. Isométrico Zona D Esfuerzos Máximos. V - 25
6. Isométrico Zona E Esfuerzos Máximos. V - 26
7. Isométrico Zona F Esfuerzos Máximos. V - 27
8. Esfuerzos Máximos Placas de Conexión (Zonas A, B y C). V - 28
9. Esfuerzos Máximos Placas de Conexión (Zonas D, E y F). V - 29

VI. CIMENTACIÓN. VI - 1

A. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS EN EL SITIO. VI - 1

B. SOLICITACIONES DE DISEÑO. VI - 3

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN. VI - 3

1. Zona A (Embarque y Salida). VI - 4
2. Zona B (Ascenso e Impulso). VI - 5
3. Zona C (Primera Vuelta). VI - 6
4. Zona D (Segunda Vuelta). VI - 7
5. Zona E (Jorobas). VI - 8
6. Zona F (Llegada). VI - 9
7. Zapatas y Dados Tipo para Columnas de 18" a 42". VI - 11
8. Zapatas y Dados Tipo para Soportes y Columnas Inclinadas. VI - 12
9. Zapatas y Dados Tipo para Columnas de Torres y Combinadas. VI - 13
10. Zapatas Combinadas y Anclaje de Tensores. VI - 14
11. Zapatas Combinadas en Zonas B y E. VI - 15
12. Zapatas Combinadas en Zonas B y E. VI - 16

13. Zapatas Combinadas en Zonas B, C y E. VI - 17
14. Tabla Zapatas Zona A. VI - 18
15. Tabla Zapatas Zona B Parte 1. VI - 19
16. Tabla Zapatas Zona B Parte 2. VI - 20
17. Tabla Zapatas Zona C Parte 1. VI - 21
18. Tabla Zapatas Zona C Parte 2. VI - 22
19. Tabla Zapatas Zona D. VI - 23
20. Tabla Zapatas Zona E. VI - 24
21. Tabla Zapatas Zona F. VI - 25

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. VII - 1

A. CONCLUSIONES. VII - 1

B. RECOMENDACIONES. VII - 3

BIBLIOGRAFÍA.

I N T R O D U C C I Ó N.

INTRODUCCIÓN.

A lo largo del tiempo el hombre ha sentido la necesidad de divertirse y de arriesgar su vida, es por eso que ha inventado un gran número de atracciones y diversiones que le hacen la vida más apasionante. Una de esas atracciones sin duda alguna y tal vez de las más emocionantes que se pueden encontrar, es la montaña rusa, cuyo único motor en muchos de los casos, es la acción de la gravedad.

¿Pero cómo funcionan estas estructuras?. Aunque parezcan complicadas, las montañas rusas tienen un funcionamiento fácil de comprender y que se basa fundamentalmente en el principio físico que dice: "todo lo que sube, tiene que bajar". Usan la fuerza de gravedad para funcionar, relacionando las distintas áreas de la física para predecir su comportamiento, involucrando las leyes de la conservación de la energía y las leyes de Newton.

Otro atractivo de las montañas rusas, es que siempre están en constante cambio para dar al pasajero el sentimiento de peligro en atmósferas controladas, siendo mejoradas cada año para realzar el nivel de emoción. Estas modificaciones son calculadas por los diseñadores, que con toda exactitud pueden establecer las velocidades que alcanzarán, hasta dónde llegarán y cómo deben ser las curvas para evitar descarrilamientos. Un dato interesante nos dice que la probabilidad de tener un accidente en un parque de diversiones es de 1 entre 25'000,000.

Por esto, es tan importante no descuidar la seguridad de las montañas rusas, ya que aunque se desarrollan en atmósferas controladas, cualquier fallo puede significar una desgracia. En este trabajo de tesis, se cubrirá una de las partes más importantes de una montaña rusa, que es la estructura portante en conjunto con el sistema de rieles, la cual se abordará desde el punto de vista de la Ingeniería Estructural. El siguiente trabajo de tesis lleva como título **"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"**, teniendo como marco de la revisión el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, vigente desde 2004, y sus Normas Técnicas Complementarias, NTC's.

A continuación se presenta un breve resumen de los capítulos contenidos en este trabajo de tesis:

En el ***Capítulo I*** se describe la historia de las montañas rusas, desde su concepción hasta las inovaciones más recientes, además se presenta una breve explicación de los principios físicos involucrados en el funcionamiento y las características más importantes de los elementos que las componen. También se presenta una propuesta de clasificación, de las variedades de montañas rusas que existen en cuanto a su formas y características, para dar paso a un listado de las mejores montañas rusas en el mundo; por último, se describen las montañas rusas existentes en la República Mexicana.

El ***Capítulo II*** presenta una descripción general de la estructura, con el fin de mostrar sus componentes, así como la estructuración utilizada. Se propuso subdividir la montaña rusa en seis zonas, para facilitar el manejo eficiente de la información, y no para un análisis y revisión tridimensional independiente. Además, se muestran algunos dibujos de la geometría y estructuración de diversas partes de la montaña rusa, tratando de abarcar los aspectos más importantes.

El ***Capítulo III*** define las cargas utilizadas en el análisis y revisión de la estructura, se planteó la necesidad de considerar Cargas Muertas (Peso propio, instalaciones, plataformas, escaleras, equipos y su operación); Cargas Vivas (en plataformas y escaleras); las Fuerzas Sísmicas debidas a la incidencia sísmica de la zona donde se localiza la estructura en la Ciudad de México; las Fuerzas Eólicas por encontrarse al aire libre y presentar una altura considerable; así como los Efectos Dinámicos que genera el paso del tren articulado en las vías de la estructura.

El ***Capítulo IV*** describe las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales, así como la modelación tridimensional de la montaña rusa en el programa de análisis y revisión utilizado; se enuncian las diferentes condiciones básicas de carga actuantes en la estructura, y sus combinaciones para la revisión de los estados límite de servicio y de falla.

En el ***Capítulo V*** se incluyen los aspectos relacionados con el cumplimiento de estados límite de servicio, y de estados límite de falla para las combinaciones de carga respectivas, esta revisión se hizo considerando las condiciones más críticas de los efectos de las cargas actuando sobre la estructura, teniendo como marco de referencia el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

El ***Capítulo VI*** describe el sistema de cimentación utilizado, las características geotécnicas del sitio, geometría y estructuración, las acciones y combinaciones de acciones utilizadas en su revisión, así como el cumplimiento de los estados límite de servicio y de falla, aplicables al sistema de cimentación respondiendo a los límites que dicta su respectiva normatividad.

El ***Capítulo VII*** está dedicado a listar las conclusiones y recomendaciones resultado de los análisis y revisiones de todos los elementos tanto de la superestructura como de la cimentación de la montaña rusa.

A continuación se presentan los objetivos y alcance del trabajo de tesis **" REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO "**:

A. OBJETIVOS.

1. Establecer los lineamientos del análisis y la revisión estructural de una montaña rusa metálica al aire libre construida en la Cuidad de México, en Zona Sísmica I, teniendo como marco de referencia el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

2. Realizar el análisis y revisión estructural, con ayuda del programa SAP2000 Advanced 9.0.3 (Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures), para determinar el efecto de los sistemas de cargas críticos actuando sobre la estructura y evaluar el cumplimiento de los estados límite de servicio y de los estados límite de falla para todos los elementos de la superestructura y su cimentación.

3. Determinar las conclusiones y recomendaciones resultado de la evaluación de los diferentes índices de seguridad que dicta la normatividad, respecto a la estructura metálica y su cimentación.

B. ALCANCE.

Es importante mencionar que el siguiente trabajo escrito, propone una alternativa de análisis y revisión para la montaña rusa en cuestión, así como de su cimentación, de ninguna manera es única y definitiva, por lo que los conceptos plasmados solo sirven para los fines que sigue este documento, que es el de mí titulación como Ingeniero Civil, en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Como se ha mencionado, este documento se enfoca a la determinación de los ínidces de seguridad relativas al Reglamento de Construcciones para el Distrito Ferderal y sus Normas Técnicas Complementarias, y comparación de estos con los resultados del análisis y diseño, bajo los sistemas de carga críticos actuando sobre la estructura. Al término de este trabajo escrito, se enuncian una serie de conclusiones relativas a las revisiones, y se propondrán las recomendaciones pertinentes, tratando de dar una opinión, resultado del trabajo realizado.

I. A N T E C E D E N T E S.

I. ANTECEDENTES.

' Todo lo que sube tiene que bajar ', la gravedad no sólo es una buena idea, es la ley. Es también quien aporta la emoción en las montañas rusas; la física es simple: las montañas rusas son accionadas por la fuerza de la gravedad.

Mientras que el tren de carros en una montaña rusa es remolcado lentamente por un cable, hasta la cima de la primera colina, la energía potencial se introduce en el sistema; una vez que el tren empieza a descender, la energía potencial se convierte en energía cinética. Es por eso, que incluso la más aterrorizante e inspirada de las montañas rusas generalmente comienzan con la caída más grande, ya que el tren tiene que acumular bastante energía para el paseo completo.

Pero la velocidad no es el único factor que hace emocionante un paseo en una montaña rusa. Las fuerzas gravitacionales positivas, o fuerzas ***' g '***, presionan al pasajero hacia su asiento cuando está en el fondo de una colina, y las fuerzas ***' g '*** negativas crean el sentido de ingravidez, o del "flotar en el aire", mientras que lo empujan contra la barra de seguridad, sobre el pico o cima de una colina.

La historia de los montañas rusas no comenzó en un laboratorio, como se pensaría, tampoco empezó un día caluroso de verano en un parque de atracciones cualquiera. De hecho, la historia inicia en un frío invierno del siglo XV en Rusia.

A. HISTORIA.

Las primeras montañas rusas no eran trenes fuera de control sino trineos, sobre colinas artificiales cubiertas de hielo contruidas a base de madera usada en la construcción o de los troncos de los árboles. Los paseos más elaborados incluían a menudo varios bloques de la ciudad, donde ocasionalmente se le añadían pequeñas colinas al final del recorrido y arena para frenar los trineos; los paseos a 80 km/h ganaron el apodo de *'montañas del vuelo'.* Los niños y adultos subían hasta 20 m (≈ cinco pisos) de escaleras, donde trepaban a un bloque de hielo equipado con un asiento de paja, donde el viaje apenas duraba algunos segundos. "*Mientras vas bajando, una clase de intoxicación etérea se apodera de los sentidos, lo cual es absolutamente encantador*", dijo alguna vez un pasajero con efusividad (Fig. 1.1).

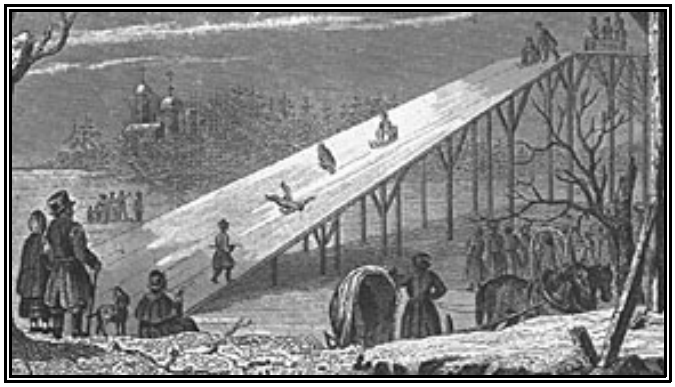


Fig 1.1. Montañas del vuelo Rusia s XV.

La diversión de gran ritmo y el potencial para el gran beneficio económico, llevaron la atracción a París en 1804 con el nombre de **Les Montagnes Russes** (montañas rusas); debido a que el clima francés hacía que el hielo se derritiera pronto, se dice que la emperatriz Catalina La Grande mandó añadir pequeñas ruedas a los trineos, además se construyeron pendientes y colinas de madera encerada, sin embargo poca atención se les dio a las medidas de seguridad. Desafortunadamente las lesiones que los pasajeros sufrieron en los nuevos trineos aumentarían la atención, por lo que los buscadores de la emoción tenían una nueva *raison d'être* (razón de ser).

Trece años más tarde, **Les Montagnes Russes** ó **Belleville** (montañas de Belleville) y el **Promenades Aeriennes** (caminatas aéreas) en París mejorarían a las montañas rusas originales, agregándoles ruedas de fijación, vías continuas y, eventualmente, cables que alzaban los coches a la cima de la colina.

Mientras que las montañas rusas se acreditan generalmente como el primer trineo con ruedas, el **'Switchback'** en 1784 en St. Petersburgo es quizás el más digno de la corona, donde los carros en vías acanaladas viajaban arriba y abajo de las pequeñas colinas accionadas por la altura y la pendiente inicial. Casi 50 años más tarde, las primeras pistas fueron instaladas por la precursora americana de las montañas rusas, el **'Mauch Chunk Switchback Railway'** en Pennsylvania. **Josiah White** en 1827, empresario de una compañía de explotación minera construyó un camino usando la gravedad para acarrear el carbón de las minas de Summit Hill a Lehigh River en Mauch Chunk: un viaje de 14.5 km en descenso. Hasta 14 coches, cargados con 22.5 toneladas de carbón de antracita, viajaban por la montaña bajo el comando de un "*valiente conductor*" quién operaba sólo una palanca de freno. Las mulas tenían la desagradable tarea de arrastrar los coches de regreso a la montaña, pero gozaban del rápido paseo cuesta abajo.

Este viaje accionado por la gravedad se convirtió rápidamente en una atracción pública. El carbón era acarreado por la mañana, pero en la tarde los coches eran usados por pasajeros que pagaban 50 centavos de dólar por el paseo. A mediados del siglo XIX, la demanda del carbón aumentó, así que se agregaron dos motores de vapor de 120 caballos de fuerza, muy cerca de la cima de Mount Pisgah. Los motores tiraban de los trenes venciendo la pendiente de 200 m verticales, asistidos por coches de seguridad; la ingeniosa adición de un trinquete, que al ser enganchado al carro de seguridad, prevenía que los coches no rodaran hacia atrás. Este dispositivo de seguridad, perfeccionado más adelante, dio lugar al sonido característico de las montañas rusas actuales.

En 1872 una nueva vía fue terminada, la cual se convirtió en una ruta más eficiente para la transportación del carbón, pero no fue el fin del **' Mauch Chunk Switchback '** por ningún motivo. Antes de 1873, alrededor de 35,000 turistas tomaban el paseo escénico y espectacular de 80 minutos y 29 km desde Mount Pisgah hasta Mount Jefferson, al precio $1 dólar. Al final del siglo, las compañías de trenes construyeron parques de atracciones en los extremos de sus líneas para atraer a turistas por las tardes y fines de semana. La terminal más conocida era **Coney Island** en la ciudad de Nueva York, que era sede de varios parques temáticos inspirados por *"World's Columbian Exposition"* en Chicago en el año 1893. Y apenas se hizo famoso Coney Island, se popularizaron dando lugar a la cultura de la montaña rusa en los Estados Unidos.

Comenzó formalmente en 1884, cuando **La Marcus Thompson**, el "*padre del paseo de la gravedad*", abrió un **' Switchback Railway '** de 180 m en Coney Island. Consistía en una estructura de madera, en la cual, los pasajeros debían subir una serie de escaleras para abordar el tren, ser empujados fuera de la estación y al cabo de la cuesta principal y algunas pequeñas colinas, bajar de los trenes para subir de nuevo una serie de escaleras, mientras trabajadores izaban el tren para tomar un trayecto opuesto similar al primero, que los regresaba a la estación de abordaje (Fig. 1.2).

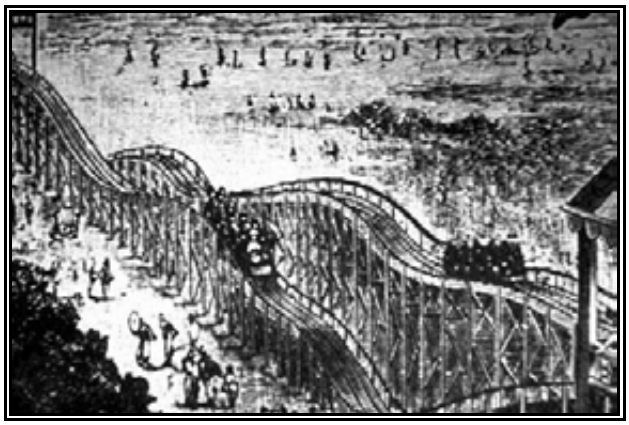


Fig 1.2. Switchback Railway 1884.

Con una velocidad máxima de 9.7 km/h, accionado por la gravedad y paseando por la playa, el paseo de Thompson era poco más que lento. No obstante, su renombre le permitió recuperar su inversión de $1,600 dólares en solamente tres semanas y con solo algunos meses, el monopolio de su montaña rusa era total en Coney Island.

Charles Alcoke también construyó un ferrocarril escénico lento, conectando los extremos de la pista en una vuelta para volver a los pasajeros a su posición de salida. Aunque la montaña rusa de Alcoke ganó popularidad, desafiando los records de asistencia del ' *Switchback Railway* ' de Thompson, fue el adelanto tecnológico de **Phillip Hinkle** en 1885 el que dió auge a esta industria. La montaña rusa de Hinkle era elíptica con un sistema de izamiento que tiraba de los coches a la cima de la primera colina, haciendo del paseo uno más largo y emocionante. Sin embargo, a finales del siglo XIX, la industria de las montañas rusas sufrió una caída, literalmente.

Las montañas rusas con ' vuelta mortal ' fueron innovadas en París a mitades del siglo XIX. La idea se basó en un juguete popular infantil, en el que se explotaba la fuerza centrífuga para conservar en el riel una pequeña bola sin caerse. Sin embargo, los pasajeros encontraron incómoda y peligrosa la innovación, y este tipo de montañas rusas no fue vista otra vez hasta 1895, cuando **Lina Beecher** instaló el ' **Flip-Flap Railway** ' en *Paul Boyton's Sea Lion Park* en Coney Island. Incómoda y peligrosa, la vuelta circular de 7.6 m probó su popularidad azotando violentamente a los pasajeros (especialmente sus cuellos), por lo que tuvo que cerrar después de solamente algunos años (Fig.1.3).

Fig 1.3. Flip-Flap Railway 1895.

Con el fin de reducir las fuerzas ' **g** ' de la ' vuelta mortal ' o vuelta vertical, **Edward Prescott** construyó el '**Loop the Loop**' en 1901 en Coney Island, con un diseño oval más suave y mejor manufacturado; sin embargo debido a la reputación del ' **Flip-Flap** ', tuvieron que pasar otros 75 años antes de que una vuelta vertical fuera realizada acertadamente. Aunque obstaculizada por una capacidad baja en el número de asientos, el ' *Loop the Loop* ' fue el boleto más popular para los entusiastas de las montañas rusas por los siguientes seis años, hasta el advenimiento de la primera montaña rusa de alta velocidad, ' **Drop-the-Dip** '. Estos niveles crecientes del peligro trajeron mejoras en la seguridad, tal como la introducción de las barras de seguridad, que prevenía a los pasajeros de convertirse en proyectiles.

El inicio de los años '20s se habrían podido nombrar como los del auge de las montañas rusas rápidas. Más de 1,500 montañas rusas estaban en operación en los Estados Unidos, y las patentes de seguridad de **John Miller**, tales como los sistemas para que los trenes no salieran de las vías y los dispositivos que impedían rodar hacia atrás, animaron a diseñadores a desarrollar mejores montañas rusas.

En estos mismos años el parque **Riverview** en *Chicago* se convirtió en el rival más cercano de Coney Island, con por lo menos seis, y a veces hasta once, montañas rusas en operación. ' **The Fireball** ' era etiquetada como la más rápida construída, pero los 160 km/h publicitados eran una exageración probablemente en casi 35%; además el reglamento de construcciones de Chicago limitaba la altura máxima de la vía a 22 m, sin embargo, era una de las primeras montañas rusas en omitir esta ley terminando la primera cuesta en una zanja artificial.

En 1924 el '*The Fireball*' fue superada por el ' **Bobs** ', una colaboración entre los inventores notables, **Frederick Church** y **Harry Traver**; los pasajeros viajaban a lo largo de 992 m de vía con 16 colinas y 12 curvas. A Traver quizás se le conoce mejor por sus famosos tríos del terror, construidos en 1927 el ' **Cyclone** ' en *Crystal Beach de*

Ontario; ' **Lightning** ' de *Revere Beach de Mass.*; y el ' **Cyclone** ' de *Palisades Park Fort Lee, N.J.* De hecho, la intensidad del '*Cyclone*' en Crystal Beach con sus 27.4 m de caída y las vueltas de horquilla, obligaba a que una enfermera estuviera siempre en la plataforma de abordaje durante las horas de funcionamiento.

Fig 1.4. Cyclone en Coney Island 1927.

Mientras tanto, **Philadelphia Toboggan Company** cambió totalmente el parque local de Coney Island cerca de Cincinnati, Ohio, con su carta de prueba el ' **Wild Cat** ' y su carta probada el ' **Twister** '. También en 1928 construyó en *Rocky Springs Lancaster, Pa.* otro '*Wild Cat*' considerada la montaña rusa de madera más escarpada, con una caída a 60 grados y 27.5 m, demolida en 1984. La montaña rusa más clásica y memorable en pie hasta la fecha es el ' **Cyclone** ' en *Coney Island Nueva York*; construido en 1927 por **Harry C. Baker Company**, basada en un diseño de **Vernon Keenan**, '*Cyclone*' tenía una caída notablemente escarpada de 58 grados, considerada intensa incluso por los estándares de hoy, por lo que sigue siendo una experiencia inolvidable (Fig. 1.4).

Una vez que la gran depresión golpeara los Estados Unidos en los años 30's, la edad oscura de la historia de las montañas rusas comenzó, una escasez en la rentabilidad significó que centenares de montañas rusas fueran demolidas y muy pocas construidas. A mediados de siglo, solamente **Philadelphia Toboggan** y **National Amusement Devices** estaban construyendo montañas rusas, los parques importantes se convirtieron en escombros, mientras que otros fueron abandonados. Al mismo tiempo, las montañas rusas resurgían, gracias a un animador rico e imaginativo.

Walt Disney abrió las puertas de **Disneyland** en Anaheim, California, en julio de 1955 y revitalizó inmediatamente la noción de los parques de atracciones. Disney comisionó a **Arrow Development Company**, conducida por **Ed Morgan** y **Kart Bacon**, a diseñar el ' **Matterhorn Mountain** ' (1959), la primera montaña rusa de acero. Los carriles de acero tubulares y las ruedas de nylon ampliaron las posibilidades de diseño de las montañas rusas, mientras que hacían dramáticamente suaves los paseos. El éxito de Disneyland animó a emprendedores a abrir parques temáticos propios, como la cadena de **Six Flags**, *Kings Island* cerca de *Cincinnati*, y los **Busch Gardens** en *Tampa Bay, Florida*.

En los 60's Arrow Development Company, ahora junto con el diseñador de montañas rusas **Ron Toomer**, introdujeron la primera atracción ambientada en agua, y una montaña rusa que combinaba la madera y el acero, que recorría paisajes escabrosos, en Six Flags, *Dallas Texas* (1966).

La montaña rusa de Arrow, que se abrió en *Knott's Berry Farm Buena Park, California* en 1975, agregó vueltas de 360 grados en forma de hélice, dando lugar a la primera inversión de la era moderna; al año siguiente, ' **The Great American Revolution** ' en Six Flags *Valencia, California* anunció una nueva era para las montañas rusas de vueltas, con la primera vuelta vertical con éxito. Ahora conocido simplemente como ' **Revolution** ', haciendo honor a su nombre por la forma de su vuelta vertical, fue diseñada por **Antón Schwarzkopf** de Alemania y fabricada por la constructora suiza **Intamin AG**. Esta amplia variedad, hizo que los aficionados a las montañas rusas regresaran a los parques de diversiones. Actualmente ningún parque importante puede funcionar sin una montaña rusa de vueltas, entre cuyas mayores exponentes está, caracterizada por sus ocho inversiones, el ' **Dragon Kahn** ' en *España* y ' **Monte Masaya** ' en *Brasil*.

El advenimiento de las montañas rusas de acero no desplazó a las de madera, que fueron también instrumentos en el renacimiento de las montañas rusas. La nostalgia era parte de la atracción a las *megamontañas* de madera nuevas, por ejemplo **' Racer '** (1972), un diseño de **John Allen**, y **' The Beast '** (1979), las más largas del mundo hasta entonces, ambas en *Kings Island*.

Nuevas características fueron agregadas a la emoción con montañas rusas suspendidas para dar el efecto de volar como **' XLR-8 '** (1984) del *AstroWorld en Houston, Texas*; atracciones donde los pasajeros van colgados como **' The King Cobra '** (1984) en *Kings Island*, y las montañas rusas invertidas como **'Bolliger'** y **' Mabillard`s Batman The Ride '** (1992) en *Six Flags Great America en Gurnee, Illinois*. Haciendo su debut en 1982, el **' Boomerang '** de la firma alemana **Vekoma**, diseñada para correr hacia adelante y atrás, se convirtió en la montaña rusa con más instalaciones del mundo. De hecho, es un largo paseo desde las montañas rusas antiguas a los 60 grados y caídas de 62.5 m del **' Magnum XL-200 '** en *Cedar Point*.

Fig 1.5. Superman the Escape.

Pero incluso después de un siglo, la batalla por la montaña rusa más rápida, más grande y más atrevida, sigue. Con el amanecer del nuevo milenio, un nuevo auge de las montañas rusas está en curso. Una cosa es segura sobre el futuro de las montañas rusas, continuarán siendo más grandes y más rápidas. Entre los avances tecnológicos de las nuevas montañas rusas se encuentra el auge en el uso de ondas electromagnéticas para propulsar los trenes, eliminando la necesidad de colinas de elevación y de caídas basadas en la gravedad.

El motor de inducción linear (MIL), la fuerza impulsora detrás de la montaña rusa **' Mr. Freeze '** por *Premier Rides en Six Flags St. Louis y Six Flags Texas*, utiliza imanes de alta potencia para lanzar los trenes como un proyectil, permitiendo alcanzar velocidades de 112.6 km/h en tan solo cuatro segundos. Apenas futurista, es el motor de sincronización linear (MSL) por **Intamin** en el **'Superman The Escape'** de *Six Flags Valencia California* , que acelera a 161 km/h en apenas siete segundos (Fig. 1.5). Pero incluso los paseos accionados por la gravedad han avanzado con el tiempo. En el **' Skytrak '** de *Granada Studios Tours en Manchester, Inglaterra*, los pasajeros son atados bocabajo en estantes individuales que cuelgan de un monorriel. La posición viendo hacia la tierra está diseñada para dar la ilusión de volar.

Pero quizás, de las más comentadas, son las montañas rusas de nueva generación que solamente un puñado de afortunados ha montado, es un prototipo llamado Arrow Dynamics Pipeline desarrollado a finales de los 80's. Los trenes en el diseño se montan entre los rieles, apenas sobre el nivel de los estómagos de los pasajeros. ¿El resultado?, trenes que dan vueltas sobre su eje, como barriles que giran. Hasta ahora, el elevado precio sin precedente las ha mantenido en etapa de prototipo.

Otro tipo de montaña rusa inovadora es la de la firma japonesa **TOGO`s Heartline**, el **' Viper '** en *Six Flags Great Adventure New Jersey* y **' Ultra Twister '** en *Six Flags AstroWorld Houston Texas*, que pone el centro de gravedad alrededor de la línea del corazón de los pasajeros, donde los trenes, todavía se montan encima de los rieles. En la primavera de 1999, **' The Ranging Bull '** en *Six Flags Great America Gurnee, Illinois*, abrió, publicitado como *" la primera hiper-montaña rusa del mundo "*, combinando la velocidad de una de acero con la configuración torcida de una de madera.

En el camino al futuro, el diseño de las montañas rusas indudablemente explorará territorios desconocidos, sin embargo, para la mayoría de los entusiastas, los paseos en realidad virtual como la simulación **' Glaciar Run '** en *Santa Cruz Beach en California* no logra las emociones que logran las reales.

Como decía el aviador Charles Lindbergh una vez, "*cierta cantidad de peligro es esencial para tener calidad de vida*".

B. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

En esencia, las montañas rusas, o también conocidas por su traducción al inglés como *'roller coasters'*, son sistemas de rieles, que forman una pista o vía que sube y baja en circuitos diseñados específicamente. La mayoría de montañas rusas tienen carros para dos, cuatro, o seis pasajeros cada uno, donde se sientan para viajar por el circuito; al conjunto de todos los carros unidos se le denomina tren.

A continuación se detallan las características más importantes dentro del funcionamiento de la mayoría de las montañas rusas; primero se abordará desde el punto de vista de la física, para dar paso a una descripción general del funcionamiento y a los elementos más importantes de este tipo de atracción:

1. Física.

Como ya se ha mencionado, la fuerza que acciona a la mayoría de las montañas rusas, es la gravedad. A continuación se detalla como es que esta fuerza universal, en conjunto con algunos fenómenos físicos, hacen de las montañas rusas una atracción tan popular por las emociones que genera.

La energía almacenada que depende de la posición relativa de un cuerpo con relación a un sistema mecánico, se le denomina **energía potencial** (1); una montaña rusa en lo más alto del recorrido tiene la máxima energía potencial posible. Una montaña rusa accionada por la gravedad generalmente comieza en la estación, donde los pasajeros abordan el tren y son asegurados para comenzar el paseo; a continuación el tren, después de un pequeño recorrido, llega a la base de la primera colina, que generalmente es la más alta; ahí es elevado hasta la cima de la colina por medio de un sistema de tracción que varía en cada atracción. Aquí la energía potencial del sistema es máxima, el tren avanza y gracias a la **gravedad** (2) comienza la caída, de esta manera la energía potencial del sistema se convierte en **energía cinética** (3) o de movimiento alcanzando grandes cambios en su velocidad debido a la aceleración que experimenta.

Al ir cayendo, los pasajeros experimentan la sensación de ser expulsados de su asiento o de flotar en el aire, mientras siguen la trayectoria de un tiro parabólico, fenómeno que se explica como una **caída libre** (4) vertical en combinación con una **velocidad** (5) horizontal inicial. En una caída libre, la suma de fuerzas gravitacionales y las fuerzas inerciales es igual a cero, esto explica la sensación del flotar en el aire, ya que el cuerpo se opone al movimiento. Por otra parte, tanto la barra de seguridad como la sujeción de las ruedas a los rieles, evitan que el tren y los pasajeros salgan expulsados como proyectiles debido a la mecánica del **tiro parabólico** (6) y la aceleración centrífuga. El reto en el diseño de las montañas rusas es tratar de predecir la trayectoria de la caída, para evitar al máximo el contacto de las ruedas con los rieles y así alcanzar mayores velocidades.

Al bajar la primera colina e ir subiendo a la segunda, la velocidad disminuye y gracias al cambio en la velocidad, los pasajeros experimentan la **aceleración centrípeta** (7) o fuerzas g's positivas, la sensación de pesar más de lo normal. La energía potencial perdida en energía cinética debido a la caída se recupera un poco en el ascenso

de la segunda colina. Otro elemento que produce aceleraciones centrípetas son las curvas peraltadas, producidas tanto por la curva de la trayectoria como la aceleración propia del tren, dando como resultado **fuerzas centrífugas** (8) que dan la sensación de ser expulsados fuera de la curva, sin embargo si los rieles estan correctamente inclinados y la velocidad es ideal, la fuerza que sienten los pasajeros, los empuja hacia sus asientos, por lo que inclinando las curvas, las fuerzas g's laterales pueden ser convertidas en fuerzas g's positivas. Si la velocidad del tren se duplicára, o el radio de giro se cuadriplicára, las fuerzas centrífugas se cuadriplicarían.

Los cambios en la **aceleración** (9) contribuyen de manera importante en la emoción de las montañas rusas, un recorrido de baja velocidad con grandes cambios de aceleración es más emocionante que una de gran velocidad con un recorrido más suave. Una idea falsa es que la aceleración se incrementa con el peso del tren y pasajeros, cuando en realidad es independiente de la masa del sistema, la aceleración se puede incrementar con un ángulo más pronunciado en la caída. La aceleración es en gran parte quien pone la emoción en el recorrido, sin embargo se pueden experimentar aceleraciones cero, por ejemplo en la parte más baja de una colina cuando la velocidad es máxima o en la parte más alta de una colina cuando la velocidad es la mínima.

Otra fuerza presente imprescindible, pero que se opone al movimiento es la **fuerza de fricción** (10) presente entre las ruedas del tren con los rieles, los mecanismos de las ruedas, y las ráfagas de viento que contribuyen a la disipación de la energía mecánica presente en el sistema, afectando la velocidad del recorrido. En montañas rusas de gran altura el viento es particularmente notable debido a las condiciones climáticas. Cuando existe energía cinética remanente al final del recorrido ésta es transferida fuera del sistema mediante la aplicación de los frenos en forma de calor y ruido, con el fin de regresar de manera segura a los pasajeros de vuelta a la estación.

Cambios fisiológicos ocurren en el cuerpo humano en movimiento como resultado del rápido incremento de la velocidad, es decir de la aceleración; sus efectos son más críticos en rápidos incrementos que en incrementos graduales. Las fuerzas gravitacionales son medidas en unidades de la aceleración gravitacional o g's. Existen tres tipos: las fuerzas g's positivas, negativas y transversales. Las fuerzas g's positivas ocurren cuando la dirección de la aceleración es através del eje longitudinal del cuerpo, de la cabeza a los pies, de una a dos g's se experimenta en general compresión hacia el asiento y pesadez en manos y pies. Las fuerzas g's negativas ocurren cuando la aceleración va de los pies a la cabeza, causando un leve movimiento de los órganos internos del abdomen y pecho, además de flujo de sangre hacia la cara acompañado por una sensación de congestión.

El promedio soportable de fuerzas g's negativas es de pocos segundos a 5 g's; 15 segundos a 4.5 g's y alrededor de 30 segundos para 3 g's. La aceleración transversal ocurre cuando se produce perpendicular al eje longitudinal del cuerpo, aceleraciones arriba de 6 g's directamente através del cuerpo producen la sensación de incremento de presión en la parte del cuerpo que soporta el peso. En vueltas verticales el tren entra a grandes velocidades, lo que provoca grandes fuerzas sobre los pasajeros hasta de 5 g's, pero sólo por algunos segundos, de no ser así los pasajeros perderían la conciencia. Montañas rusas modernas, son diseñadas con curvas verticales mucho mas ajustadas en lo alto para disminuir la velocidad en relación con la entrada y salida de la curva, se diseñan para experimentar fuerzas centrípetas hacia arriba de 2g's en la parte más alta que al ser restadas de la gravedad normal, se logra que en lo alto se experimente solo la gravedad.

A continuación se listan algunos conceptos de la física de las montañas rusas, los cuales fueron enumerados en párrafos anteriores:

(1) **Energía potencial.** Es la propiedad de un sistema y no de un cuerpo individual, solo depende de su configuración inicial y final, también depende de la trayectoria del viaje del cuerpo. Su valor es arbitrario y relativo a un punto de referencia. Se puede calcular multiplicando el peso del cuerpo por la distancia al punto de referencia. Tradicionalmente la energía potencial y la energía cinética son incluidas como energías mecánicas, ya que el total de las energías en sistemas gravitacionales es constante.

(2) **Gravedad.** Es la fuerza de atracción que afecta toda la materia. Isaac Newton desarrolló la primera teoría de la gravitación, la cual sostiene que todas las partículas de materia en el universo atraen a todas las demás partículas con una fuerza que es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. A esta aseveración se le conoce como la *"Ley de Gravitación Universal"*.

(3) **Energía cinética.** Es la forma de energía que un cuerpo o partícula tiene a causa del movimiento que experimenta. El movimiento puede ser de translación, rotación, vibración o una combinación de estos tres. Se puede calcular multiplicando la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad dividida entre dos.

(4) **Caída libre.** Estado de un cuerpo que se mueve libremente de cualquier manera en presencia de la aceleración de la gravedad.

(5) **Velocidad.** Cantidad vectorial que indica qué tan rápido y en qué dirección una partícula se está moviendo. Una partícula siempre se mueve en dirección tangente a su trayectoria; para una trayectoria circular la dirección en cualquier instante es perpendicular a la línea que une a la partícula con el centro de la trayectoria circular (radio). La magnitud de la velocidad o sea su rapidez, es la razón de la distancia recorrida entre el tiempo empleado en recorrer dicha distancia.

(6) **Tiro parabólico.** Forma del movimiento de un cuerpo lanzado con una velocidad inicial a través de una trayectoria, determinada enteramente por la aceleración de la gravedad y la resistencia del aire. Galileo descubrió que un objeto lanzado (despreciando la resistencia del aire) sigue la trayectoria de una parábola y llegó a la conclusión de que el cuerpo ejecuta, independientemente, un movimiento de caída libre en la dirección vertical y un movimiento inercial en la dirección horizontal.

(7) **Aceleración centrípeta.** Propiedad del movimiento de un cuerpo que sigue una trayectoria circular. Esta aceleración apunta radialmente al centro de la trayectoria y es igual al cuadrado de la velocidad del cuerpo dividido entre la distancia del centro al cuerpo. La fuerza a causa de la aceleración también está dirigida al centro de la trayectoria y se le denomina fuerza centrípeta, encargada de mantener en esta trayectoria al cuerpo. Siempre que existe un cambio en la dirección de la trayectoria, la aceleración centrípeta está presente.

(8) **Fuerza centrífuga.** Se presenta en los cuerpos en movimiento circular, y tiene la misma magnitud que la fuerza que mantiene al cuerpo en su trayectoria (fuerza centrípeta) pero apunta en dirección opuesta a ésta. Sin embargo, según las leyes de Newton no es una fuerza real, pero es un concepto útil para obtener el equilibrio en las ecuaciones del sistema mecánico.

(9) **Aceleración.** Es la rapidez con que cambia la velocidad en el tiempo. Ya que la aceleración depende de la velocidad, también posee magnitud y sentido. Si la velocidad de un cuerpo se incrementa, la aceleración tiene la misma dirección, en cambio si la velocidad decrece la aceleración apunta en sentido contrario a ésta.

(10) **Fuerza de fricción.** Se presenta cuando hay resistencia al deslizamiento o rodamiento de un cuerpo sobre otro. Las fuerzas de fricción, tal como la tracción necesaria incluso para caminar sin deslizarse, muchas veces presentan oposición directa al movimiento. También juega un papel muy importante en sistemas mecánicos reales (no idealizados) donde la suma de energía potencial y cinética no es constante debido a la pérdidas por fricción.

2. Funcionamiento.

a. Propulsión.

Los carros de una montaña rusa no suelen ser autopropulsados, una montaña rusa de circuito completo con colina elevadora funciona gracias a la gravedad, como ya se explicó con anterioridad. Sin embargo no todas las montañas rusas fucionan de esta misma forma, y los trenes son lanzados hacia la primera colina por mecanismos de lanzamiento, por ejemplo: lanzamiento catapulta, motores de inducción lineal (MIL), motores de sincronización lineal (MSL), lanzamiento hidráulico, lanzamiento por aire comprimido, ruedas propulsoras, etc.

b. Ruedas.

Las montañas rusas de acero usan tres tipos de ruedas, las superiores que sujetan al tren en la mayor parte del recorrido, y son las de mayor tamaño; las inferiores, que actúan sobre todo en las colinas y en los rizos donde las fuerzas g's negativas son mayores al peso del tren, y por último las laterales que pueden ser interiores o exteriores y evitan que el tren descarrile lateralmente, sobre todo en curvas. Es importante mantener una buena lubricación tanto en los rodamientos, como a veces en las vías, así se consigue evitar la fricción, y por consecuencia no perder velocidad en el recorrido.

c. Control.

Algunas montañas rusas pueden hacer funcionar a dos o más trenes a la vez, usando sistemas de frenos, que evitan choques entre ellos. Los sistemas de bloqueo trabajan dividiendo la pista en varias secciones, permitiendo un tren por sección a la vez, para lo cuál se tienen tramos de vía a la mitad del recorrido donde se puede detener el tren si es necesario. Esto se puede realizar de múltiples formas, entre las cuales se incluyen el detenerlo en la estación, detenerlo en la colina de subida, o usando los tramos intermedios o del final del circuito. Sensores al final de cada tramo detectan cuando pasa el tren, y el ordenador (computadora) que dirige la atracción, conoce qué tramos están ocupados por un tren; cuando el ordenador detecta que un tren va a entrar en un tramo que está siendo usado por otro tren, usa el mejor método disponible para evitar que entre, normalmente detener el tren que va a entrar.

Con el objetivo de prevenir esta clase de problemas, los operadores de la atracción siguen algún procedimiento adecuado al lanzar los trenes desde la estación, teniendo en cuenta los tiempos de espera. Un modelo común, usado en atracciones con dos trenes, es detener el tren número 1, que acaba de terminar el recorrido, justo antes de la estación, lanzar el tren número 2 (que ha sido cargado durante el viaje del número 1), lo que permite entrar al número 1 a la estación, bajar a los pasajeros, y subir a nuevos pasajeros. Es decir, mientras un tren hace el recorrido, el otro está en la estación cargando a los pasajeros.

d. Frenado.

Una montaña rusa fabricada bajo un perfecto diseño ingenieril, tendrá suficiente energía cinética, o movimiento, para completar la totalidad del recorrido con buena velocidad, y al final los frenos detendrán completamente el tren, dejándolo en la estación. Hay dos tipos de frenos, neumáticos y magnéticos.
Los neumáticos aprietan unos mecanismos en las zonas de frenado, los cuales al pasar el tren, por fricción lo van deteniendo. Los magnéticos, y más avanzados, consiste en imanes situados en las zonas de frenado, a su vez los trenes están equipados por láminas de cobre en la parte inferior que al pasar por encima de los imanes producen unas corrientes eléctricas, y por fricción magnética van deteniendo suavemente el tren; estos actúan de forma directamente proporcional a la velocidad, sin aportes eléctricos, por eso son más suaves y seguros.

3. Elementos.

A continuación se listan los elementos más importantes que se observan en la mayoría de las montañas rusas:

a. Tren.

Es el vehículo que abordan las personas para realizar el recorrido. Cada tren está formado por varios vagones o carros. Cada carro cuenta con dispositivos de seguridad que sostienen al pasajero.

b. Vía.

Es la guía de acero o madera por la que se traslada el tren en un recorrido predeterminado.

c. Trabes y columnas.

Es la estructura que soporta tanto la vía como las fuerzas producidas por el tren durante su recorrido. Dentro del recorrido existen varios elementos que forman parte de la vía, y son esenciales para su funcionamiento.

d. Estación de abordaje.

Es la plataforma generalmente techada donde las personas abordan y descienden del tren, cuenta con un tramo recto de vía con longitud ligeramente mayor a la del tren y barandales que evitan el paso cuando no hay carros en la vía. Aquí se encuentra el tablero de control manipulado por el operador, donde puede controlar los frenos mientras abordan el tren y libera o asegura las barras de seguridad; además cuenta con sensores que le permiten conocer la ubicación exacta dentro de la estación. Para que el tren salga de la estación se puede impulsar con una ligera inclinación para que deslice haciendo uso de la gravedad o por medio de ruedas impulsoras.

e. Cadena.

Es un tramo recto de vía con la pendiente máxima. Esta sección utiliza una cadena accionada por un motor eléctrico para elevar al tren a la altura deseada y cuenta con varios sistemas de seguridad. Esta sección puede ser reemplazada por motores magnéticos, sistemas neumáticos, o sistemas eléctricos para dar velocidad al tren. Al igual que la estación de abordaje, esta sección cuenta con sensores de ubicación.

f. Zona de frenado.

Tramo recto de vía que detiene al tren antes de llegar a la estación o en secciones intermedias. Usa una serie de frenos dispuestos en línea recta para disminuir suavemente la velocidad del tren. Esta sección puede incluir motores que impulsen al tren, o tener una ligera pendiente que permite el avance del tren a la siguiente etapa. También cuenta con sensores de ubicación.

g. Plataforma de mantenimiento.

Sección que cuenta con uno o más tramos rectos de vía, con una longitud poco mayor a la del tren. Estos tramos, con sistemas de frenado, se ubican paralelamente a la sección de frenado en un plano horizontal. Tanto la sección de frenado como las vías paralelas se encuentran sobre una serie de rieles que se deslizan perpendicularmente a las vías en un plano horizontal, y esto permite ubicar a cualquiera de estas vías alternas en el recorrido. De este modo se puede colocar a cualquier tren de la montaña rusa en esta zona, y retirarlo del recorrido para su mantenimiento. Esta zona está especialmente adaptada para que las personas encargadas del mantenimiento puedan tener al alcance todas las partes del tren.

Al diseñar el recorrido de una Montaña Rusa, se puede hacer uso de cualquiera de los siguientes elementos:

h. Recta.

Sección que traslada al tren en una sola dirección.

i. Caída.

Sección que lleva al tren de un tramo a una cierta elevación a otro de menor altura. Esta sección tiene restricciones en el ángulo de descenso según el tipo de estructura que se esté usando.

j. Subida.

Sección que lleva al tren de un tramo a una cierta elevación a otro de mayor altura. Al igual que la caída existen restricciones en el ángulo de ascenso.

k. Curva.

Sección que modifica la dirección horizontal del tren. Hay curvas hacia la izquierda o derecha, y generalmente van acompañadas de un peralte, cuya magnitud depende de la velocidad que lleve el tren al viajar por las curvas, las cuales requieren de un radio mínimo que dependen del espacio que hay entre vagones del tren.

l. Cuna.

Sección con forma circular o elíptica cuya función es servir de transición entre una caída, y una subida. Requiere de un radio mínimo y de una pendiente controlada. Es importante el cálculo de las fuerzas g's producidas en estas secciones.

m. Cresta.

Sección de forma circular o elíptica cuya función es servir de transición entre una subida, y una caída. Las restricciones son las mismas que las de la cuna con la diferencia que aquí se pone atención a las fuerzas g's negativas.

Adicionalmente se pueden obtener nuevos elementos combinando algunos de los elementos anteriormente mencionados.

n. Inversión.

Elemento en el que el tren gira 180 grados respecto a la horizontal para colocar al pasajero de cabeza, recuperando posteriormente la posición natural. Este elemento sólo es aplicable cuando el elemento se fabrica con acero. Existen 3 tipos principales de inversiones:

n.1. Rizo vertical.

Elemento que eleva verticalmente al tren al grado de completar una vuelta completa de 360 grados.

n.2. Sacacorchos.

Elemento que traslada al tren por una trayectoria combinada de rizo vertical y de curva peraltada completando los 360 grados. Este elemento como su nombre lo dice es muy parecido a un sacacorchos o una espiral.

n.3. Vuelta de Tornillo.

Elemento que invierte al tren a lo largo de un tramo de vía semi-recto. Este elemento es el producto de aumentar el peralte hasta completar los 360 grados.

Adicionalmente, se pueden crear nuevos elementos combinando los 3 tipos de inversiones mencionados anteriormente.

C. CLASIFICACIÓN.

La siguiente figura muestra un diagrama, donde se puede de una manera sencilla y con ayuda de las tablas anexas, clasificar una montaña rusa. (Fig. 1.6).

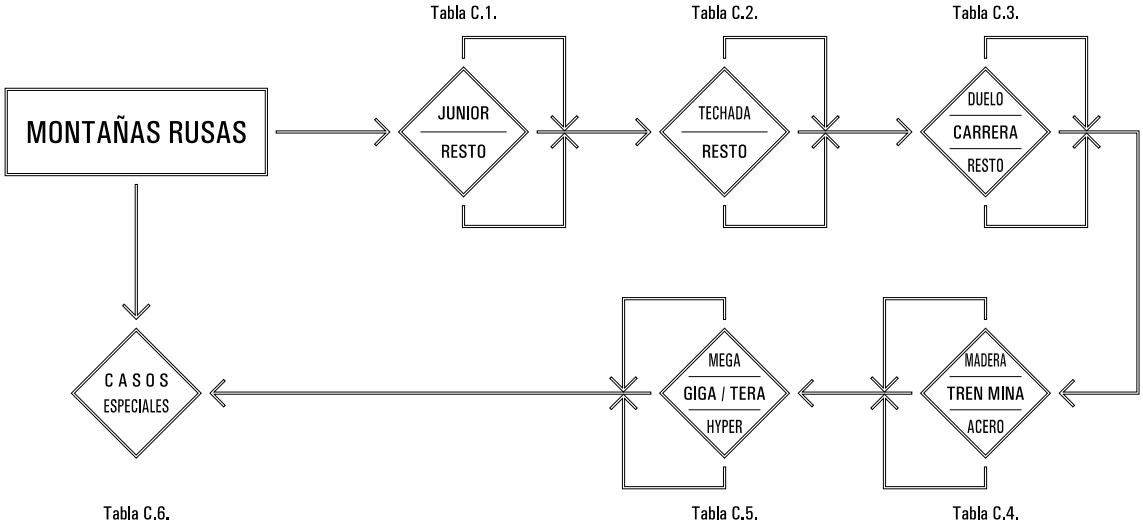


Fig 1.6. Diagrama de Clasificación

TABLA C.1.	TABLA C.2.	TABLA C.3.
◗JUNIOR. Dedicada al público infantil. ◗RESTO. Dedicada al público jóven/adulto.	◗TECHADA. Se desarrolla en lugar cubierto. ◗RESTO. Se desarrolla al aire libre.	◗DUELO. Dos trenes por recorridos parecidos pero normalmente opuestos. ◗CARRERA. Doble vía por donde compiten dos trenes para llegar a la estación. ◗RESTO. Montañas rusas de una sola vía.
TABLA C.4.a.	**TABLA C.4.b.**	**TABLA C.5.**
◗HIPER-MADERA. Grandes alturas y velocidades. ◗CLÁSICAS. Las más comúnes, caracterizadas por sus formas en 'm'. ◗RETORCIDAS. Presentan hélices y curvas de forma abundante y grandes caídas.	◗TREN DE LA MINA. Combinan acero y madera; pueden realizar importantes descensos e impresionantes hélices. Sus vehículos son vagonetas y su recorrido normalmente presenta túneles oscuros y/o cuevas.	◗MEGA. Alturas > 45.8 m (150 ft) ◗HIPER. Alturas > 61 m (200 ft) ◗GIGA. Alturas > 91.5 m (300 ft) ◗TERA. Alturas > 122 m (400 ft)
TABLA C.4.c. (NOTA: Puede haber o no compatibilidad entre estas categorías)		**TABLA C.6.**
◗SENTADOS. Pasajeros sentados sujetos con arnés de seguridad. ◗DE PIE. Pasajeros de pie sujetos con arnés de seguridad. ◗SIN SUELO. Carece de suelo, pasajero en asiento con sistema de seguridad. ◗VOLADORAS. Pasajeros en postura horizontal como si fuésen volando. ◗4D o X. Tren con asientos que sobresalen a los lados y giran sobre sí en vertical. ◗INVERTIDAS. Tren circula debajo de la vía, las piernas de los pasajeros van colgando. ◗SUSPENDIDAS. Igual que las invertidas solo que usa vagonetas en vez de trenes. ◗SACACORCHOS. Montañas que tienen sacacorchos en su recorrido. ◗MULTIELEMENTOS. Con todo tipo de inversiones. ◗AUTOPROPULSADAS. No hay subida con tracción de cadena. ◗RÁPIDAS. Alcanza grandes velocidades y no tiene inversiones. ◗DE CAÍDA VERTICAL. Caídas pronunciadas de hasta 90 grados.		◗PATINES. Suave y pequeña; para público infantil. ◗BOBSLEDS. Vehículos se deslizan por tobogán de pocas pendientes y muchas hélices, sin vía. ◗RATÓN LOCO. Poca capacidad con vía estrechas y curvas cerradas, pendientes no muy pronunciadas. ◗ACUÁTICAS. Vía se introduce en agua, al pasar el vagón produce un espectacular splash. ◗CAÍDA LIBRE. Circuito abierto y recto, el tren sube una pendiente vertical hasta que la fuerza de la gravedad en caída libre lo regresa en a la estación. ◗SKYCOASTER. Pasajero sujeto con bandas elásticas y lanzado simulando un péndulo.

D. MONTAÑAS RUSAS EN EL MUNDO.

A continuación se listan las montañas rusas mejor clasificadas de acuerdo con las siguientes características: velocidad, altura, caída y longitud; para los dos principales grupos según el material de fabricación.

1. Montañas Rusas de Madera.

No.	VELOCIDAD	MONTAÑA RUSA	PARQUE ATRACCIONES	CIUDAD	ESTADO	PAÍS	AÑO
1	126.1 km/h (78.4 mph)	Son of Beast	Paramount's Kings Island	Kings Mills	Ohio	EUA	2000
2	120 km/h (74.6 mph)	Colossos	Heide-Park Soltau	Soltau	Neidersachsen	ALEM	2001
3	112.6 km/h (70 mph)	El Toro	Six Flags Great Adventure	Jackson	New Jersey	EUA	2006
	ALTURA						
1	66.4 m (218 ')	Son of Beast	Paramount's Kings Island	Kings Mills	Ohio	EUA	2000
2	60 m (196' 10'')	Colossos	Heide-Park Soltau	Soltau	Neidersachsen	ALEM	2001
3	56 m (183' 9'')	T Express	Everland Yongin Farmland	Yongin-si	Gyeonggi-do	S.COREA	2008
	CAÍDA						
1	65.2 m (214')	Son of Beast	Paramount's Kings Island	Kings Mills	Ohio	EUA	2000
2	53.6 m (176')	El Toro	Six Flags Great Adventure	Jackson	New Jersey	EUA	2006
3	48.5 m (159' 1'')	Colossos	Heide-Park Soltau	Soltau	Neidersachsen	ALEM	2001
	LONGITUD						
1	2243 m (7359')	Beast	Paramount's Kings Island	Kings Mills	Ohio	EUA	1979
2	2143.4 m (7032')	Son of Beast	Paramount's Kings Island	Kings Mills	Ohio	EUA	2000
3	1963.5 m (6442')	Voyage	Holiday World	Santa Claus	Indiana	EUA	2006

2. Montañas Rusas de Acero.

No.	VELOCIDAD	MONTAÑA RUSA	PARQUE ATRACCIONES	CIUDAD	ESTADO	PAÍS	AÑO
1	206 km/h (128 mph)	Kingda Ka	Six Flags Great Adventure	Jackson	New Jersey	EUA	2005
2	193.1 km/h (120 mph)	Top Thrill Dragster	Cedar Point	Sandusky	Ohio	EUA	2003
3	172 km/h (106.9 mph)	Dodonpa	Fuji-Q Highland	FujiYoshida-shi	Shizuoka	JAPÓN	2001
	ALTURA						
1	139 m (456')	Kingda Ka	Six Flags Great Adventure	Jackson	New Jersey	EUA	2005
2	128 m (420')	Top Thrill Dragster	Cedar Point	Sandusky	Ohio	EUA	2003
3	126.5 m (415')	Superman the Escape	Six Flags Magic Mountain	Valencia	California	EUA	1997
	CAÍDA						
1	127.4 m (418')	Kingda Ka	Six Flags Great Adventure	Jackson	New Jersey	EUA	2005
2	121.9 m (400')	Top Thrill Dragster	Cedar Point	Sandusky	Ohio	EUA	2003
3	100 m (328' 1'')	Superman the Escape	Six Flags Magic Mountain	Valencia	California	EUA	1997
	LONGITUD						
1	2479 m (8133' 2'')	Steel Dragon 2000	Nagashima Spa Land	Nagashima	Mie	JAPÓN	2003
2	2340 m (7677' 2'')	Daidarasaurus	Expoland	Suita	Osaka	JAPÓN	1970
3	2268.3 m (7442')	Ultimate	Lightwater Valley	Ripon	North Yorkshire	INGLAT	1991

E. MONTAÑAS RUSAS EN MÉXICO.

En la actualidad se tiene cuenta de veinte montañas rusas repartidas en toda la república mexicana, en los principales parques de atracciones de las ciudades más importantes, de las cuales solo dos son de madera y diecisiete de acero. A continuación se listan por ciudad y parque donde se localizan:

MONTAÑA RUSA	PARQUE DE ATRACCIONES	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
MÉXICO, DISTRITO FEDERAL			
Superman el Último Escape	Six Flags México	Acero/Sentados/Hiper	sin inversiones (ver descripción)
Batman the Ride	Six Flags México	Acero/Invertida	cinco inversiones (ver descripción)
Boomeranng	Six Flags México	Acero/Sentados	3 inversiones (antes ' Escorpión ')
Roller Skaters	Six Flags México	Junior/Acero/Sentados	sin inversiones
Tsunami	Six Flags México	Junior/Acero/Sentados	sin inv. (antes ' Catarina Voladora ')
Medusa	Six Flags México	Madera/Retorcida	sin inversiones (ver descripción)
Montaña Rusa	La Feria de Chapultepec Mágico	Madera/Clásica	sin inversiones (ver descripción)
Cascabel	La Feria de Chapultepec Mágico	Acero/Sentados	1 inv. (antes 'Laser Loop' en Kennywood)
Ratón Loco	La Feria de Chapultepec Mágico	Acero/Sentados	sin inversiones
CUAUTITLÁN ITZCALLI, EDO. MÉXICO			
Huracán	Perimágico	Techada/Acero/Sentados	sin inversiones
GUADALAJARA, JALISCO			
Catarina	Selva Mágica	Acero/Sentados	sin inversiones
Jubilé	Selva Mágica	Acero/Sentados	sin inv. (antes ' Jubilé ' en Plopsaland)
Titán	Selva Mágica	Acero/Sentados	sin inversiones
Tornado	Selva Mágica	Acero/Sentados	sin inv. (antes en Feria Chapultepec M.)
MONTERREY, NUEVO LEÓN			
Catariños	Parque Plaza Sesamo	Acero/Sentados	sin inversiones
Expreso Minero	Parque Plaza Sesamo	Acero/Sentados	sin inversiones
GUADALUPE, NUEVO LEÓN			
Montaña Rusa	Bosque Mágico	Acero/Sentados	sin inv. (antes 'Wildcat' en Magic Landing)
TIJUANA, BAJA CALIFORNIA			
Montaña Rusa	Mundo Divertido	Acero/Sentados	una inversión
Gusano Loco	Mundo Divertido	Acero/Sentados	sin inversiones
Ratón Loco	Mundo Divertido	Acero/Sentados	sin inversiones

Se detallan a continuación las montañas rusas con características más interesantes contruidas en México:

1. Medusa.

Montaña rusa de madera del tipo retorcida, por la gran cantidad de curvas y hélices que presenta en su recorrido y sus pronunciadas caídas. De una longitud aproximada de 955.8 m (3135' 10'') y 32 m (105') de altura, alcanzando una velocidad de 88.5 km/h (55 mph), con un ángulo máximo en su caída de 50 grados. Cuenta con dos trenes de seis carros cada uno, cada carro tiene capacidad de transportar dos filas de dos pasajeros, para un total de veinticuatro pasajeros por recorrido. Se encuentra en el parque de atracciones Reino Aventura - Six Flags México en la Ciudad de México, Distrito Federal.

2. Montaña Rusa.

Con anterioridad llamada Serpiente de Fuego, sin embargo retomó su nombre original como simplemente Montaña Rusa. Su longitud es de 1219.2 m (4000'), con altura de 33.5 m (110') y una caída máxima de 24.4 m (80'). El material de construcción es madera, y cuenta con un tipo especial de vía contínua, así que cuando se viaja por el lado derecho, el regreso es por el lado izquierdo, esto quiere decir que en realidad la longitud total de su vía es de 2438.4 m(8000'). En operación desde 1964, en la Feria de Chapultepec Mágico, en la Ciudad de México, Distrito Federal.

3. Superman el Último Escape.

Hiper-montaña rusa de acero, clasificada como del tipo sentados, por la manera en que viajan sus pasajeros. Con una longitud aproximada de 1700 m (5577' 5''), altura de 67 m (219' 10'') y una caída de 62.5 m (205') con inclinación máxima de 60 grados, viajando a una velocidad máxima de 120 km/h (74.6 mph). Con una duración de 3:04 minutos y trenes de seis carros con capacidad de transportar tres filas de dos pasajeros para un total de treinta y seis pasajeros, logra que 1600 pasajeros tomen el recorrido en aproximadamente una hora. Localizada en Reino Aventura - Six Flags México, en la Ciudad de México, Distrito Federal.

4. Batman The Ride.

Única montaña rusa en México del tipo invertida, por la manera en que el tren viaja por debajo de la vía haciendo que las piernas de los pasajeros vayan colgadas. Con longitud de 689 m (2260' 6'') y altura de 33.3 m (109' 3''), cuenta con cinco inversiones a lo largo de su recorrido. La velocidad máxima que alcanza es de 80 km/h (49.7 mph), con duración de 1:36 minutos. Sus dos trenes son de diez carros cada uno, con pasajeros alineados de dos en dos para un total de 20 pasajeros por recorrido y una capacidad de lograr que 1040 de ellos tomen el paseo en una hora. En operación desde el año 2000 en el parque de atracciones Reino Aventura - Six Flags México en la Ciudad de México, Distrito Federal.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

El objetivo de este capítulo es determinar los aspectos más relevantes de la geometría y estructuración de la montaña rusa, la cual está formada a base de perfiles de acero estructural, cuyas columnas están apoyadas directamente sobre zapatas aisladas o combinadas, de concreto reforzado. La revisión estructural se hizo teniendo como marco de referencia el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en su versión vigente **RCDF04** y sus Normas Técnicas Complementarias, **NTC's**.

La estructura, es una hipermontaña rusa de acero del tipo sentados, por la manera en que los pasajeros viajan en el recorrido. Tiene una longitud aproximada de 1700 m, con una altura en sus torres de ascenso de 67 m, provocando una caída de 62.5 m con inclinación de 60 grados, viajando a una velocidad máxima de 120 km/h. La duración del recorrido es de aproximadamente 3:04 minutos y cuenta con trenes de seis carros, con capacidad de transportar tres filas de dos pasajeros para una total de treinta y seis pasajeros, logrando que 1600 pasajeros tomen el recorrido en aproximadamente una hora.

Se planteó la necesidad de considerar que la estructura, fuera perteneciente al *Grupo A*, de acuerdo al artículo 139 del **RCDF04**, el cual describe como pertenecientes a este grupo las edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios.

En el caso de esta montaña rusa en particular, aunque su falla estructural no constituye un peligro significativo y su funcionamiento no es esencial en una emergencia, los costos que implicaron incrementar la seguridad fueron mínimos al ser comparados con las pérdidas que resultarían por su falla. Se trata de una estructura destinada al entretenimiento, donde la inversión inicial es alta, pero recuperable a mediano plazo, por lo que se consideró como una estructura de la mayor importancia por los factores económicos involucrados.

Se encuentra en una zona poco accidentada desde el punto de vista topográfico, al surponiente de la Ciudad de México, encontrándose dentro de la Zona I o de Lomas formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los qué pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados. Del estudio de mecánica de suelos consultado, se determinó que se encontraron materiales limosos hasta 1.20 m de profundidad, sin detectarse materiales finos o arcillosos como constituyentes dominantes por debajo de 1.80 m. Por tanto se consideró adecuado, como sistema de cimentación, el utilizar zapatas de concreto aisladas o combinadas desplantadas preferentemente a una profundidad como mínimo de 1.80 m.

La montaña rusa, se diseñó a base de elementos de acero estructural (trabes, columnas, diagonales, etc.), que forman subestructuras de diversas formas y alturas, que se conectan entre sí, para cumplir con los requerimientos del recorrido. Estos elementos, los componen principalmente secciones tubulares circulares, ángulos de lados iguales, redondos de diámetro reducido, canales, etc. El principal objetivo de estas subestructuras, es el de soportar los rieles, también de secciones tubulares circulares (interconectadas por placas de acero), que sirven como vías para el tren en su recorrido. Además todos estos elementos, deben soportar las acciones debidas a la operación de la atracción, acciones sísmicas y eólicas que se presentarán en esta estructura en particular.

El recorrido de la atracción comienza en la Estación, donde los pasajeros abordan los trenes, una vez que el tren está listo para comenzar, éste es liberado por el controlador y avanza gracias a una la ligera pendiente en sus rieles hasta la primera cuna del recorrido, inmediatamente después toma la segunda cuna con desarrollo en curva peraltada en

forma de 'U '; saliendo de ésta curva se encuentra con la primera *Sección de Frenado 'A '* (recta), donde el tren reduce su velocidad para tomar una curva simple en forma de ' L ' y así llegar al pie de las torres de ascenso; esta primera parte del recorrido, la componen columnas tubulares circulares de poca altura, además el viaje se hace muy cercano al terreno natural.

Una vez que el tren está al pie de las torres de ascenso, la cadena accionada por un motor eléctrico lo eleva hasta el punto más alto del recorrido o corona, aquí comienza la caída por las torres de impulso (pendiente máxima de 60 grados), llegando prácticamente al nivel de terreno natural, alcanzando velocidades máximas. Esta parte del recorrido es la más alta y la componen torres contraventeadas, a base de tubos circulares y ángulos de lados iguales.

Con el impulso resultado de la caída, el tren desde la parte más baja sube hasta el inicio de la primera vuelta, la cual consiste en una curva peraltada en forma de espiral hacia su centro, con salida final a aproximadamente 90 grados con relación a su entrada, despúes de dar una vuelta y media. Esta primera vuelta empieza en lo alto, para llegar al cabo de media vuelta a su parte más baja y subir de nuevo hasta completar una vuelta, volviendo a bajar para completar la vuelta y media. El recorrido en curva tiene diferentes peraltes, según el tramo donde se encuentra, inclinando el tren hacia su izquierda de frente a la dirección del viaje. Aquí las columnas son perfiles tubulares circulares, algunas de ellas formando estructuras en forma de 'A ' o con diagonales también a base de tubulares circulares.

Al salir de la primera vuelta, el tren se encuentra muy cerca del terreno natural, cruzando por debajo la trayectoria de ésta primera vuelta; inmediatamente después vuelve a subir librando la salida de la segunda vuelta, para entrar a ésta. La segunda vuelta consiste en una completa, en la que el tren sale aproximadamente a 90 grados con relación a su entrada; comienza en lo alto, para que al cabo de la mitad del recorrido alcance su parte más baja para volver a subir saliendo de la curva y consecuentemente llegar a la *Sección de Frenado 'B '*. En esta zona, el peralte de la curva logra que el tren se incline a su derecha de frente a la dirección del viaje; las columnas de esta zona son tubulares circulares, simples y con diagonales.

En la *Sección de Frenado 'B'*, el tren vuelve a reducir su velocidad para entrar a la zona de jorobas, llamadas así por tartarse de pequeñas colinas. Ésta zona consta de dos cunas y dos crestas que corren paralelamente a las torres de ascenso, corona e impulso terminando aproximadamente donde comienzan estas. La trayectoria en planta es recta y sin peralte. La zona de jorobas está compuesta por columnas simples de sección tubular circular.

Al salir de la última cresta de la zona de jorobas el tren entra a una pequeña cuna, al salir de ésta se encuentra con una curva peraltada en forma aproximada de 'L', librando por arriba la *Sección de Frenado 'A'*. Inmediatamente despúes el tren entra a otra curva peraltada en forma de 'U', inclinando el tren a su izquierda de frente a la dirección del viaje; las columnas que componen ésta última curva o vuelta de llegada se encuentran atirantadas por tensores o tirantes concéntricos. Al salir de la curva el tren se encuentra con la *Sección de Frenado 'C'*, que reduce su velocidad para detenerlo completamente en la plataforma móvil con destino a la estación de mantenimiento o para entregarlo a la última vuelta en 'U' que lo lleva de nuevo a la estación de embarque y desembarque.

Existen como parte de la montaña rusa, tres estructuras totalmente independientes desde el punto de vista estructural, la estación de abordaje, la plataforma móvil y la estación de mantenimiento. La primera es una estructura auxiliar para el alojamiento de los controles propios de la atracción, así como de la infraestructura necesaria para que las personas puedan abordar y descender de los trenes; la segunda y tercera son utilizadas para el mantenimiento de los trenes, permitiendo trasladar a éstos por medio de la plataforma móvil, del recorrido a la estación de mantenimiento, la cual está especialmente adaptada para que el personal de mantenimiento pueda alcanzar todas sus partes. Estas tres estructuras no fueron incluídas en la revisión.

Debido a la gran cantidad de información, se propúso dividir la estructura en seis zonas: A, B, C, D, E y F, las cuales se describen en las secciones subsecuentes. Estas zonas solo sirvieron para el manejo eficiente de la información, y no para un análisis y revisión estructural independiente.

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

La planta e isométrico de la estructura se presentan en II.A.1 y II.A.2, indicando los principales elementos y características. Las seis diferentes zonas, sus descripciones, plantas, isométricos e identificación de columnas de II.A.3 a II.A.8. A continuación se listan los dibujos descritos:

II.A.1. Planta General.

II.A.2. Isométrico General.

II.A.3.	Zona A	(Embarque y Salida).	Columnas TL2 a 27B
II.A.4.	Zona B	(Ascenso e Impulso).	Columnas 34 a 69
II.A.5.	Zona C	(Primera Vuelta).	Columnas 70 a 121
II.A.6.	Zona D	(Segunda Vuelta).	Columnas 122 a 155
II.A.7.	Zona E	(Jorobas).	Columnas 156 a 186
II.A.8.	Zona F	(Llegada).	Columnas 187 a TL1

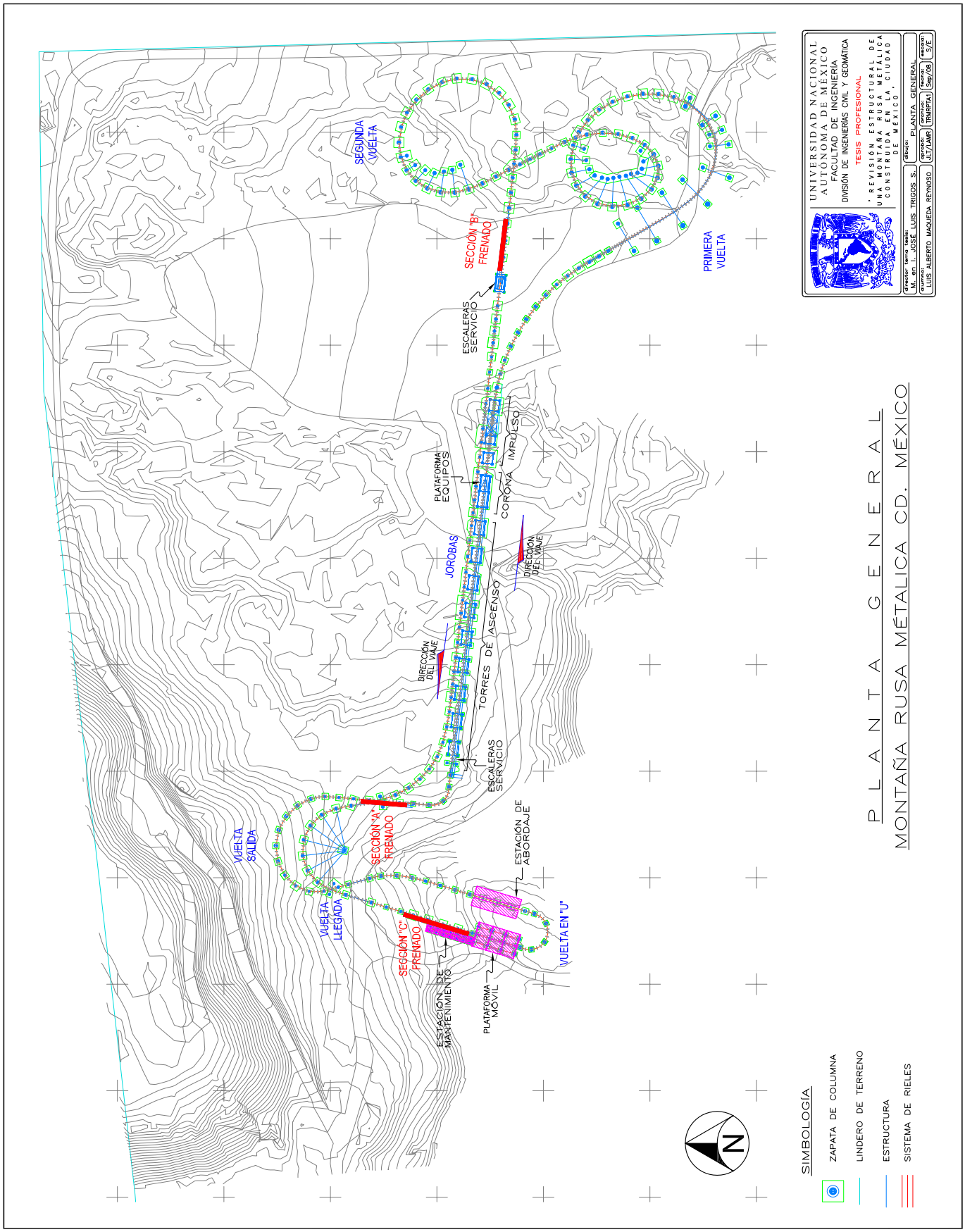
Posteriormente en II.A.9 a II.A.11 se muestran algunas fotografías de la estructura, ilustrando algunas de las zonas más importantes.

II.A.9. Fotografías 01 a 05.

II.A.10. Fotografías 06 a 10.

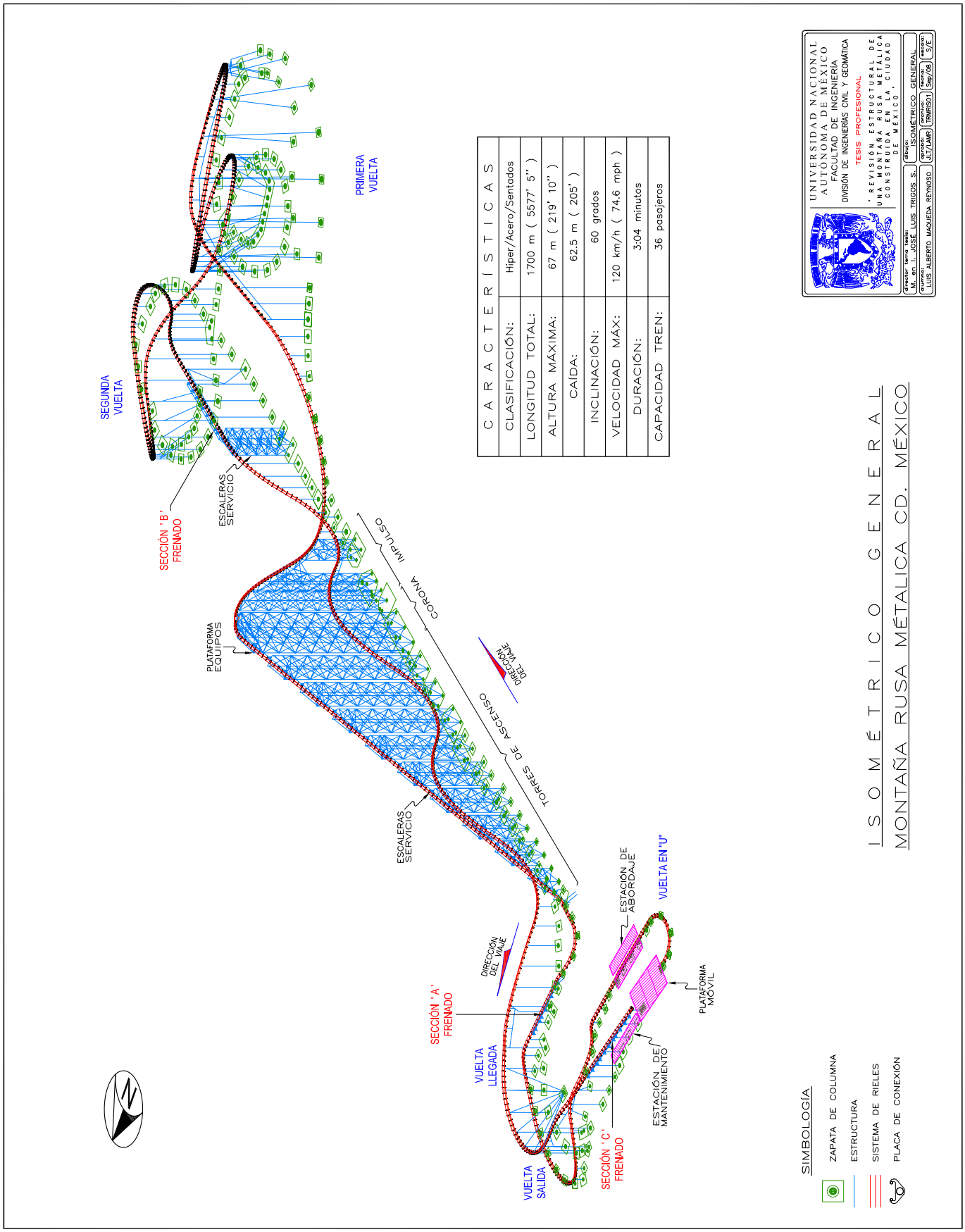
II.A.11. Fotografías 11 a 15.

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO. 1. Planta General.



A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

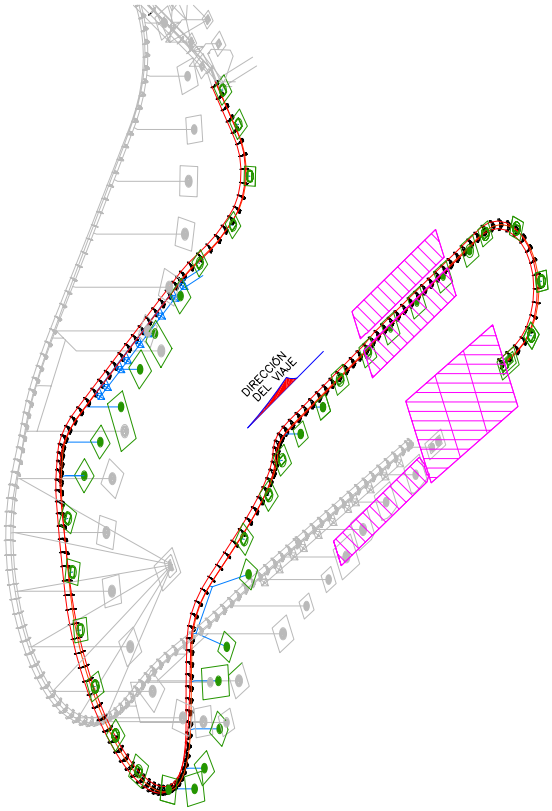
2. Isométrico General.



CARACTERÍSTICAS	
CLASIFICACIÓN:	Hiper/Acero/Sentados
LONGITUD TOTAL:	1700 m (5577' 5")
ALTURA MÁXIMA:	67 m (219' 10")
CAÍDA:	62.5 m (205')
INCLINACIÓN:	60 grados
VELOCIDAD MÁX:	120 km/h (74.6 mph)
DURACIÓN:	3:04 minutos
CAPACIDAD TREN:	36 pasajeros

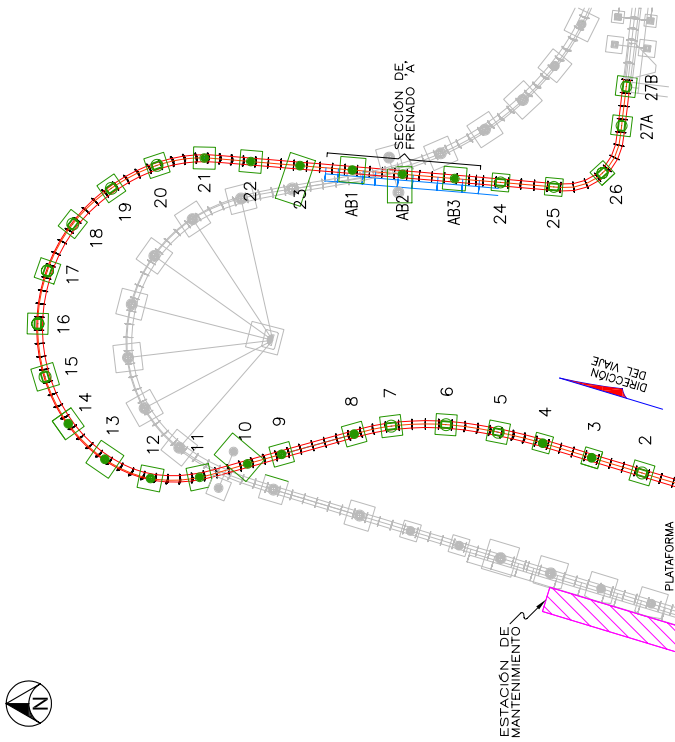
A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

3. Zona A (Embarque y Salida).



I S O M É T R I C O

Zona comprendida entre las columnas TL2 a 27B y es la primera etapa del recorrido. Se pueden encontrar tres estructuras independientes de la superestructura analizada: la estación de mantenimiento, la plataforma móvil y la estación de abordaje (no incluídas en el análisis). Esta zona la componen columnas metálicas aisladas (columnas y soportes) apoyadas sobre zapatas de concreto, principalmente tubos circulares de acero estructural de poca altura que soportan y siguen la trayectoria del recorrido (rieles). Las columnas 8 y 9, forman un marco en el sentido del recorrido, también de tubos circulares de acero estructural, permitiendo un paso intermedio seguro entre las columnas. La sección de frenado 'A', la forman perfiles estructurales como tubos cuadrados, canales y lámina perforada.



P L A N T A

SIMBOLOGÍA

- ZAPATA DE COLUMNA
- TL2 No. DE COLUMNA
- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE RIELES
- PLACA DE CONEXIÓN

E M B A R Q U E Y S A L I D A

D E S C R I P C I Ó N Z O N A ' A '

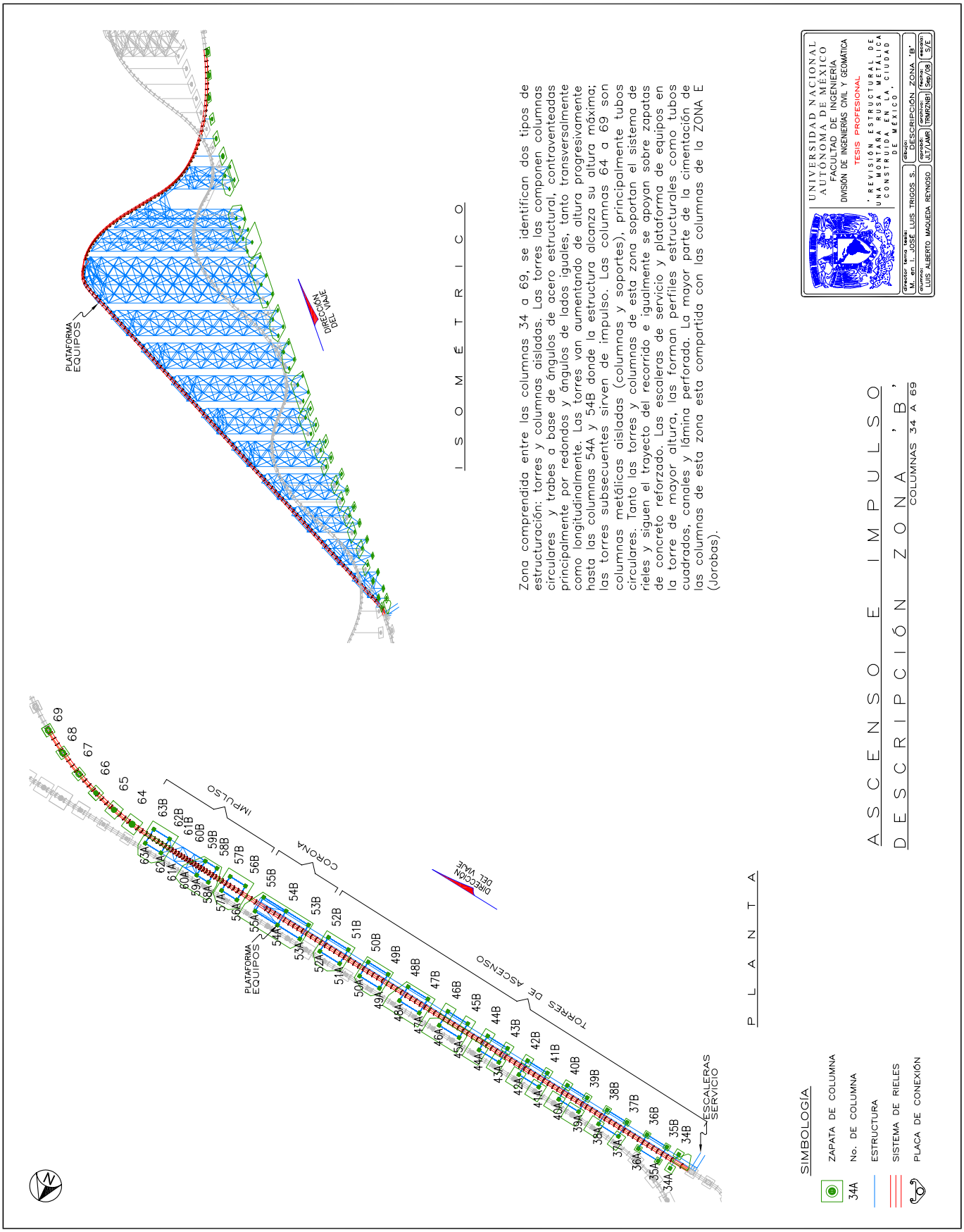
COLUMNAS TL2 A 27B

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director, tema, tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: DESCRIPCIÓN ZONA 'A'		
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	dibujó: JJ/LAMR	archivo: TRMRZNA1	fecha: Sep/08	escala: S/E

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

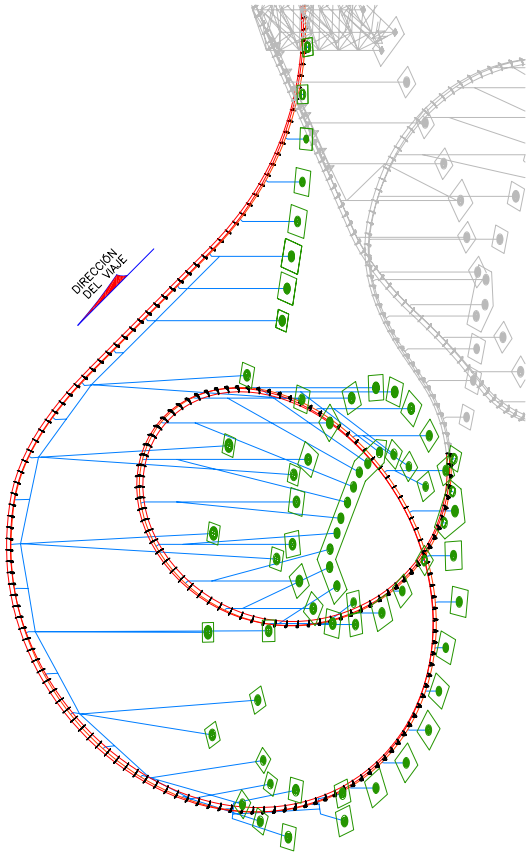
4. Zona B (Ascenso e Impulso).



Zona comprendida entre las columnas 34 a 69, se identifican dos tipos de estructuración: torres y columnas aisladas. Las torres las componen columnas circulares y trabes a base de ángulos de acero estructural, contraventeadas principalmente por redondos y ángulos de lados iguales, tanto transversalmente como longitudinalmente. Las torres van aumentando de altura progresivamente hasta las columnas 54A y 54B donde la estructura alcanza su altura máxima; las torres subsecuentes sirven de impulso. Las columnas 64 a 69 son columnas metálicas aisladas (columnas y soportes), principalmente tubos circulares. Tanto las torres y columnas de esta zona soportan el sistema de rieles y siguen el trayecto del recorrido e igualmente se apoyan sobre zapatas de concreto reforzado. Las escaleras de servicio y plataforma de equipos en la torre de mayor altura, las forman perfiles estructurales como tubos cuadrados, canales y lámina perforada. La mayor parte de la cimentación de las columnas de esta zona esta compartida con las columnas de la ZONA E (Jorobas).

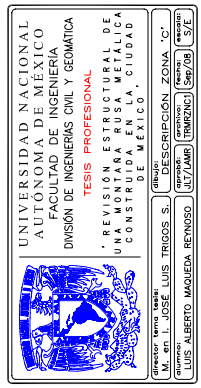
A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

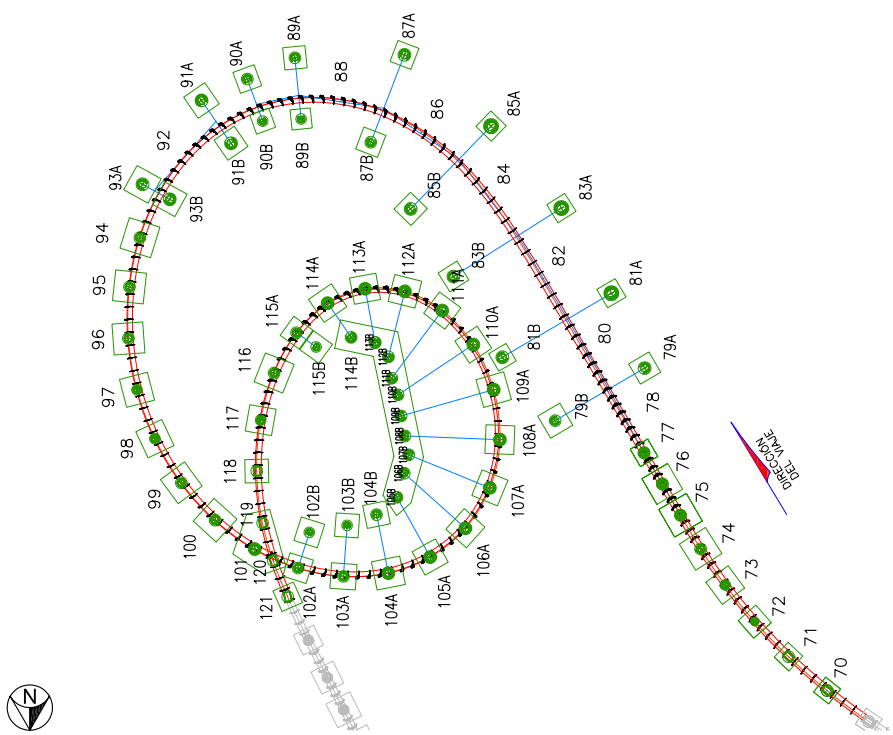
5. Zona C (Primera Vuelta).



ISOMÉTRICO

Zona comprendida entre las columnas 70 a 121. Se distinguen tres tipos de estructuración: columnas aisladas (columnas y soportes), columnas en 'A', y columnas con brazo. Todas las columnas y trabes de esta zona son tubos circulares de acero estructural de diversos diámetros y alturas. Las columnas de esta zona soportan el sistema de rieles y siguen el trayecto del recorrido, apoyándose sobre zapatas de concreto reforzado. La cimentación de las columnas 105B a 114B es común y consta de una zapata corrida de forma especial que sigue la localización de estas.





PLANTA

PRIMERA VUELTA

DESCRIPCIÓN ZONA 'C'

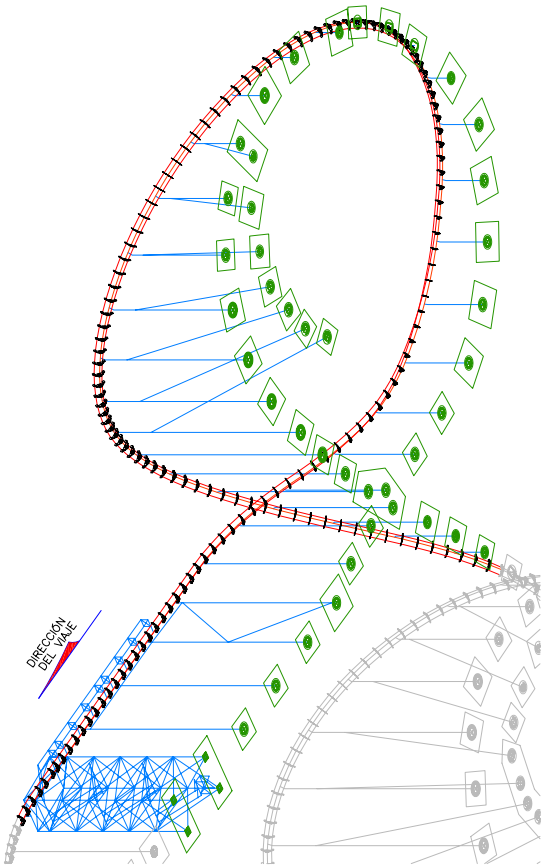
COLUMNAS 70 A 121

SIMBOLOGÍA

- ZAPATA DE COLUMNA
- 70 No. DE COLUMNA
- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE RIELES
- PLACA DE CONEXIÓN

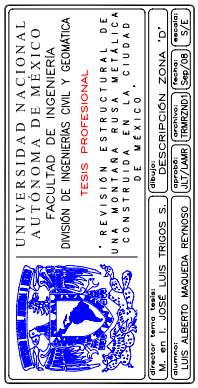
A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

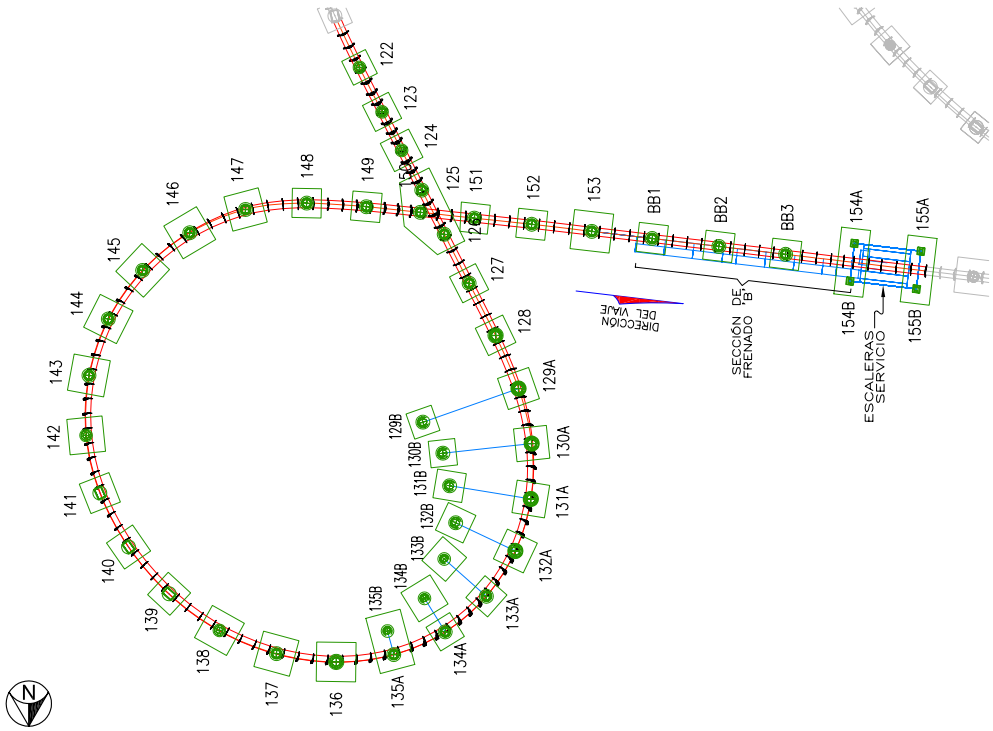
6. Zona D (Segunda Vuelta).



I S O M É T R I C O

Zona comprendida entre las columnas 122 a 155. Se distinguen tres tipos de estructuración: columnas aisladas (columnas y soportes), columnas con brazo y torre de escaleras. La torre de escaleras las componen columnas circulares y trabes a base de ángulos de acero estructural, contraventeadas principalmente por redondos y ángulos de lados iguales, tanto transversalmente como longitudinalmente. Las columnas de esta zona son tubos circulares de acero estructural de diversos diámetros y alturas que soportan el sistema de rieles y siguen el trayecto del recorrido, apoyándose sobre zapatas de concreto reforzado. La sección de frenado 'B', la forman perfiles estructurales como tubos cuadrados, canales y lámina perforada.





P L A N T A

S E G U N D A V U E L T A

D E S C R I P C I Ó N Z O N A 'D'

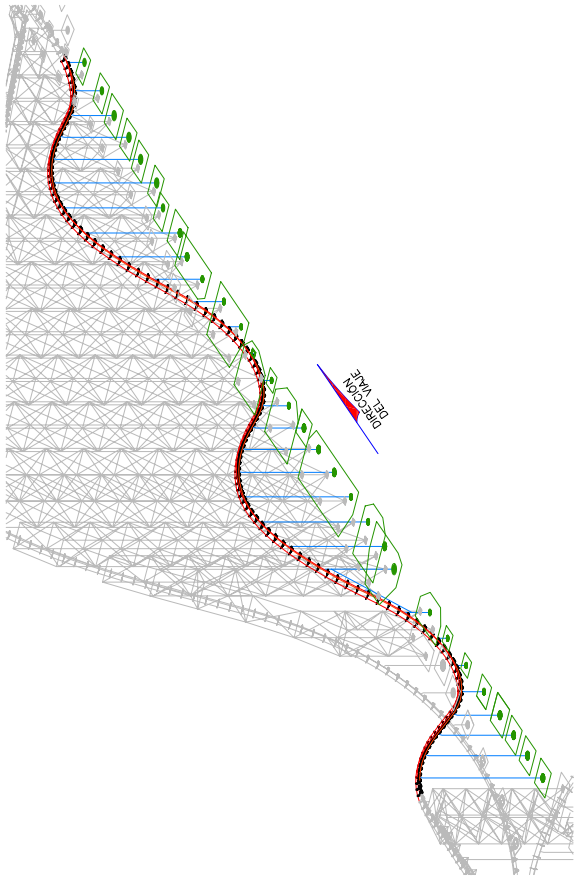
COLUMNAS 122 A 155

SIMBOLOGÍA

- ZAPATA DE COLUMNA
- 122 No. DE COLUMNA
- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE RIELES
- PLACA DE CONEXIÓN

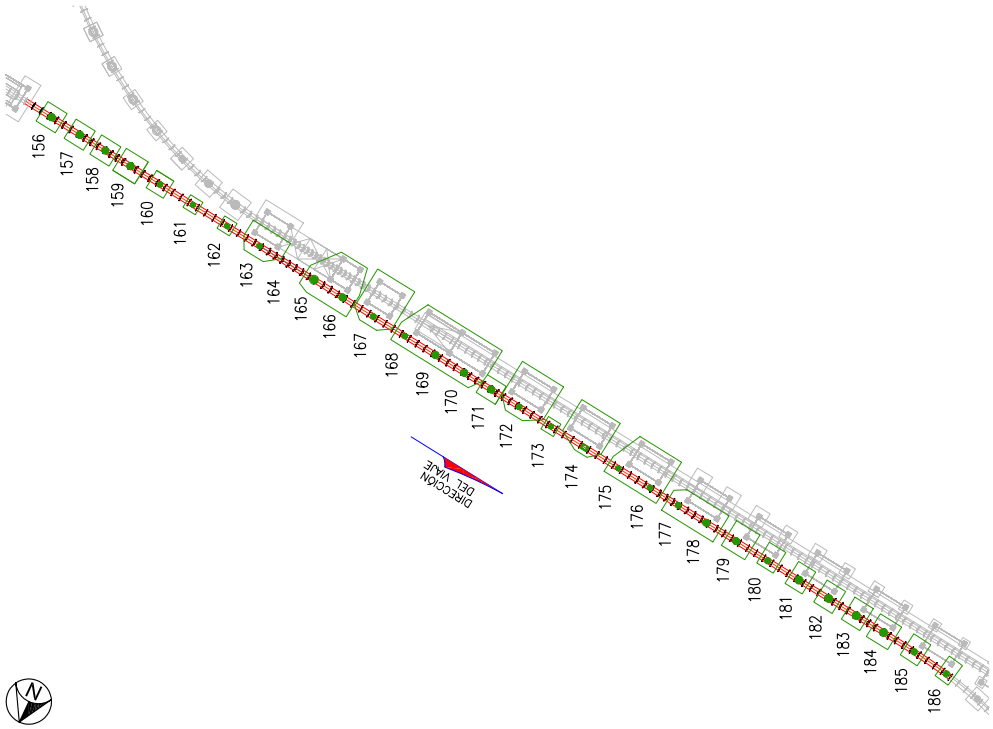
A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

7. Zona E (Jorobas).



I S O M É T R I C O

Comprendida entre las columnas 156 a 186. Esta zona la componen columnas metálicas aisladas (columnas y soportes) apoyadas sobre zapatas de concreto, principalmente tubos circulares de acero estructural de distintas alturas que soportan y siguen la trayectoria del recorrido (rieles). Las columnas 163, 164 y 165, forman un marco en el sentido del recorrido, también de tubos circulares de acero estructural, permitiendo un paso intermedio seguro entre las columnas. Gran parte de la cimentación de las columnas de esta zona esta compartida con las columnas de la fila A de la ZONA B (Ascenso e Impulso).



P L A N T A

J O R O B A S

D E S C R I P C I Ó N Z O N A ' E '

COLUMNAS 156 A 186

SIMBOLOGÍA

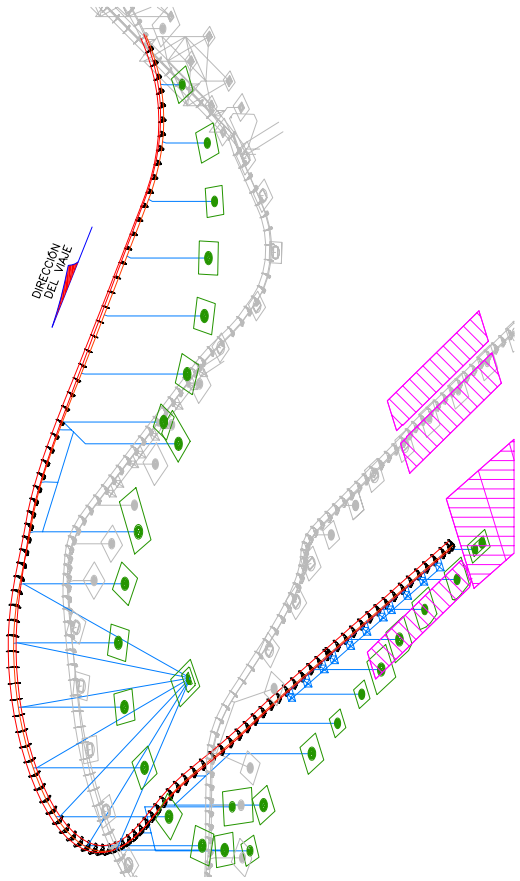
- ZAPATA DE COLUMNA
- 156 No. DE COLUMNA
- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE RIELES
- PLACA DE CONEXIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director, tema, tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: DESCRIPCIÓN ZONA 'E'		
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	aprobó: JJT/JAMR	archivo: TRMRZNE1	fecha: Sep/08	escala: S/E

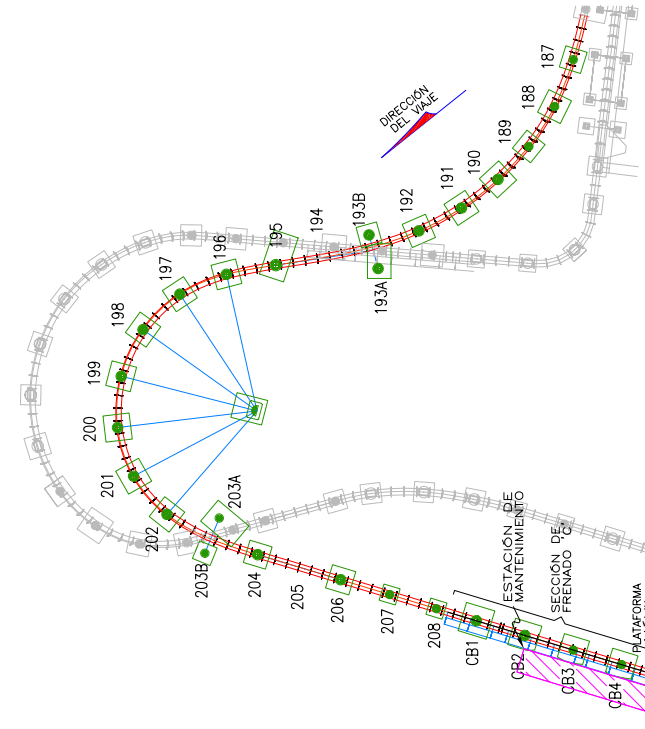
A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

8. Zona F (Llegada).



I S O M É T R I C O

Zona comprendida entre las columnas 187 a TL1 y es la última etapa del recorrido. Esta zona la componen columnas metálicas aisladas (columnas y soportes) apoyadas sobre zapatas de concreto reforzado, principalmente tubos circulares de acero estructural de distintas alturas que soportan y siguen la trayectoria del recorrido (rieles). Las columnas 193 a 195 y 203, forman marcos tridimensionales que libran las columnas atirantadas por cables de acero, concurrentes en una zapata de concreto. La sección de frenado C, la forman perfiles estructurales como tubos cuadrados, canales y lámina perforada.



P L A N T A

SIMBOLOGÍA

- ZAPATA DE COLUMNA
- 187 No. DE COLUMNA
- ESTRUCTURA
- SISTEMA DE RIELES
- PLACA DE CONEXIÓN

L L E G A D A

D E S C R I P C I Ó N Z O N A ' F '

COLUMNAS 187 A TL1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director, tema, tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujó: JJ/LAMR	revisó: TRMR2MF	fecha: Sep/08
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA RENGSO			escala: S/E
dibujo: DESCRIPCIÓN ZONA "F"			

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

9. Fotografías 01 a 05.

FOTOGRAFÍA 01
VISTA AÉREA DE LA MONTAÑA RUSA
EN LA CIUDAD DE MÉXICO

FOTOGRAFÍA 02
AL FRENTE PLATAFROMA MÓVIL
AL FONDO ESTACIÓN DE MANTENIMIENTO

FOTOGRAFÍA 03
ZONA 'A' EMBARQUE Y SALIDA
COLUMNA, SOPORTE Y SISTEMA DE RIELES

FOTOGRAFÍA 04
AL FRENTE ZONA 'A' COLUMNAS 8 Y 9
AL FONDO ZONA 'F' COLUMAS 204, 205 Y 206

FOTOGRAFÍA 05
ZONAS 'A', 'B', 'E' Y 'F'
VISTA DE FRENTE
TORRES DE ASCENSO

FOTOGRAFÍAS 01 A 05

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	FOTOGRAFÍAS 01 A 05			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRF01	Sep/08	S/E

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

10. Fotografías 06 a 10.

FOTOGRAFÍA 06
ZONAS 'B' Y 'E'
AL FRENTE REGRESO JOROBAS
AL FONDO TORRES DE ASCENSO, CORONA E IMPULSO

FOTOGRAFÍA 07
ZONA 'C'
AL FRENTE ASCENSO A PRIMERA VUELTA
AL FONDO PRIMERA VUELTA

FOTOGRAFÍA 08
ZONAS 'B', 'C' Y 'D'
AL FRENTE A LA IZQUIERDA ASCENSO A PRIMERA VUELTA Y A LA DERECHA ESCALERAS DE SERVICIO
AL FONDO TORRES DE ASCENSO, CORONA E IMPULSO

FOTOGRAFÍA 09
ZONA 'C'
ASCENSO A PRIMERA VUELTA Y PRIMERA VUELTA

FOTOGRAFÍA 10
ZONA 'C'
PRIMERA VUELTA

FOTOGRAFÍAS 06 A 10

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	FOTOGRAFÍAS 06 A 10			
alumno:	aprobó:	gráfico:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRF02	Sep/08	S/E

A. DESCRIPCIÓN DE ZONAS EN ESTUDIO.

11. Fotografías 11 a 15.

FOTOGRAFÍA 11
ZONA 'C'
PRIMERA VUELTA

FOTOGRAFÍA 12
ZONA 'D'
SEGUNDA VUELTA

FOTOGRAFÍA 13
ZONAS 'C' Y 'D'
AL FRENTE A LA IZQUIERDA ESCALERAS DE SERVICIO
Y A LA DERECHA ASCENSO A PRIMERA VUELTA
AL FONDO A LA IZQUIERDA SEGUNDA VUELTA Y A
LA DERECHA PRIMERA VUELTA

FOTOGRAFÍA 14
ZONAS 'A' Y 'F'
AL FONDO COLUMNAS
193, 194, 195 Y
SECCIÓN DE FRENADO A

FOTOGRAFÍA 15
ZONA 'F'
COLUMNAS CON
TENSORES

FOTOGRAFÍAS 11 A 15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	FOTOGRAFÍAS 11 A 15			
alumno:	aprobó:	gráfico:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRF03	Sep/08	S/E

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

Los dibujos correspondientes a la estructuración y a la geometría de la montaña rusa, se presentan en II.B.1 a II.B.16, mostrando los principales elementos que la componen. Debido a la gran cantidad de información necesaria para detallar por completo la estructura, se tomó la decisión de solamente incluir los aspectos más relevantes para su descripción. A continuación se listan los dibujos descritos:

II.B.1. Soportes Tipo.

II.B.2. Columnas ST1 a ST4.

II.B.3. Columnas de 18" y Marco Columnas 8 y 9.

II.B.4. Columnas de 24", 30" y 36".

II.B.5. Columnas AB1 a AB3.

II.B.6. Torres de Ascenso, Corona e Impulso.

II.B.7. Columnas 75 a 90.

II.B.8. Columnas 91, 92, 93 y 163, 164, 165.

II.B.9. Columnas de 24", 30", 36" y 42".

II.B.10. Columnas con Diagonal.

II.B.11. Columnas 153, BB1, BB2 y BB3.

II.B.12. Columnas 154 y 155.

II.B.13. Columnas 196 a 203.

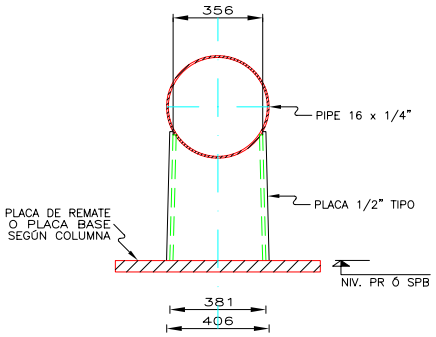
II.B.14. Columnas 193, 194, 195 y 204, 205, 206.

II.B.15. Columnas CB1 a TL1.

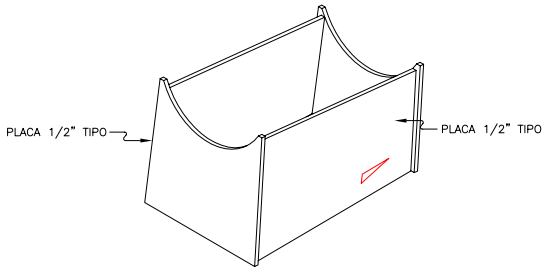
II.B.16. Tramo de Vía y Placas Tipo de Conexión.

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

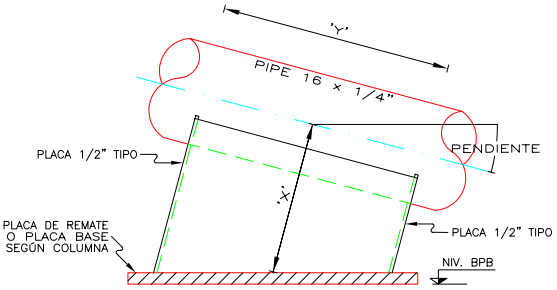
1. Soportes Tipo.



SECCIÓN TÍPICA DE SOPORTE



ISOMÉTRICO TÍPICO DE SOPORTE



ELEVACIÓN TÍPICA DE SOPORTE

TIPO DE SOPORTE	DIMENSIÓN 'X'	DIMENSIÓN 'Y'
A	457.2	762.0
B	457.2	609.6
C	609.6	609.6
D	609.6	914.4
E	609.6	787.4
F	685.8	762.0
G	533.4	609.6
H	533.4	762.0

COLUMNA	PENDIENTE	NSPB	NBPB	NCIM	SOPORTE
TL2	2.00°	94.640	94.589	92.434	B
U1	357.46°	94.440	94.389	92.319	B
U2	358.50°	94.210	94.159	92.089	B
U3	0.68°	94.090	94.039	91.969	B
U4	1.98°	93.920	93.869	91.799	B
1	2.91°	92.340	92.289	90.219	B
2	2.91°	92.040	91.989	89.309	B
5	25.32°	88.140	88.089	86.019	F
6	7.75°	86.040	85.989	83.919	C
7	10.60°	86.140	86.089	83.049	B
15	8.68°	74.890	74.839	72.464	B
16	1.99°	74.240	74.189	71.814	C
17	4.02°	74.390	74.339	71.964	C
18	8.38°	75.140	75.089	72.714	C
19	13.94°	76.590	76.539	74.164	C
20	21.92°	78.890	78.839	76.464	C
24	15.07°	83.640	83.589	81.519	C
25	1.09°	82.540	82.489	80.419	C
26	1.09°	82.340	82.289	80.219	C

COLUMNA	PENDIENTE	NSPB	NBPB	NCIM	SOPORTE
27A	1.02°	82.140	82.089	80.019	B
27B	1.02°	82.140	82.089	79.866	B
67	12.66°	86.640	86.589	84.519	E
68	5.62°	85.590	85.539	83.469	A
69	1.48°	85.240	85.189	83.119	A
70	8.57°	85.940	85.889	83.819	A
71	15.61°	87.240	87.189	85.271	B
118	8.36°	88.790	88.739	86.516	A
119	0.50°	88.290	88.239	86.062	A
120	8.30°	88.640	88.589	86.062	H
121	17.70°	89.890	89.839	87.921	A
139	2.28°	86.840	86.789	84.566	F
140	8.43°	87.640	87.589	85.366	A
141	13.89°	89.040	88.989	86.766	A
174	0.03°	86.140	86.089	84.171	B

NOTA: Las columnas listadas se componen solo del soporte asignado.

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NSPB	NIV. SUPERIOR PLACA BASE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

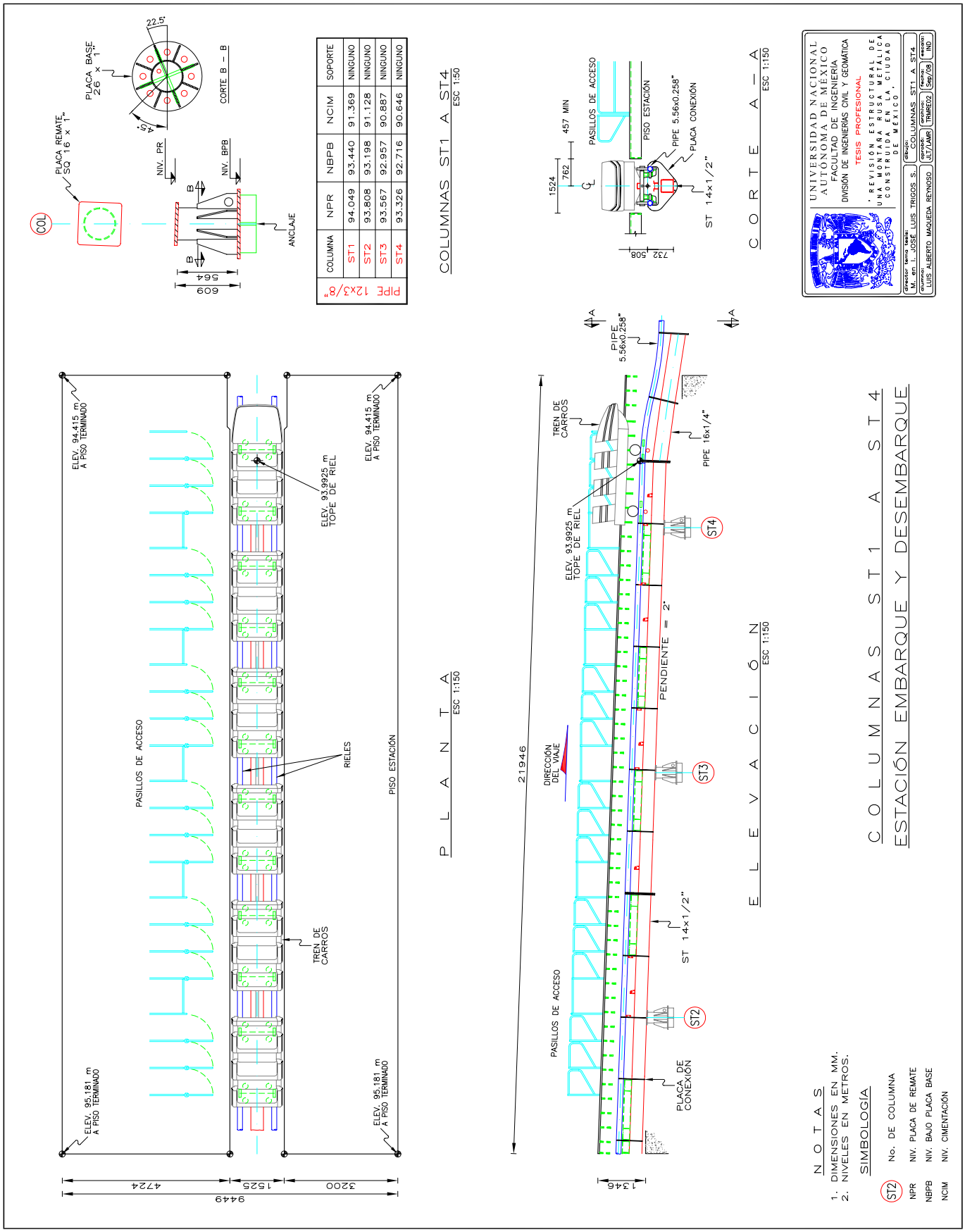
S O P O R T E S T I P O

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	S O P O R T E S T I P O			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE01	Sep/08	S/E

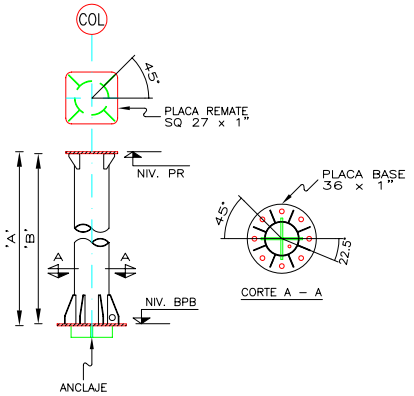
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

2. Columnas ST1 a ST4.



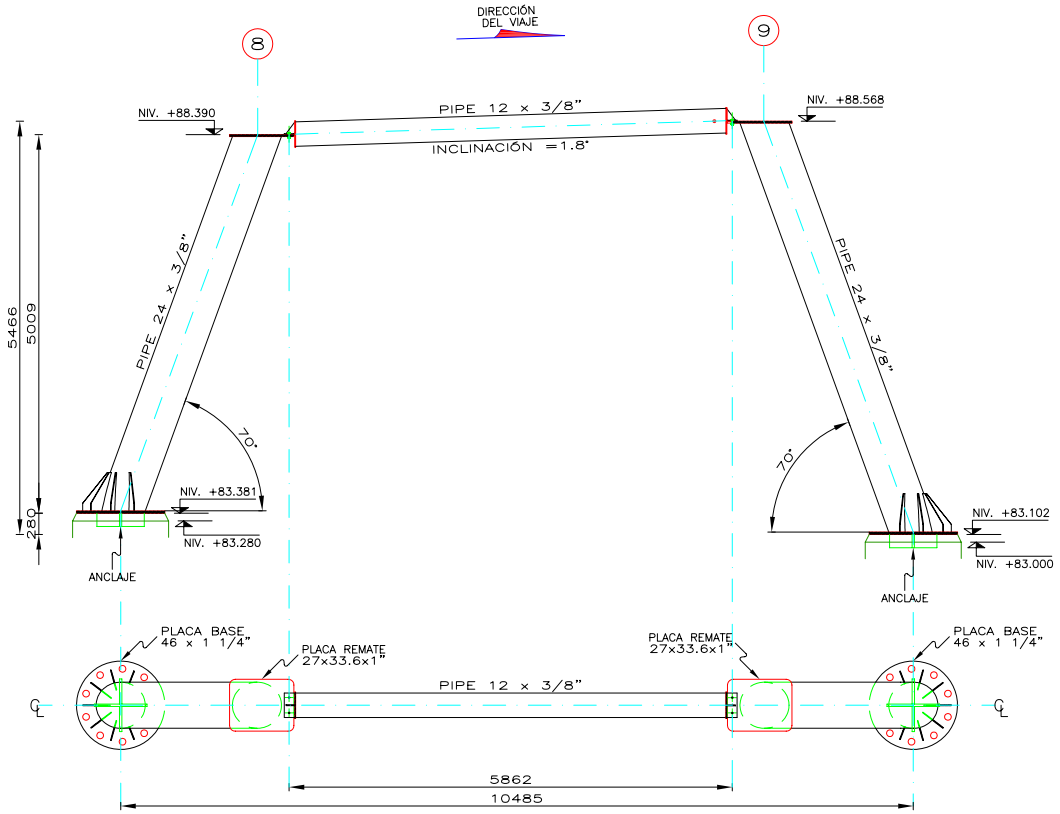
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

3. Columnas de 18" y Marco Columnas 8 y 9.



PIPE 18" x 3/8"

PIPE 18 x 3/8"	COLUMNA	LONGITUD 'A'	LONGITUD 'B'	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
	3	1586	1535	91.675	90.089	88.171	B
	4	2021	1970	91.110	89.089	87.171	B
	10	3718	3667	86.407	82.689	80.466	B
	11	4029	3978	84.118	80.089	78.171	B
	14	1518	1467	76.607	75.089	73.171	B
	21	2961	2910	82.050	79.089	76.714	C
	22	4975	4924	85.064	80.089	77.714	B
	23	5117	5069	85.706	80.589	78.671	B
	161	1259	1208	87.348	86.089	84.171	B
	162	1527	1476	87.616	86.089	84.171	B
	173	1062	1011	87.151	86.089	84.171	B
	175	2070	2019	87.159	85.089	83.079	B
	186	2402	2351	83.991	81.589	79.214	B
	187	2596	2545	84.185	81.589	79.366	B



N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

COLUMNAS SENCILLAS DE 18"

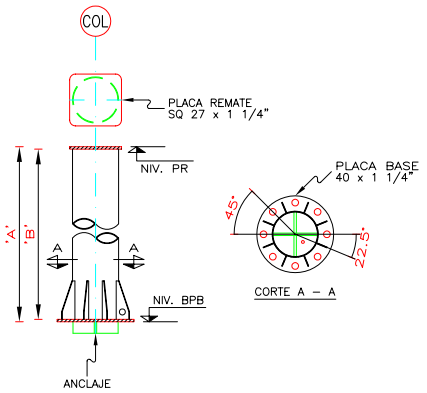
MARCO COLUMNAS 8 Y 9

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	Columnas de 18" y Marco Columnas 8, 9			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE03	Sep/08	1:100

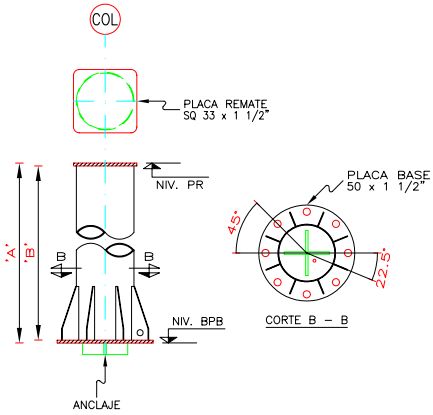
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

4. Columnas de 24", 30" y 36".



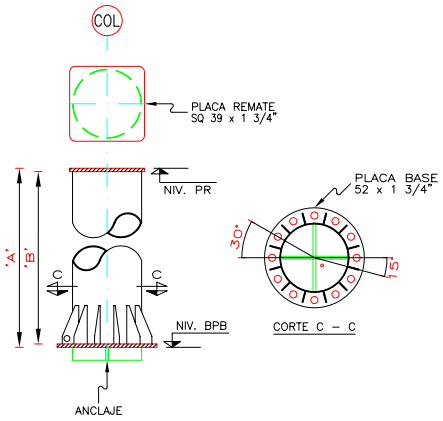
PIPE 24" x 3/8"

	COLUMNA	LONGITUD 'A'	LONGITUD 'B'	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
PIPE 24 x 3/8"	12	2446	2383	81.548	79.102	77.171	B
	13	2761	2697	78.863	76.102	74.171	B
	66	2034	1970	88.836	86.802	84.871	A
	72	3554	3491	89.956	86.402	84.471	C
	160	3172	3108	89.274	86.102	84.171	B
	172	3742	3678	89.844	86.102	84.171	C
	176	4759	4696	89.861	85.102	83.079	C
	177	7696	7633	93.798	86.102	84.171	C
	185	3972	3908	85.574	81.602	79.214	B
	188	5869	5805	85.971	80.102	77.866	B
	189	8823	8760	88.925	80.102	77.866	G
	207	11594	11530	96.696	85.102	83.171	B
	208	10617	10554	96.719	86.102	84.171	B



PIPE 30" x 3/8"

PIPE 30 x 3/8"	65	4883	4807	91.697	86.814	84.871	C
	73	6556	6480	93.170	86.614	84.671	C
	97	2111	2035	90.825	88.714	86.466	A
	98	1634	1557	91.248	89.614	87.366	A
	117	1462	1386	90.476	89.014	86.766	A
	122	3915	3839	93.029	89.114	87.171	H
	123	8496	8420	97.610	89.114	87.171	E
	124	13168	13397	102.782	89.614	87.366	C
	138	3053	2977	87.167	84.114	81.866	A
	142	2877	2800	90.991	88.114	85.866	A
	166	15391	15315	101.505	86.114	84.476	B
	169	15000	14924	101.114	86.114	84.171	B
	170	11811	11735	97.925	86.114	84.171	C
	171	7785	7709	93.899	86.114	84.171	C
	178	11184	11108	97.298	86.114	84.171	C
	179	15099	15023	99.713	84.614	82.214	B
	182	13706	13630	96.570	82.864	80.464	B
	183	10576	10500	92.895	82.319	79.919	C
	184	6463	6387	88.782	82.319	79.919	C
	190	11027	10951	92.141	81.114	78.866	G
	191	13708	13632	94.822	81.114	78.866	B
	192	14492	14416	96.606	82.114	79.866	B



PIPE 36" x 3/8"

PIPE 36 x 3/8"	64	9301	9212	95.415	86.114	84.019	A
	74	10519	10430	97.233	86.714	84.619	A
	94	4747	4658	94.361	89.614	87.062	A
	95	4302	4213	92.416	88.114	85.562	A
	96	3596	3507	91.210	87.614	85.366	A
	99	4132	4043	92.446	88.314	85.762	A
	100	4755	4666	94.369	89.614	87.062	A
	116	4505	4416	93.119	88.614	86.062	H
	137	2594	2505	88.208	85.614	83.062	A
	143	5088	4999	92.702	87.614	85.062	B
	144	5456	5367	94.570	89.114	86.562	B
	145	6704	6615	96.218	89.514	86.962	B
	146	7803	7714	97.417	89.614	87.062	B
	147	8582	8493	98.196	89.614	87.366	B
	148	8931	8842	99.045	90.114	87.866	B
	149	11200	11111	101.314	90.114	87.866	B
	150	14141	14053	104.755	90.614	88.366	G
	158	11719	11630	97.833	86.114	84.019	C
	159	6991	6902	93.105	86.114	84.019	C

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

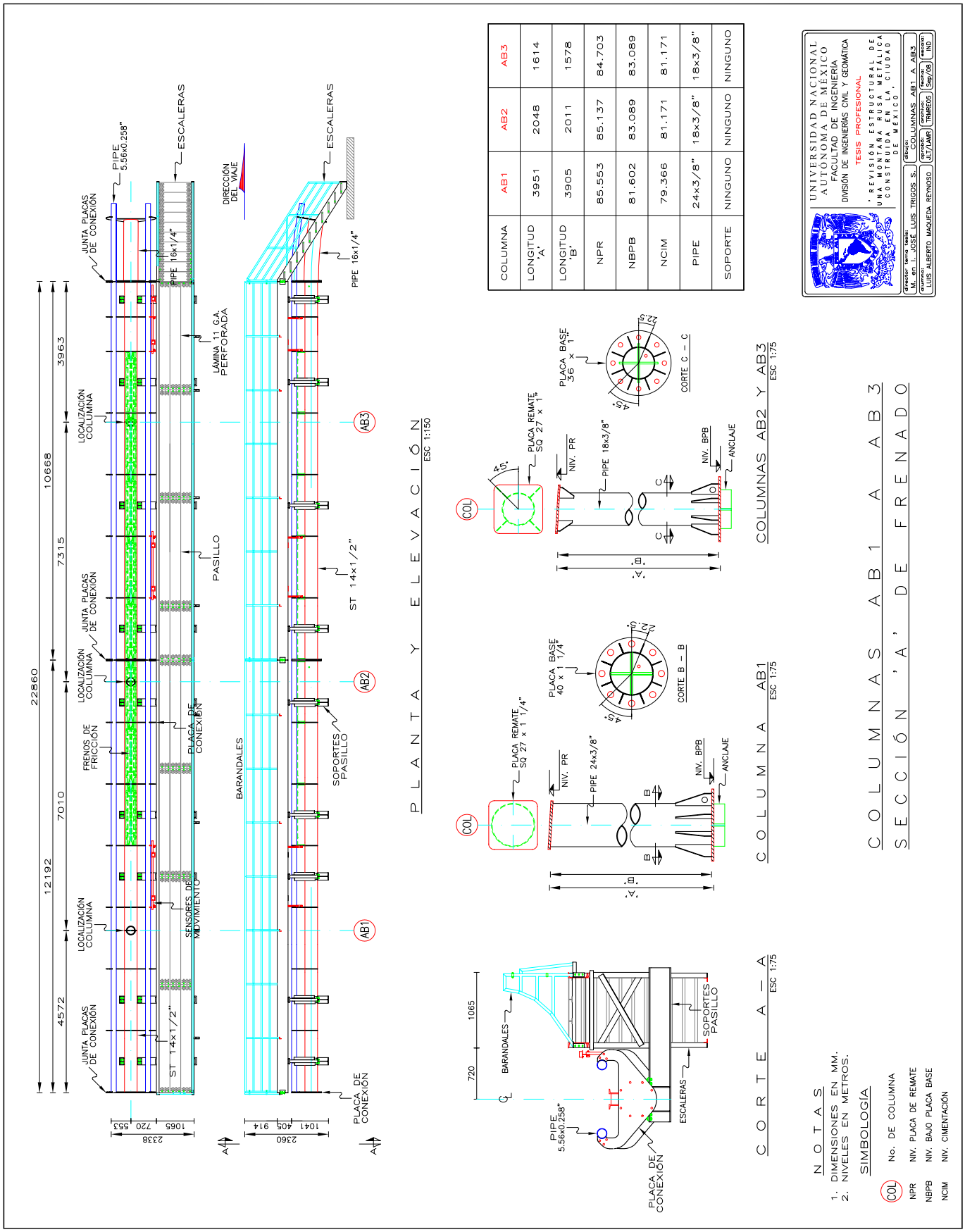
COLUMNAS SENCILLAS DE 24", 30" Y 36"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	COLUMNAS DE 24, 30 Y 36"			
alumno:	aprobó:	gráficos:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE04	Sep/08	1:100

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

5. Columnas AB1 a AB3.

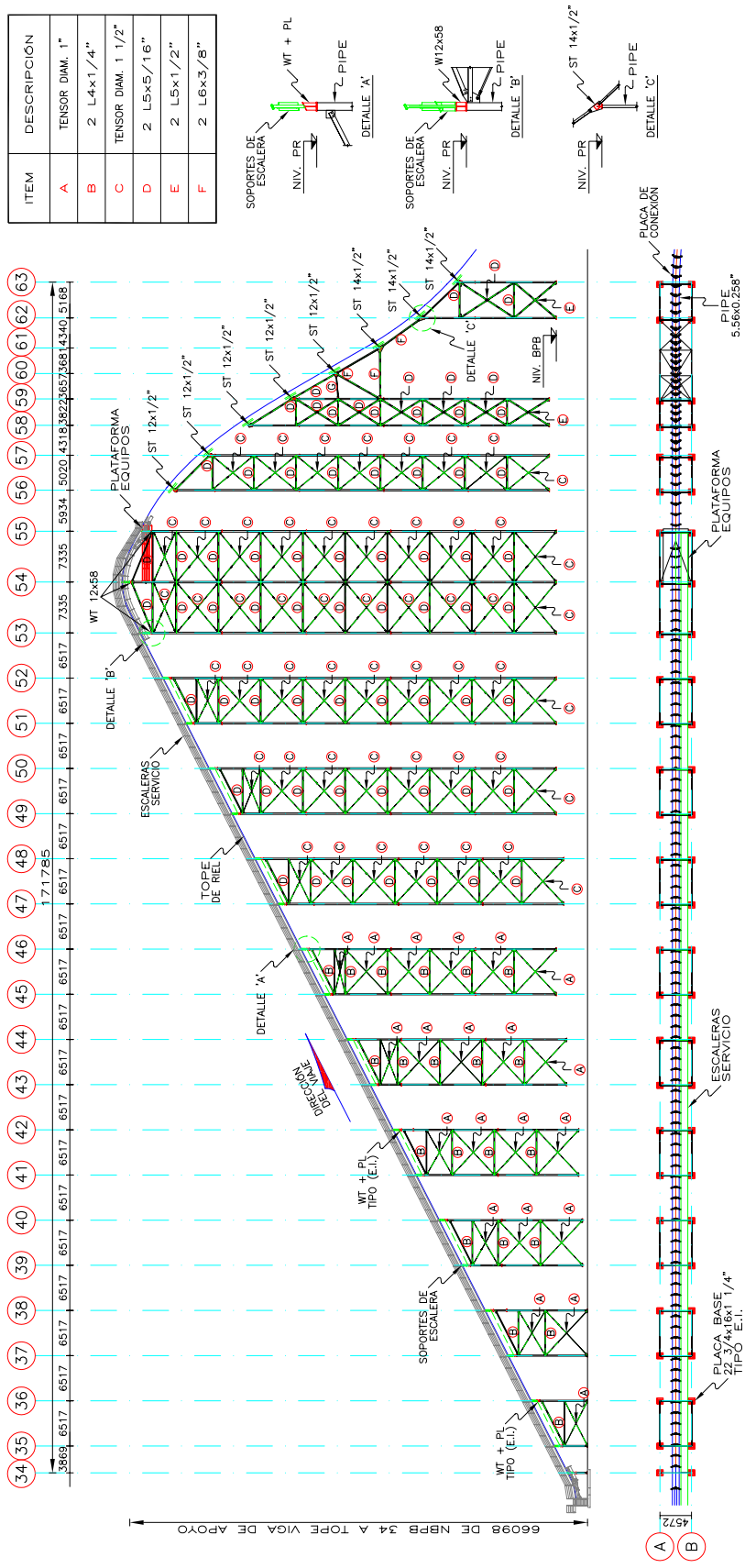


COLUMNA	AB1	AB2	AB3
LONGITUD 'A'	3951	2048	1614
LONGITUD 'B'	3905	2011	1578
NPR	85.553	85.137	84.703
NBPB	81.602	83.089	83.089
NCIM	79.366	81.171	81.171
PIPE	24x3/8"	18x3/8"	18x3/8"
SOPORTE	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

6. Torres de Ascenso, Corona e Impulso.

ITEM	DESCRIPCIÓN
A	TENSOR DIAM. 1"
B	2 L4x1/4"
C	TENSOR DIAM. 1 1/2"
D	2 L5x5/16"
E	2 L5x1/2"
F	2 L6x3/8"



COL	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
PIPE	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	6"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	8"SCH40	6"SCH40	X	X	6"SCH40	6"SCH40
NPR	83.207	85.179	84.499	91.819	95.140	98.459	101.780	105.101	108.422	111.742	115.063	118.383	121.704	125.023	128.343	131.665	134.985	138.306	141.626	144.468	147.353	144.468	140.796	135.781	129.969	123.798	117.863	111.513	105.072	99.673
NBPB	81.564	81.564	81.564	81.564	81.564	82.268	82.268	82.814	82.814	84.564	84.564	86.064	86.064	84.971	84.971	86.064	86.064	86.064	86.064	86.064	86.064	86.064	87.064	87.064	87.064	87.064	X	X	86.064	86.064
NCIM	79.214	79.214	79.214	79.214	79.214	79.919	79.919	80.464	80.464	82.671/ 82.214	82.214	84.171/ 83.466	84.171/ 83.713	83.079	83.079	84.171	84.171	84.171	84.171	84.171	84.171	84.171	84.476	84.476	84.476	84.476	X	X	84.171	84.171

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

director: tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.
dibujo: TORRES DE ASCENSO, CORONA E IMPULSO
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
aprobó: JJ17/AMR
archivo: TRIMPE06
fecha: Sep/08
escala: 1:1000

PLANTA Y ELEVACIÓN DE TORRES DE ASCENSO, CORONA E IMPULSO

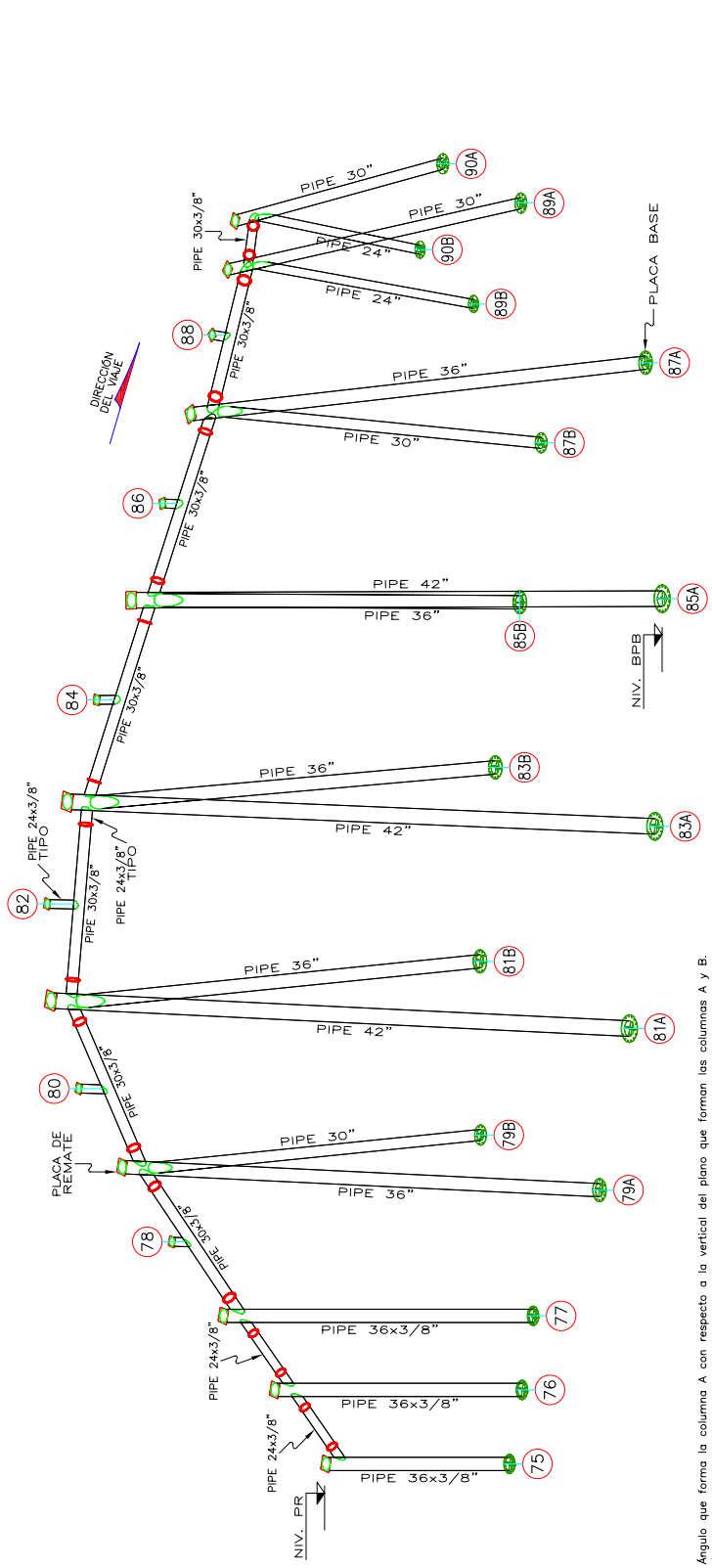
N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL No. DE COLUMNA
NPR NIV. PLACA DE REMATE
NBPB NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM NIV. CIMENTACIÓN

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. 7. Columnas 75 a 90.



ANG. 'A' = Ángulo que forma la columna A con respecto a la vertical del plano que forman las columnas A y B.
ANG. 'B' = Ángulo que forma la columna B con respecto a la vertical del plano que forman las columnas A y B.

COLUMNA	75	76	77	78	79A	79B	80	81A	81B	82	83A	83B	84	85A	85B	86	87A	87B	88	89A	89B	90A	90B
ANG. 'A'					10	10		10	10		10	10		10	10		15	15		15	15	15	15
ANG. 'B'					15	15		15	15		15	15		15	15		10	10		10	10	10	10
NPR	102.163	107.337	112.510	117.682	122.800	122.800	127.302	130.652	130.652	132.220	131.753	131.753	130.209	127.623	127.623	124.552	120.984	120.984	117.034	112.840	112.840	108.561	108.561
NBPB	86.914	86.814	86.814		87.414	87.114		87.914	87.914		88.314	88.914		88.544	88.664		88.814	88.814		91.114	91.102	92.644	92.632
NCIM	84.819	84.719	84.719		85.319	85.171		85.819	85.819		85.914	85.914		86.144	86.264		86.414	86.414		88.714	88.714	90.244	90.244
PIPE	36x3/8"	36x3/8"	36x3/8"	24x3/8"	36"	30x3/8"	24x3/8"	42"	36x3/8"	24x3/8"	42"	36x3/8"	24x3/8"	42"	36x3/8"	24x3/8"	36"	30x3/8"	24x3/8"	30"	24x3/8"	30"	24x3/8"
SOPORTE	E	E	E	E	C		C	C		B	B		B	C		C	E		E	E		E	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

director, tema, tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.
dibujo: COLUMNAS 75 A 90
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
aprobó: JLT/JAR
archivo: TRIRED7
fecha: Sep/08
escala: S/E

COLUMNAS 75 A 90

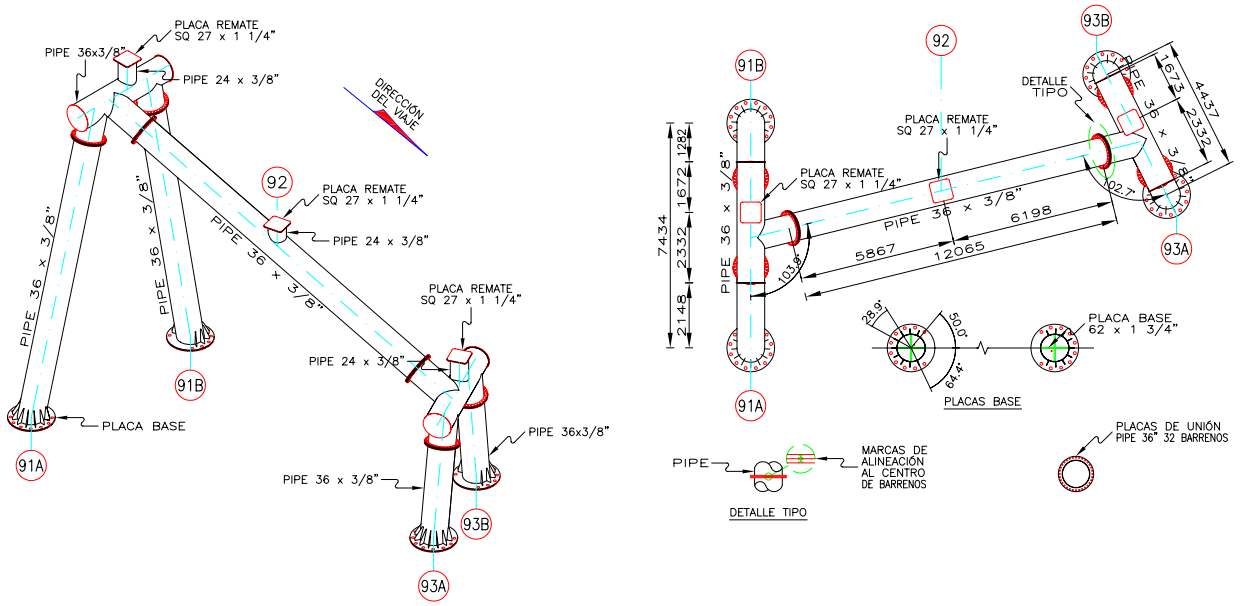
NOTAS
1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

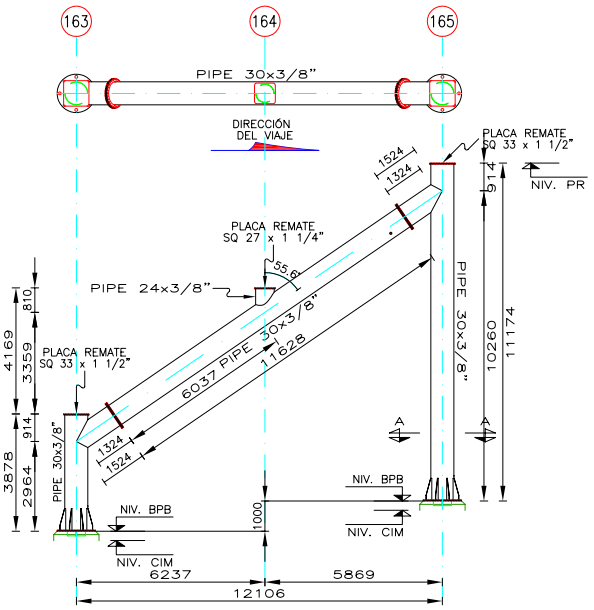
PLACA BASE
75 No. DE COLUMNA
NPR NIV. PLACA DE REMATE
NBPB NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM NIV. CIMENTACIÓN

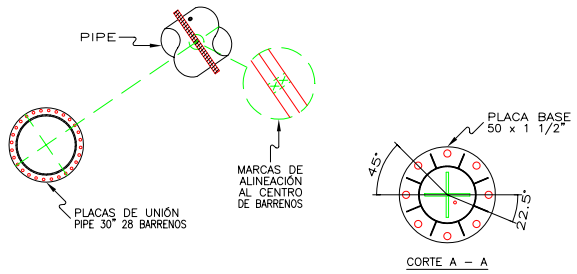
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

8. Columnas 91, 92, 93 y 163, 164, 165.



C O L U M N A S 9 1 , 9 2 Y 9 3





COLUMNA	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
91A	104.446	92.114	89.714	H
91B		91.614	89.214	
92	100.555			H
93A	97.208	91.614	89.214	A
93B		91.114	88.714	
163	89.992	86.114	89.171	G
164	94.161			C
165	98.288	87.114	84.476	G

C O L U M N A S 1 6 3 , 1 6 4 Y 1 6 5

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

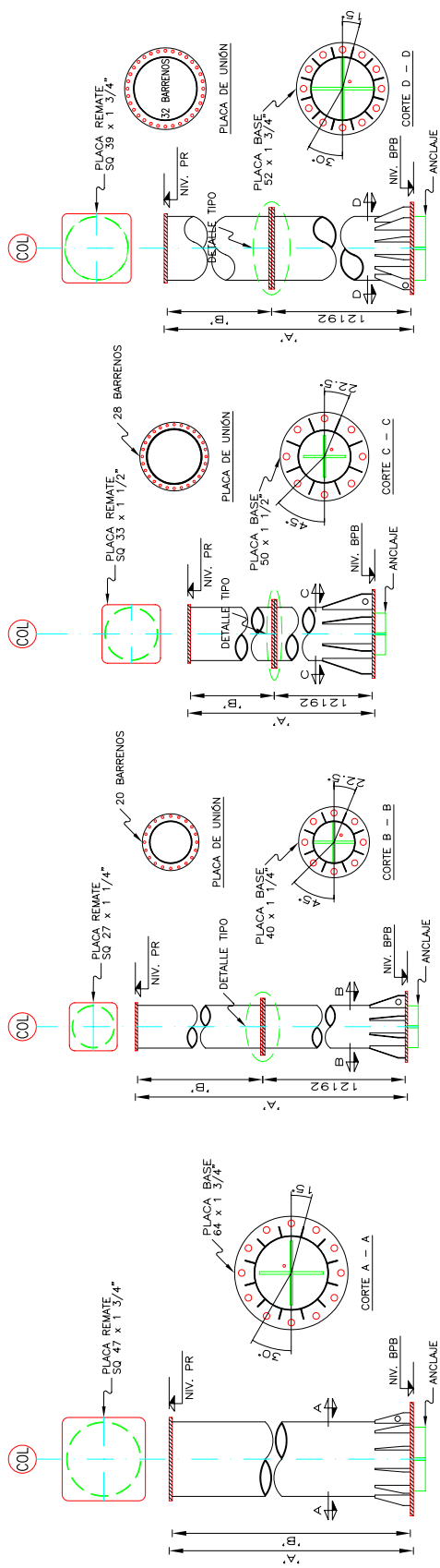
COLUMNAS 91, 92, 93 Y 163, 164, 165

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	COLUMNAS 91, 92, 93 Y 163, 164, 165			
alumno:	aprobó:	gráficos:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMREOB	Sep/08	1:250

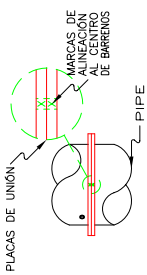
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

9. Columnas de 24", 30", 36" y 42".

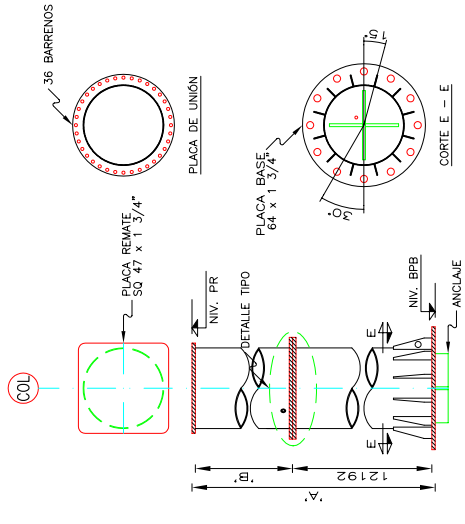


COLUMNA	PIPE	LONGITUD 'A'	LONGITUD 'B'	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
*101	42x3/8"	8171	8082	96.785	88.614	86.062	A
125	36x3/8"	16664	4385	107.528	90.864	88.366	C
126	36x3/8"	21038	8757	111.352	90.314	88.366	G
127	36x3/8"	24401	12121	113.515	89.114	86.866	B
128	42x3/8"	25797	13516	113.411	87.614	85.366	B
*136	42x3/8"	4343	4255	90.057	85.714	83.162	A
151	36x3/8"	18398	6117	107.512	89.114	86.866	B
152	36x3/8"	20506	8225	108.620	88.114	85.866	B
156	36x3/8"	19488	7207	105.602	86.114	84.019	B
157	36x3/8"	16080	3799	102.194	86.114	84.019	C
167	24x3/8"	17137	4882	103.239	86.102	84.476	B
168	24x3/8"	16950	4694	103.052	86.102	84.171	B
180	24x3/8"	15799	3543	100.401	84.602	82.671	B
181	30x3/8"	16389	4121	99.253	82.864	80.464	B

NOTA: (*) Columnas sin empalme.



DETALLE TIPO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

director tema tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: COLUMNAS DE 24, 30, 36 Y 42"	archivo: TRIMED9	fecha: Sep/08	escala: 1:100
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	aprobó: JLT/AMR			

COLUMNAS SENCILLAS DE 42" Y EMPALMADAS DE 24", 30", 36" Y 42"

N O T A S

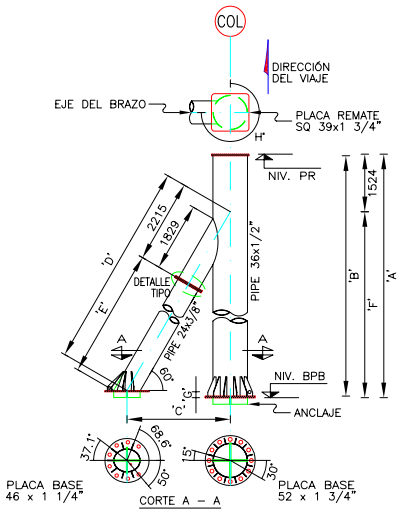
1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

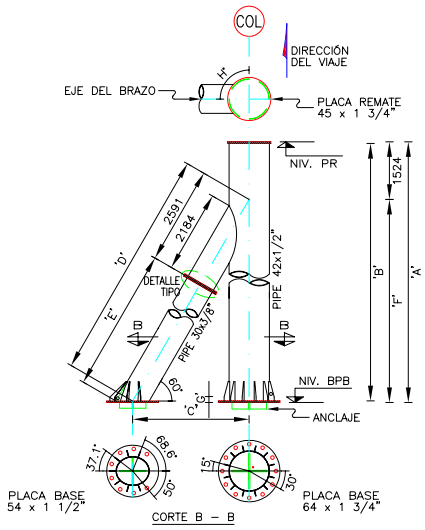
COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

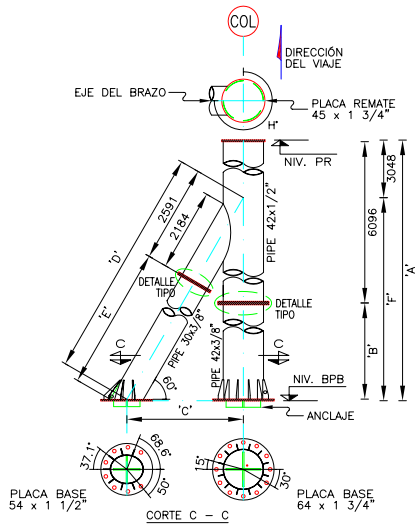
10. Columnas con Diagonal.



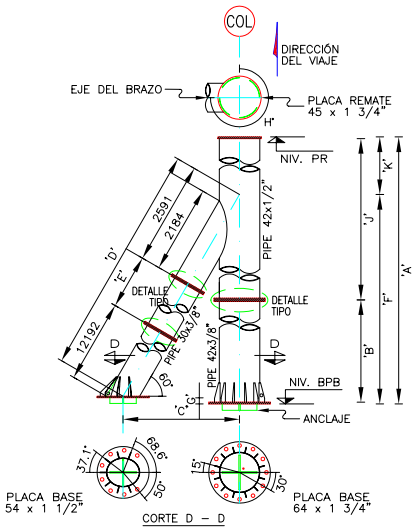
COLUMNA TIPO 1
ESC 1:200



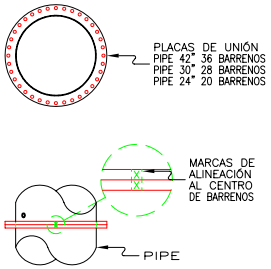
COLUMNA TIPO 2
ESC 1:200



COLUMNA TIPO 3
ESC 1:200



COLUMNA TIPO 4
ESC 1:200



DETALLE TIPO
ESC 1:100

COLUMNA	COL. TIPO	LONGITUD 'A'	LONGITUD 'B'	LONGITUD 'C'	LONGITUD 'D'	LONGITUD 'E'	LONGITUD 'F'	LONGITUD 'G'	ÁNGULO 'H'	LONGITUD 'J'	LONGITUD 'K'	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
102/102B	1	11317	11227	5355	10708	8669	9793	487	270°			99.931	88.614/89.102	86.671/86.714	G
103/103B	1	14199	14110	7307	14613	12575	12675	−13	270°			103.313	89.114/89.102	86.866/86.714	G
104/104B	3	17864	11679	8531	17064	14692	14816		270°			106.978	89.114	86.866/86.714	G
105/105B	4	22552	15034	9782	19563	5001	17980	1000	270°	7430	4572	110.666	88.114/89.114	85.866/86.714	C
106/106B	4	26991	15240	11767	23533	8969	22419	2000	270°	11662	4572	114.105	87.114/89.114	84.866/86.714	G
107/107B	4	29818	15240	12519	25040	10476	23722	2000	270°	14489	6096	116.932	87.114/89.114	84.866/86.714	B
108/108B	4	31749	15240	13573	27057	12493	25653	2000	270°	16420	6096	118.863	87.114/89.114	84.866/86.714	B
109/109B	4	31082	15240	13764	27441	12877	24986	1000	270°	15753	6096	119.196	88.114/89.114	85.866/86.714	B
110/110B	4	29032	15240	12932	25864	11301	22936	500	270°	13703	6096	117.646	88.614/89.114	86.366/86.714	B
111/111B	4	25524	15240	12075	24149	9585	20952		270°	10195	4572	114.638	89.114	86.366/86.714	G
112/112B	4	21341	13822	9660	19320	4756	16769		270°	7430	4572	110.455	89.114	86.366/86.714	C
113/113B	3	16631	10446	7820	15640	13268	13583		270°			105.745	89.114	86.366/86.714	E
114/114B	2	11852	11763	5942	11882	9512	10328		90°			100.966	89.114	86.366/86.714	E
115/115B	1	7557	7468	3472	6944	4905	6033	−13	270°			96.671	89.114/89.102	86.866	H
129/129B	4	25718	15240	12186	24373	9806	21146		90°	10389	4572	111.832	86.114	83.866	B
130/130B	4	23209	15240	10738	21476	6914	18637		90°	7880	4572	109.323	86.114	83.866	B
131/131B	4	20217	14244	9890	19780	5218	17169		90°	5904	3048	106.331	86.114	83.866	G
132/132B	3	16820	10635	7930	15858	13487	13772		90°			102.934	86.114	83.866	G
133/133B	1	13252	13164	6761	13521	11482	11728	−13	90°			99.366	86.114/86.102	83.866	G
134/134B	1	9747	9657	4737	9473	7434	8223	−13	90°			95.861	86.114/86.102	83.866	H
135/135B	1	6612	6521	2926	5853	3813	5088	−13	90°			92.726	86.114/86.102	83.866	A

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

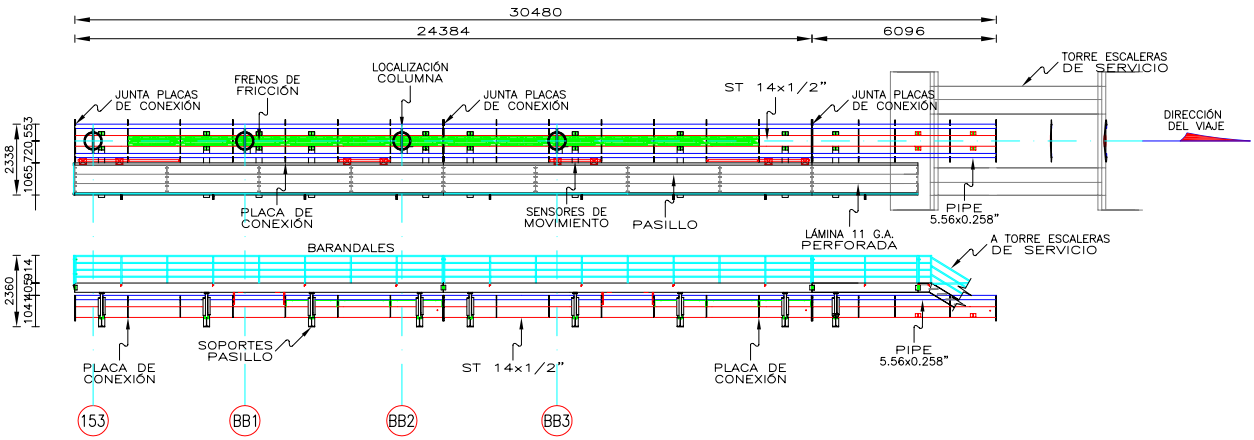
COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

COLUMNAS DE 36" Y 42" CON DIAGONAL

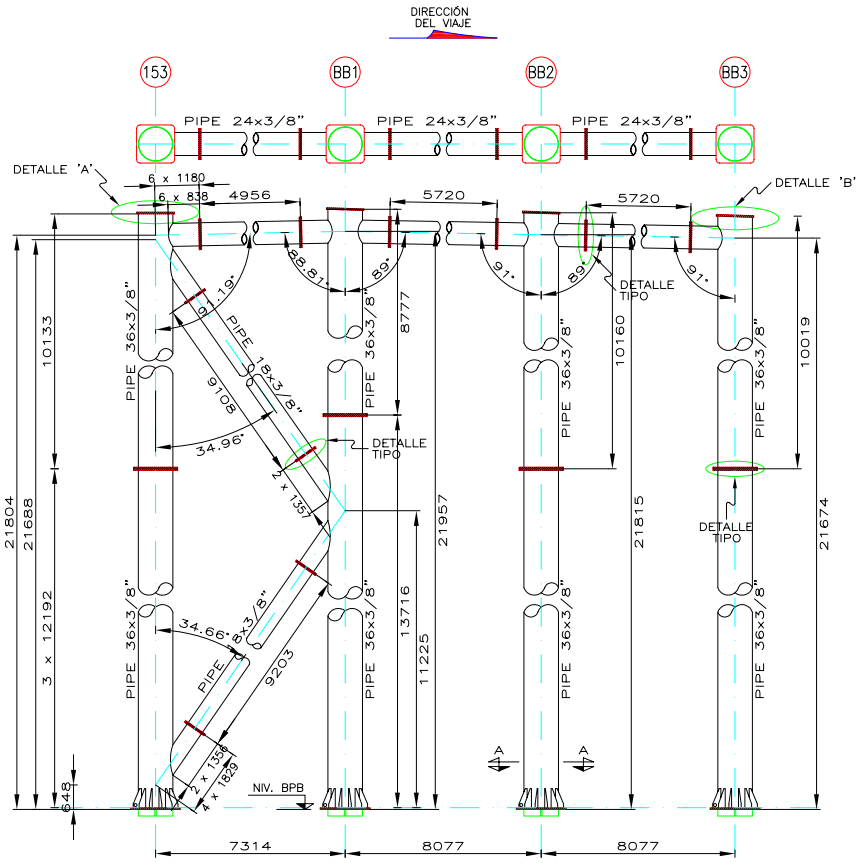
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	COLUMNAS CON DIAGONAL			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE10	Sep/08	IND

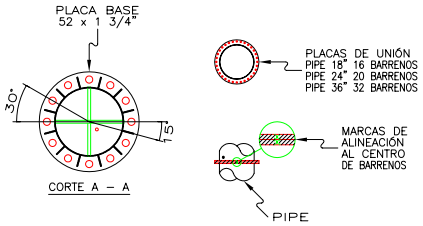
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. 11. Columnas 153, BB1, BB2 y BB3.



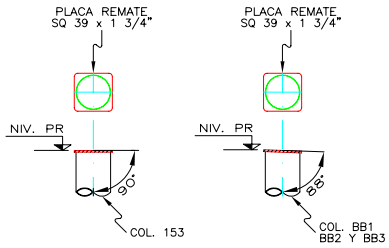
PLANTA Y ELEVACIÓN SECCIÓN 'B' DE FRENADO
ESC 1:250



C O L U M N A S 153, BB1, BB2 Y BB3
ESC 1:200



PLACA BASE Y DETALLE TIPO
ESC 1:100



DETALLE 'A' Y 'B'
ESC 1:100

COLUMNA	153	BB1	BB2	BB3
NPR	108.528	108.696	108.555	108.414
NBPB	86.114	86.114	86.114	86.114
NCIM	83.562	83.866	83.866	83.866
PIPE	36x3/8"	36x3/8"	36x3/8"	36x3/8"
SOPORTE	B	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

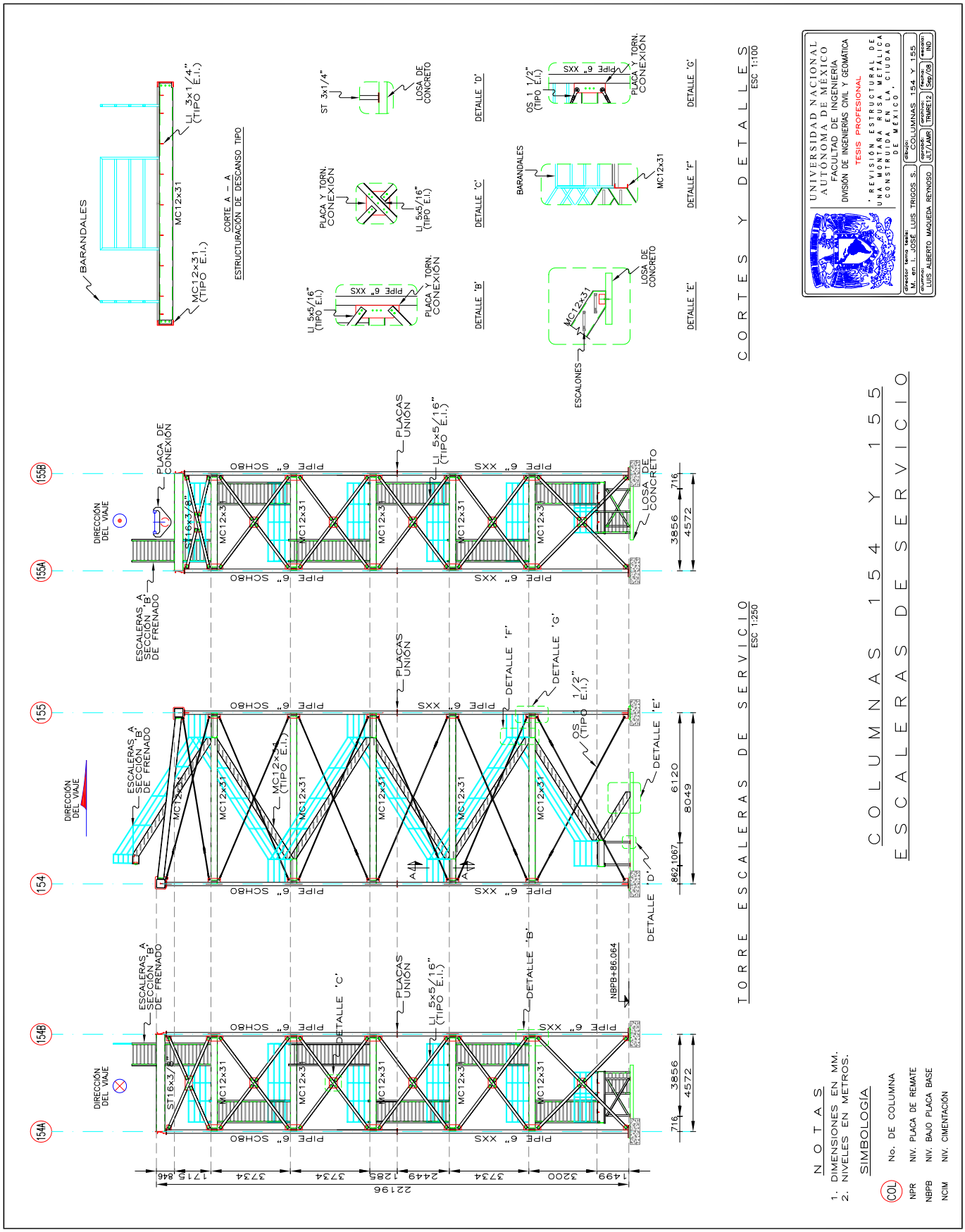
COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

COLUMNAS 153, BB1, BB2 Y BB3
SECCIÓN 'B' DE FRENADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	COLUMNAS 153, BB1, BB2 Y BB3			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE11	Sep/08	IND

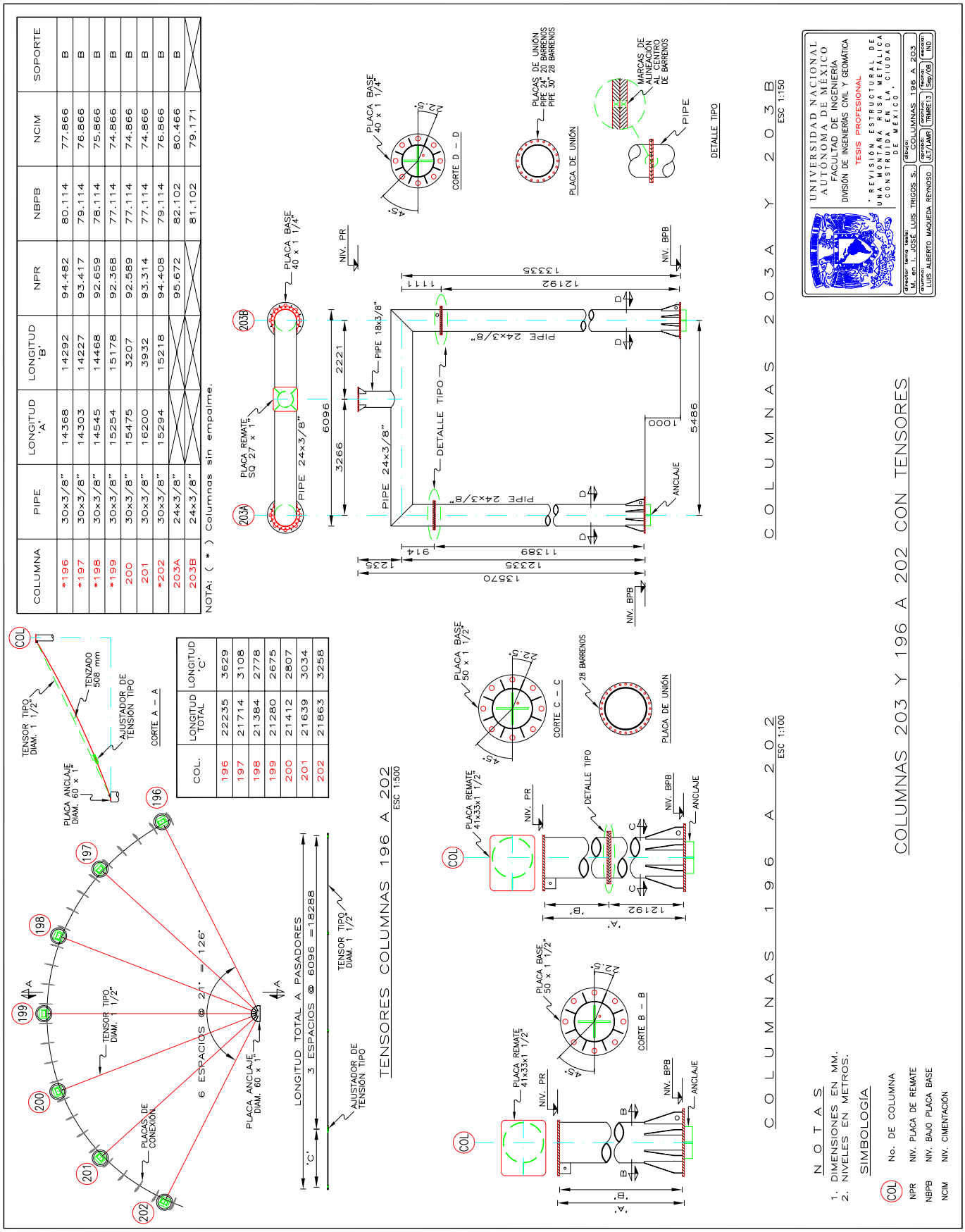
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. 12. Columnas 154 y 155.



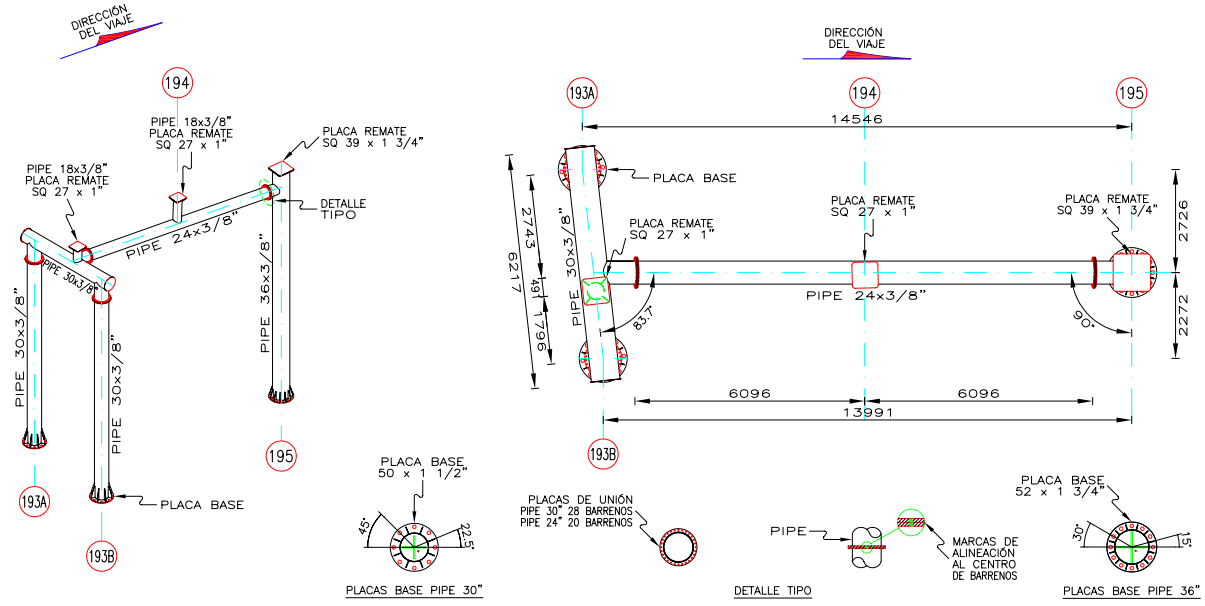
B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. 13. Columnas 196 a 203.

COLUMNA	PIPE	LONGITUD 'A'	LONGITUD 'B'	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
*196	30x3/8"	14368	14292	94.482	80.114	77.866	B
*197	30x3/8"	14303	14227	93.417	79.114	76.866	B
*198	30x3/8"	14545	14468	92.659	78.114	75.866	B
*199	30x3/8"	15254	15178	92.368	77.114	74.866	B
200	30x3/8"	15475	3207	92.589	77.114	74.866	B
201	30x3/8"	16200	3932	93.314	77.114	74.866	B
*202	30x3/8"	15294	15218	94.408	79.114	76.866	B
203A	24x3/8"			95.672	82.102	80.466	B
203B	24x3/8"				81.102	79.171	

NOTA: (*) Columnas sin empalme.

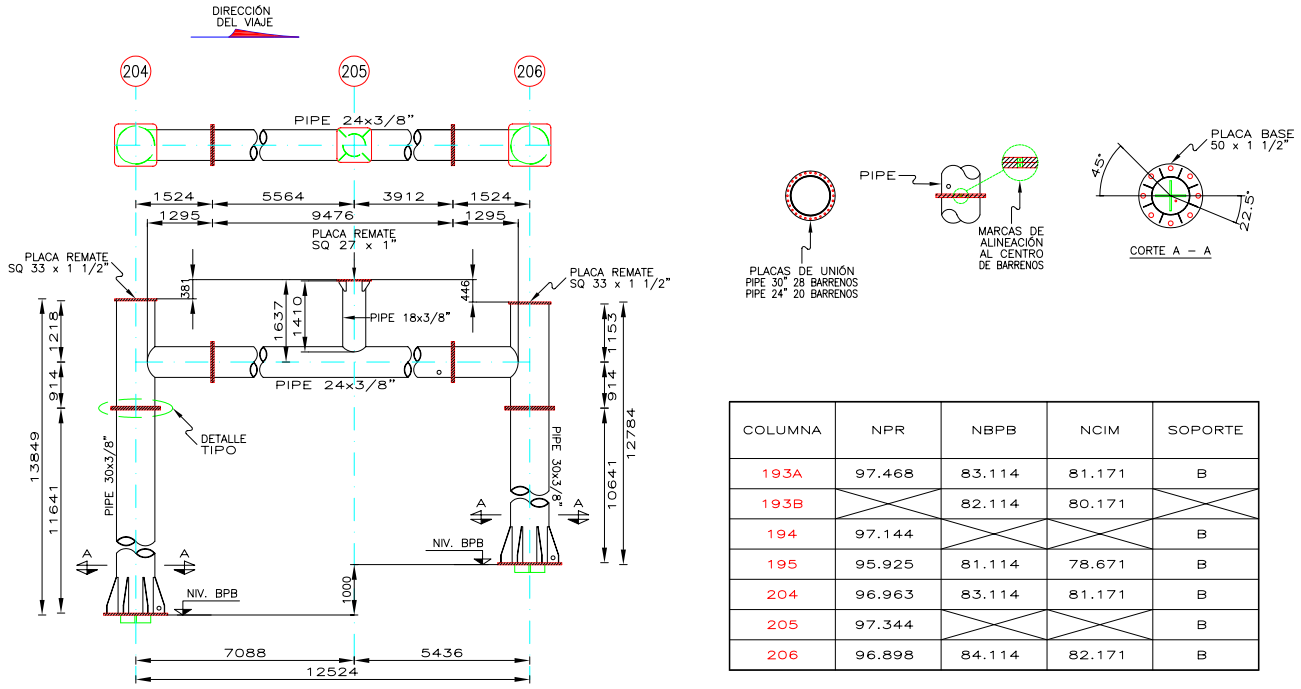


B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA. 14. Columnas 193, 194, 195 y 204, 205, 206.



C O L U M N A S 193 , 194 Y 195

ESC 1:200



C O L U M N A S 2 0 4 , 2 0 5 Y 2 0 6

ESC 1:150

COLUMNA	NPR	NBPB	NCIM	SOPORTE
193A	97.468	83.114	81.171	B
193B		82.114	80.171	
194	97.144			B
195	95.925	81.114	78.671	B
204	96.963	83.114	81.171	B
205	97.344			B
206	96.898	84.114	82.171	B

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL	No. DE COLUMNA
NPR	NIV. PLACA DE REMATE
NBPB	NIV. BAJO PLACA BASE
NCIM	NIV. CIMENTACIÓN

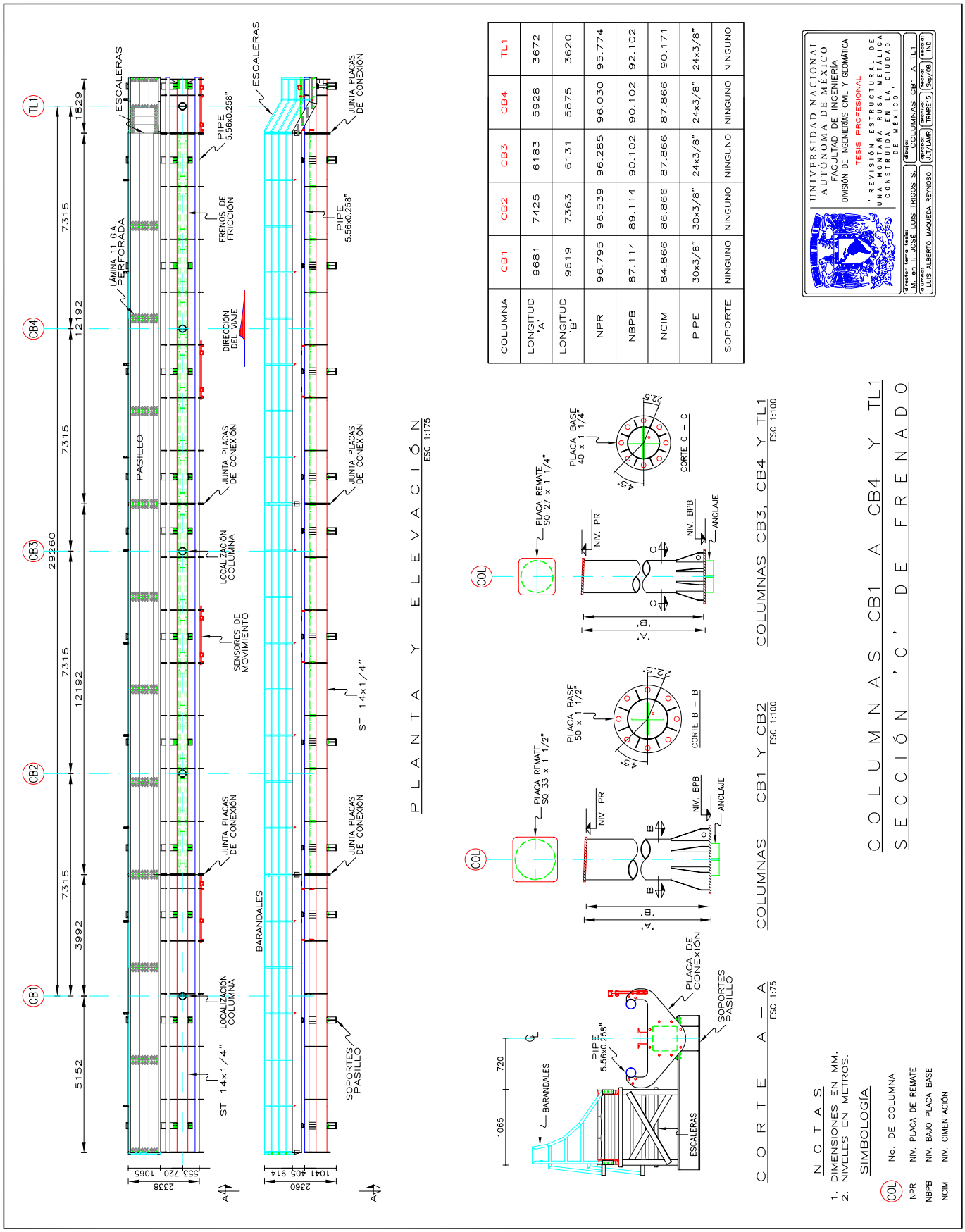
COLUMNAS 193, 194, 195 Y 204, 205, 206

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	COL 193, 194, 195 Y 204, 205, 206			
alumno:	aprobó:	gráficos:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRE14	Sep/08	IND

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

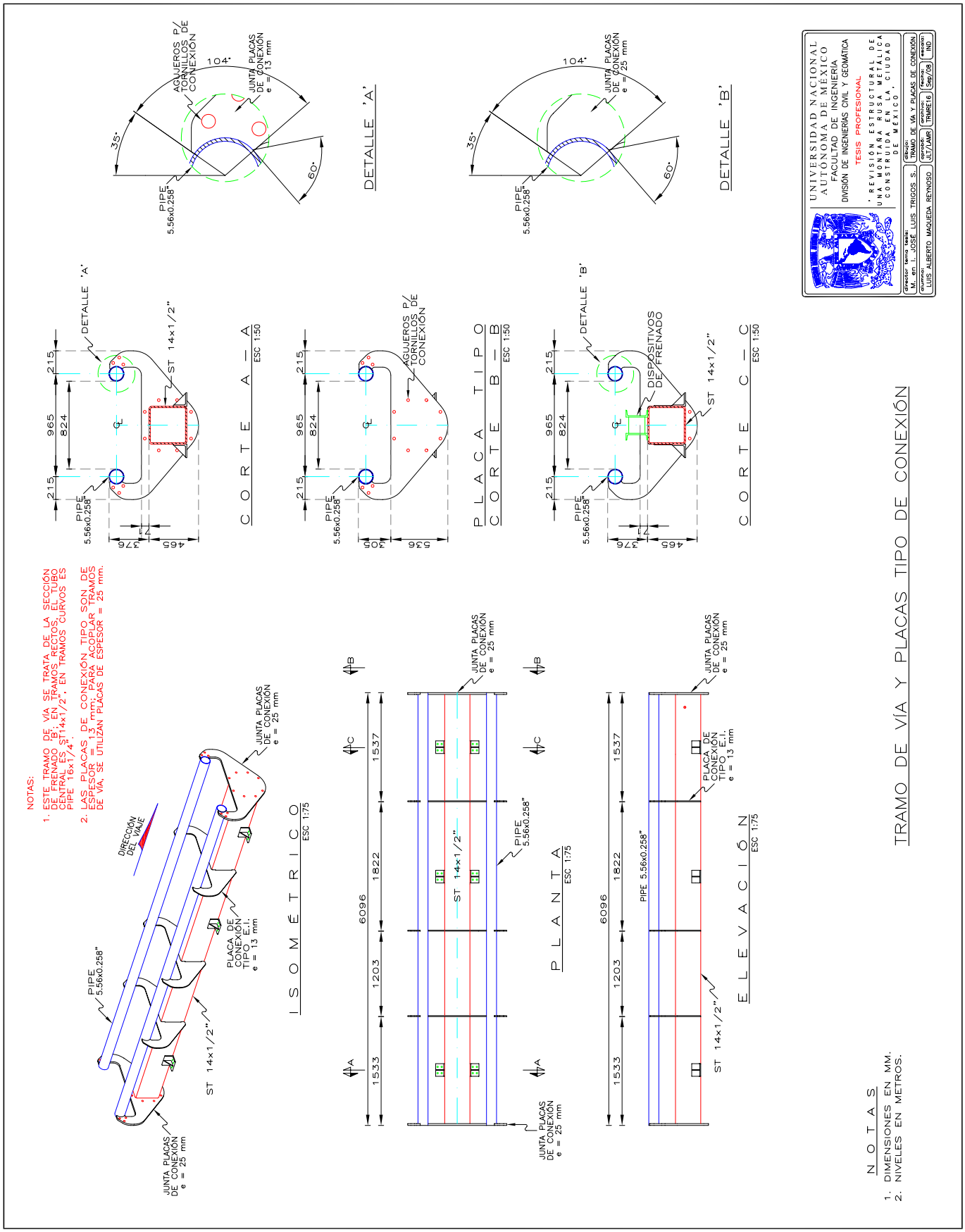
15. Columnas CB1 a TL1.



COLUMNA	CB1	CB2	CB3	CB4	TL1
LONGITUD 'A'	9681	7425	6183	5928	3672
LONGITUD 'B'	9619	7363	6131	5875	3620
NPR	96.795	96.539	96.285	96.030	95.774
NBPB	87.114	89.114	90.102	90.102	92.102
NCIM	84.866	86.866	87.866	87.866	90.171
PIPE	30x3/8"	30x3/8"	24x3/8"	24x3/8"	24x3/8"
SOPORTE	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO

B. ESTRUCTURACIÓN Y GEOMETRÍA.

16. Tramo de Vía y Placas de Conexión.



III. A N Á L I S I S D E C A R G A S.

III. ANÁLISIS DE CARGAS.

En cualquier tipo de edificación, es importante que se cuente con un sistema estructural capaz de transmitir las fuerzas y acciones consideradas en el diseño al sistema de cimentación, el cual a su vez transmitirá las fuerzas resultantes al subsuelo. En el diseño específico de una estructura, se deben tomar en cuenta cuando menos los efectos de las cargas muertas, de las cargas vivas, del sismo y viento, cuando éste sea significativo. Las intensidades de estas acciones y la forma en que se estiman se especifican en las normas aplicables correspondientes; en este caso el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

Además de las acciones mencionadas, se deben tomar en cuenta los efectos producidos por otro tipo de acciones, cuando estas sean importantes, por ejemplo: los empujes de tierra y líquidos, los cambios de temperatura, las contracciones de los materiales, fuerzas generadas por funcionamiento de maquinaria o equipo, etc.

Para la montaña rusa en cuestión, resultan significativos los efectos debidos al funcionamiento propio de la atracción; el tren de carros articulados en su recorrido a gran velocidad e importantes aceleraciones, produce fuerzas dinámicas sobre los sistemas de rieles, que a su vez se apoyan sobre la estructura portante. Por lo tanto las acciones consideradas en la revisión estructural de la montaña rusa son:

A. CARGA MUERTA.

Se consideraron como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo.

1. Peso Propio.

Se consideró el peso debido a las columnas, trabes, contravientos, rieles, placas de conexión, etc; pertenecientes al sistema estructural de la edificación.

2. Instalaciones.

a. Secciones Curvas: W_{inst} = 25 kgf/m

b. Sección Recta Estación de Abordaje: W_{inst} = 55 kgf/m

c. Sección Recta Torres de Ascenso: W_{inst} = 125 kgf/m

d. Sección Recta Frenado 'A': W_{inst} = 55 kgf/m

e. Sección Recta Frenado 'B': W_{inst} = 70 kgf/m

f. Sección Recta Frenado 'C': W_{inst} = 70 kgf/m

3. Plataformas y Escaleras.

a. Torres de Ascenso: W_{esc} = 56 kgf/m²

b. Torre de Corona: W_{plat} = 60 kgf/m²

c. Torre Escaleras de Servicio: W_{plat} = 78 kgf/m²
W_{esc} = 72 kgf/m²

d. Sección Frenado 'A': W_{plat} = 45 kgf/m²
W_{esc} = 50 kgf/m²

e. Sección Frenado 'B': W_{plat} = 45 kgf/m²

f. Sección Frenado 'C': W_{plat} = 65 kgf/m²

4. Equipos.

a. Torre de Corona: W_{eq1} = 594 kgf/m²
W_{eq2} = 1486 kgf/m²

5. Equipos en Operación.

Se consideró como el 20% de la carga muerta por equipo:

a. Torres de Corona: W_{eq1} = 119 kgf/m²
W_{eq2} = 298 kgf/m²

B. CARGA VIVA.

Se consideraron cargas vivas a las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. Estas cargas se tomaron iguales a las especificadas en las Normas Técnicas Complementarias del RCDF, las cuales indican que:

1. Carga Viva Máxima.

a. Destino del piso o cubierta a comunicación de peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público).

$CV_{máx}$ = 350 kgf/m²

2. Carga Viva Instantánea.

a. Destino del piso o cubierta a comunicación de peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público).

CV_a = 150 kgf/m²

C. FUERZAS SÍSMICAS.

El análisis de la estructura ante fuerzas sísmicas, tiene como propósito obtener la seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable no haya fallas estructurales mayores ni pérdida de vidas, aunque puedan presentarse daños que lleguen a afectar el funcionamiento de la estructura y requiera reparaciones importantes. La estructura se analizó bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno, una en el sentido longitudinal y la otra en el sentido transversal.

Para la determinación de las fuerzas sísmicas se tomó como base la siguiente información:

Según el destino de la estructura:	Grupo A
Según la zonificación de las NTC's del RDCF:	Zona I
Coeficiente sísmico básico:	C = 0.240
Factor de comportamiento sísmico:	Q = 2.00
Factor reductivo (NO CUMPLE condiciones de regularidad):	Q' = 0.8 x 2.00 = 1.60
Ordenada del espectro de Diseño cuando T=0:	a_0 = 0.040
Se debe cumplir que:	$C_d = \frac{C}{Q'} \geq a_0$
Coeficiente sísmico de diseño:	$\mathbf{C_d}$ = 0.240 / 1.60 = **0.150**

La montaña rusa, como se ha descrito en capítulos anteriores, está conformada por subestructuras de diversas formas y alturas, que se conectan entre sí mediante el sistema de rieles, para cumplir con los requerimientos del recorrido. Muchas de estas subestructuras, las conforman columnas tubulares de acero estructural aisladas, en forma de 'A', formando marcos especiales y torres contraventeadas en las dos direcciones. Debido a la naturaleza de estas subestructuras, se tomó la decisión de hacer un análisis sísmico estático equivalente, el cuál toma como base las siguientes hipótesis en la obtención de las fuerzas sísmicas:

1. Solamente se incluye la participación del primer modo de vibración.
2. Supone una configuración deformada aproximada para este modo.
3. Idealiza al sistema como una masa total equivalente con un grado de libertad.
4. Toma la ordenada máxima del espectro de respuesta, sin tomar en cuenta el periodo natural de vibración de la estructura.

Por tanto la fuerzas laterales que actúan en el i-ésimo nivel de cada subestructura, resulta ser:

$$F_i = C_d \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} W_i h_i$$

$$F_i = 0.150 \frac{\Sigma W_i}{\Sigma W_i h_i} W_i h_i$$

A continuación se presentan dos ejemplos, el primero corresponde a la columna aislada No. 125 con empalme y el segundo a la torre de ascenso que conforman las columnas 41A, 41B, 42A y 42B.

COLUMNA No. 125.

NIVEL	h_i m	W_i tonf	$W_i h_i$ tonf - m	F_i tonf	V_i tonf
NIVEL 1	16.58	6.136	101.708	0.986	0.986
NIVEL 2	12.19	2.047	24.956	0.242	1.227
TOTAL		8.182	126.663		

TORRE COLUMNAS No. 41A, 41B, 42A y 42B.

NIVEL	h_i m	W_i tonf	$W_i h_i$ tonf - m	F_i tonf	V_i tonf
NIVEL 5	25.30	10.158	256.948	1.791	1.791
NIVEL 4	21.98	10.907	239.687	1.671	3.462
NIVEL 3	18.26	1.386	25.309	0.176	3.638
NIVEL 2	12.16	1.566	19.041	0.133	3.771
NIVEL 1	6.06	1.563	9.481	0.066	3.837
TOTAL		25.580	550.466		

D. FUERZAS EÓLICAS.

Se revisó la seguridad de la estructura ante el efecto de las fuerzas que se generan por las presiones (empujes o succiones) producidas por el viento sobre las superficies de la construcción expuestas al mismo y que son transmitidas al sistema estructural. La revisión consideró la acción estática del viento y dinámica cuando la estructura fue sensible a estos efectos.

Según el destino de la estructura: Grupo A

Según su respuesta ante la acción del viento: Tipo 2

Para el diseño de las estructuras Tipo 2 deberán incluirse los efectos estáticos y los dinámicos causados por la turbulencia.

Según la rugosidad del terreno: Tipo R2

Según el tipo de topografía: Tipo T4

Factor que toma en cuenta la topografía y rugosidad del terreno: $F_{TR} = 1.10$

Factor de variación de la velocidad del viento con la altura con: $\alpha = 0.128$; $\delta = 315$ m

$F_\alpha = 1.0$ si $z \leq 10$ m

$F_\alpha = (z/10)^\alpha$ si $10 \text{ m} < z < \delta$

$F_\alpha = (\delta/10)^\alpha$ si $z \geq \delta$

Velocidad regional suponiendo estructura en la Delegación Tlalpan con periodo de retorno igual a 200 años:

$V_R = 35$ m/s

Velocidad de diseño: $V_D = F_{TR} F_\alpha V_R = 38.5 F_\alpha$

Presión de diseño: $p_z = 0.048 C_p V_D^2$, en kgf/m²

donde Cp es el factor de empuje que depende de la forma de la construcción y de la posición de la superficie expuesta.

Se pueden distinguir tres tipos de formas en toda la estructura:

1. Estructuras Reticulares.

Cuando sus elementos constitutivos son de sección transversal circular y no hay protección contra el viento de algunos elementos con otros, se toma $C_p = 1.3$.

2. Chimeneas, Silos y Similares.

Los coeficientes de presión varían en función de la forma de la sección transversal y de la relación de esbeltez de la estructura.

Relación de Esbeltez	1	7	25
C_p	0.50	0.60	0.70

3. Antenas y Torres con Celosía.

Para el análisis de antenas y torres, dichas estructuras se dividirán en un conjunto de tramos verticales. La fuerza horizontal resultante sobre cada tramo se obtendrá por medio de la expresión:

$$F = 0.048\ C_D\ V_D^2\ A$$

Donde: A = Área expuesta.
V_D = Velocidad de diseño.
C_D = Coeficiente de arrastre.

El coeficiente de arrastre para torres con elementos de sección circular, con viento normal a una de sus caras y con forma en planta cuadrada, C_D = 1.40.

En construcciones pertenecientes al Tipo 2, los efectos estáticos y dinámicos debidos a la turbulencia se tomarán en cuenta multiplicando la presión de diseño calculada por un factor de amplificación dinámica determinado con la expresión:

$$G = 0.43 + g\sqrt{\frac{R}{C_e}\left(B + \frac{S\,F}{\beta}\right)} \geq 1.00$$

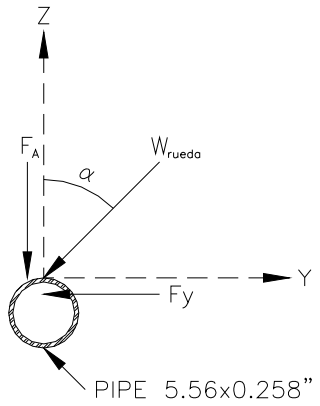
Donde: G = Factor de amplificación dinámica.
g = Factor de respuesta máxima.
R = Factor de rugosidad.
C_e = Factor correctivo que depende de la altura.
B = Factor de excitación de fondo.
S = Factor reductivo por tamaño.
F = Relación de energía en ráfaga.
β = Fracción de amortiguamiento crítico.

E. EFECTOS DINÁMICOS.

Otro de los efectos más significativos que afectan la estructura, son los producidos por el paso del tren en su recorrido por el sistema de rieles; ya que el tren puede alcanzar grandes velocidades y aceleraciones, las fuerzas generadas son transmitidas a la estructura evitando que éste salga de su trayectoria.

En III.E.1 se muestran los componentes que conforman un tren articulado, así como su peso propio, el peso equivalente cuando está totalmente ocupado y una aproximación del peso transmitido a la estructura por cada una de las ruedas del tren.

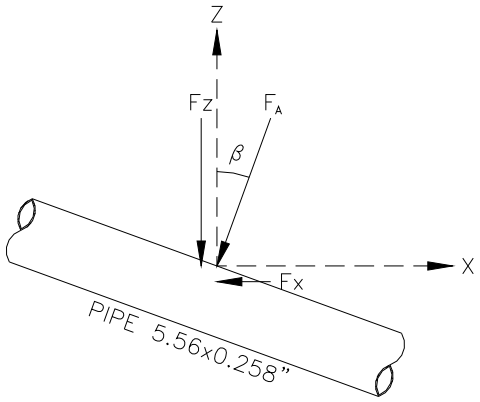
Conocida la fuerza transmitida de cada rueda del tren articulado, las aceleraciones en términos de fuerzas *g's* en todo el recorrido, la inclinación de los rieles y el peralte de las curvas en su recorrido, es posible conocer las fuerzas equivalentes referidas al sistema local de coordenadas generadas por el paso del tren sobre los rieles en cualquier instante. Por tanto se puede afirmar que:



VISTA TRANSVERSAL:

$$F_A = W_{rueda} \cos \alpha$$

$$F_y = W_{rueda} \sin \alpha$$



VISTA LONGITUDINAL:

$$F_x = F_A \sin \beta$$

$$F_z = F_A \cos \beta$$

Donde: α = peralte de la curva (°)
β = pendiente del riel (°)

Entonces se tiene que la fuerzas resultantes en el sistema local de coordenadas es:

$$F_x = F_A \sin \beta = W_{rueda} \cos \alpha \sin \beta$$

$$F_y = W_{rueda} \sin \alpha$$

$$F_z = F_A \cos \beta = W_{rueda} \cos \alpha \cos \beta$$

Se sabe también que: $$F = m\ a = \frac{W}{g}\ a$$

Donde:
F = Fuerza resultante.
m = Masa.
a = Aceleración.
W = Peso.
g = Aceleración de la gravedad.

De los documentos consultados, fue posible conocer las magnitudes de las aceleraciones en términos de *g's* a lo largo del recorrido, estas aceleraciones son una fracción de la aceleración de la gravedad. Se puede aceptar que las aceleraciones *g's* se pongan en términos de $G = a/g$, por lo que las fuerzas resultantes finales en el sistema local quedan como sigue:

$$F_x = W_{rueda}\ G \cos \alpha \sin \beta$$

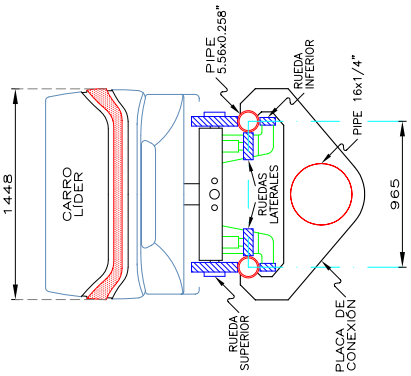
$$F_y = W_{rueda}\ G \sin \alpha$$

$$F_z = W_{rueda}\ G \cos \alpha \cos \beta$$

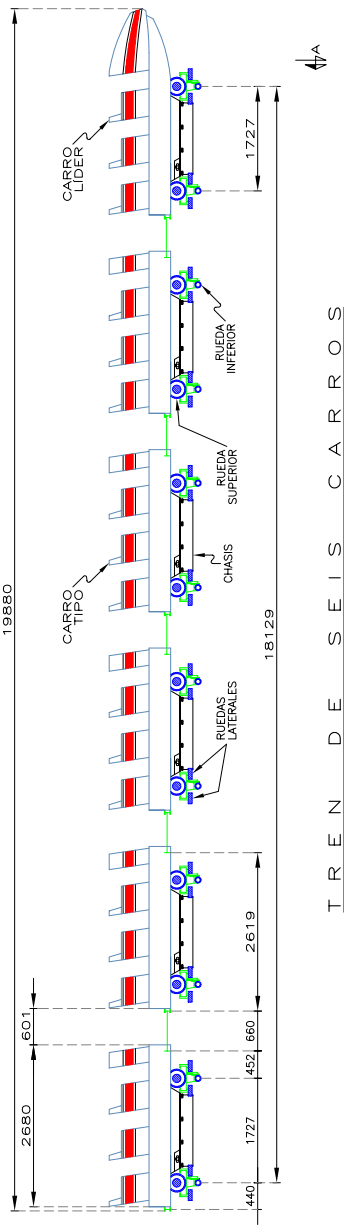
Estas fuerzas representan las acciones dinámicas que una de las ruedas del tren genera sobre los rieles en las tres direcciones ortogonales del sistema local de coordenadas del riel. Para conocer las fuerzas referidas al sistema global de referencia, las fuerzas en direcciones horizontales se proyectaron sobre las direcciones horizontales principales globales. Así se pueden conocer en cualquier punto del recorrido las acciones debidas al funcionamiento de la montaña rusa.

E. EFECTOS DINÁMICOS.

1. Tren de Carros Articulados.

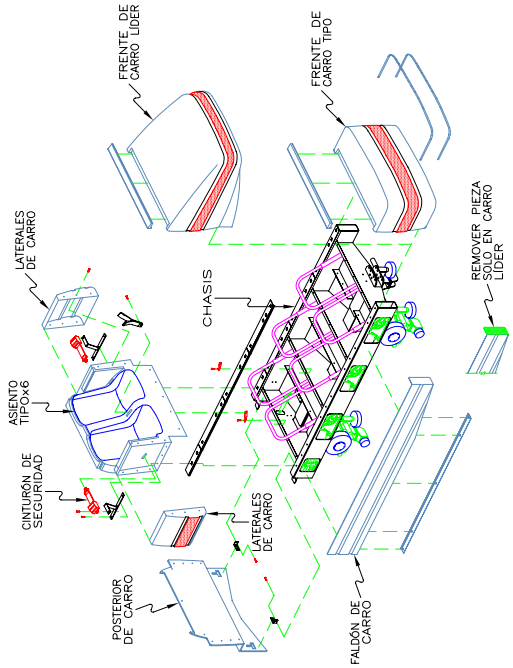


CORTE A — A
ESC 1:50



TREN DE SEIS CARROS
ESC 1:125

W_{cl}	PESO TOTAL CARRO LÍDER	1135 kgf
W_{ct}	PESO TOTAL CARRO TIPO	1135 kgf
W_p	PESO POR PERSONA	120 kgf
W_{px6}	PESO POR SEIS PERSONAS	720 kgf
W_{co}	PESO TOTAL CARRO OCUPADO	1855 kgf
	4 RUEDAS POR CARRO	
W_r	PESO EN CADA RUEDA	463.75 kgf
W_{tren}	PESO TOTAL TREN	11130 kgf



ENSAMBLE FINAL DE CARRO

NOTAS

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

TREN DE CARROS ARTICULADOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujó: JLT/LAMB	archivo: TRMRC01	fecha: Sep/08	escala: ING.
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO				

IV. MODELACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA.

IV. MODELACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA.

Una vez establecidas las características más relevantes en cuanto a geometría y cargas actuantes sobre la estructura, se planteó la necesidad de modelar el sistema estructural de la montaña rusa con el fin de conocer el comportamiento estructural de la misma ante los diferentes tipos de acciones y las combinaciones de estas.

Conocidas las características del suelo y del sistema de cimentación a base de zapatas aisladas, que soporta a la estructura, no se consideró necesario un análisis del comportamiento en conjunto de la estructura - cimentación - suelo, es por esto que se consideró adecuado modelar sólo la superestructura.

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

La estructura, se diseñó a base de elementos de acero estructural (trabes, columnas, diagonales, etc.), que forman subestructuras de diversas formas y alturas, que se conectan entre sí, para cumplir con los requerimientos del recorrido. Estos elementos, los componen principalmente secciones tubulares circulares, ángulos de lados iguales, redondos de diámetro reducido, canales, etc. El principal objetivo de estas subestructuras, es el de soportar los rieles, también de secciones tubulares circulares, que sirven como guía al tren en su recorrido. Todos los elementos de la estructura fueron integrados en el modelo de análisis tridimensional mediante la aplicación del Método del Elemento Finito.

Se utilizaron dos programas de análisis y diseño estructural, el **STAADPro** Release 2003 y **SAP2000** Advanced 9.0.3 (Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures). En el primero se hicieron modelos preliminares de la montaña rusa, así como un modelo tridimensional completo con el fin de comparar algunos resultados en relación con el tipo de análisis realizado; el segundo se utilizó para la modelación tridimensional completa de la estructura con el fin de obtener los resultados de análisis y diseño estructural finales de la montaña rusa.

El análisis general de la estructura se hizo considerando hipótesis de comportamiento elástico - lineal. Para la modelación de los contraventeos de las torres de ascenso, corona e impulso y tensores en la curva de llegada, se utilizó una subrutina del SAP2000 que toma en cuenta la no - linealidad en la aplicación de las cargas, esto es, hace trabajar a los contraventeos y tensores solamente a fuerza axial de tensión, impidiéndole tomar cualquier otro tipo de fuerza debido a su esbeltez.

La revisión de los elementos de acero de la estructura se hizo por el Método de Esfuerzos Permisibles.

La estructura se modeló analítica y matemáticamente mediante un conjunto tridimensional de 18,854 nudos y 6,179 elementos: columnas, trabes, diagonales y contravientos de acero estructural, además de 10,692 elementos panel discretizando las placas de conexión entre los rieles.

Los principales aspectos de la geometría de la estructura se presentan en las figuras II.B.1 a II.B.16, las seis diferentes zonas del modelo en IV.A.1 a IV.A.6, los componentes del modelo tridimensional completo en un isométrico en IV.A.7.

Las cargas utilizadas en el análisis y estipuladas en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal se detallan en III.A a III.E; además, para evaluar los efectos por sismo se aplicó el método de Análisis Sísmico Estático Equivalente.

En IV.B se consignan las propiedades geométricas de los principales elementos que componen la estructura; en IV.C los valores de las propiedades mecánicas de los materiales empleados en el análisis; en IV.D a IV.F las condiciones Básicas de Carga y los valores de los coeficientes para las Combinaciones de Carga usadas en las revisiones de estados límite de servicio, y de estados límite de falla.

La estación de abordaje, la plataforma móvil y la estación de mantenimiento, no fueron considerados dentro del modelo tridimensional de la superestructura, ya que son sistemas estructurales independientes y en consecuencia no influyen en el comportamiento estructural de la montaña rusa, cumpliendo con otro tipo de propósitos dentro del funcionamiento de la atracción.

A continuación se listan los dibujos correspondientes a la modelación de la superestructura:

IV.A.1. Isométrico Zona A.

IV.A.2. Isométrico Zona B.

IV.A.3. Isométrico Zona C.

IV.A.4. Isométrico Zona D.

IV.A.5. Isométrico Zona E.

IV.A.6. Isométrico Zona F.

IV.A.7. Isométrico Modelo Tridimensional.

B. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.

Como parte de la información necesaria para la modelación mediante la aplicación del Método del Elemento Finito, se muestran las propiedades geométricas de los elementos que componen la estructura, consignando sus principales características. Se incluyen tres tablas, la primera contiene las trabes, la segunda las columnas y la última los contravientos y tensores.

IV.B.1. Trabes.

IV.B.2. Columnas.

IV.B.3. Contravientos y Tensores.

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

1. Isométrico Zona A.

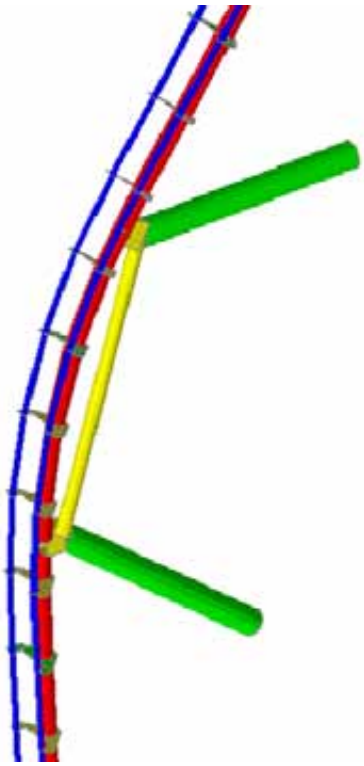


FIGURA A.1

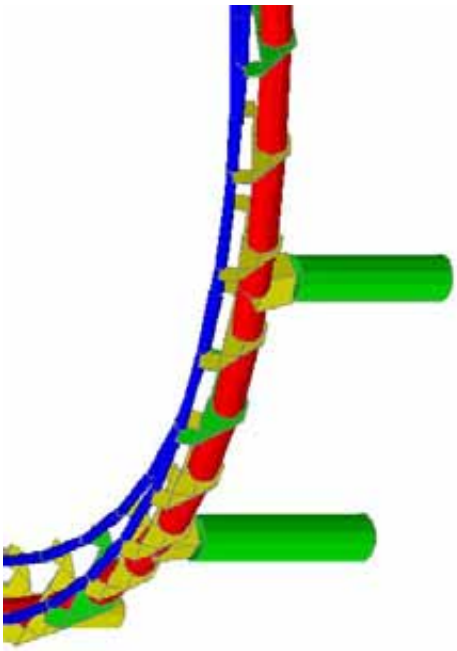
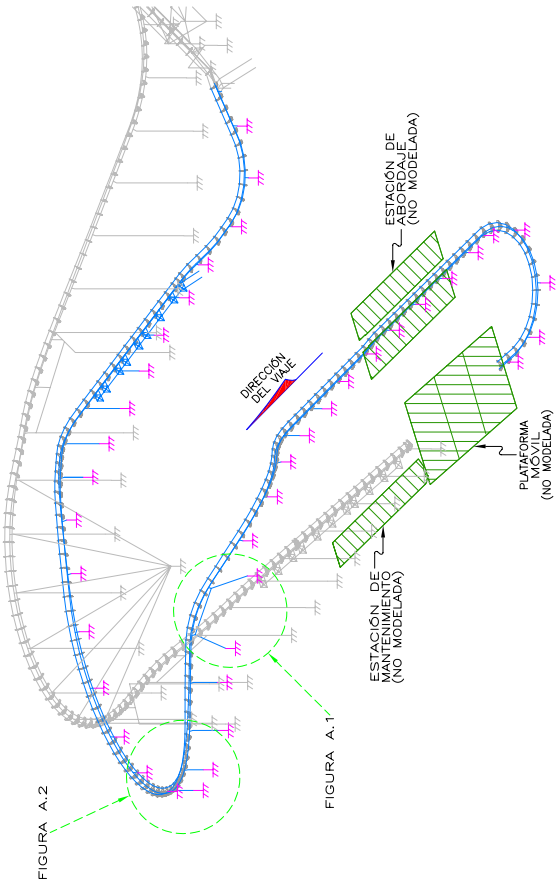


FIGURA A.2



I S O M É T R I C O

DATOS ESTRUCTURA

MODELO: PRYTSMR01
No. Nudos: 3,103
No. Elementos: 648
No. Placas: 1,872

Z
X
Y

SIMBOLOGÍA

SOPORTE DE COLUMNA
ELEMENTOS ESTRUCTURA
PLACA DE CONEXIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

Director tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
dibujo: ISOMÉTRICO ZONA A
dibujado: JJT/LAMR
archivo: TRMRM01A
fecha: Sep/08
escala: S/E

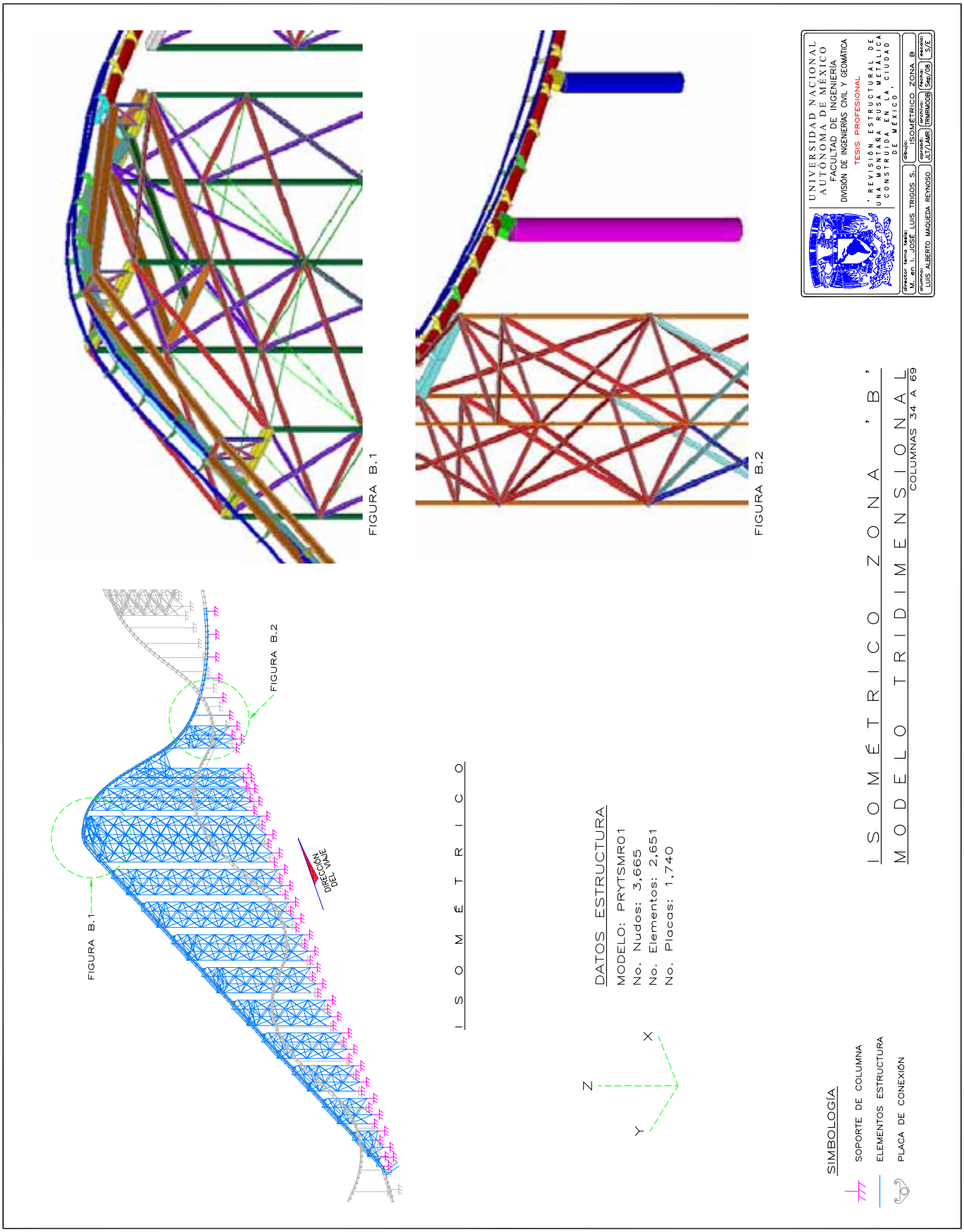
I S O M É T R I C O Z O N A ' A '

M O D E L O T R I D I M E N S I O N A L

COLUMNAS TL2 A 27B

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

2. Isométrico Zona B.



A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL. 3. Isométrico Zona C.

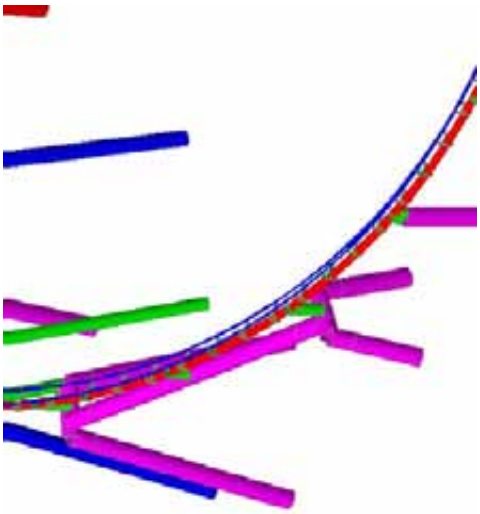


FIGURA C.1

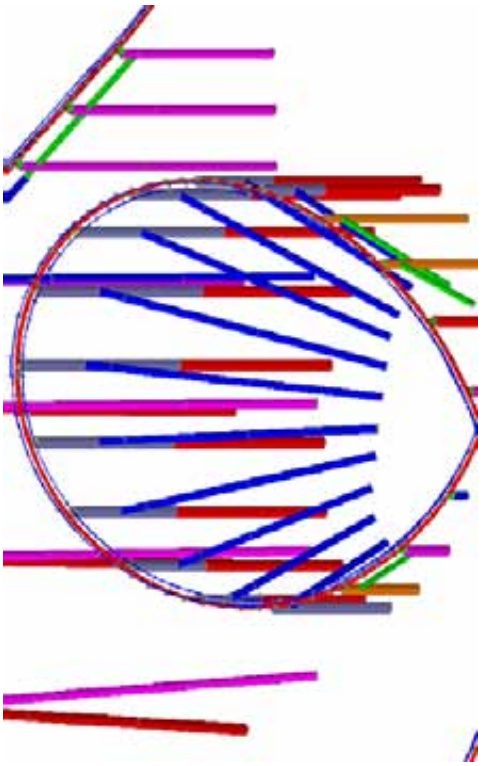
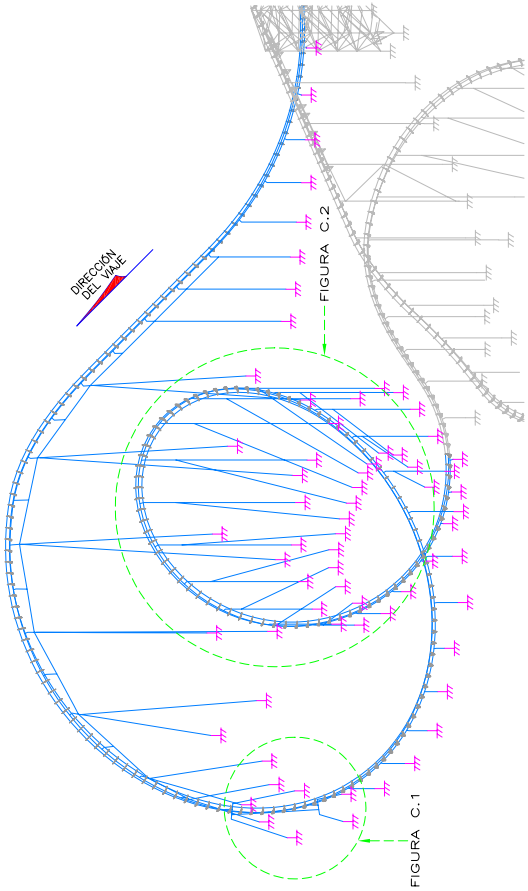


FIGURA C.2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

director tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: ISOMÉTRICO ZONA C		
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	aprobó: JJT/JAR	archivo: TRIRMOD0	fecha: Sep/08	escala: S/E



ISOMÉTRICO

DATOS ESTRUCTURA

MODELO: PRYTSMR01
No. Nudos: 4,218
No. Elementos: 939
No. Placas: 2,472

Z
Y
X

ISOMÉTRICO ZONA 'C'
MODELO TRIDIMENSIONAL
COLUMNAS 70 A 121

SIMBOLOGÍA

SOPORTE DE COLUMNA
ELEMENTOS ESTRUCTURA
PLACA DE CONEXIÓN

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

4. Isométrico Zona D.

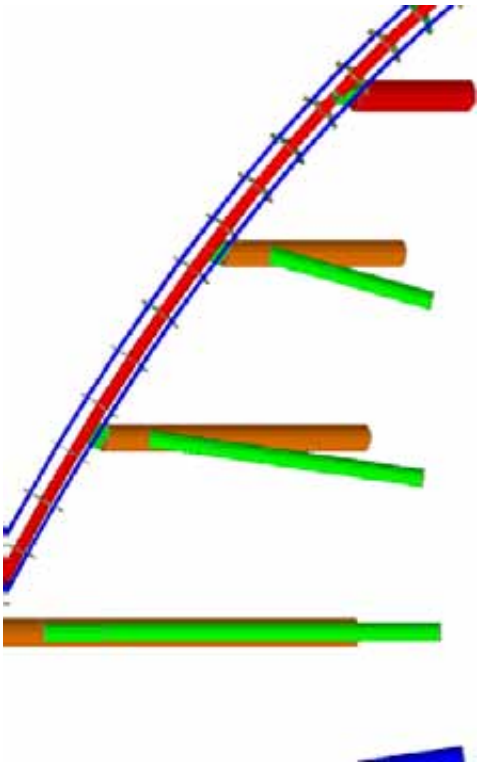


FIGURA D.1

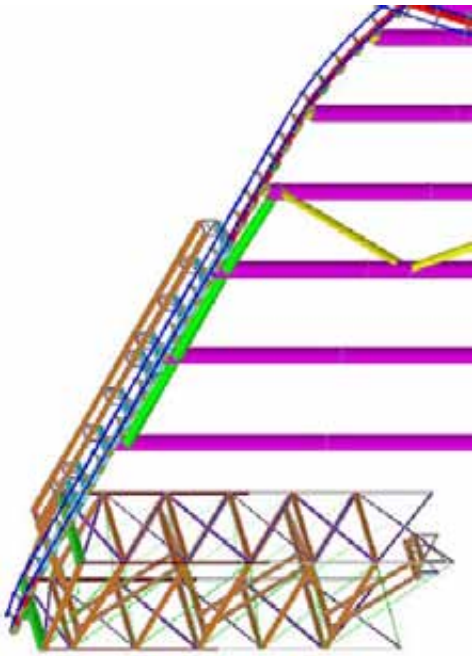
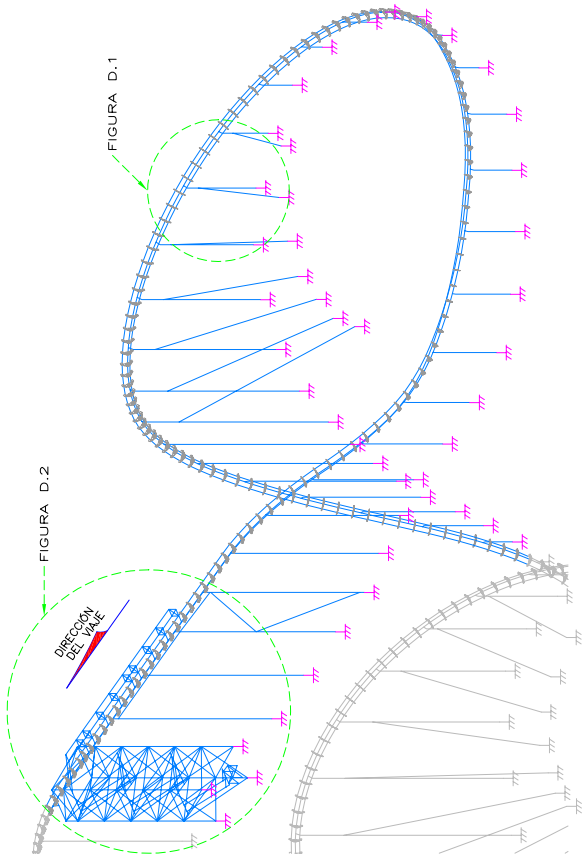


FIGURA D.2



I S O M É T R I C O

DATOS ESTRUCTURA

MODELO: PRYTSMR01
No. Nudos: 3,162
No. Elementos: 898
No. Placas: 1,812

Z Y X

SIMBOLOGÍA

SOPORTE DE COLUMNA
ELEMENTOS ESTRUCTURA
PLACA DE CONEXIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tesis y tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
dibujo: ISOMÉTRICO ZONA D
dibujó: JLT/LAMR
archivo: (TRIMMOD)
fecha: Sep/08
escala: S/E

I S O M É T R I C O Z O N A ' D '
M O D E L O T R I D I M E N S I O N A L
COLUMNAS 122 A 155

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

5. Isométrico Zona E.

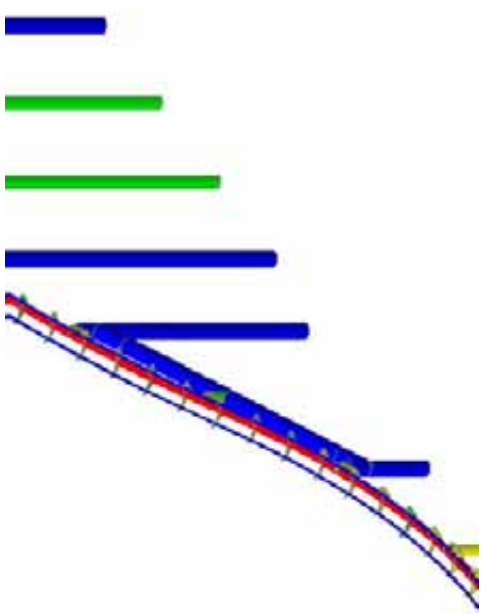


FIGURA E.1

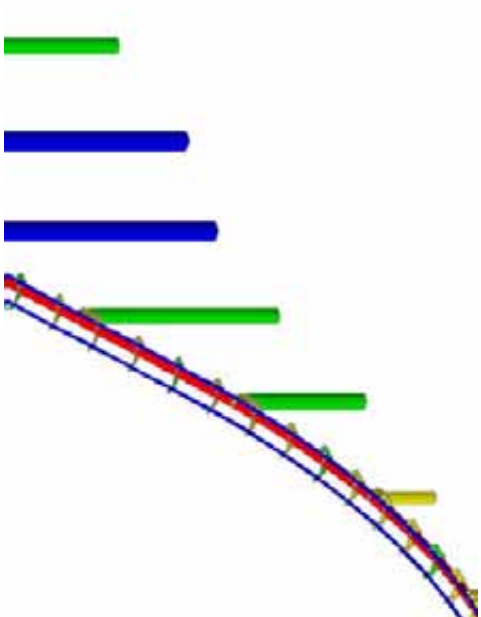
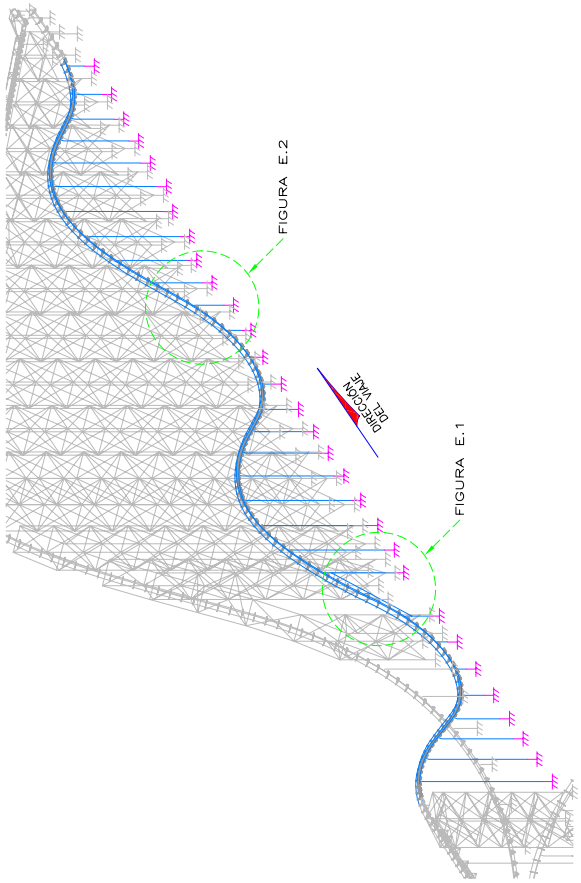


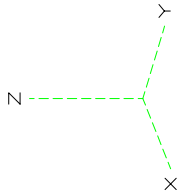
FIGURA E.2



I S O M É T R I C O

DATOS ESTRUCTURA

MODELO: PRYTSMR01
No. Nudos: 2,458
No. Elementos: 476
No. Placas: 1,488



SIMBOLOGÍA

SOPORTE DE COLUMNA
ELEMENTOS ESTRUCTURA
PLACA DE CONEXIÓN

I S O M É T R I C O Z O N A ' E '

M O D E L O T R I D I M E N S I O N A L

COLUMNAS 156 A 186

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: ISOMÉTRICO ZONA E	archivo: TRMRM005	fecha: Sep/06
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	aprobó: JJT/JAR		escala: S/E

A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

6. Isométrico Zona F.

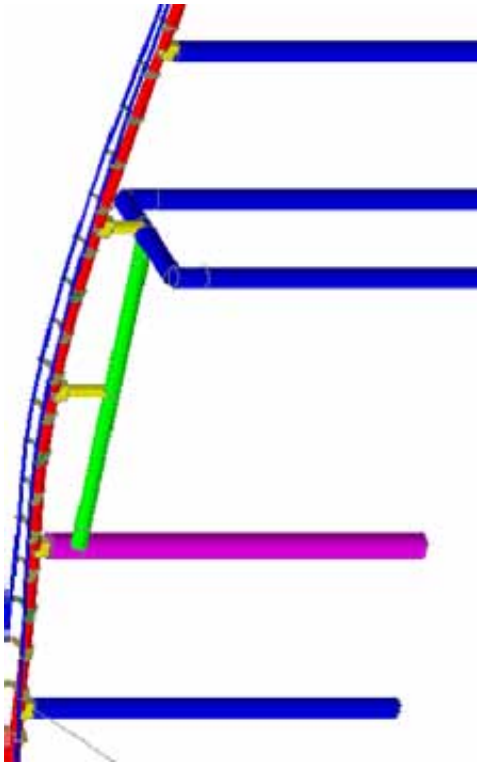


FIGURA F.1

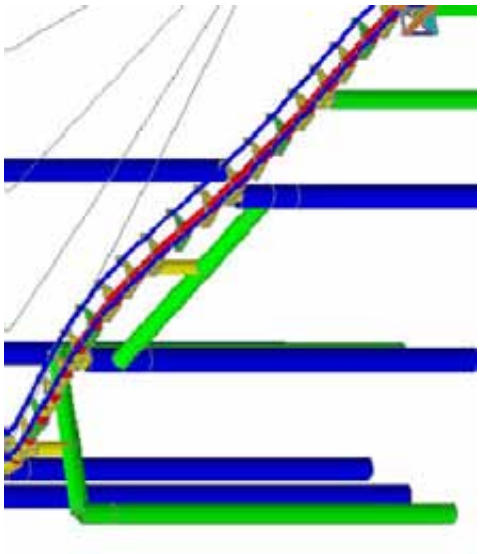
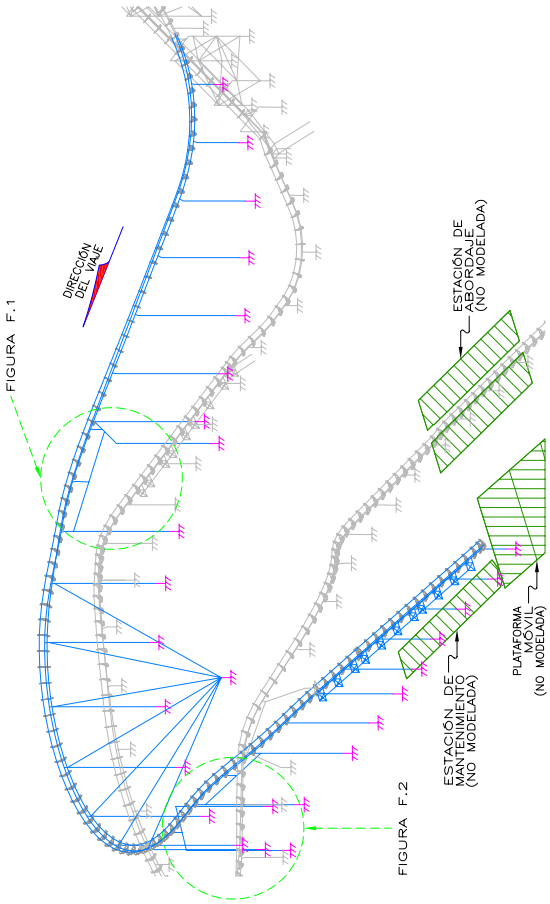


FIGURA F.2



I S O M É T R I C O

DATOS ESTRUCTURA

MODELO: PRYTSMR01
No. Nudos: 2,248
No. Elementos: 567
No. Placas: 1,308

Z
X
Y

SIMBOLOGÍA

SOPORTE DE COLUMNA
ELEMENTOS ESTRUCTURA
PLACA DE CONEXIÓN

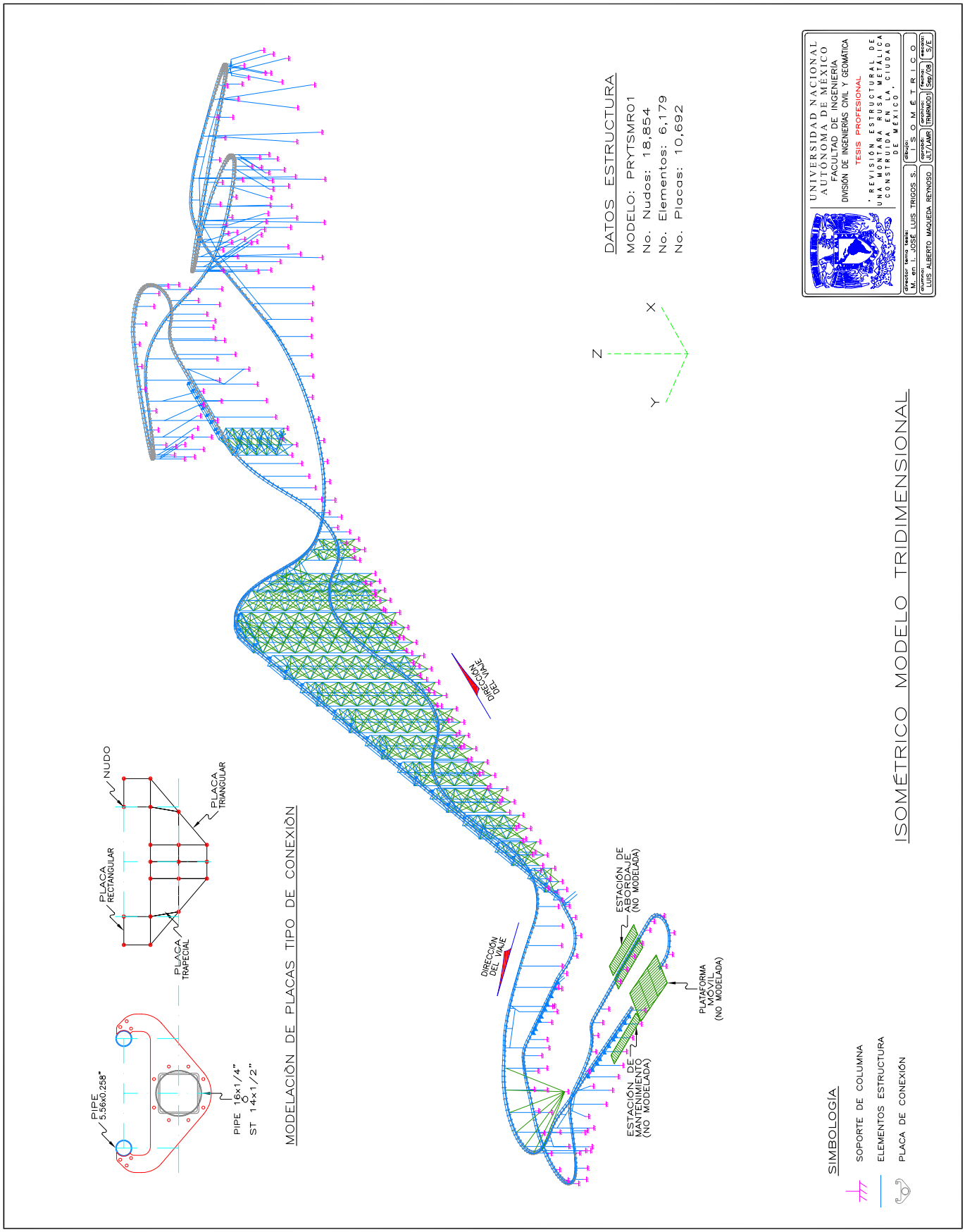
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
"REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO"

director tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: ISOMÉTRICO ZONA F		
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	aprobó: JJT/JAR	archivo: TRMR00F	fecha: Sep/08	escala: S/E

I S O M É T R I C O Z O N A ' F '
M O D E L O T R I D I M E N S I O N A L
COLUMNAS 187 A TL1

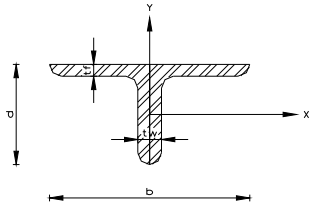
A. MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL.

7. Isométrico Modelo Tridimensional.

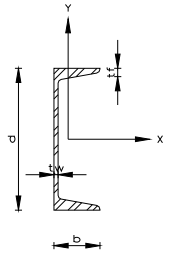


B. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS. 1. Trabes.

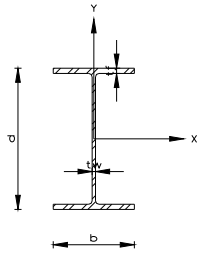
T R A B E S



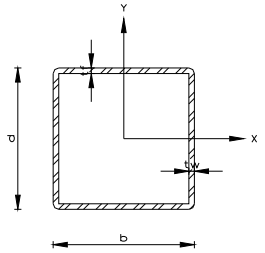
T I P O 2



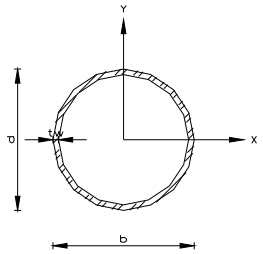
T I P O 3



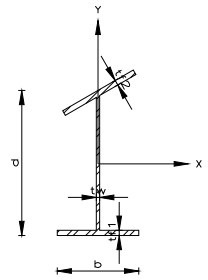
T I P O 4



T I P O 5



T I P O 6

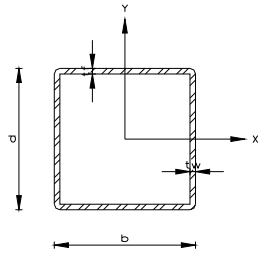


T I P O 7

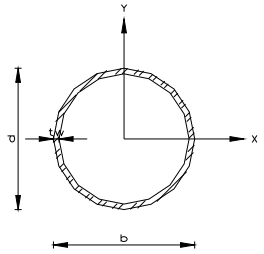
GEOMETRÍA	TIPO	d (cm)	b (cm)	tf (cm)	tw (cm)	A (cm²)	Ix (cm⁴)	Iy (cm⁴)	Iz (cm⁴)
2L4x1/4	2	10.16	20.32	0.635	1.270	24.97	249.74	419.95	3.47
2L4x5/16	2	10.16	20.32	0.794	1.588	30.97	305.93	528.68	6.77
2L5x5/16	2	12.70	25.40	0.794	1.588	39.55	620.18	1108.79	8.47
2L6x3/8	2	15.24	30.48	0.953	1.905	56.52	1277.83	2378.48	17.56
2MC12x31	4	30.48	18.64	1.778	1.880	116.90	16728.4	1935.20	136.31
HSS12x0.5	5	30.48	30.48	1.181	1.181	134.84	19021.8	19021.8	30301.7
HSS14x0.5	5	35.56	35.56	1.181	1.181	158.71	30926.0	30926.0	48699.1
PIPE5.5x0.258	6	13.97	13.97	-	0.655	25.68	574.40	574.40	1148.8
HSS6x2x0.25	5	15.24	5.08	0.592	0.592	21.74	545.26	91.99	272.63
MC12x31	3	30.48	9.32	1.778	0.940	58.84	8407.87	470.34	41.62
PIPE16x1/4	6	40.64	40.64	-	0.635	79.81	15969.3	15969.3	31938.6
HSS16x3/8	5	40.64	40.64	0.953	0.953	151.21	39717.8	39717.8	59542.4
W12x50	4	30.99	20.52	1.626	0.940	94.19	16274.7	2343.38	71.18
W12x58	4	30.99	25.40	1.626	0.914	109.68	19770.9	4453.68	87.41
W18x35	4	44.96	15.24	1.080	0.762	66.45	21227.8	636.83	21.06
W8x21	4	21.03	13.39	1.016	0.635	39.74	3134.22	406.66	11.74
WT+PL	7	35.50	25.30	1.630	1.170	102.52	20551.8	3234.26	65.94

B. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS. 2. Columnas.

C O L U M N A S



T I P O 5



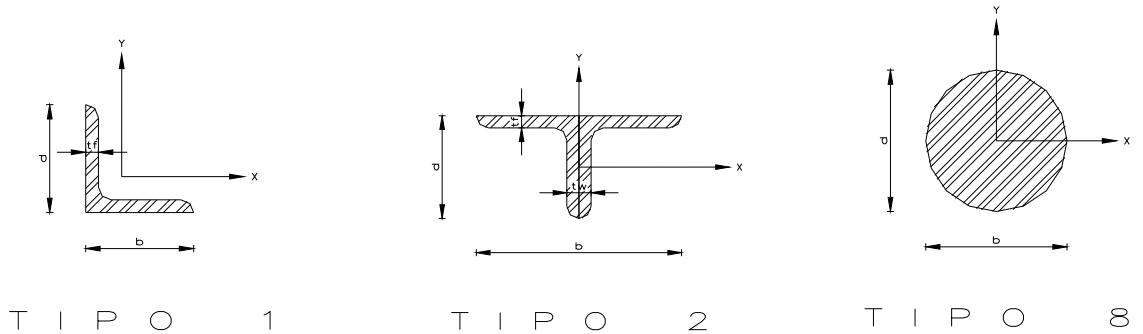
T I P O 6

GEOMETRÍA	TIPO	d (cm)	b (cm)	tf (cm)	tw (cm)	A (cm²)	Ix (cm⁴)	Iy (cm⁴)	Iz (cm⁴)
HSS3x0.25	5	7.62	7.62	0.592	0.592	15.74	125.70	125.70	211.45
HSS14x8x1/2	5	35.56	20.32	1.270	1.270	135.48	22799.1	9396.42	20319.2
PIPE12x3/8	6	30.48	30.48	-	0.953	88.36	9639.55	9639.55	19279.1
PIPE18x3/8	6	45.72	45.72	-	0.953	133.96	33574.5	33574.5	67149.1
PIPE24x3/8	6	60.96	60.96	-	0.953	179.56	80844.6	80844.6	161689.2
PIPE30x3/8	6	76.20	76.20	-	0.953	225.17	159393.5	159393.5	318787.1
PIPE30x1/2	6	76.20	76.20	-	1.270	298.96	209872.5	209872.5	419745.0
PIPE36x3/8	6	91.44	91.44	-	0.953	270.77	277165.2	277165.2	554330.5
PIPE36x1/2	6	91.44	91.44	-	1.270	359.76	365709.3	365709.3	731418.5
PIPE42x3/8	6	106.68	106.68	-	0.953	316.38	442103.6	442103.6	884207.1
PIPE42x1/2	6	106.68	106.68	-	1.270	420.57	584214.2	584214.2	1168428
PIPE5SCH40	6	14.12	14.12	-	0.655	27.74	632.67	632.67	1261.18
PIPE6SCH40	6	16.84	16.84	-	0.711	36.00	1169.61	1169.61	2343.38
PIPE6SCH80	6	16.84	16.84	-	1.097	54.19	1685.74	1685.74	3371.47
PIPE6XXS	6	16.84	16.84	-	2.195	100.64	2759.61	2759.61	5535.88
PIPE8SCH40	6	21.92	21.92	-	0.818	54.19	3017.68	3017.68	6035.36
SOPORTE AFH1	5	76.20	38.10	1.270	1.270	283.87	220443.1	75178.3	173086.1
SOPORTE AFH2	5	76.20	40.64	1.270	1.270	290.32	229499.6	86732.2	193388.1
SOPORTE AFH	SECCIÓN CON VARIACIÓN LINEAL ENTRE AFH1 Y AFH2 LONGITUDINALMENTE								
SOPORTE BCG1	5	60.96	38.10	1.270	1.270	245.16	128414.3	62046.2	127181.2
SOPORTE BCG2	5	60.96	40.64	1.270	1.270	251.61	134161.8	71727.1	141602.0
SOPORTE BCG	SECCIÓN CON VARIACIÓN LINEAL ENTRE BCG1 Y BCG2 LONGITUDINALMENTE								
SOPORTE E1	5	78.74	38.10	1.270	1.270	290.32	238864.8	77367.0	180908.1
SOPORTE E2	5	78.74	40.64	1.270	1.270	296.77	248545.7	89233.1	202227.5
SOPORTE E	SECCIÓN CON VARIACIÓN LINEAL ENTRE E1 Y E2 LONGITUDINALMENTE								

B. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.

3. Contravientos y Tensores.

C O N T R A V I E N T O S Y T E N S O R E S



T I P O 1 T I P O 2 T I P O 8

GEOMETRÍA	TIPO	d (cm)	b (cm)	tf (cm)	tw (cm)	A (cm²)	Ix (cm⁴)	Iy (cm⁴)	Iz (cm⁴)
2L4x1/4	2	10.16	20.32	0.635	1.270	24.97	249.74	419.95	3.47
2L5x1/2	2	12.70	25.40	1.270	2.540	61.81	936.52	1741.91	34.69
2L5x3/8	2	12.70	25.40	0.953	1.905	47.10	728.40	1317.63	14.63
2L5x5/16	2	12.70	25.40	0.794	1.588	39.55	620.18	1108.79	8.47
2L6x3/8	2	15.24	30.48	0.953	1.905	56.52	1277.83	2378.48	17.56
L3x1/4	1	7.62	7.62	0.635	0.635	9.29	51.20	51.20	1.30
L4x1/4	1	10.16	10.16	0.635	0.635	12.45	124.87	124.87	1.82
L5x5/16	1	12.70	12.70	0.794	0.794	19.81	309.68	309.68	4.50
TEN 1	8	2.54	2.54	-	-	5.07	2.04	2.04	4.09
TEN 1-1/2	8	3.81	3.81	-	-	11.40	10.34	10.34	20.69

C. PROPIEDADES MECÁNICAS.

Para fines del análisis y revisión estructural, se consideró que todos los elementos que componen la estructura como son columnas, trabes, diagonales, contravientos, etc., son de *ACERO ESTRUCTURAL, NORMA NMX B 254 (ASTM A 36)*, el cuál tiene las siguiente propiedades mecánicas:

f_y = 2,530 kgf/cm² Esfuerzo de fluencia del acero

E_s = 2,039,000 kgf/cm² Módulo de elastcidad del acero

γ_s = 7.85 tonf/m³ Peso volumétrico del acero

μ_s = 0.30 Constante de Poisson del acero

D. CONDICIONES BÁSICAS DE CARGA.

Las condiciones básicas de carga permanentes, variables y accidentales utilizadas para el análisis y revisión estructural, de acuerdo con el análisis de cargas previamente establecido, son las siguientes:

1. Condiciones Básicas de Cargas Permanentes.

Peso Propio	(PP)
Carga Muerta Instalaciones	(CM_{inst})
Carga Muerta por Plataforma y Escaleras	(CM_{pye})
Carga Muerta por Equipo	(CM_{eq})
Peso Equipo en Operación	(P_{eo})

2. Condiciones Básicas de Cargas Variables.

Carga Viva Máxima	($CV_{máx}$)
Carga Viva Instantánea	(CV_a)
Carga Tren Columna 1 / TL2	(1 / TL2)
Carga Tren Columna 2 / U1	(2 / U1)
Carga Tren Columna 3 / U2	(3 / U2)
.....	.....
.....	.....
.....	.....
Carga Tren Columna 222 / CB4	(222 / CB4)
Carga Tren Columna 223 / TL1	(223 / TL1)

3. Condiciones Básicas de Cargas Accidentales.

Viento SUR - NORTE	(VSN)
Viento NORTE - SUR	(VNS)
Viento OESTE - ESTE	(VWE)
Viento ESTE - OESTE	(VEW)
Sismo Estático +X	(SEX)
Sismo Estático - X	(-SEX)
Sismo Estático +Y	(SEY)
Sismo Estático - Y	(-SEY)

E. COMBINACIONES DE CARGA PARA REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

$CC01 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx}\ ]$
$CC02 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx} + 1/TL2\ ]$
.....
.....

$CC224 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx} + 223/TL1\ ]$
$CC225 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ SEX + 0.30\ SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC447 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ SEX + 0.30\ SEY\ )\ ]$
$CC448 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ SEX - 0.30\ SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC670 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ SEX - 0.30\ SEY\ )\ ]$
$CC671 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ -SEX + 0.30\ SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC893 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ -SEX + 0.30\ SEY\ )\ ]$
$CC894 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ -SEX - 0.30\ SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC1116 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ -SEX - 0.30\ SEY\ )\ ]$
$CC1117 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ 0.30\ SEX + SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC1339 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ 0.30\ SEX + SEY\ )\ ]$
$CC1340 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ 0.30\ SEX - SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC1562 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ 0.30\ SEX - SEY\ )\ ]$
$CC1563 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ -0.30\ SEX + SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC1785 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 223/TL1 + Q\ (\ -0.30\ SEX + SEY\ )\ ]$
$CC1786 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{a} + 1/TL2 + Q\ (\ -0.30\ SEX - SEY\ )\ ]$
.....
.....

$CC2008 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + Q\ (-0.30\ SEX - SEY)\ ]$
$CC2009 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VSN\ ]$
.....
.....

$CC2231 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VSN\ ]$
$CC2232 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VNS\ ]$
.....
.....

$CC2454 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VNS\ ]$
$CC2455 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VWE\ ]$
.....
.....

$CC2677 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VWE\ ]$
$CC2678 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VEW\ ]$
.....
.....

$CC2900 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VEW\ ]$

F. COMBINACIONES DE CARGA PARA REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

$CC2901 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx}\ ]$
$CC2902 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx} + 1/TL2\ ]$
.....
.....

$CC3124 = 1.00\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_{máx} + 223/TL1\ ]$
$CC3125 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + SEX + 0.30\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC3347 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + SEX + 0.30\ SEY\ ]$
$CC3348 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + SEX - 0.30\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC3570 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + SEX - 0.30\ SEY\ ]$
$CC3571 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 - SEX + 0.30\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC3793 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 - SEX + 0.30\ SEY\ ]$
$CC3794 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 - SEX - 0.30\ SEY\ ]$

.....
.....

$CC4016 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1\ -\ SEX\ -\ 0.30\ SEY\ ]$
$CC4017 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + 0.30\ SEX + SEY\ ]$
.....
.....

$CC4239 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + 0.30\ SEX + SEY\ ]$
$CC4240 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + 0.30\ SEX\ -\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC4462 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + 0.30\ SEX\ -\ SEY\ ]$
$CC4463 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2\ -\ 0.30\ SEX\ +\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC4685 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1\ -\ 0.30\ SEX + SEY\ ]$
$CC4686 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2\ -\ 0.30\ SEX\ -\ SEY\ ]$
.....
.....

$CC4908 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1\ -\ 0.30\ SEX\ -\ SEY\ ]$
$CC4909 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VSN\ ]$
.....
.....

$CC5131 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VSN\ ]$
$CC5132 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VNS\ ]$
.....
.....

$CC5354 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VNS\ ]$
$CC5355 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VWE\ ]$
.....
.....

$CC5577 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VWE\ ]$
$CC5578 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 1/TL2 + VEW\ ]$
.....
.....

$CC5800 = 0.75\ [\ PP + CM_{inst} + CM_{pye} + CM_{eq} + P_{eo} + CV_a + 223/TL1 + VEW\ ]$

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El objetivo de este capítulo es revisar conforme el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, los índices de seguridad aceptables para la montaña rusa en estudio, en comparación con los estados límite que dicta esta reglamentación. Se define como estado límite de comportamiento de una construcción, cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, niveles de fatiga, o varios de ellos, que determinen el inicio o la ocurrencia de algún modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción.

La estructura, se diseñó a base de elementos de acero estructural (trabes, columnas, diagonales, etc.), que forman subestructuras de diversas formas y alturas, que se conectan entre sí, para cumplir con los requerimientos del recorrido. Estos elementos, los componen principalmente secciones tubulares circulares, ángulos de lados iguales, redondos de diámetro reducido, canales, etc. El principal objetivo de estas subestructuras, es el de soportar los rieles, también de secciones tubulares circulares, que sirven como guía al tren en su recorrido. Todos los elementos de la estructura fueron integrados en el modelo de análisis tridimensional mediante la aplicación del Método del Elemento Finito.

Se utilizó el programa de análisis y diseño estructural, **SAP2000** Advanced 9.0.3 (Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures), para la modelación tridimensional completa de la estructura con el fin de obtener los resultados de análisis y revisión estructural finales de la montaña rusa. El análisis general de la estructura se hizo considerando hipótesis de comportamiento elástico - lineal. Para la modelación de los contraventeos de las torres de ascenso, corona e impulso y tensores en la curva de llegada, se utilizó una subrutina del SAP2000 que toma en cuenta la no - linealidad en la aplicación de las cargas, esto es, hace trabajar a los contraventeos y tensores solamente a fuerza axial de tensión, impidiéndole tomar cualquier otro tipo de fuerza debido a su esbeltez. La revisión de los elementos de acero de la estructura se hizo por el Método de Esfuerzos Permisibles.

La estructura se modeló analítica y matemáticamente mediante un conjunto tridimensional de 18,854 nudos y 6,179 elementos: columnas, trabes, diagonales y contravientos de acero estructural, además de 10,692 elementos panel discretizando las placas de conexión entre los rieles.

Después de realizar el análisis estructural de la montaña rusa se obtuvieron las propiedades dinámicas como son períodos, frecuencias y modos de vibrar para los diferentes grados de libertad de la estructura. El programa mediante un análisis de vectores característicos determina las formas modales y las frecuencias desacopladas en vibración libre, las cuales involucran la solución de la ecuación carcaterística. Se tiene que el periodo fundamental de vibración es igual a $T = 1.0901\ seg$, que se caracteriza por movimientos de translación en el sentido transversal en las torres de ascenso, corona e impulso. A continuación se muestran los primeros cinco periodos de vibración de la estructura:

MODO DE VIBRAR	PERIODO (seg)	FRECUENCIA (hertz)	OBSERVACIONES
1	1.090	0.917	Translación en Torres
2	0.825	1.212	Translación Sección Frenado B
3	0.721	1.387	Rotación en Torres
4	0.628	1.593	Translación en Zona de Jorobas
5	0.604	1.655	Translación entrada Segunda Vuelta

A. ELECCIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA CRÍTICAS.

Como se ha mencionado con anterioridad, se alcanza un estado límite de comportamiento en una construcción cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, niveles de fatiga, o varios de ellos, que determina el inicio o la ocurrencia de un modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción. De acuerdo con los artículos 148 y 149 del Reglamento, tales estados límite se clasifican en dos grupos: estados límite de falla y estados límite de servicio.

Los estados límite de servicio, incluyen la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones, daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado la construcción, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas. Los valores específicos para determinar los estados límite de servicio se definen en la respectiva normatividad. Como se trata de una estructura a base de perfiles metálicos se tendrán que tomar en cuenta además de los estados límite de servicio generales, los que especifícan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas.

Los estados límite de falla se consideran como cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Una vez realizado el análisis y revisión estructural de la montaña rusa, atendiendo las distintas combinaciones de acciones actuando sobre la estructura, se obtuvieron las condiciones críticas, para cada una de las zonas en estudio, obteniendo resultados en términos de desplazamientos, fuerzas internas en elementos, para su evaluación respecto a los distintos estados límites de servicio y de falla. A continuación se detallan los resultados obtenidos, combinaciones de carga y estados límite.

B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

Se deberán tomar en cuenta como parte de la revisión de estados límite, los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en su Título VI (Seguridad Estructural de las Edificaciones), así como las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, las NTC's para Diseño por Viento, las NTC's para Diseño por Sismo y las NTC's para Diseño y Construccion de Estructuras Metálicas tomando especial atención a los desplazamientos, vibraciones, expansiones, contracciones, corrosión y protección contra fuego.

DESPLAZAMIENTOS

① Según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, en las secciones 4.1.a. y 4.1.b, se deberá cumplir en las edificaciones sujetas a acciones permanentes y variables, los desplazamientos no deberán exceder:

- Desplazamiento vertical al centro de trabes: L/240 + 5 mm donde L es el claro de la trabe.
- Desplazamiento horizontal relativo entre niveles sucesivos: H/500 donde H es la altura del entrepiso.

② Según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento, en la sección 7, se deberá cumplir en las edificiaciones sujetas a acciones del viento no deberán exceder:

- Desplazamiento horizontal relativo entre niveles sucesivos: H x 0.005 donde H es la altura del entrepiso.

③ Según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, en la sección 1.8, se deberá cumplir en las edificiaciones sujetas a acciones sísmicas no deberán exceder:

- Desplazamiento horizontal relativo entre niveles sucesivos: H x 0.012 donde H es la altura del entrepiso.

Se calcularon los desplazamientos de todos los nudos de la estructura, como resultado se obtuvieron los desplazamientos máximos, para la combinación de carga crítica, CC, en cada una de las seis zonas propuestas. A continuación se muestran sus valores:

ZONA	$\Delta x_{máx}$ (cm)	CC	$\Delta y_{máx}$ (cm)	CC	$\Delta z_{máx}$ (cm)	CC
A	1.35	923	0.34	247	2.08	928
B	3.77	507	41.39	1399	2.79	1401
C	6.24	308	4.98	1870	0.82	547
D	10.17	1029	18.40	1716	2.36	1724
E	0.86	845	13.38	1285	1.17	1514
F	8.18	885	5.84	1541	1.26	889

Como parte de la revisión de los estados límite de servicio, en cuanto a desplazamientos se refiere, se presentan tres tablas donde se listan los desplazamientos totales para las combinaciones de carga más desfavorables en las direcciones principales (longitudinal y transversal), para los nudos que forman los marcos de las Torres de Corona. Estos desplazamientos corresponden a combinaciones de acciones permanentes, variables y accidentales debido a sismo; además se muestra el cálculo de los desplazamientos relativos de entrepiso, obteniendo valores menores de 0.012, como lo marcan las NTC's para Diseño por Sismo. A continuación se listan las tablas correspondientes:

V.B.1. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 53A y 53 B (Torres de Corona).

V.B.2. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 54A y 54 B (Torres de Corona).

V.B.3. Desplazamientos Relativos Marcos Ejes 55A y 55 B (Torres de Corona).

También como parte de los resultados obtenidos, se muestran seis isométricos de las diferentes zonas en estudio de V.B.4 a V.B.9, indicando las configuraciones originales y las deformadas para las combinaciones de acciones más críticas. A continuación se listan los dibujos respectivos:

V.B.4. Isométrico Zona A, CC 923.

V.B.5. Isométrico Zona B, CC 1399.

V.B.6. Isométrico Zona C, CC 308.

V.B.7. Isométrico Zona D, CC 1716.

V.B.8. Isométrico Zona E, CC 1285.

V.B.9. Isométrico Zona F, CC 885.

VIBRACIONES

Las vibraciones en estructuras, se estudian en áreas destinadas al tránsito de personas u otras actividades, donde estas pudieran ser inaceptables. En la estructura de la montaña rusa, prácticamente no existen, ya que todas las plataformas donde pudieran existir vibraciones importantes, son áreas de emergencia, que generalmente no están ocupadas y, si lo están, normalmente la atracción no se encuentra en funcionamiento.

EXPANSIONES Y CONTRACCIONES

No se hizo un análisis explícito de los efectos producidos por las variaciones de temperatura, expansiones y contracciones. Sin embargo, debido a la ubicación geográfica de la estructura no se considera necesario tomar en cuenta este fenómeno.

CORROSIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA FUEGO

Los elementos que componen la estructura, se protegieron mediante pintura adecuada para evitar disminuciones de la resistencia de sus elementos o situaciones perjudiciales en su comportamiento en condiciones de servicio, inducidos por la corrosión. Debido a las características de la estructura, su uso y la posibilidad de contener material combustible, no se tomaron medidas especiales para protegerla contra fuego.

Se revisaron todos los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en su Título VI (Seguridad Estructural de las Edificaciones), así como las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, las NTC's para Diseño por Viento, las NTC's para Diseño por Sismo y las NTC's para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas. Se calcularon los desplazamientos de todos los nudos de la estructura. Al revisar todos los estados límite de servicio aceptables según la normatividad y compararlos con los obtenidos, resultan **condiciones satisfactorias**.

B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

1. Desplazamientos Relativos Ejes 53A y 53B.

	NIVEL	COL	NUDO	h (m)	COMBINACIÓN 507		ΔX / h	COMBINACIÓN 1401		ΔY / h
					DX (cm)	ΔX (cm)		DY (cm)	ΔY (cm)	
MARCOS EJES 53A Y 53B	N+0.00	53A	430	0.00	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
		53B	398	0.00	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
	N+6.09	53A	429	6.10	0.2538	0.2538	**0.0004**	-0.9675	-0.9675	**0.0016**
		53B	399	6.10	0.2474	0.2474	**0.0004**	-1.0121	-1.0121	**0.0017**
	N+12.19	53A	427	6.10	0.5648	0.3110	**0.0005**	-2.9955	-2.0280	**0.0033**
		53B	401	6.10	0.5037	0.2563	**0.0004**	-3.0390	-2.0269	**0.0033**
	N+18.28	53A	426	6.10	0.9218	0.3570	**0.0006**	-5.8914	-2.8959	**0.0047**
		53B	402	6.10	0.7866	0.2829	**0.0005**	-5.9330	-2.8940	**0.0047**
	N+24.38	53A	424	6.10	1.2828	0.3610	**0.0006**	-9.5176	-3.6262	**0.0059**
		53B	404	6.10	1.0854	0.2988	**0.0005**	-9.5572	-3.6242	**0.0059**
	N+30.47	53A	423	6.10	1.6384	0.3556	**0.0006**	-13.7365	-4.2189	**0.0069**
		53B	405	6.10	1.3879	0.3025	**0.0005**	-13.7735	-4.2163	**0.0069**
	N+36.57	53A	421	6.10	1.9779	0.3395	**0.0006**	-18.4163	-4.6798	**0.0077**
		53B	407	6.10	1.6874	0.2995	**0.0005**	-18.4505	-4.6770	**0.0077**
	N+42.66	53A	420	6.10	2.2909	0.3130	**0.0005**	-23.4318	-5.0155	**0.0082**
		53B	408	6.10	1.9719	0.2845	**0.0005**	-23.4629	-5.0124	**0.0082**
	N+48.76	53A	418	6.10	2.5732	0.2823	**0.0005**	-28.6714	-5.2396	**0.0086**
		53B	410	6.10	2.2288	0.2569	**0.0004**	-28.6995	-5.2366	**0.0086**
	N+54.85	53A	417	6.10	2.8260	0.2528	**0.0004**	-34.0421	-5.3707	**0.0088**
		53B	411	6.10	2.4606	0.2318	**0.0004**	-34.0635	-5.3640	**0.0088**
	N+58.28	53A	416	3.43	2.9828	0.1568	**0.0005**	-37.1517	-3.1096	**0.0091**
		53B	412	3.43	2.6499	0.1893	**0.0006**	-37.1562	-3.0927	**0.0090**
	TOTAL	53A	416	58.33	2.9828	2.9828	**0.0005**	-37.1517	-37.1517	**0.0064**
		53B	412	58.33	2.6499	2.6499	**0.0005**	-37.1562	-37.1562	**0.0064**

B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

2. Desplazamientos Relativos Ejes 54A y 54B.

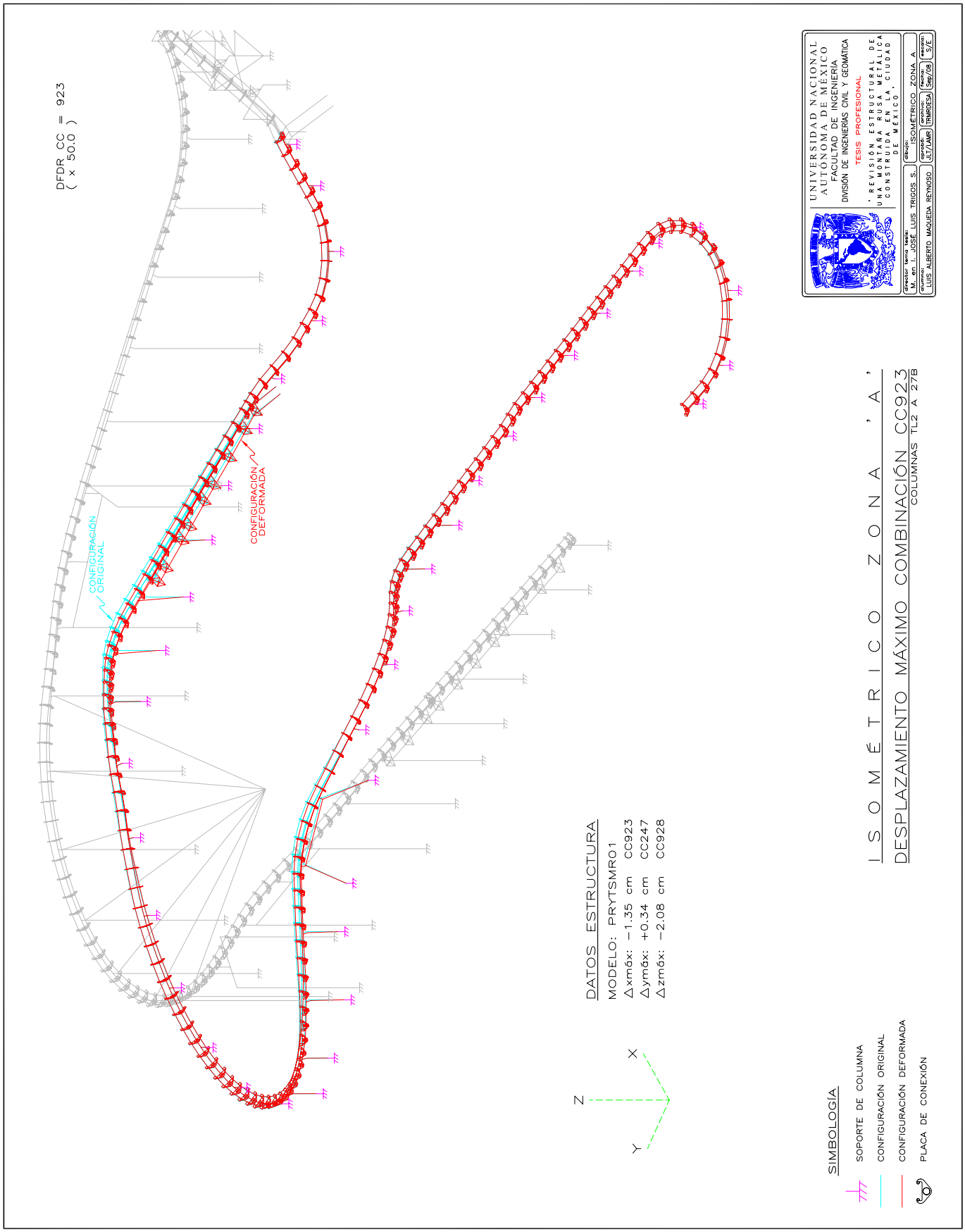
	NIVEL	COL	NUDO	h (m)	COMBINACIÓN 507		ΔX / h	COMBINACIÓN 1401		ΔY / h
					DX (cm)	ΔX (cm)		DY (cm)	ΔY (cm)	
MARCOS EJES 54A Y 54B	N+0.00	54A	431	0.000	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
		54B	467	0.000	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
	N+6.09	54A	432	6.100	0.2033	0.2033	**0.0003**	-0.9868	-0.9868	**0.0016**
		54B	466	6.100	0.2277	0.2277	**0.0004**	-0.9468	-0.9468	**0.0016**
	N+12.19	54A	434	6.100	0.4625	0.2592	**0.0004**	-2.9804	-1.9936	**0.0033**
		54B	464	6.100	0.5394	0.3117	**0.0005**	-2.9404	-1.9936	**0.0033**
	N+18.28	54A	435	6.100	0.7495	0.2870	**0.0005**	-5.8480	-2.8676	**0.0047**
		54B	463	6.100	0.8981	0.3587	**0.0006**	-5.8088	-2.8684	**0.0047**
	N+24.38	54A	437	6.100	1.0523	0.3028	**0.0005**	-9.4596	-3.6116	**0.0059**
		54B	461	6.100	1.2609	0.3628	**0.0006**	-9.4213	-3.6125	**0.0059**
	N+30.47	54A	438	6.100	1.3592	0.3069	**0.0005**	-13.6861	-4.2265	**0.0069**
		54B	460	6.100	1.6187	0.3578	**0.0006**	-13.6488	-4.2275	**0.0069**
	N+36.57	54A	440	6.100	1.6633	0.3041	**0.0005**	-18.4056	-4.7195	**0.0077**
		54B	458	6.100	1.9608	0.3421	**0.0006**	-18.3694	-4.7206	**0.0077**
	N+42.66	54A	441	6.100	1.9528	0.2895	**0.0005**	-23.4994	-5.0938	**0.0084**
		54B	457	6.100	2.2768	0.3160	**0.0005**	-23.4646	-5.0952	**0.0084**
	N+48.76	54A	443	6.100	2.2143	0.2615	**0.0004**	-28.8595	-5.3601	**0.0088**
		54B	455	6.100	2.5622	0.2854	**0.0005**	-28.8258	-5.3612	**0.0088**
	N+54.85	54A	444	6.100	2.4392	0.2249	**0.0004**	-34.3881	-5.5286	**0.0091**
		54B	454	6.100	2.8102	0.2480	**0.0004**	-34.3565	-5.5307	**0.0091**
	N+58.28	54A	445	3.430	2.6440	0.2048	**0.0006**	-37.6422	-3.2541	**0.0095**
		54B	453	3.430	2.9927	0.1825	**0.0005**	-37.6241	-3.2676	**0.0095**
	N+61.29	54A	447	3.010	2.7257	0.0817	**0.0003**	-40.2114	-2.5692	**0.0085**
		54B	451	3.010	3.0563	0.0636	**0.0002**	-40.2078	-2.5837	**0.0086**
	TOTAL	54A	447	61.340	2.7257	2.7257	**0.0004**	-40.2114	-40.2114	**0.0066**
		54B	451	61.340	3.0563	3.0563	**0.0005**	-40.2078	-40.2078	**0.0066**

B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

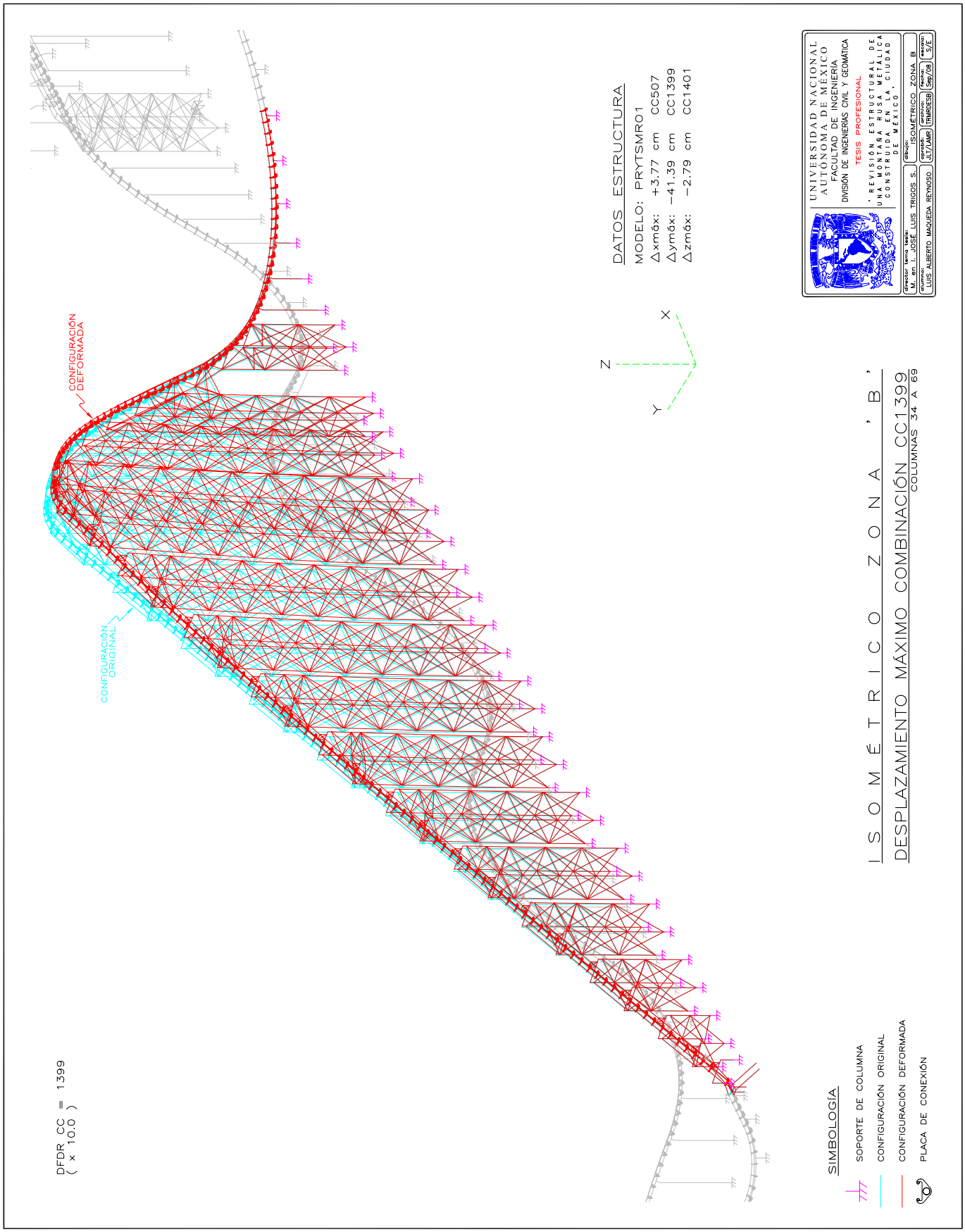
3. Desplazamientos Relativos Ejes 55A y 55B.

	NIVEL	COL	NUDO	h (m)	COMBINACIÓN 507		ΔX / h	COMBINACIÓN 1401		ΔY / h
					DX (cm)	ΔX (cm)		DY (cm)	ΔY (cm)	
MARCOS EJES 55A Y 55B	N+0.00	55A	505	0.000	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
		55B	471	0.000	0.0000	0.0000	-	0.0000	0.0000	-
	N+6.09	55A	504	6.100	0.2076	0.2076	**0.0003**	-0.8313	-0.8313	**0.0014**
		55B	472	6.100	0.1649	0.1649	**0.0003**	-0.8658	-0.8658	**0.0014**
	N+12.19	55A	502	6.100	0.5172	0.3096	**0.0005**	-2.6571	-1.8258	**0.0030**
		55B	474	6.100	0.4242	0.2593	**0.0004**	-2.6914	-1.8256	**0.0030**
	N+18.28	55A	501	6.100	0.8761	0.3589	**0.0006**	-5.3169	-2.6598	**0.0044**
		55B	475	6.100	0.7140	0.2898	**0.0005**	-5.3504	-2.6590	**0.0044**
	N+24.38	55A	499	6.100	1.2394	0.3633	**0.0006**	-8.6899	-3.3730	**0.0055**
		55B	477	6.100	1.0201	0.3061	**0.0005**	-8.7223	-3.3719	**0.0055**
	N+30.47	55A	498	6.100	1.5981	0.3587	**0.0006**	-12.6519	-3.9620	**0.0065**
		55B	478	6.100	1.3306	0.3105	**0.0005**	-12.6829	-3.9606	**0.0065**
	N+36.57	55A	496	6.100	1.9415	0.3434	**0.0006**	-17.0863	-4.4344	**0.0073**
		55B	480	6.100	1.6386	0.3080	**0.0005**	-17.1155	-4.4326	**0.0073**
	N+42.66	55A	495	6.100	2.2589	0.3174	**0.0005**	-21.8774	-4.7911	**0.0079**
		55B	481	6.100	1.9319	0.2933	**0.0005**	-21.9045	-4.7890	**0.0079**
	N+48.76	55A	493	6.100	2.5456	0.2867	**0.0005**	-26.9149	-5.0375	**0.0083**
		55B	483	6.100	2.1958	0.2639	**0.0004**	-26.9397	-5.0352	**0.0083**
	N+54.85	55A	492	6.100	2.7970	0.2514	**0.0004**	-32.0930	-5.1781	**0.0085**
		55B	484	6.100	2.4272	0.2314	**0.0004**	-32.1147	-5.1750	**0.0085**
	N+58.28	55A	491	3.430	2.9987	0.2017	**0.0006**	-35.1010	-3.0080	**0.0088**
		55B	485	3.430	2.6386	0.2114	**0.0006**	-35.1040	-2.9893	**0.0087**
	TOTAL	55A	491	58.330	2.9987	2.9987	**0.0005**	-35.1010	-35.1010	**0.0060**
		55B	485	58.330	2.6386	2.6386	**0.0005**	-35.1040	-35.1040	**0.0060**

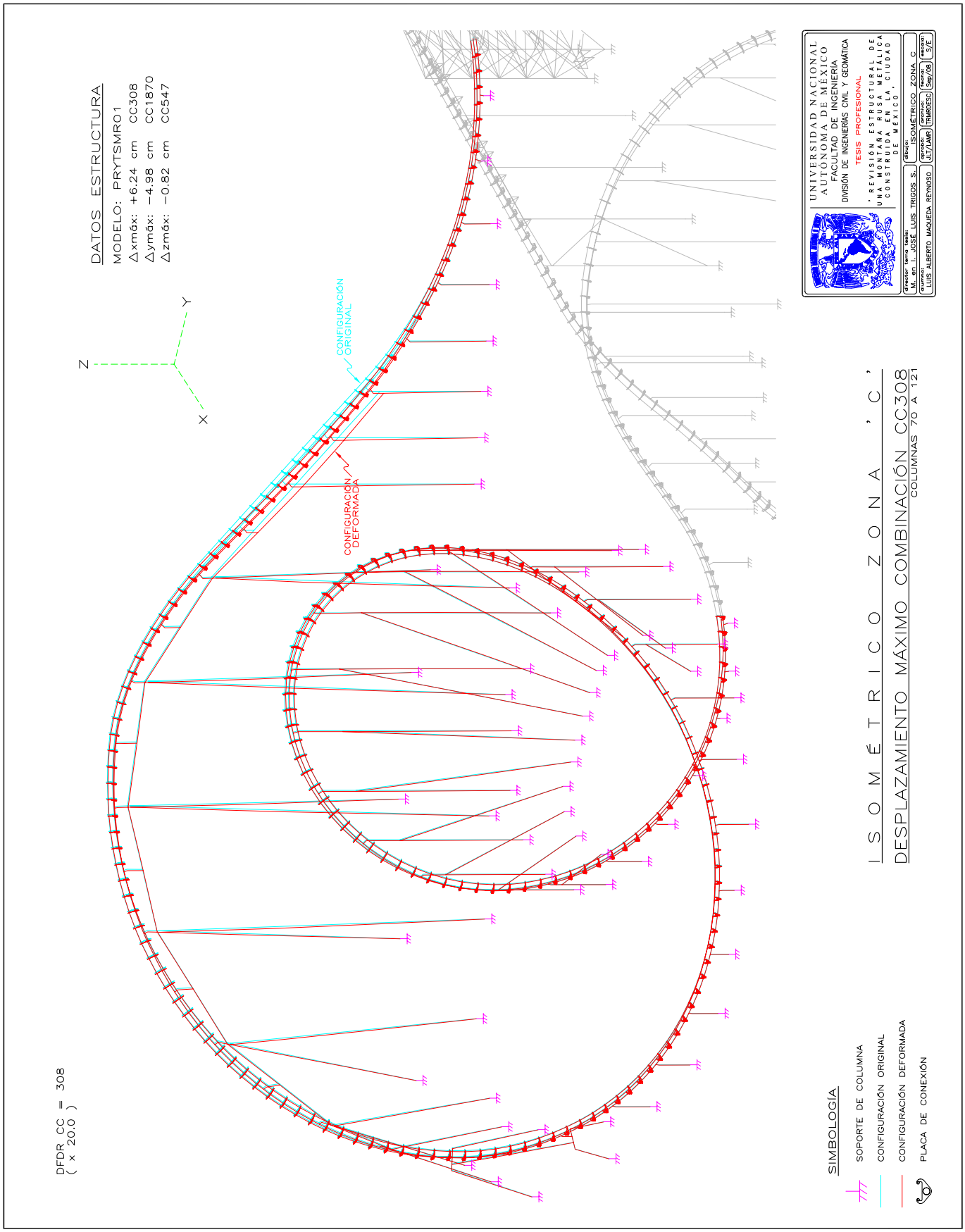
B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. 4. Isométrico Zona A, CC 923.



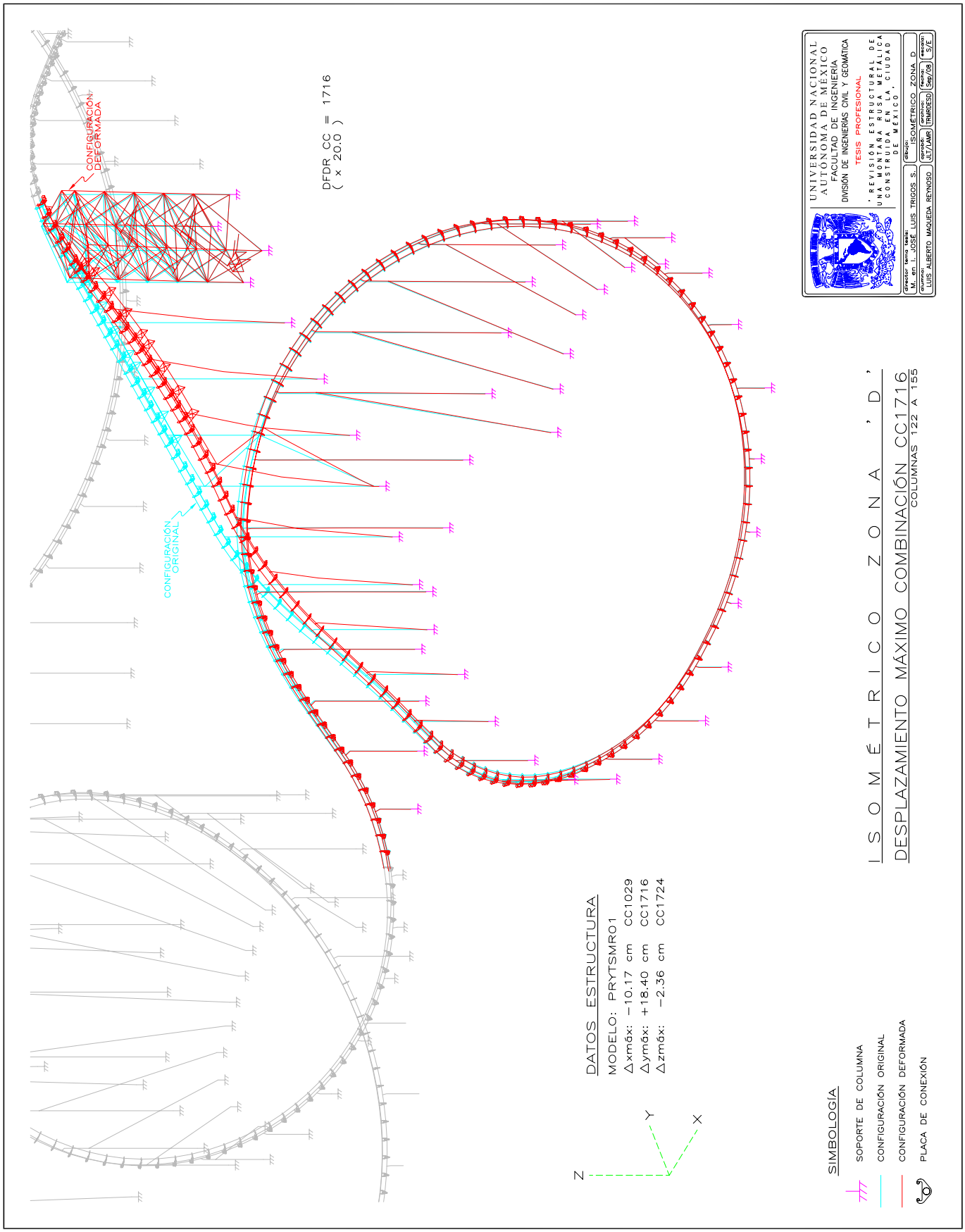
B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. 5. Isométrico Zona B, CC 1399.



B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. 6. Isométrico Zona C, CC 308.

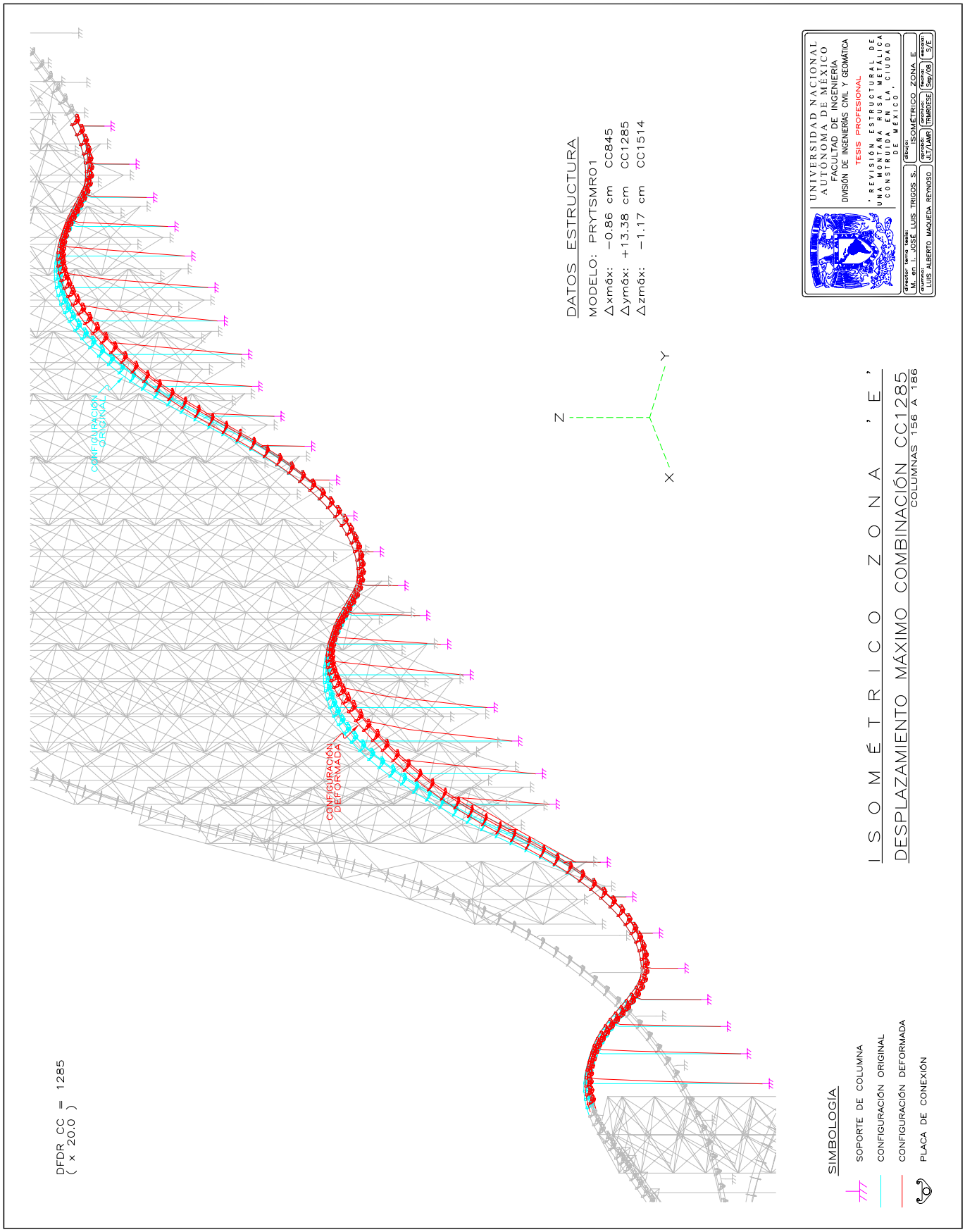


B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO. 7. Isométrico Zona D, CC 1716.



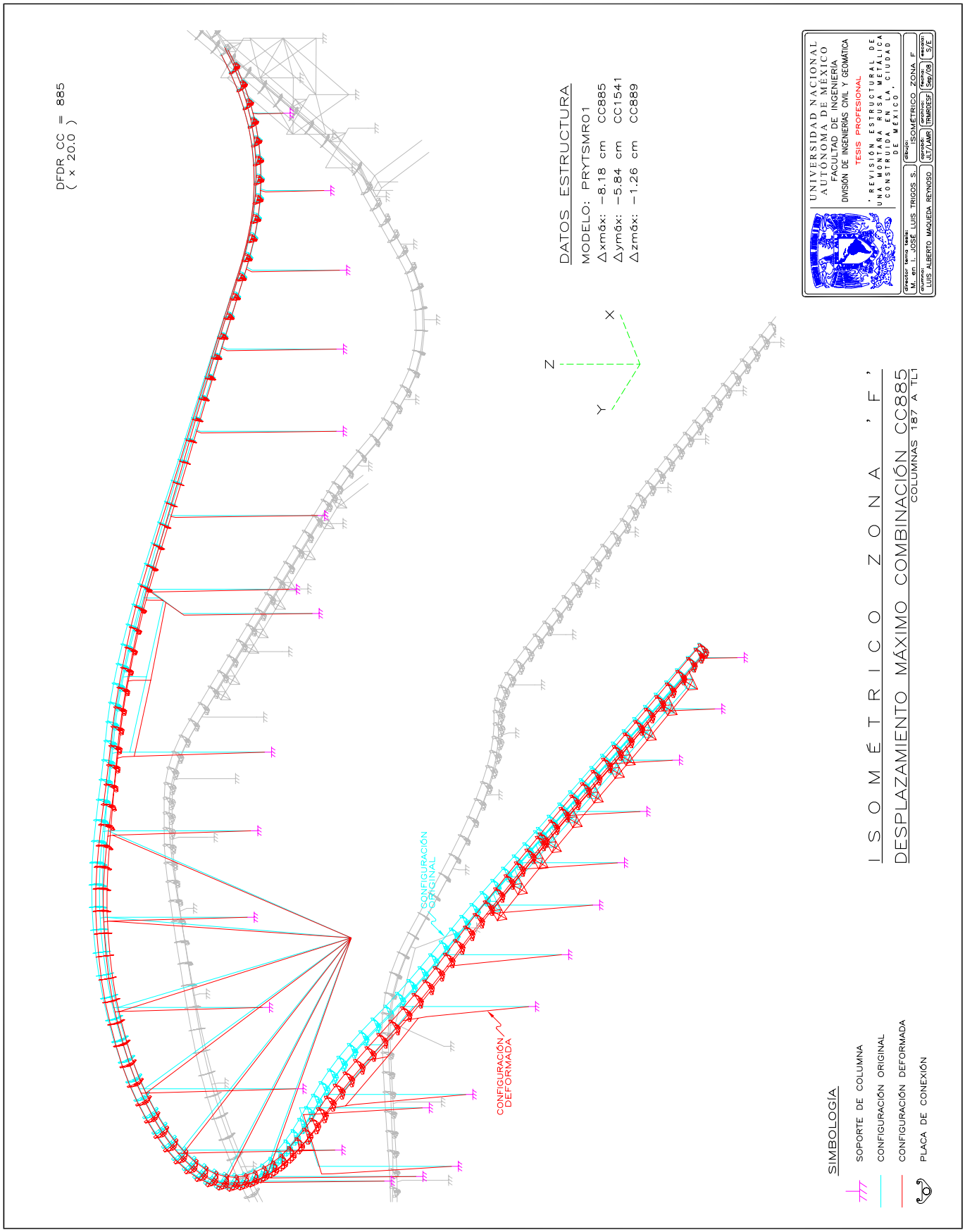
B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

8. Isométrico Zona E, CC 1285.



B. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

9. Isométrico Zona F, CC 885.



C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

Como se ha mencionado con anterioridad, los estados límite de falla se consideran como cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga. La revisión de los elementos de acero se hizo por el Método de Esfuerzos Permisibles, contemplado en la Normatividad del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. La revisión del sistema de cimentación se reporta en el Capítulo VI.

Se utilizó la normatividad del AISC - ASD89 (American Instutute of Steel Construction - Allowable Stress Design 89), en conjunto con las recomendaciones del IMCA (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero) y su Manual de Construcción en Acero - Diseño por Esfuerzos Permisibles.

El Método de Esfuerzos Permisibles para la revisión de los elementos de acero estructural, consiste en calcular los efectos que producen las acciones o combinaciones de acciones, en términos de fuerzas internas, mediante un análisis elástico, y compararlos con los esfuerzos máximos permisibles a su vez divididos por un factor de seguridad.

Todos los componentes de la estructura deben ser diseñados de tal manera que los esfuerzos no excedan los valores siguientes:

TENSIÓN

Excepto para miembros conectados con pasadores, F_t no excederá de:

$$F_t = 0.60\ F_y \qquad \text{en el área total}$$

$$F_t = 0.50\ F_u \qquad \text{en el área neta efectiva}$$

Donde: F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero utilizado, en kgf/cm².
F_u es la resistencia mínima a la ruptura por tensión especificada para el acero, en kgf/cm².
F_t es el esfuerzo a tensión axial permisible, en kgf/cm².

CORTANTE

En perfiles laminados y perfiles armados el esfuerzo cortante no excederá de:

$$F_v = 0.40\ F_y \qquad \text{en el área efectiva para resistir cortante}$$

Donde: F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero utilizado, en kgf/cm².
F_v es el esfuerzo cortante permisible, en kgf/cm².

COMPRESIÓN

En las secciones totales de miembros cargados en compresión axial, cuyas secciones transversales cumplen con las disposiciones de relaciones ancho-espesor y la relación de esbeltez efectiva de cualquier segmento no arriostrado, es menor que C_c:

$$F_a = \frac{[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \qquad \text{donde:} \qquad C_c = \sqrt{\frac{12\pi^2 E}{F_y}}$$

Cuando la relación de esbeltez efectiva excede de C_c:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2}$$

Donde: F_a es el esfuerzo de compresión axial permisible en un miembro prismático, cuando no hay momento de flexión, en kgf/cm².
- K es el factor de longitud efectiva de un miembro prismático.
- l es la longitd del elemento, en cm.
- r es el radio de giro de la sección transversal del elemento, en cm.
- C_c es la relación de esbeltez de columnas que separa al pandeo elástico del inelástico.
- E es el módulo de elasticidad del acero, en kgf/cm².
- F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero utilizado, en kgf/cm².

FLEXIÓN

Tensión y compresión en las fibras extremas de miembros compactos, laminados en caliente o armados, cargados en el plano de su eje menor, simétricos con respecto a dicho eje:

$$F_b = 0.66\ F_y$$

Si la longitud entre soportes laterales del patín en compresión de miembros que no sean circulares o miembros en cajón, no excederá ninguno de los siguientes valores:

$$\frac{637\ b_f}{\sqrt{F_y}} \qquad \text{ni de} \qquad \frac{1'410{,}000}{(d/A_f)\ F_y}$$

Donde: F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero utilizado, en kgf/cm².
- F_b es el esfuerzo de flexión permisible, en ausencia de fuerzas axiales, en kgf/cm².
- b_f es el ancho del patín de una viga laminada o viga formada por tres placas, en cm.
- A_f es el área del patín en compresión, en cm².

Para elementos donde la longitud entre soportes laterales sea mayor a las longitudes anteriores, se tomarán los siguientes esfuerzos permisibles en las fibras extremas del elemento a flexión:

Tensión:

$$F_b = 0.60\ F_y$$

Compresión: ① Para miembros que cumplan las relaciones ancho-espesor, que tengan un eje de simetría en el plano del alma y que estén cargados en el plano de ésta, se tomará el mayor de los valores calculados con las siguientes fórmulas, según sea el caso:

Si:

$$\frac{\sqrt{717\ x\ 10^4\ C_b}}{F_y} \leq \frac{l}{r_T} \leq \frac{\sqrt{3590\ x\ 10^4\ C_b}}{F_y}$$

Entonces:

$$F_b = [\frac{2}{3} - \frac{F_y(l/r_T)^2}{1080\ x\ 10^5\ C_b}]\ F_y$$

Si:

$$\frac{l}{r_T} \geq \frac{\sqrt{3590\ x\ 10^4\ C_b}}{F_y}$$

Entonces:

$$F_b = \frac{120\ x\ 10^5\ C_b}{(l/r_T)^2}$$

Cuando el patín en compresión sea sólido y aproximadamente rectangular en la sección transversal y su área no sea menor que la del patín en tensión:

$$F_b = \frac{844\ x\ 10^3\ C_b}{ld/A_f}$$

Donde:

- F_b es el esfuerzo de flexión permisible, en kgf/cm².
- F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero, en kgf/cm².
- l es la distancia entre secciones transversales no arriostradas, para evitar el giro o desplazamiento lateral del patín en compresión, en cm.
- r_T es el radio de giro de una sección que comprende el patín en compresión mas un tercio del área del alma en compresión tomada con respecto a un eje en el plano del alma, en cm.
- A_f es el área del patín en compresión, en cm².
- C_b coeficiente cuyo valor será:

$$C_b = 1.75 + 1.05\ \frac{M_1}{M_2} + 0.30\ (\frac{M_1}{M_2})^2 \leq 2.30$$

donde M_1/M_2 es el mayor de los momentos de flexión en los extremos de la longitud no arriostrada, tomados respecto al eje mayor del

miembro, y esta relación, es positiva cuando M_1 y M_2 tienen el mismo signo (flexión con curvatura doble), y negativa cuando estos tienen signos opuestos (flexión en curvatura simple).

② Para miembros que cumplan los requisitos de las relaciones ancho-espesor, pero no incluidos en la sección anterior:

$$F_b = 0.60\ F_y$$

Siempre que las secciones flexionadas con respecto a su eje de mayor resistencia estén arriostradas lateralmente en la región del esfuerzo de compresión, a intervalos no mayores de:

$$637\ b_f\ /\ \sqrt{F_y}$$

ESFUERZOS COMBINADOS DE COMPRESIÓN AXIAL Y FLEXIÓN

Los miembros sometidos simultáneamente a esfuerzos de compresión axial y a esfuerzos de flexión, deben estar diseñados de manera que satisfagan las condiciones siguientes:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}\ f_{bx}}{(1-\frac{f_a}{F'_{ex}})\ F_{bx}} + \frac{C_{my}\ f_{by}}{(1-\frac{f_a}{F'_{ey}})\ F_{by}} \leq 1.0$$

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Cuando:

$$\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

En las fórmulas, los subíndices *x* y *y* combinados con los subíndices *b*, *m* y *e*, indican el eje de flexión alrededor del cual se aplica un esfuerzo en particular o una propiedad de diseño, y en donde:

F_a es el esfuerzo de compresión axial permisible si sólo existiera fuerza axial, en kgf/cm².
F_b es el esfuerzo de compresión por flexión permisible si sólo existiera momento de flexión, en kgf/cm².
f_a es el esfuerzo axial calculado, en kgf/cm².
f_b es el esfuerzo de compresión por flexión calculado en el punto considerado, en kgf/cm².

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl_b/r_b)^2}$$

F'_e es el esfuerzo de Euler dividido entre un factor de seguridad, en kgf/cm².
K es el factor de longitud efectiva en el plano de flexión.
l_b es la longitud real sin arriostriamiento en el plano de flexión, en cm.
r_b es el radio de giro en el plano de flexión, en cm.
C_m coeficiente cuyo valor será:

$$C_m = 0.85$$

para elementos en compresión sujetos a desplazamiento lateral.

$$C_m = 0.60 - 0.40\frac{M_1}{M_2}$$

para elementos en compresión con extremos restringidos, en marcos arriostrados contra desplazamiento lateral y no sujetos a carga transversal entre sus apoyos en el plano de flexión, en donde M_1/M_2 es la relación del momento menor al mayor, en los extremos de la parte del elemento no arriostrada, en el plano de flexión. M_1/M_2 es positiva cuando el miembro está flexionado en curvatura doble y negativa cuando esta flexionado cuando está flexionado en curvatura simple.

ESFUERZOS COMBINADOS DE TENSIÓN AXIAL Y FLEXIÓN

Los miembros sometidos simultáneamente a esfuerzos de tensión axial y a flexión, deben estar diseñados en toda su longitud para satisfacer los requisitos de la fórmula siguiente:

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

Donde f_b es el esfuerzo de tensión por flexión calculado. Sin embargo, el esfuerzo de compresión por flexión calculado, tomado asiladamente, no debe exceder el valor aplicable al apartado de efectos por flexión.

Para cada uno de los elementos que componen la estructura, se determinaron mediante un análisis elástico, los elementos mecánicos producidos por las combinaciones de acciones más desfavorables, para obtener los esfuerzos actuantes críticos. Por otro lado se determinaron los esfuerzos máximos permisibles para cada elemento según sus características geométricas y mecánicas. Con los esfuerzos actuantes críticos y los esfuerzos máximos permisibles, es posible determinar las relaciones de esfuerzos, que son una representación numérica de la capacidad del elemento.

Una relación de esfuerzo menor a la unidad representa que los esfuerzos actuantes críticos no rebasan los esfuerzos máximos permisibles, dando como resultado condiciones satisfactorias; por otro lado, una relación de esfuerzo mayor a la unidad representa que los esfuerzos actuantes críticos son mayores a los esfuerzos máximos permisibles, por lo que la capacidad del elemento se ve rebasada, dando como resultado condiciones insatisfactorias y posible inestabilidad estructural.

Se efectuaron análisis estructurales elásticos, revisando los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, de sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, del AISC - ASD89 e IMCA. De los resultados de la revisión, se propuso representar gráficamente mediante colores que indican los niveles de relaciones de esfuerzos en cada uno de los elementos propuestos en la modelación tridimensional.

Para la relación de esfuerzos entre 0.00 y menor o igual que 0.40, se utilizó para su representación gráfica el color verde; la relación de esfuerzos mayor que 0.40 hasta menor o igual que 0.60 se utilizó el color azul claro (cyan); la relación de esfuerzos mayor que 0.40 hasta menor o igual que 0.80 se utilizó el color azul obscuro; mientras que para relaciones de esfuerzos mayores que 0.80 hasta valores menores o iguales a 1.05 se utilizó el color rojo; por último para representar valores de esfuerzos mayores que 1.05 se utilizó el color negro con ashurado en retícula.

A continuación se muestra la estadística de las relaciones de esfuerzos obtenidas en cada una de las zonas de estudio, mostrando la cantidad de elementos que inciden en cada nivel de esfuerzo, la totalidad de elementos por zona y por último la estadística para la totalidad de la montaña rusa.

ZONA	$\sigma = \sigma_{act} / \sigma_{perm}$					TOTALES
	$0.0 < \sigma \leq 0.4$	$0.4 < \sigma \leq 0.6$	$0.6 < \sigma \leq 0.8$	$0.8 < \sigma \leq 1.05$	$1.05 < \sigma$	
A	630	17	1	0	0	648
B	1,980	270	288	109	4	2,651
C	878	48	13	0	0	939
D	809	63	14	12	0	898
E	448	17	10	1	0	476
F	544	13	10	0	0	567
TOTALES	5,289	428	336	122	4	6,179

De los resultados de la revisión de los elementos metálicos, se deduce que para la gran mayoría de los elementos se **tienen resisitencias adecuadas**, presentándose relaciones de esfuerzos actuantes entre esfuerzos permisibles **menores que 1.05**, y un conjunto de cuatro columnas de la zona 'B' con relaciones de esfuerzos ligeramente mayores al límite establecido, con valores de 1.080, 1.091, 1.113 y 1.124, correspondientes al eje 59 de las torres de impulso. Aunque estas relaciones de esfuerzo rebasan el límite establecido, sus valores no son excesivos, y pueden tomarse como valores muy razonablemente aceptables, ya que el Método de Esfuerzos Permisibles toma en cuenta como valor límite máximo la aparición en la primera fibra de la sección del esfuerzo de fluencia dividido entre un factor de seguridad, mientras que no toma en cuenta el fenómeno de endurecimiento por deformación, ni la posible plastificación total de la sección. Estos valores se presentan debido a la combinación de acciones permanentes, variables y de funcionamiento de la atracción (cuando el tren articulado de carros se encuentra en la columna 62).

También como parte de los resultados obtenidos, se muestra un isométrico completo y seis isométricos de las diferentes zonas en estudio de V.C.1 a V.C.7, indicando gráficamente las relaciones de esfuerzos y la estadística obtenida. A continuación se listan los dibujos correspondientes:

V.C.1. Isométrico Esfuerzos Máximos.

V.C.2. Isométrico Zona A Esfuerzos Maximos.

V.C.3. Isométrico Zona B Esfuerzos Máximos.

V.C.4. Isométrico Zona C Esfuerzos Máximos.

V.C.5. Isométrico Zona D Esfuerzos Máximos.

V.C.6. Isométrico Zona E Esfuerzos Máximos.

V.C.7. Isométrico Zona F Esfuerzos Máximos.

Así como se hizo una revisión de los elementos prismáticos de acero estructural mediante el Método de Esfuerzos Permisibles, también se revisaron los elementos panel discretizando las placas de conexión entre los rieles tubulares mediante este método. Se tomaron los resultados del análisis elástico, con el fin de determinar los elementos mecánicos actuando sobre ellos.

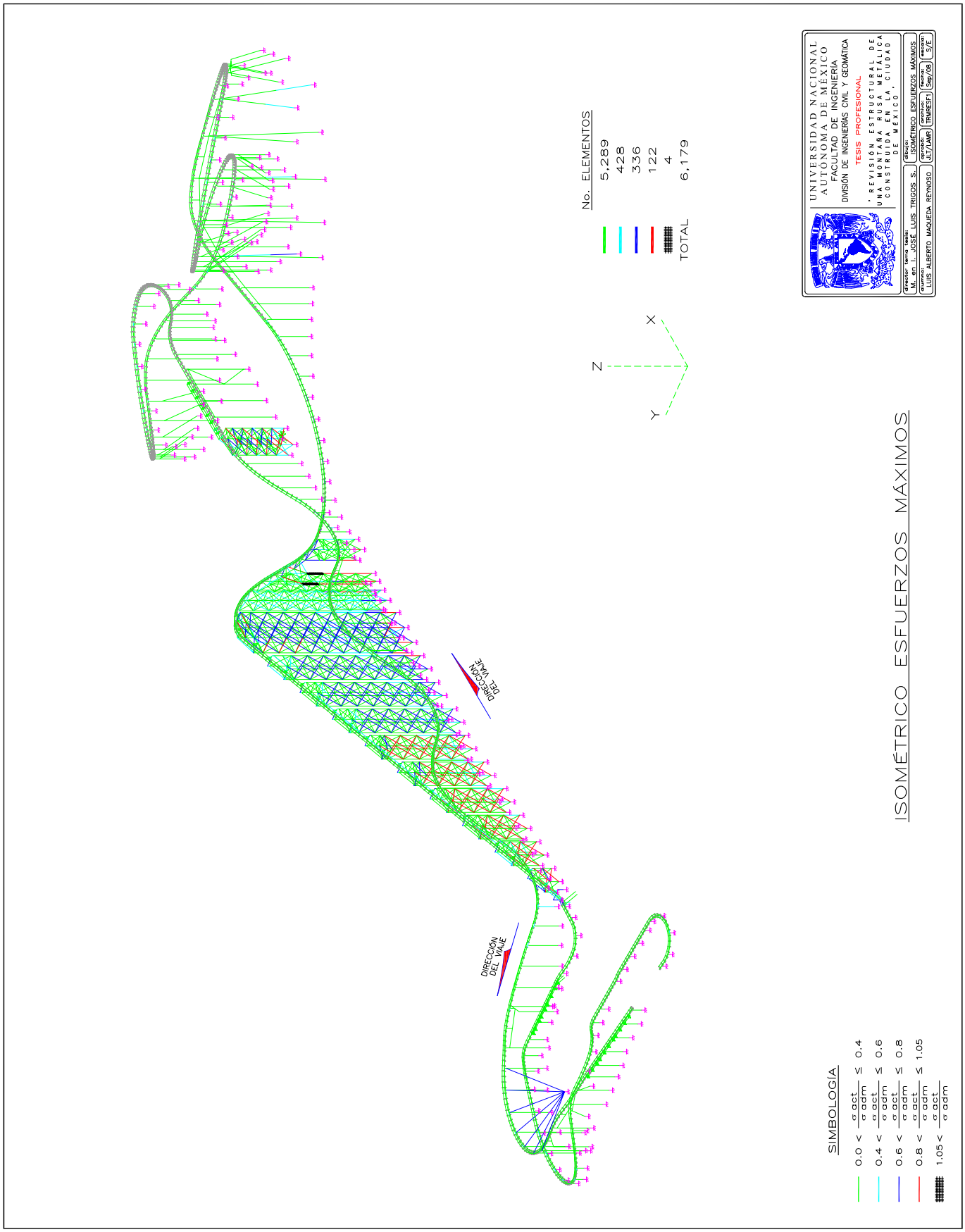
Al revisar los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, de sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, del AISC - ASD89 e IMCA, se deduce que los esfuerzos absolutos máximos que actúan en las placas de conexión, son menores que la capacidad admisible del acero. Se muestran en dos dibujos, las placas de conexión con esfuerzos máximos de las diferentes zonas en estudio, teniendo esfuerzos máximos de 1309.23, 2335.68, 616.05, 634.11, 649.53 y 533.76 kgf/cm² para las zonas A, B, C, D, E y F, respectivamente, que son valores menores que el esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero. A continuación se listan los dibujos mencionados:

V.C.8. Esfuerzos Máximos Placas de Conexión (Zonas A, B y C).

V.C.9. Esfuerzos Máximos Placas de Conexión (Zonas D, E y F).

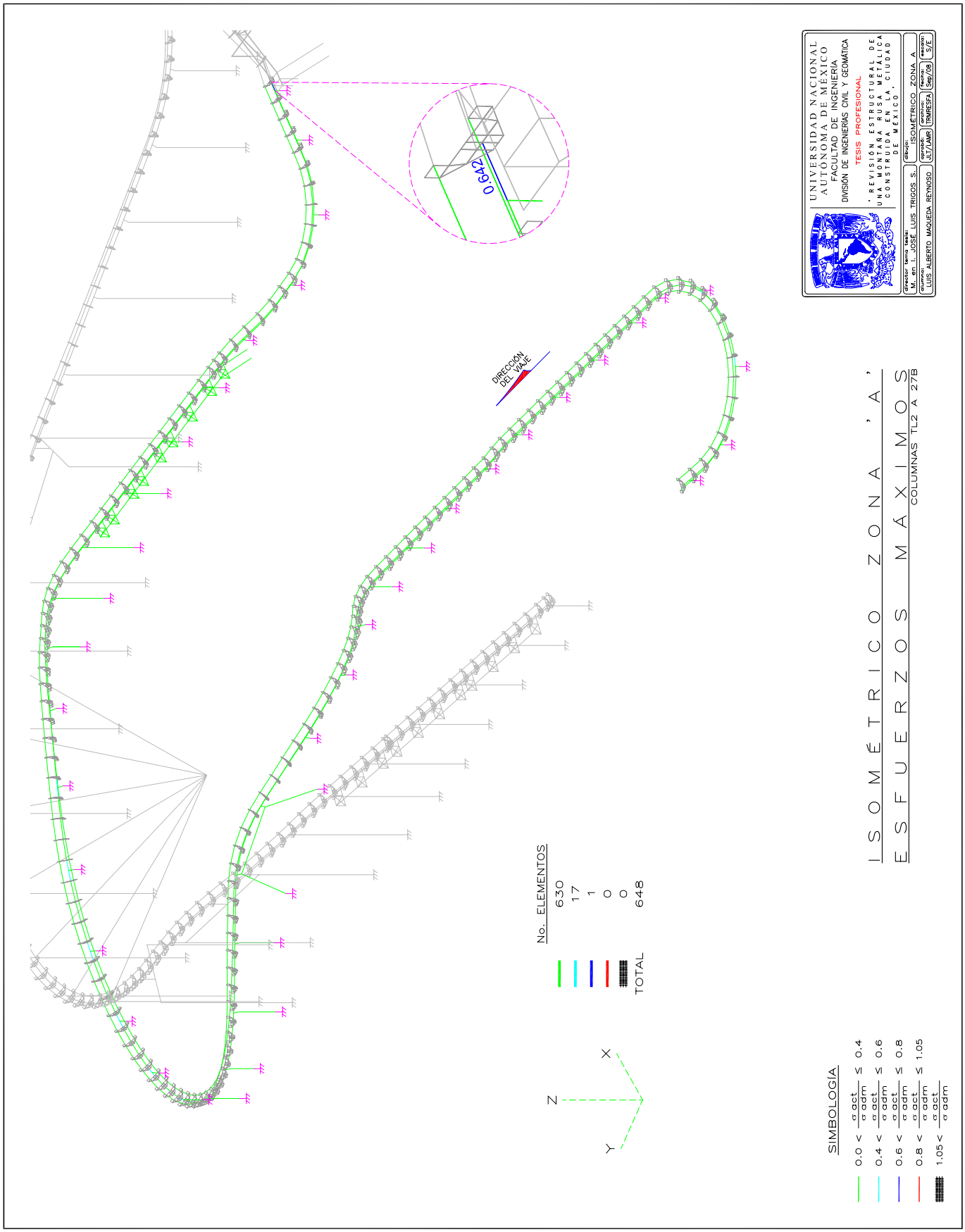
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

1. Isométrico Esfuerzos Máximos.



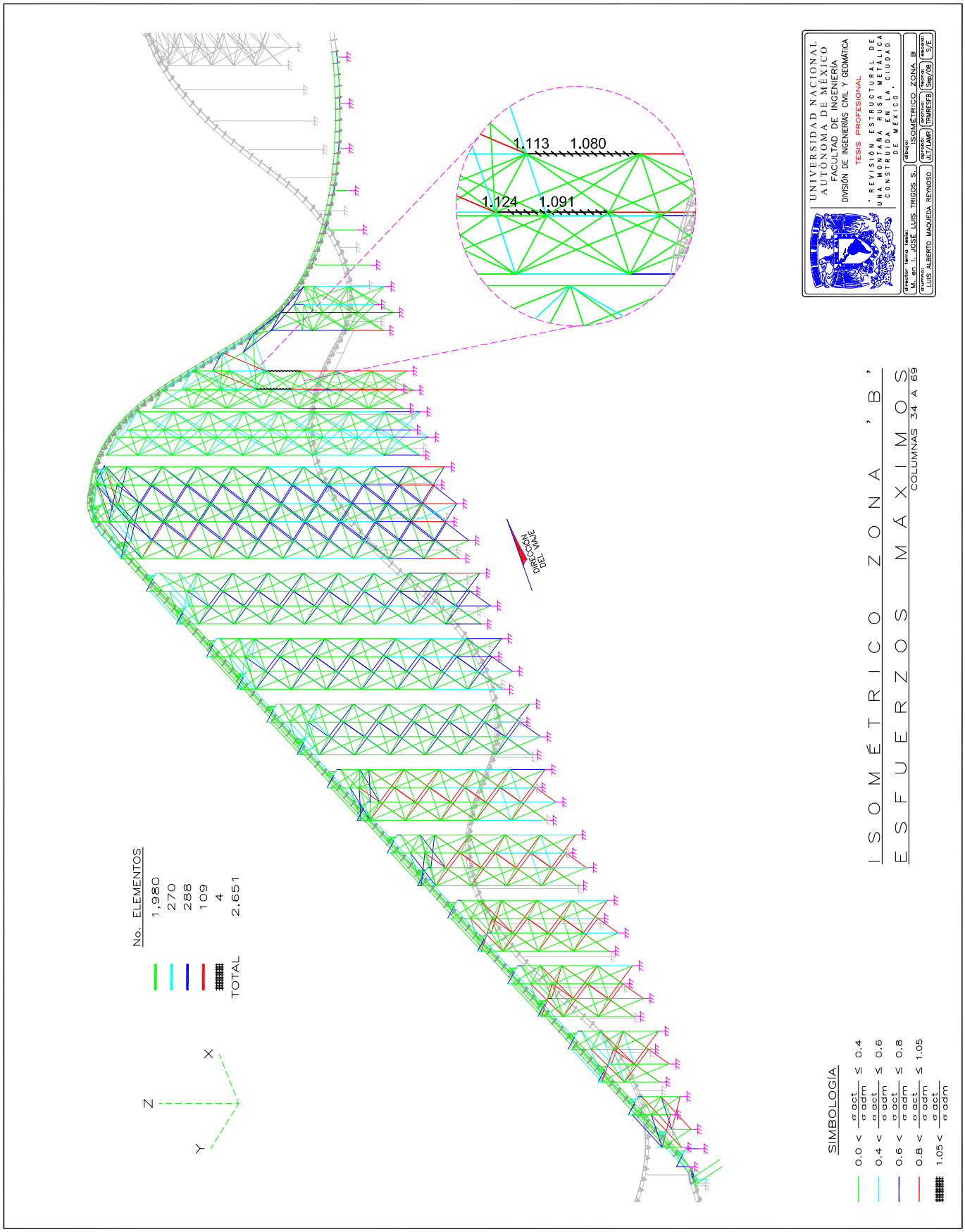
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

2. Isométrico Zona A Esfuerzos Máximos.



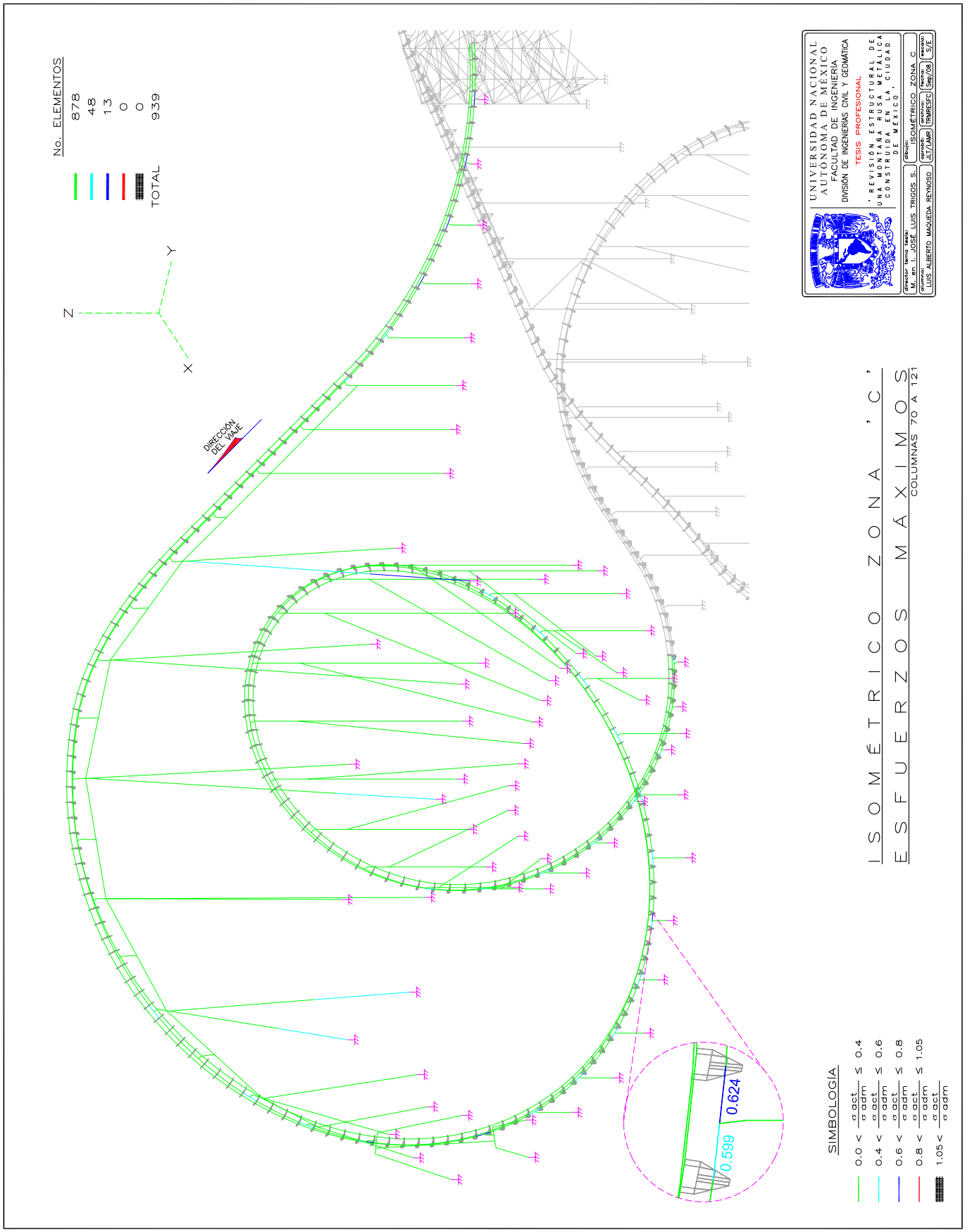
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

3. Isométrico Zona B Esfuerzos Máximos.



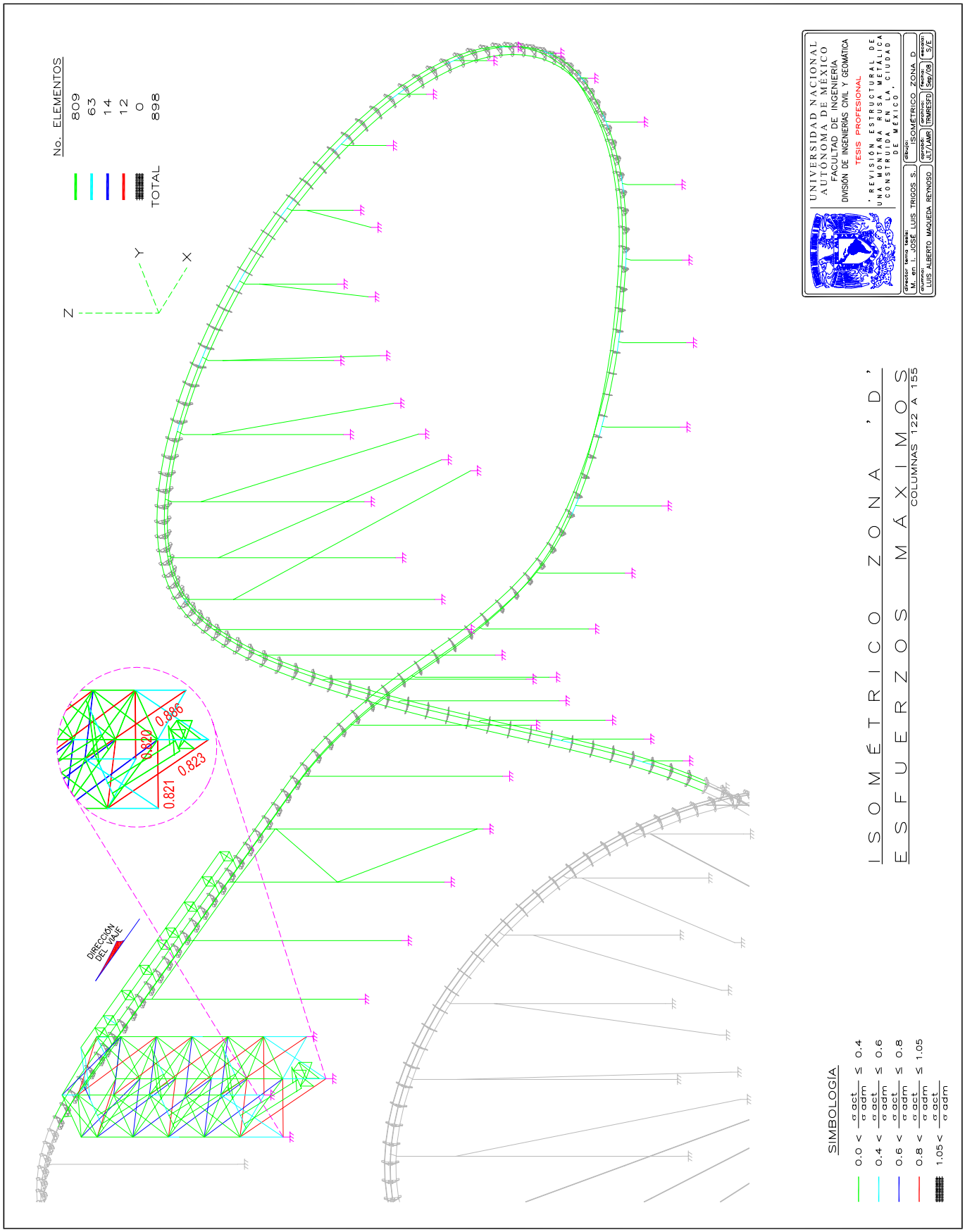
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

4. Isométrico Zona C Esfuerzos Máximos.



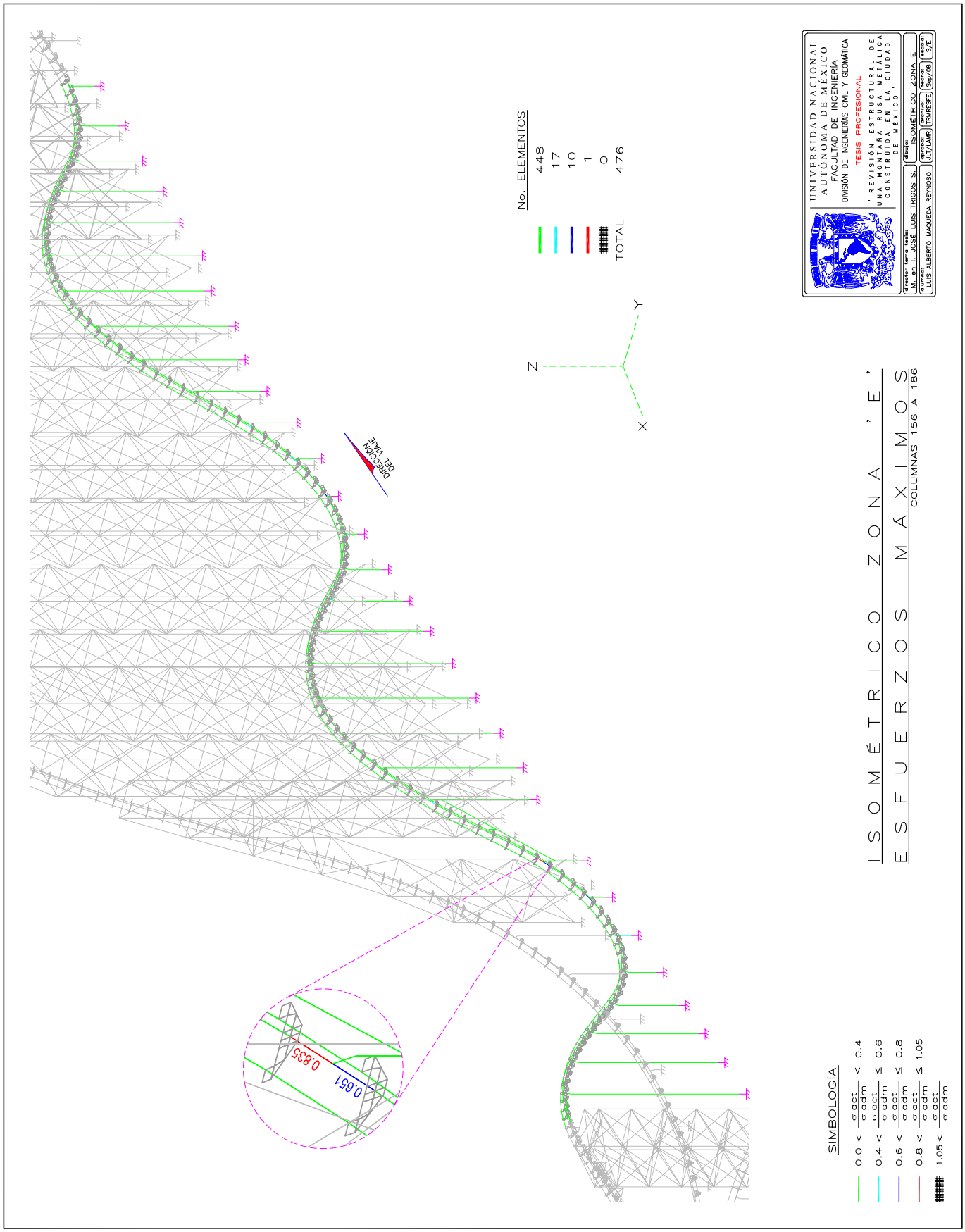
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

5. Isométrico Zona D Esfuerzos Máximos.



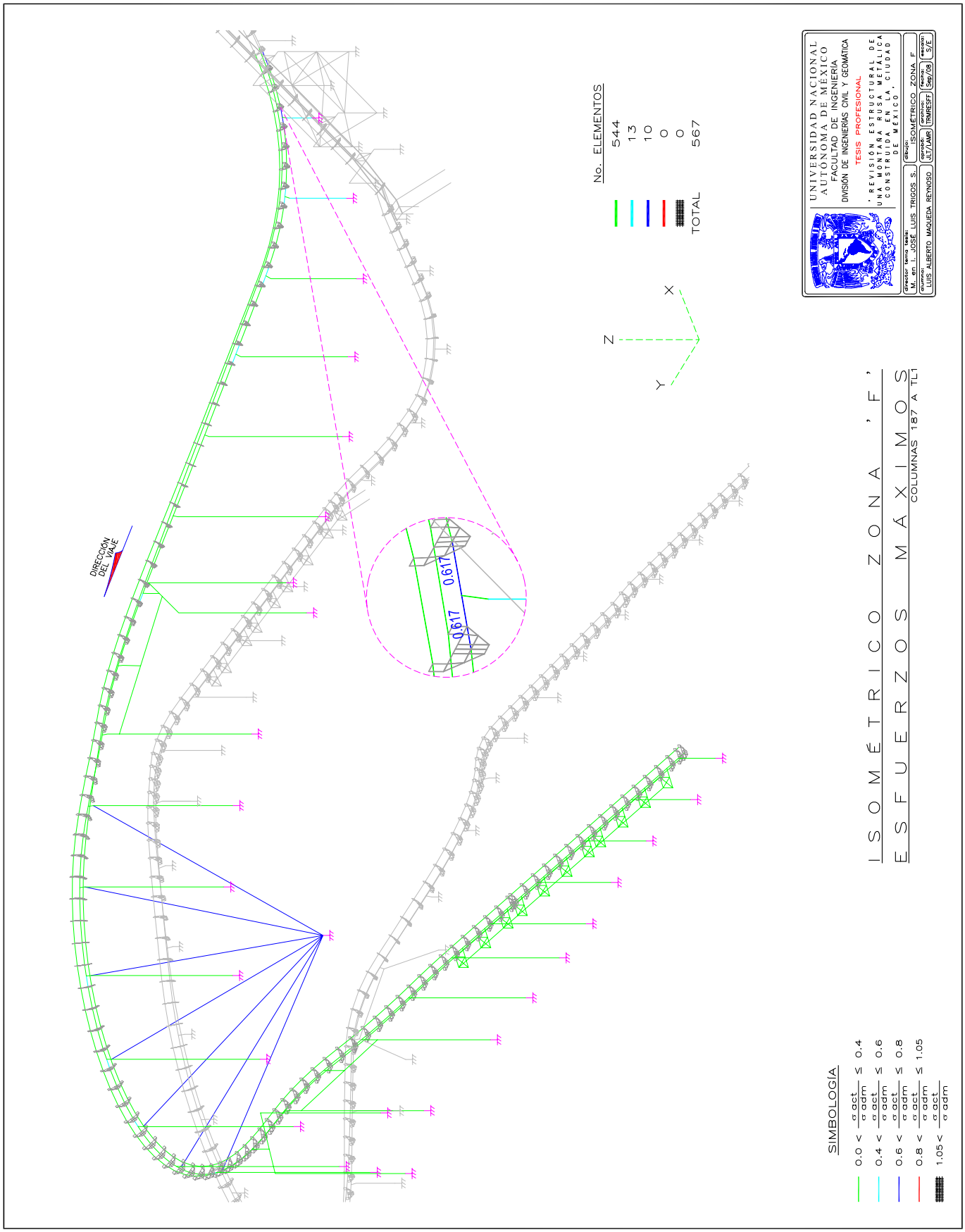
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

6. Isométrico Zona E Esfuerzos Máximos.



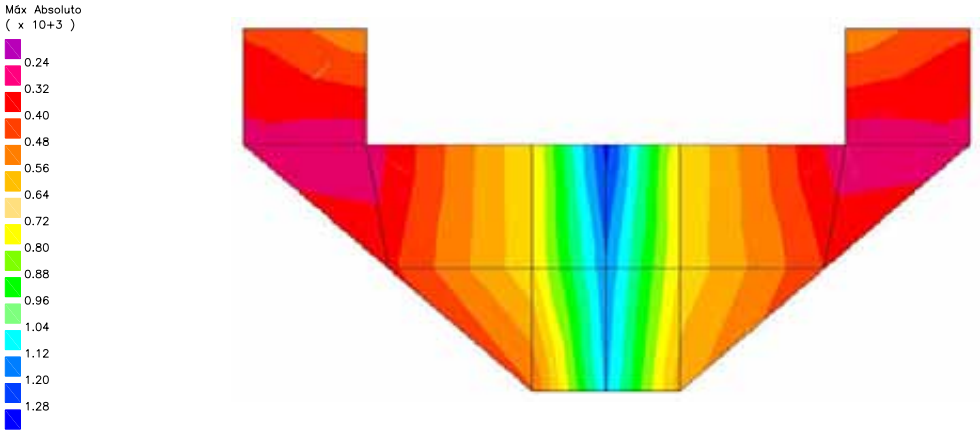
C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

7. Isométrico Zona F Esfuerzos Máximos.



C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

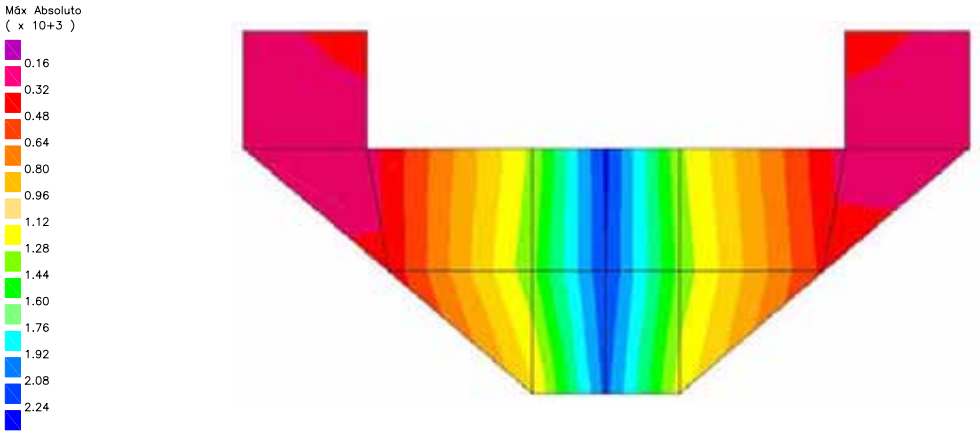
8. Esfuerzos Máx. Placas de Conexión (Zonas A, B y C).



ESFUERZO MÁXIMO
1309.23 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC5616

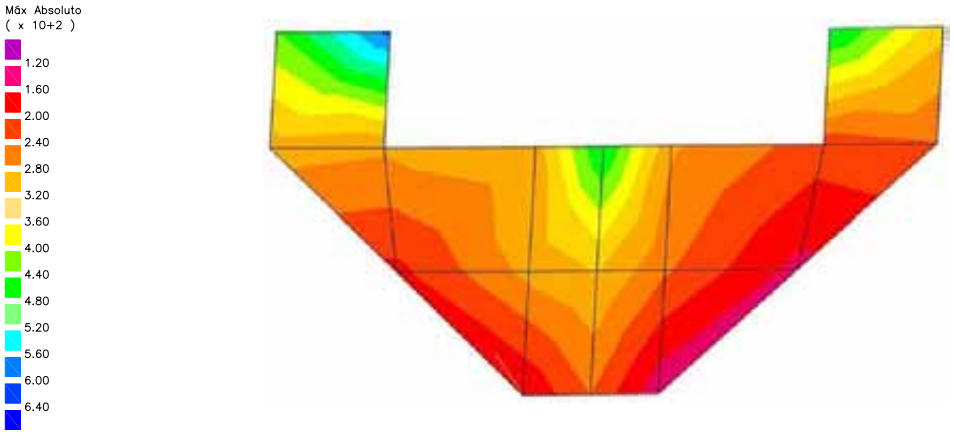
Z O N A ' A '



ESFUERZO MÁXIMO
2335.68 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC5642

Z O N A ' B '



ESFUERZO MÁXIMO
616.05 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC3649

Z O N A ' C '

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.
3. ESF. MAX. EN kgf/m2.

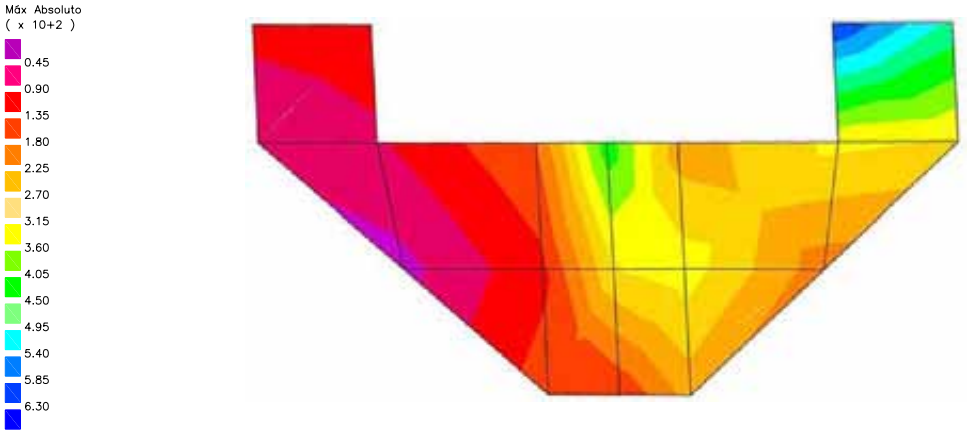
E S F U E R Z O S M Á X I M O S
P L A C A S D E C O N E X I Ó N

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	ESFUERZOS MAX. PLACAS DE CONEXIÓN			
alumno:	aprobó:	gráficos:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRESP1	Sep/08	S/E

C. REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA.

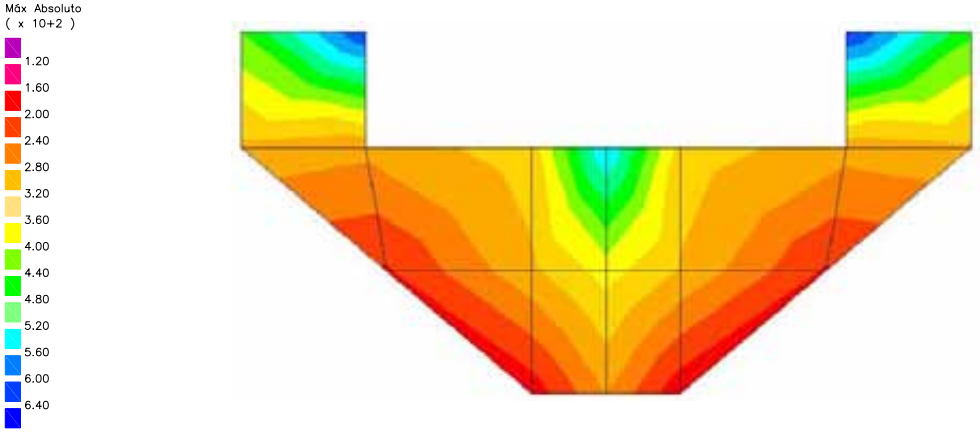
9. Esfuerzos Máx. Placas de Conexión (Zonas D, E y F).



ESFUERZO MÁXIMO
634.11 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC4821

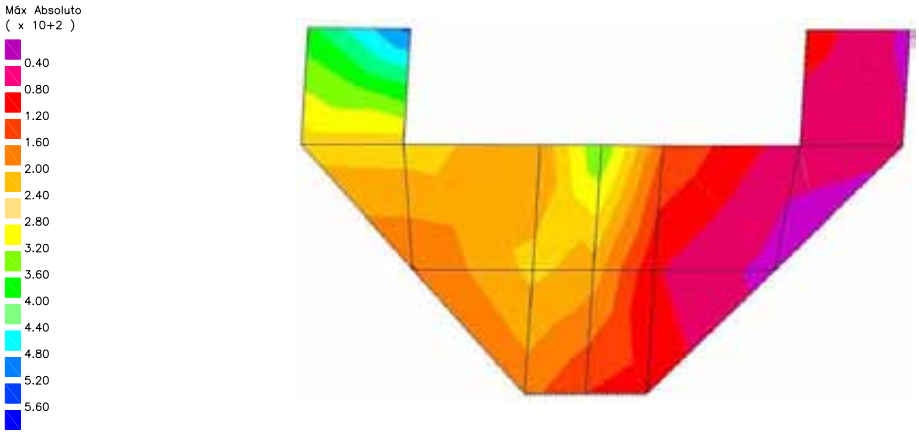
Z O N A ' D '



ESFUERZO MÁXIMO
649.53 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC3076

Z O N A ' E '



ESFUERZO MÁXIMO
533.76 kg/cm2

COMBINACIÓN DE CARGA
CC4439

Z O N A ' F '

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.
3. ESF. MAX. EN kg/m2.

E S F U E R Z O S M Á X I M O S
P L A C A S D E C O N E X I Ó N

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	ESFUERZOS MÁX PLACAS DE CONEXIÓN			
alumno:	aprobó:	gráfico:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRESP2	Sep/08	S/E

VI. C I M E N T A C I Ó N.

VI. CIMENTACIÓN.

Este capítulo está dedicado a revisar los aspectos más importantes del sistema de cimentación conforme el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, desde el punto de vista geotécnico y estructural, para cumplir con los requisitos relativos al diseño y construcción que se establece en la normatividad.

Todas las construcciones en la ingeniería son concebidas con algún tipo de estructuración capaz de resistir las cargas a las que estará sujeta durante su vida útil, además requerirá de algún tipo de sistema que sirva como interfase entre los elementos principales de soporte y el suelo de apoyo, usualmente llamado cimentación. Este sistema es el encargado de trasmitir las cargas debidas a las distintas combinaciones de acciones generadas por la superestructura al subsuelo de manera segura. La montaña rusa, gracias a su estructuración a base de columnas individuales y características propias del suelo y de cargas actuantes, requirió de un sistema de cimentación superficial a base de zapatas aisladas y en algunos casos de zapatas combinadas, donde el espacio era limitado.

Se sabe que el sitio de interés se encuentra en una zona poco accidentada desde el punto de vista topográfico, al surponiente de la Ciudad de México, encontrándose dentro de la Zona I o de Lomas, la cual queda definida según el RCDF como formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles naturales o excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.

Como parte de la determinación e investigación de las caractéristicas geotécnicas del sitio, se consultaron los estudios o trabajos de exploración realizados; se tienen los resultados de dos sondeos mixtos a profundidades de 10.20 m y 15.43 m, para la obtención de muestras representativas alteradas e inalteradas, con el fin de detectar rellenos sueltos, galerías de minas, grietas y otras oquedades, determinar la estratigráfia y propiedades de los materiales para definir la profundidad de desplante.

A. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS EN EL SITIO.

El sitio en estudio se encuentra ubicado en la zona pétrea del sur dentro del área urbana del valle de México; esta zona se caracteriza por estar constituida por depósitos generados a partir de diferentes etapas de erupciones volcánicas de composición basáltica, presentan intensidades de fracturamiento muy variables, intercalaciones de espesores diversos de escorias volcánicas, alcanzando a formarse también oquedades naturales vacías de diferentes dimensiones.

La estratigrafía definida en base a los trabajos de campo efectuados para los dos sondeos consultados, es la siguiente:

SONDEO 1

De 0.00 m a 1.20 m de profundidad se encontraron limos arenosos de color café obscuro, prácticamente sin gravas y con abundante materia orgánica, principalmente raicillas, que van disminuyendo conforme se incrementa la profundidad. Su contenido de humedad varía entre 26 % y 47 %, su consistencia es muy firme con resistencia a la penetración estándar, N, entre 25 y 27 golpes. En pruebas granulométricas resultó que G = 0 % (porcentaje

de gravas), S=30 % (porcentaje de arenas) y F=70 % (porcentaje de finos); su límite líquido es de 46.5 %, límite plástico de 31.3 % e índice plástico de 15.2.

De 1.20 m a 1.80 m de profundidad se presenta un estrato de arena fina con gravas y finos limosos, su color es café amarillento, y el contenido de humedad es de 30 %, de compacidad relativa suelta, con resistencia a la penetración estándar de 10 golpes. Su composición granulométrica es G=37 %, S=40 % y F=23 %. La fracción fina presenta límite líquido de 36.6 %, limite plástico de 29.2 % e índice plástico de 7.4.

De 1.80 m a 10.20 m de profundidad se encuentran boleos, gravas y arenas en diferentes proporciones, con predominancia de gravas y boleos entre 54 % y 57 %, arenas entre 32 % y 35 % y finos limosos 11 %. Su compacidad relativa es variable de mediana a compacta, con resistencia a la penetración estándar entre 19 y más de 50 golpes. La coloración de estos materiales es gris.

SONDEO 2

De 0.00 m a 1.20 m de profundidad se encontraron limos arenosos de color café obscuro, prácticamente sin gravas y con abundante materia orgánica, principalmente raicillas. Su contenido de humedad varía entre 23 % y 26 %, su consistencia es firme con resistencia a la penetración estándar entre 9 y 11 golpes. En pruebas granulométricas se obtuvo G=0 %, S=32 % y F=68 %, su límite líquido es de 45.4 %, límite plástico de 30 % e índice plástico de 15.4.

De 1.20 m a 3.00 m de profundidad se presenta un estrato de arena fina con finos limosos y muy pocas gravas, su color es café amarillento, su contenido de humedad varía entre 25 % y 30 %, de compacidad relativa muy suelta a mediana, con resistencia a la penetración estándar entre 5 y 20 golpes. Su composición granulométrica es G=0 %, S=71 % y F=29 %. La fracción fina presenta límite líquido de 39.2 %, límite plástico de 28.3 % e índice plástico de 10.9.

De 3.00 m a 9.60 m de profundidad se encontraron boleos, gravas y arenas en diferentes proporciones, con predominancia de gravas y boleos entre 54 % y 58 %, arenas entre 34 % y 35 % y finos limosos entre 8 % y 11 %. Su compacidad relativa es variable de mediana a compacta, con resistencia a la penetración estándar entre 21 y más de 50 golpes. La coloración de estos materiales es gris.

De 9.60 m a 15.40 m de profundidad se encontraron boleos, gravas y arenas en diferentes proporciones, con predominancia de gravas y boleos del 58 %, arenas del 32 % y finos limosos de 10 %. Su compacidad relativa es compacta, con resistencia a la penetración estándar de más de 50 golpes. La coloración de estos materiales es rojiza.

No se detectaron espacios abiertos ni cavidades vacías. Tampoco fue detectado el nivel freático en los sondeos consultados hasta las profundidades máximas exploradas.

Con ayuda de estos dos sondeos y de estudios complementarios consultados, se logró extrapolar los resultados obtenidos a la totalidad de la zona donde se encuentra la montaña rusa, confirmándose la factibilidad del sistema de cimentación propuesta a base de zapatas aisladas y combinadas, desplantadas a 1.80 m de profundidad mínima, respecto al nivel de terreno natural, bajo los materiales limo-arenosos sueltos encontrados entre 1.20 m y 1.80 m de profundidad.

B. SOLICITACIONES DE DISEÑO.

Se consideraron las magnitudes de las acciones sobre la cimentación provenientes de la estructura, las cuales se obtuvieron como resultado directo del análisis de ésta. Las acciones consideradas en el análisis elástico de la estructura fueron las descritas en IV.D. Las combinaciones de carga utilizadas en la revisión del diseño de la cimentación, son las propuestas por el Reglamento para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones y las NTC's para Diseño y Construcción de Cimentaciones, atendiendo la revisión de estados límite de servicio y de falla.

Se distinguen dos tipos de combinaciones de carga, el primer tipo de combinación incluye acciones permanentes, más acciones variables con su intensidad media para revisión de estados límite de servicio (cálculo de asentamientos) e intensidad máxima para revisión de estados límite de falla, multiplicados por un factor de carga de 1.5 por ser una estructura perteneciente al Grupo A. El segundo tipo de combinación incluye acciones permanentes, más acciones variables con su intensidad instantánea y acciones accidentales (sismo y viento), para revisión de estados límite de servicio y de falla, multiplicados por un factor de carga de 1.1.

No se consideró necesario realizar la revisión de todas las zapatas aisladas y combinadas de la montaña rusa, sólo se estudiaron las zapatas con las condiciones más desfavorables de carga, gracias a la similitud en cuanto a características geométricas y magnitud de las solicitaciones de diseño.

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

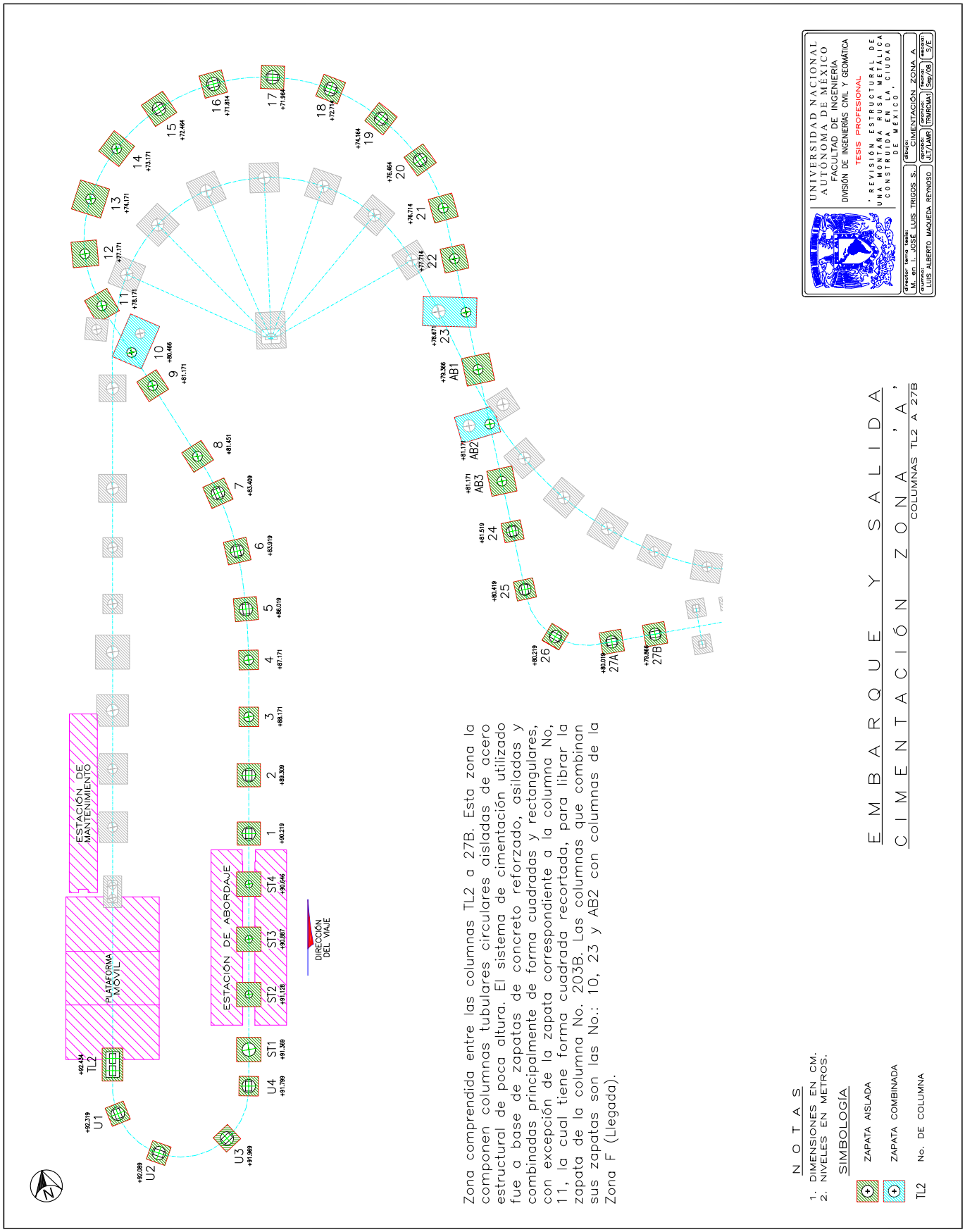
Como parte de la revisión de la cimentación de la montaña rusa, se presentan las características geométricas más importantes de las zapatas aisladas y combinadas, los niveles de desplante de cada una de ellas, una descripción de los estados límite de servicio y de falla, la revisión de algunas de ellas bajo las solicitaciones de diseño más cíticas y una evaluación conforme la normatividad, así como algunas consideraciones constructivas importantes.

Se utilizó la misma división utilizada para el estudio por zonas de la montaña rusa, identificando a cada columna con su respectiva zapata, a continuación se listan los dibujos de las distintas zonas:

VI.C.1.	Zona A	(Embarque y Salida).	Columnas TL2 a 27B
VI.C.2.	Zona B	(Ascenso e Impulso).	Columnas 34 a 69
VI.C.3.	Zona C	(Primera Vuelta).	Columnas 70 a 121
VI.C.4.	Zona D	(Segunda Vuelta).	Columnas 122 a 155
VI.C.5.	Zona E	(Jorobas).	Columnas 156 a 186
VI.C.6.	Zona F	(Llegada).	Columnas 187 a TL1

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

1. Zona A (Embarque y Salida).



Zona comprendida entre las columnas TL2 a 27B. Esta zona la componen columnas tubulares circulares aisladas de acero estructural de poca altura. El sistema de cimentación utilizado fue a base de zapatas de concreto reforzado, aisladas y combinadas principalmente de forma cuadradas y rectangulares, con excepción de la zapata correspondiente a la columna No. 11, la cual tiene forma cuadrada recortada, para librar la zapata de la columna No. 203B. Las columnas que combinan sus zapatas son las No.: 10, 23 y AB2 con columnas de la Zona F (Llegada).

EMBARQUE Y SALIDA

CIMENTACIÓN ZONA 'A'

COLUMNAS TL2 A 27B

NOTAS

1. DIMENSIONES EN CM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

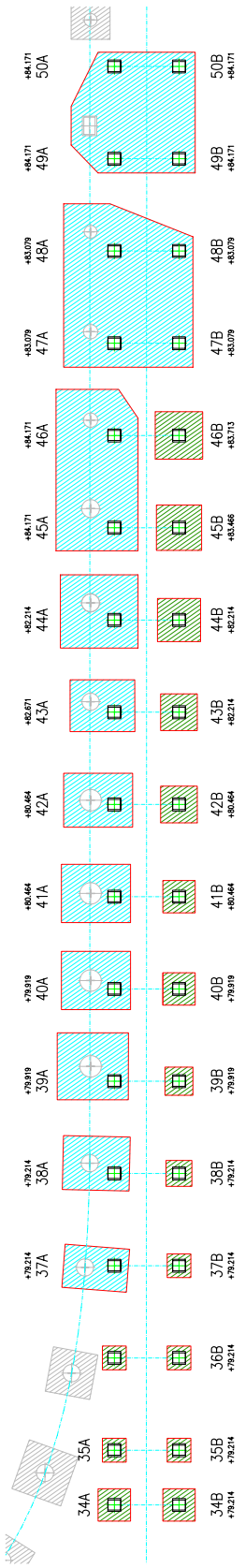
ZAPATA AISLADA

ZAPATA COMBINADA

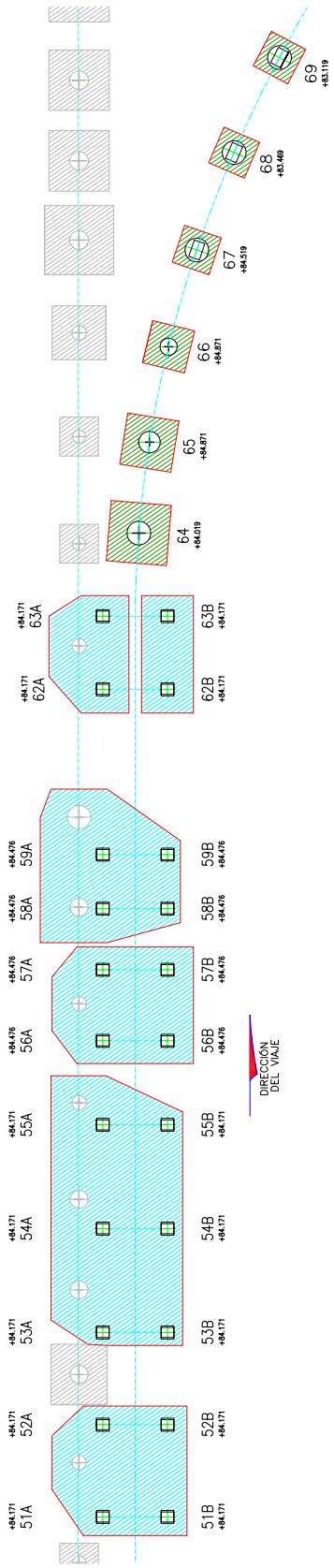
TL2 No. DE COLUMNA

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

2. Zona B (Ascenso e Impulso).



Zona comprendida entre las columnas 34 a 69 y se identifican dos tipos de estructuración: torres y columnas aisladas. Las torres las componen columnas circulares y trabes a base de ángulos de acero estructural, contraventeadas principalmente por redondos y ángulos de lados iguales, tanto transversalmente como longitudinalmente. Las columnas 64 a 69 son columnas tubulares circulares aisladas de acero estructural. El sistema de cimentación es a base de zapatas aisladas y combinadas de concreto reforzado, principalmente rectangulares y de formas irregulares. Las columnas que combinan sus zapatas corresponden a la Zona B (Ascenso e Impulso) y Zona E (Jorobas).



N O T A S

1. DIMENSIONES EN CM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

ZAPATA AISLADA

ZAPATA COMBINADA

34A No. DE COLUMNA

A S C E N S O E I M P U L S O

C I M E N T A C I Ó N Z O N A ' B '

COLUMNAS 34 A 69

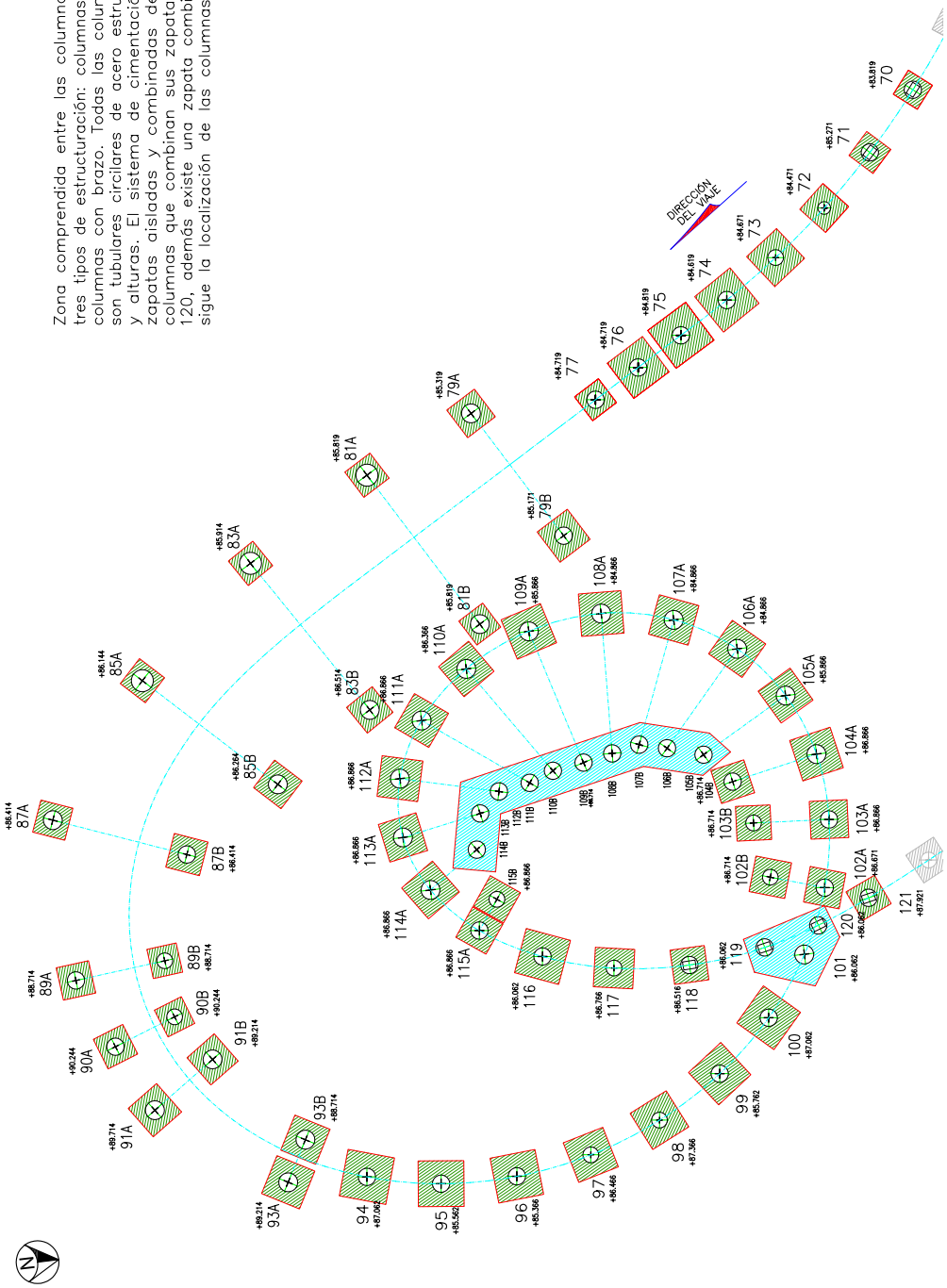
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tema tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.
dibujo: CIMENTACIÓN ZONA B
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO
dibujado: JJT/JAM
gráficos: TRMR/MBT
fecha: Sep/06
escala: S/E

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

3. Zona C (Primera Vuelta).

Zona comprendida entre las columnas 70 a 121. Se distinguen tres tipos de estructuración: columnas aisladas, columnas en 'A' y columnas con brazo. Todas las columnas y trabes de esta zona son tubulares circulares de acero estructural de diversos diámetros y alturas. El sistema de cimentación utilizado fue a base de zapatas aisladas y combinadas de concreto reforzado. Las columnas que combinan sus zapatas son las No.: 101, 119 y 120, además existe una zapata combinada de forma especial que sigue la localización de las columnas No. 105B a 114B.



N O T A S

1. DIMENSIONES EN CM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

ZAPATA AISLADA

ZAPATA COMBINADA

70 No. DE COLUMNA

P R I M E R A V U E L T A

C I M E N T A C I Ó N Z O N A 'C'

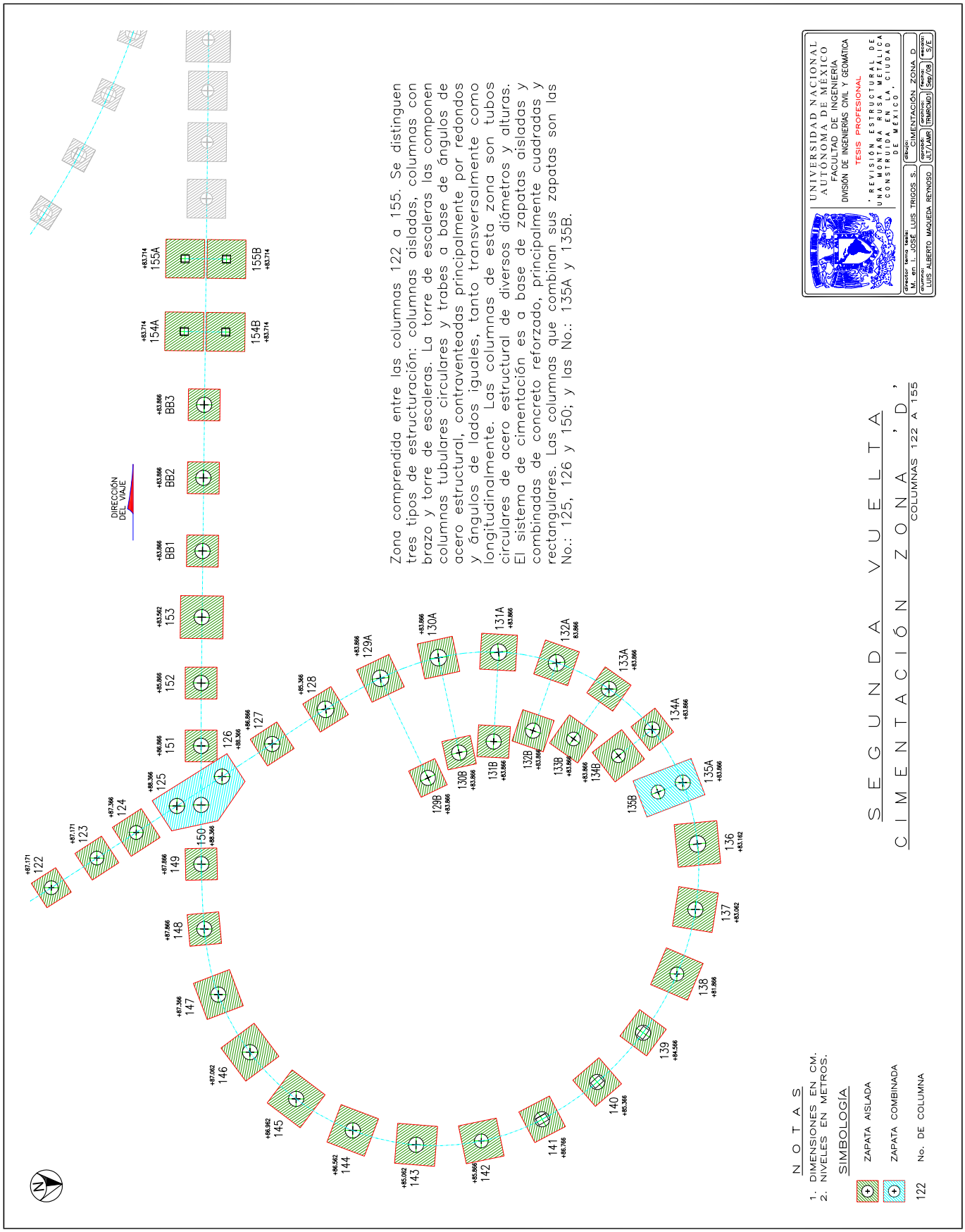
COLUMNAS 70 A 121

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

director tesis tesista: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	dibujo: CIMENTACIÓN ZONA C		
alumno: LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	dibujado: JJT/AMR	gráficos: TRMR(MC)	fecha: Sep/06	escala: S/E

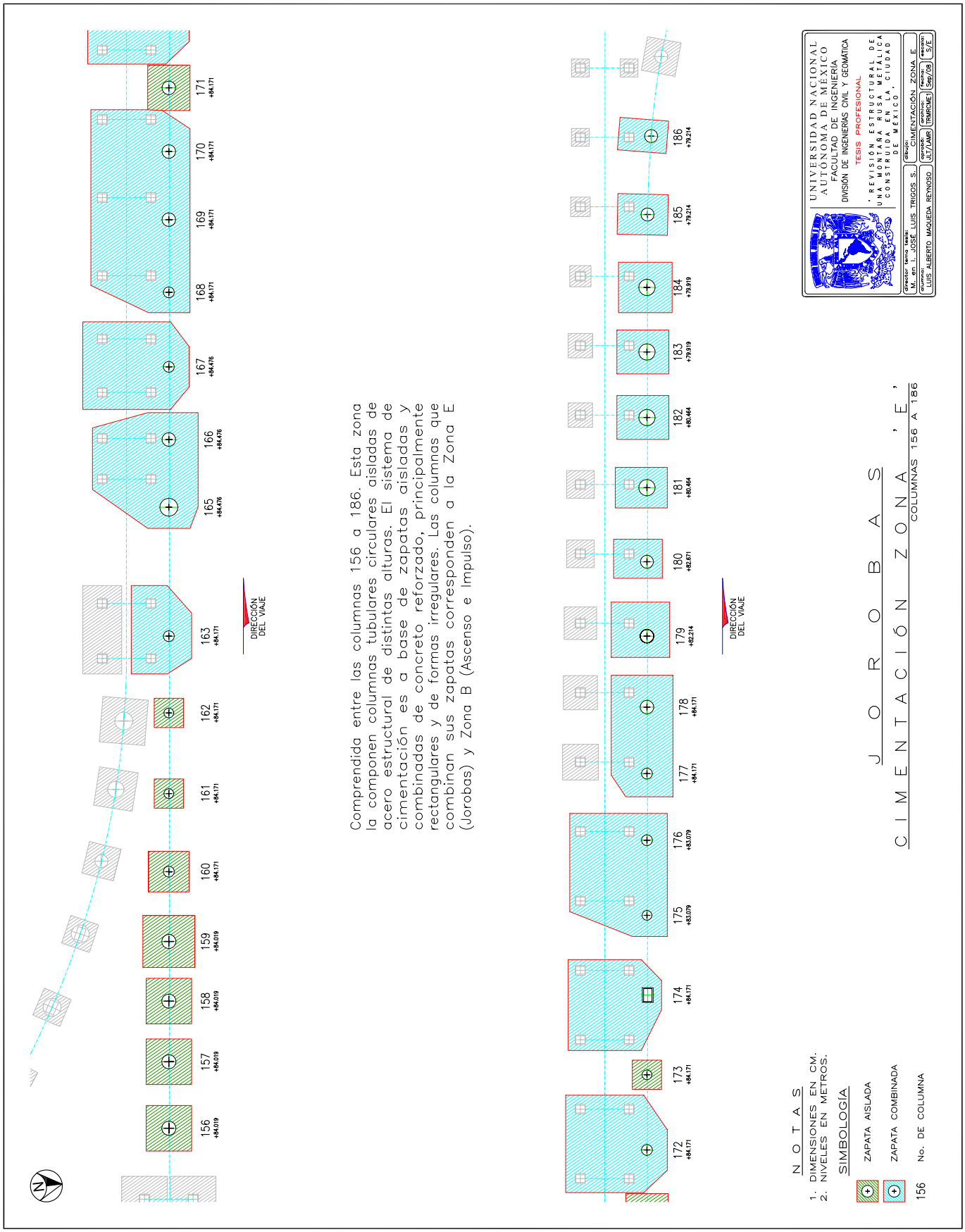
C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

4. Zona D (Segunda Vuelta).



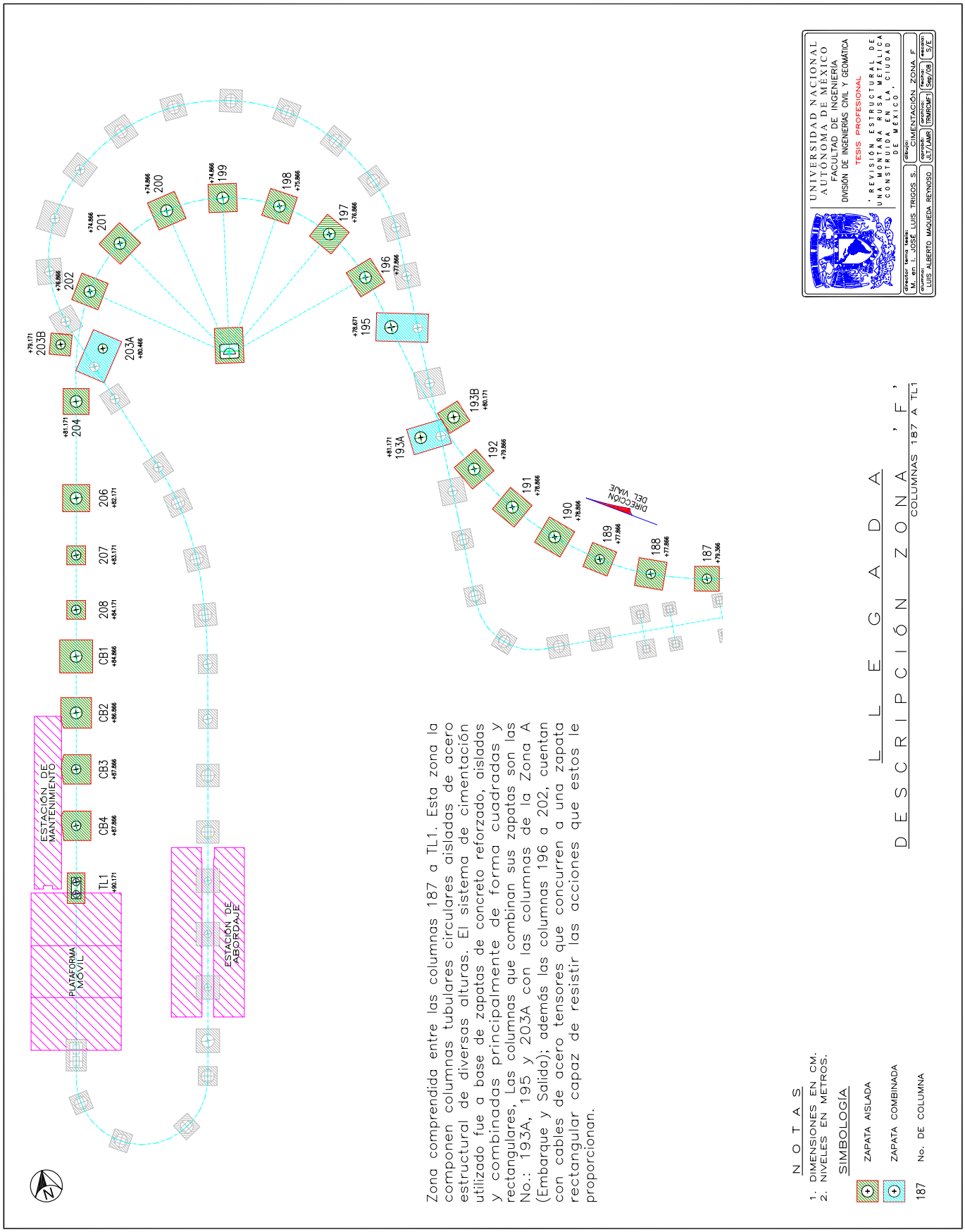
C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

5. Zona E (Jorobas).



C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

6. Zona F (Llegada).



También como parte de la descripción de las zapatas aisladas y combinadas, se presentan los dibujos de los distintos tipos de zapatas existentes, en conjunto con una tabla mostrando las principales características geometrícas. A continuación se listan los dibujos y tablas mencionadas:

VI.C.7. Zapatas y Dados Tipo para Columnas de 18" a 42".

VI.C.8. Zapatas y Dados Tipo para Soportes y Columnas Inclinadas.

VI.C.9. Zapatas y Dados Tipo para Columnas de Torres y Combinadas.

VI.C.10. Zapatas Combinadas y Anclaje de Tensores.

VI.C.11. Zapatas Combinadas en Zonas B y E.

VI.C.12. Zapatas Combinadas en Zonas B y E.

VI.C.13. Zapatas Combinadas en Zonas B, C y E.

VI.C.14. Tabla Zapatas Zona A.

VI.C.15. Tabla Zapatas Zona B Parte 1.

VI.C.16. Tabla Zapatas Zona B Parte 2.

VI.C.17. Tabla Zapatas Zona C Parte 1.

VI.C.18. Tabla Zapatas Zona C Parte 2.

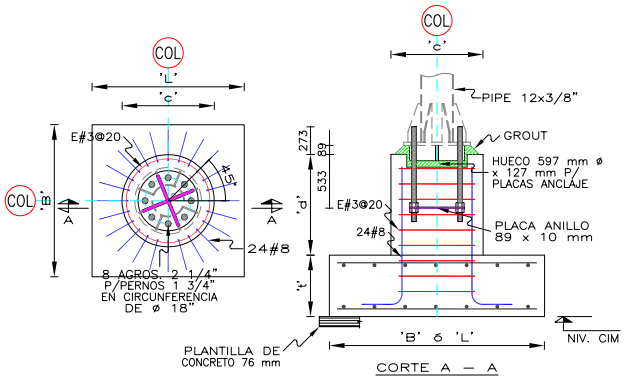
VI.C.19. Tabla Zapatas Zona D.

VI.C.20. Tabla Zapatas Zona E.

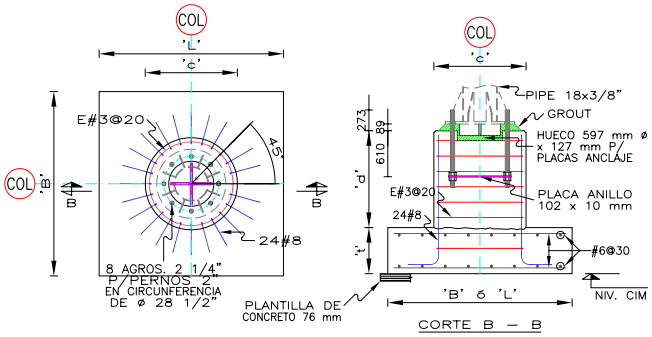
VI.C.21. Tabla Zapatas Zona F.

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

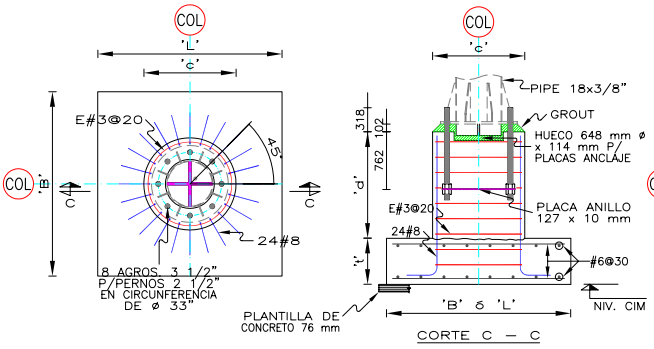
7. Zapatas y Dados Tipo p/Cols de 18" a 42".



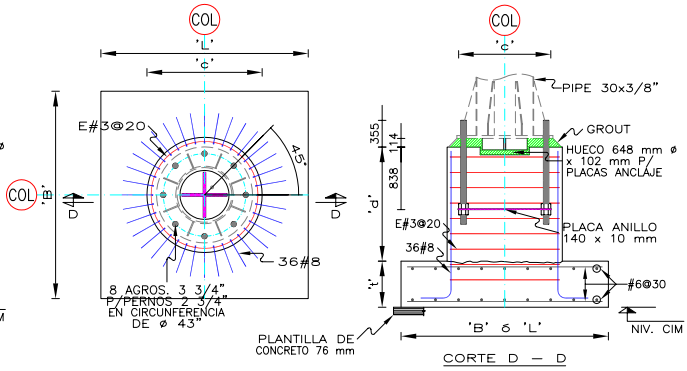
ZAPATA P/PIPE 12" x 3/8"
ESC 1:75



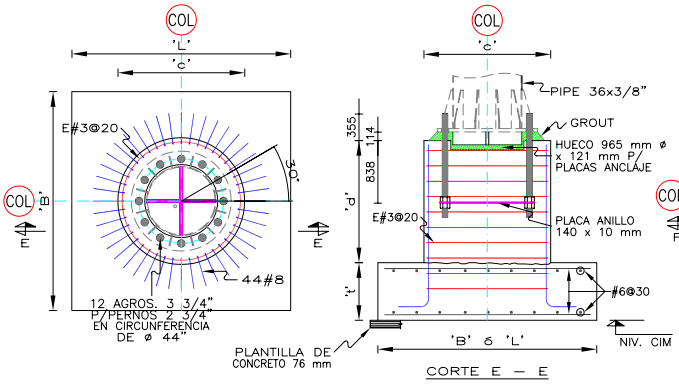
ZAPATA P/PIPE 18" x 3/8"
ESC 1:100



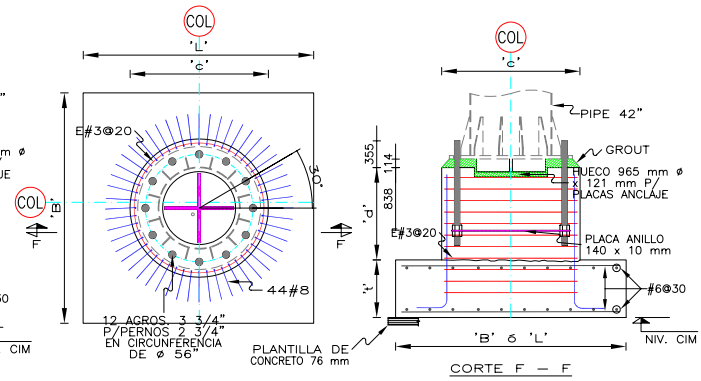
ZAPATA P/PIPE 24" x 3/8"
ESC 1:100



ZAPATA P/PIPE 30" x 3/8"
ESC 1:100



ZAPATA P/PIPE 36" x 3/8"
ESC 1:100



ZAPATA P/PIPE 42"
ESC 1:100

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.
3. CONSULTAR NOTAS IMPORTANTES EN TRMRCIM2.

SIMBOLOGÍA

COL — No. DE COLUMNA

NCIM — NIV. CIMENTACIÓN

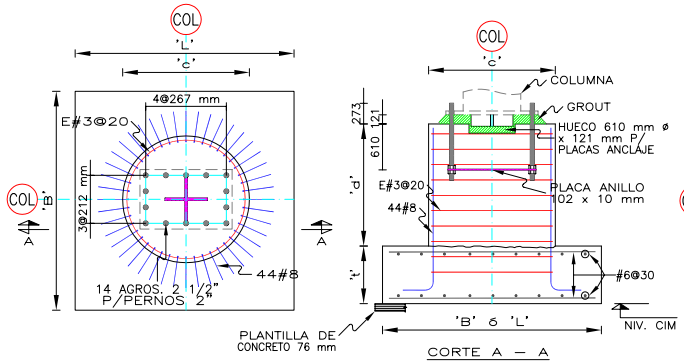
ZAPATAS Y DADOS TIPO PARA COLUMNAS DE 18" A 42"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

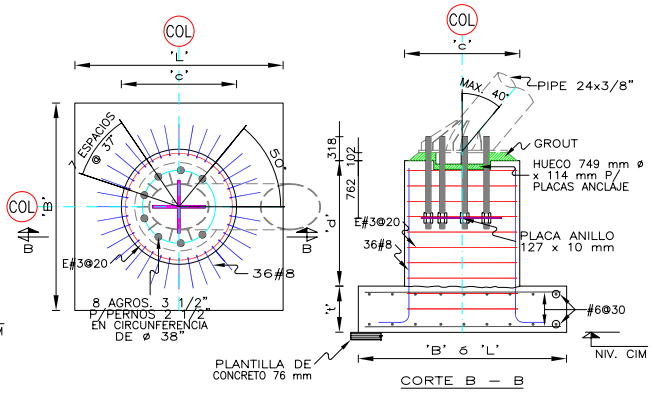
director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	ZAPATAS Y DADOS TIIPO			
alumno:	aprobó:	archivo:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRCIM1	Sep/08	S/E

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

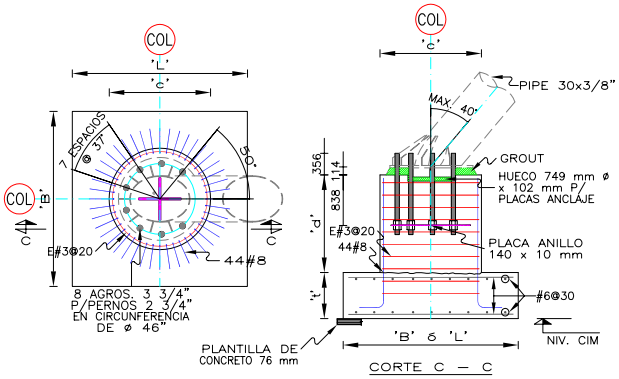
8. Zapatas y Dados Tipo p/Soportes y Cols Inclinadas.



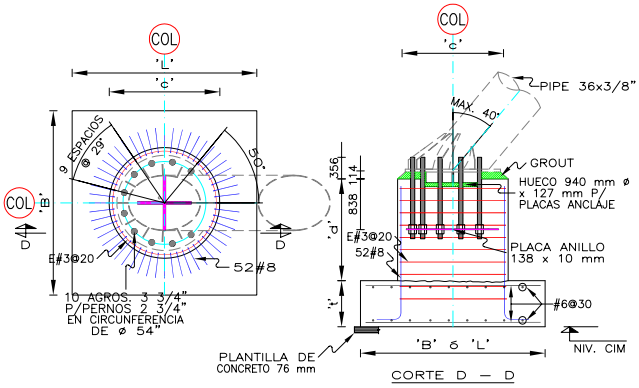
ZAPATA P/COLUMNAS PLACA BASE 31" x 48"



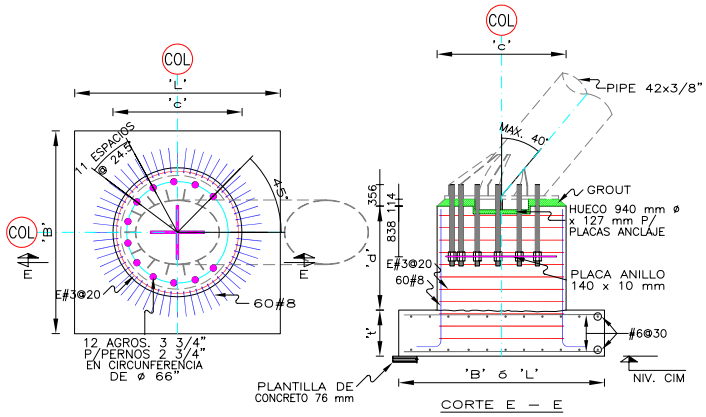
ZAPATA P/PIPE 24" x 3/8"



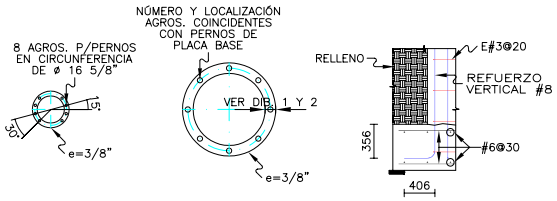
ZAPATA P/PIPE 30" x 3/8"



ZAPATA P/PIPE 36" x 3/8"



ZAPATA P/PIPE 42" x 3/8"



PLACA ANILLO P/ COLS. DE TORRES | PLACA ANILLO P/ COLS. TUBULARES | DETALLE TÍPICO DE REFUERZO VERTICAL

NOTAS IMPORTANTES

1. CONCRETO ESTRUCTURAL f'c = 300 kg/ cm2.
2. ACERO REFUERZO PRINCIPAL fy = 4200 kg/cm2; ESTRIBOS ACERO fy=3500 kg/cm2.
3. PERNOS DE ANLCAJE A–307 Ó SEMEJANTE CON CUERDA EN TODA SU EXPOSICIÓN.
4. AGREGAR RONDANAS DE MÁS DE ø 2" (50 mm) SUPERIORES E INFERIORES EN PLACAS BASE.
5. TODOS LOS RELLENOS DEBEN SER COMPACTADOS AL 90% EN CAPAS DE 20 cm (PRUEBA PROCTOR MODIFICADA), EL RELLENO DEBE SER SANO LIBRE DE MATERIA ORGÁNICA.
6. DESPLANTAR CIMENTACIÓN SOBRE TERRENO SANO LIBRE DE MATERIA ORGÁNICA O RELLENOS NO CONTROLADOS Y SOBRE PLANTILLA DE CONCRETO f'c = 100 kg/cm2.
7. CONSULTAR NIVELES DE DESPLANTE DE CIMENTACIÓN EN TABLAS.

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL — No. DE COLUMNA

NCIM — NIV. CIMENTACIÓN

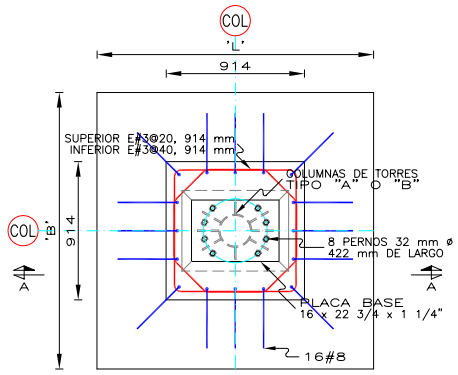
ZAPATAS Y DADOS TIPO PARA SOPORTES Y COLUMNAS INCLINADAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
'REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO'

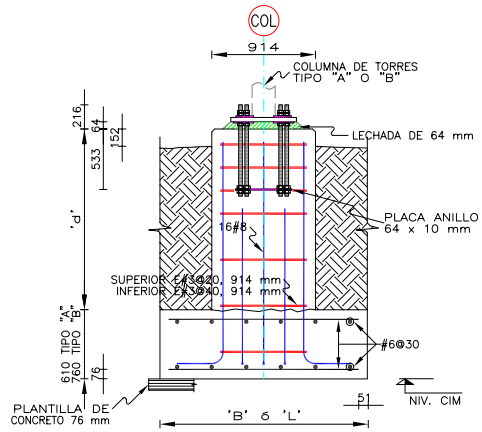
director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	ZAPATAS Y DADOSTIPO			
alumno:	dorado:	gráfico:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRCIM2	Sep/08	S/E

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

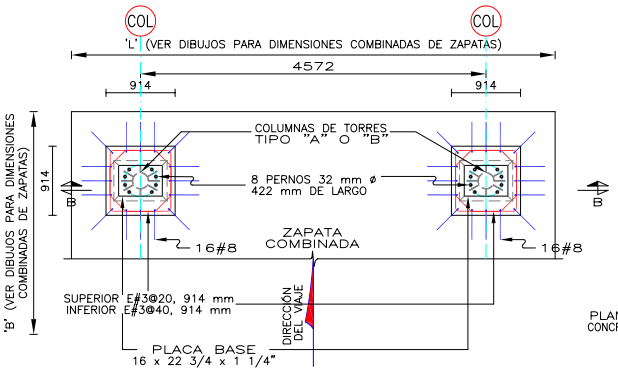
9. Zapatas y Dados Tipo p/Cols Torres y Combinadas.



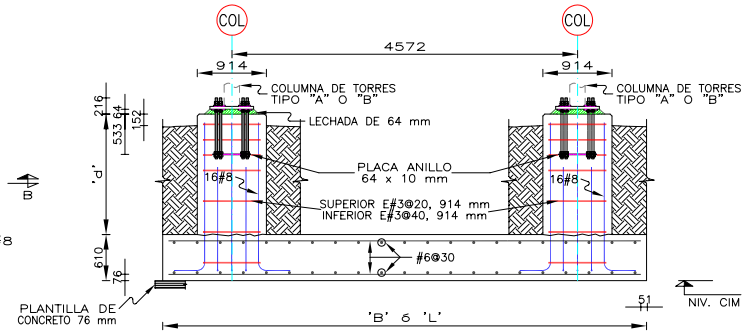
ZAPATA AISLADA P/COLUMNAS TORRES



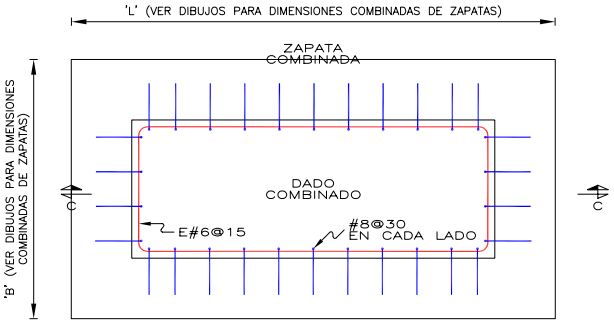
C O R T E A — A



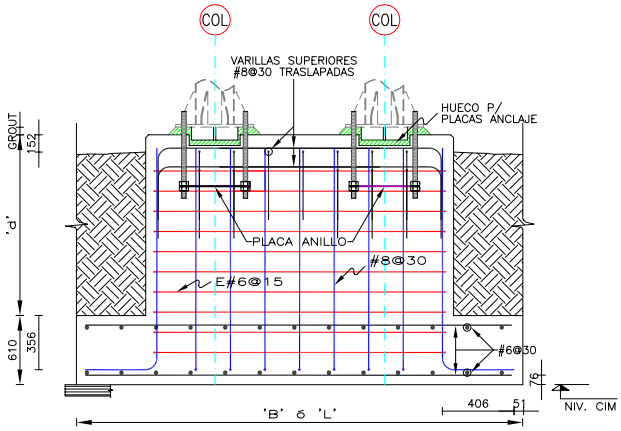
ZAPATA COMBINADA P/COLUMNAS TORRES



C O R T E B — B



ZAPATA Y DADO COMBINADOS



C O R T E C — C

N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.
3. CONSULTAR NOTAS IMPORTANTES EN TRMRCIM2.

SIMBOLOGÍA

COL — No. DE COLUMNA

NCIM — NIV. CIMENTACIÓN

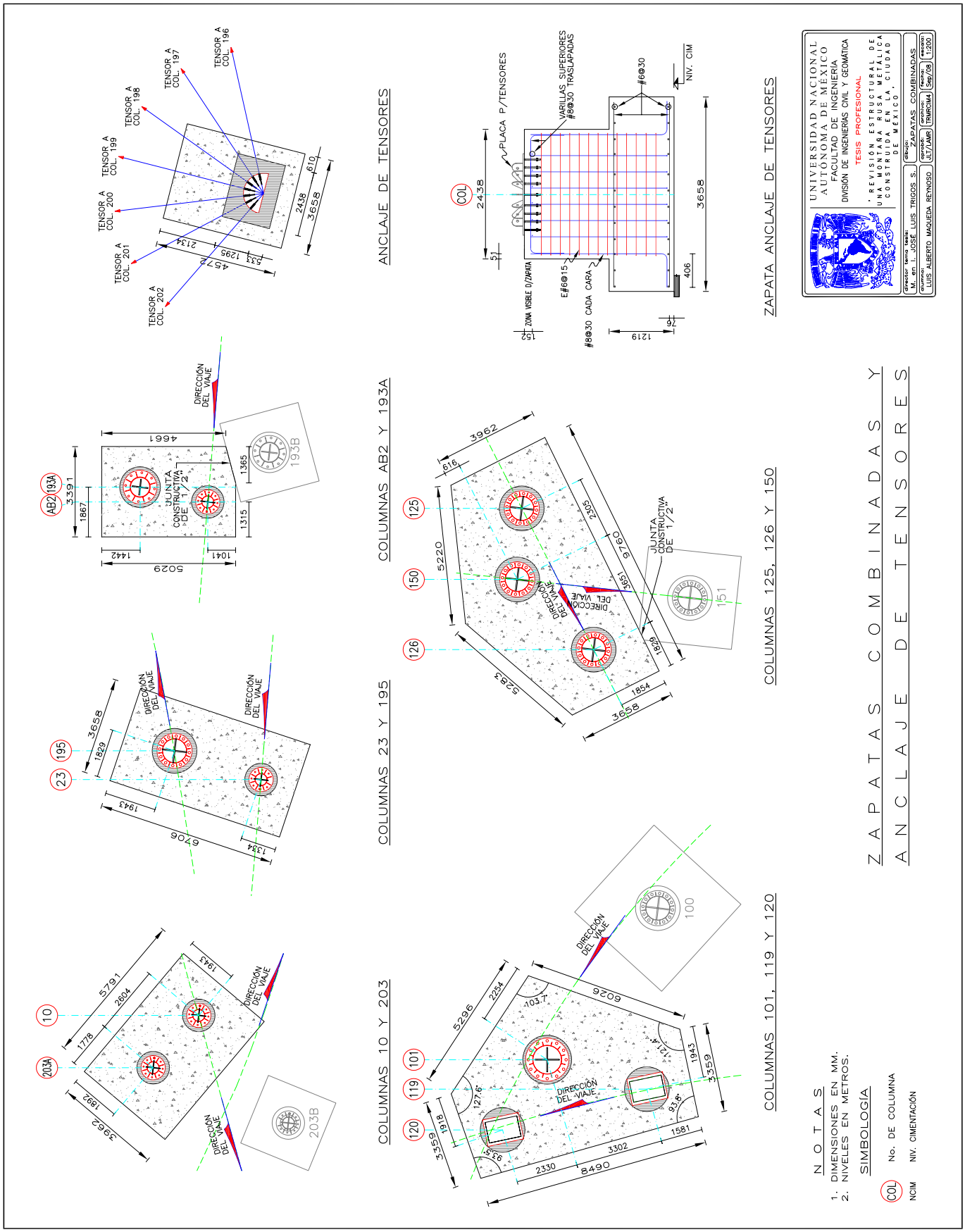
ZAPATAS Y DADOS TIPO PARA COLUMNAS DE TORRES Y COMBINADAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TESIS PROFESIONAL
' REVISIÓN ESTRUCTURAL DE UNA MONTAÑA RUSA METÁLICA CONSTRUIDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO '

director tema tesis:	dibujo:			
M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS S.	ZAPATAS Y DADOS TIPO			
alumno:	aprobó:	gráficos:	fecha:	escala:
LUIS ALBERTO MAQUEDA REYNOSO	JLT/LAMR	TRMRCIM3	Sep/08	S/E

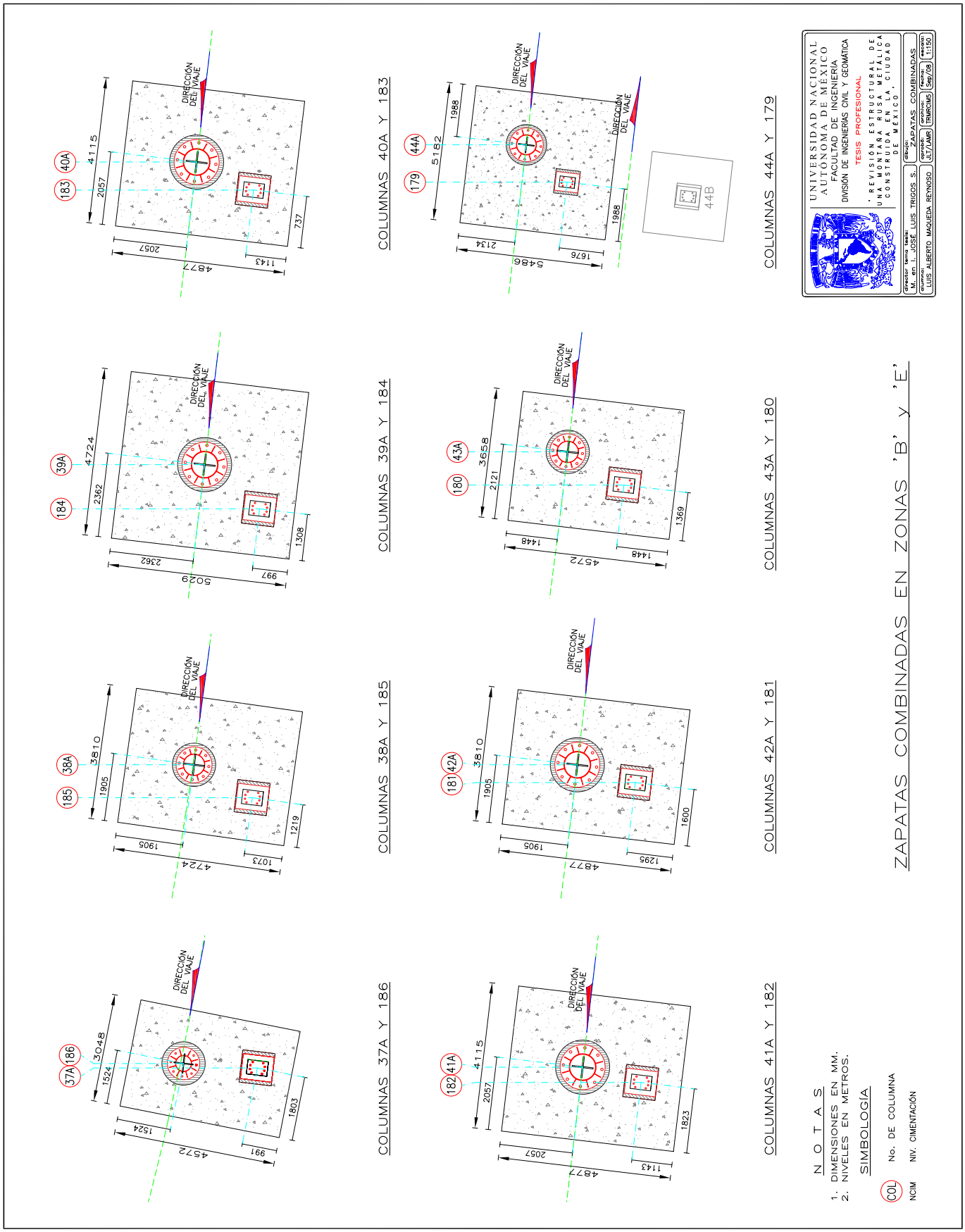
C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

10. Zapatas Combinadas y Anclaje de Tensores.



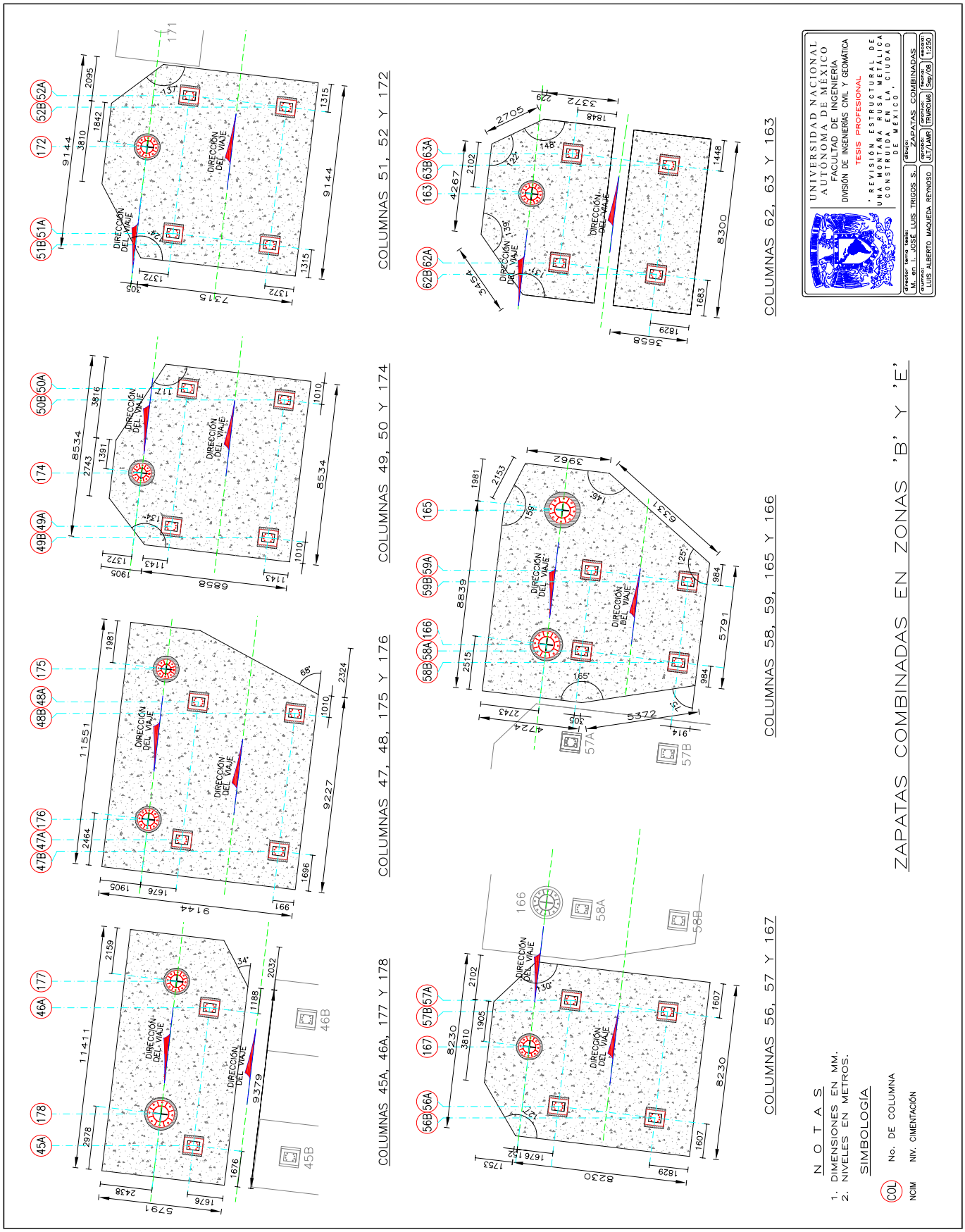
C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

11. Zapatas Combinadas en Zonas B y E.



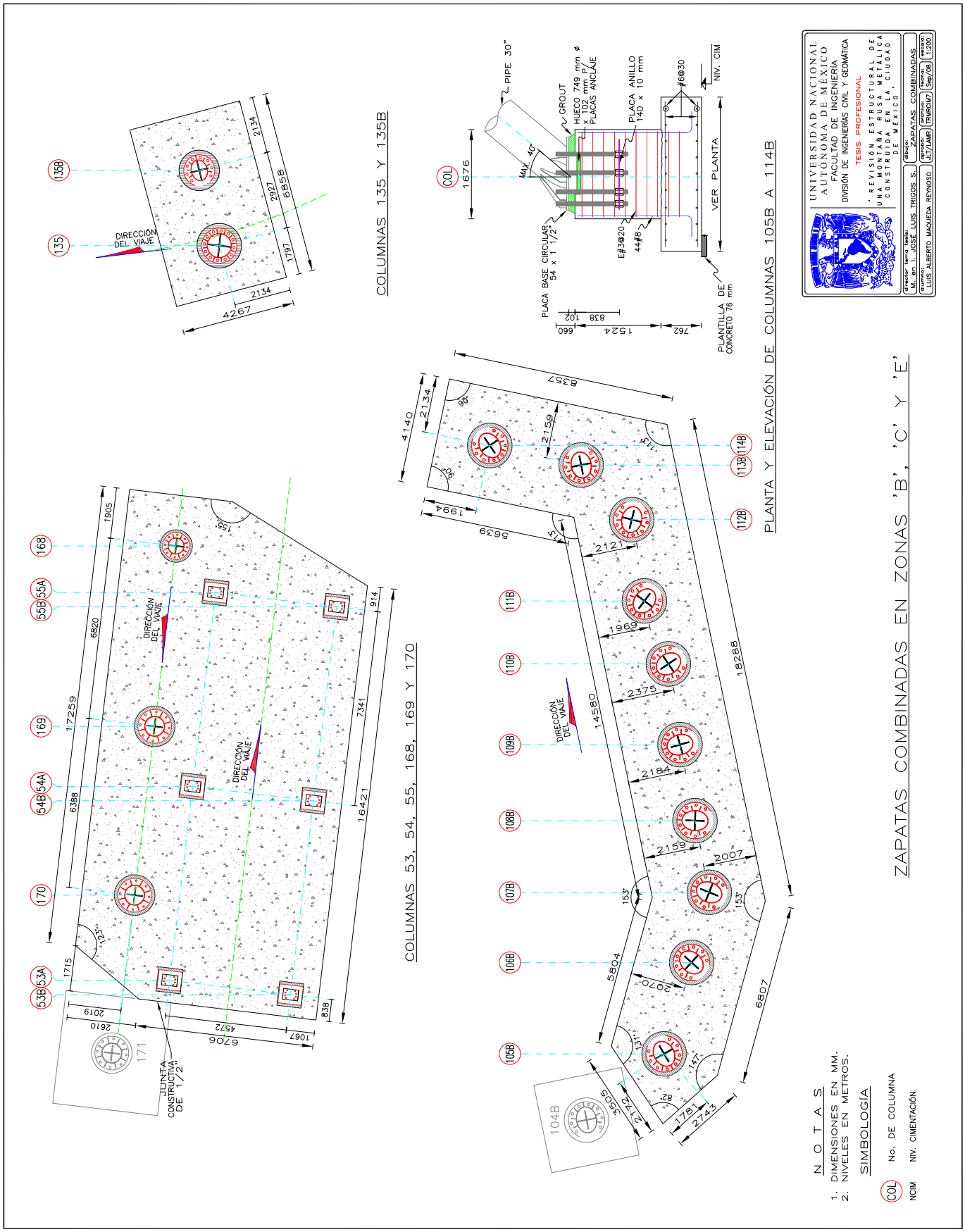
C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

12. Zapatas Combinadas en Zonas B y E



C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

13. Zapatas Combinadas en Zonas B, C y E.



N O T A S

1. DIMENSIONES EN MM.
2. NIVELES EN METROS.

SIMBOLOGÍA

COL — No. DE COLUMNA

NCIM — NIV. CIMENTACIÓN

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

14. Tabla Zapatas Zona A.

ZONA A							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
TL2	B	4.115	2.591	1.456	0.610	3.200 x 1.676	92.434
U1	B	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	92.319
U2	B	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	92.089
U3	B	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	91.969
U4	B	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	91.799
ST1	304.8	3.048	3.048	1.219	0.762	0.914	91.369
ST2	304.8	3.048	3.048	1.219	0.762	0.914	91.128
ST3	304.8	3.048	3.048	1.219	0.762	0.914	90.887
ST4	304.8	3.048	3.048	1.219	0.762	0.914	90.646
1	B	2.896	2.896	1.219	0.762	1.676	90.219
2	B	2.896	2.896	1.829	0.762	1.676	89.309
3	457.2	2.438	2.438	1.219	0.610	1.219	88.171
4	457.2	2.438	2.438	1.219	0.610	1.219	87.171
5	F	2.896	2.896	1.219	0.762	1.676	86.019
6	C	2.896	2.896	1.219	0.762	1.676	83.919
7	B	2.896	2.896	1.829	0.762	1.676	83.409
8	609.6	2.896	2.896	1.219	0.610	1.524	81.451
9	609.6	2.896	2.896	1.219	0.610	1.524	81.171
10	457.2	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.524	0.610	1.219	80.466
11	457.2	3.048	3.048	1.219	0.610	1.219	78.171
12	609.6	3.200	3.200	1.219	0.610	1.219	77.171
13	609.6	3.810	3.810	1.219	0.610	1.219	74.171
14	457.2	3.200	3.200	1.219	0.610	1.219	73.171
15	B	3.200	3.200	1.524	0.762	1.676	72.464
16	C	3.048	3.048	1.524	0.762	1.676	71.814
17	C	3.048	3.048	1.524	0.762	1.676	71.964
18	C	3.048	3.048	1.524	0.762	1.676	72.714
19	C	3.048	3.048	1.524	0.762	1.676	74.164
20	C	3.048	3.048	1.524	0.762	1.676	76.464
21	457.2	3.048	3.048	1.524	0.762	1.219	76.714
22	457.2	3.048	3.048	1.524	0.762	1.219	77.714
23	457.2	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.219	0.610	1.219	78.671
AB1	609.6	3.505	3.505	1.524	0.610	1.219	79.366
AB2	457.2	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.219	0.610	1.219	81.171
AB3	457.2	3.200	3.200	1.219	0.610	1.219	81.171
24	C	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	81.519
25	C	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	80.419
26	C	2.438	2.438	1.219	0.762	1.676	80.219
27A	B	2.743	2.743	1.219	0.762	1.676	80.019
27B	B	2.743	2.743	1.372	0.762	1.676	79.866

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

15. Tabla Zapatas Zona B Parte 1.

ZONA B PARTE 1							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
34A	152.4	2.286	2.286	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
34B	152.4	2.286	2.286	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
35A	152.4	1.676	1.676	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
35B	152.4	1.676	1.676	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
36A	152.4	1.676	1.676	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
36B	152.4	1.676	1.676	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
37A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
37B	152.4	1.676	1.676	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
38A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
38B	152.4	1.829	1.829	1.524	0.762	0.910x0.910	79.214
39A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	79.919
39B	152.4	1.981	1.981	1.524	0.762	0.910x0.910	79.919
40A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	79.919
40B	152.4	2.286	2.286	1.524	0.762	0.910x0.910	79.919
41A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	80.464
41B	152.4	2.286	2.286	1.524	0.762	0.910x0.910	80.464
42A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	80.464
42B	152.4	2.591	2.591	1.524	0.762	0.910x0.910	80.464
43A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.219	0.610	0.910x0.910	82.671
43B	152.4	2.743	2.743	1.524	0.762	0.910x0.910	82.214
44A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	0.910x0.910	82.214
44B	152.4	3.048	3.048	1.524	0.762	0.910x0.910	82.214
45A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
45B	152.4	3.200	3.200	1.772	0.762	0.910x0.910	83.466
46A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
46B	152.4	3.353	3.353	1.525	0.762	0.910x0.910	83.713
47A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	83.079
47B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	83.079
48A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	83.079
48B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	83.079
49A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
49B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
50A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
50B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
51A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
51B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
52A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
52B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
53A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
53B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

16. Tabla Zapatas Zona B Parte 2.

ZONA B PARTE 2							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
54A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
54B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
55A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
55B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
56A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
56B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
57A	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
57B	203.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
58A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
58B	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
59A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
59B	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	0.910x0.910	84.476
62A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
62B	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
63A	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
63B	152.4	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	0.910x0.910	84.171
64	914.4	4.267	4.267	1.219	0.762	1.676	84.019
65	762.0	3.810	3.810	1.219	0.610	1.524	84.871
66	609.6	3.048	3.048	1.219	0.610	1.219	84.871
67	E	2.743	2.743	1.219	0.762	1.676	84.519
68	A	2.743	2.743	1.219	0.762	1.676	83.469
69	A	2.743	2.743	1.219	0.762	1.676	83.119

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

17. Tabla Zapatas Zona C Parte 1.

ZONA C PARTE 1							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
70	A	2.743	2.743	1.219	0.762	1.676	83.819
71	B	2.743	2.743	1.219	0.610	1.676	85.271
72	609.6	3.353	3.353	1.219	0.610	1.219	84.471
73	762.0	3.962	3.962	1.219	0.610	1.524	84.671
74	914.4	4.420	4.420	1.219	0.762	1.676	84.619
75	914.4	4.572	4.572	1.219	0.762	1.676	84.819
76	914.4	4.267	4.267	1.219	0.762	1.676	84.719
77	914.4	2.896	2.896	1.219	0.762	1.676	84.719
79A	914.4	3.353	3.353	1.219	0.762	1.829	85.319
79B	762.0	3.658	3.658	1.219	0.610	1.676	85.171
81A	1066.8	3.048	3.048	1.219	0.762	2.134	85.819
81B	914.4	2.896	2.896	1.219	0.762	1.829	85.819
83A	1066.8	3.200	3.200	1.524	0.762	2.134	85.914
83B	914.4	3.353	3.353	1.524	0.762	1.829	86.514
85A	1066.8	3.200	3.200	1.524	0.762	2.134	86.144
85B	914.4	3.505	3.505	1.524	0.762	1.829	86.264
87A	914.4	3.353	3.353	1.524	0.762	1.829	86.414
87B	762.0	3.505	3.505	1.524	0.762	1.676	86.414
89A	762.0	3.200	3.200	1.524	0.762	1.676	88.714
89B	609.6	2.896	2.896	1.524	0.762	1.524	88.714
90A	762.0	3.200	3.200	1.524	0.762	1.676	90.244
90B	609.6	2.896	2.896	1.524	0.762	1.524	90.244
91A	914.4	3.658	3.658	1.524	0.762	1.829	89.714
91B	914.4	3.505	3.505	1.524	0.762	1.829	89.214
93A	914.4	3.962	3.962	1.524	0.762	1.829	89.214
93B	914.4	3.658	3.658	1.524	0.762	1.829	88.714
94	914.4	4.572	4.572	1.829	0.610	1.676	87.062
95	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	85.562
96	914.4	4.420	4.420	1.524	0.610	1.676	85.366
97	762.0	4.115	4.115	1.524	0.610	1.524	86.466
98	762.0	4.115	4.115	1.524	0.610	1.524	87.366
99	914.4	4.267	4.267	1.829	0.610	1.676	85.762
100	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	87.062
101	1066.8	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.829	0.610	1.829	86.062
102A	914.4	3.505	3.505	1.219	0.610	1.676	86.671
102B	609.6	3.505	3.505	1.524	0.762	1.524	86.714
103A	914.4	3.658	3.658	1.524	0.610	1.676	86.866
103B	609.6	3.505	3.505	1.524	0.762	1.524	86.714
104A	1066.8	4.115	4.115	1.524	0.610	1.829	86.866
104B	762.0	3.505	3.505	1.524	0.762	1.676	86.714
105A	1066.8	3.810	3.810	1.524	0.610	1.829	85.866
105B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

18. Tabla Zapatas Zona C Parte 2.

ZONA C PARTE 2							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
106A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	84.866
106B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
107A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	84.866
107B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
108A	1066.8	4.115	4.115	1.524	0.610	1.829	84.866
108B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
109A	1066.8	4.115	4.115	1.524	0.610	1.829	85.866
109B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
110A	1066.8	3.810	3.810	1.524	0.610	1.829	86.366
110B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
111A	1066.8	3.810	3.810	1.524	0.610	1.829	86.866
111B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
112A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	86.866
112B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
113A	1066.8	3.810	3.810	1.524	0.610	1.829	86.866
113B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
114A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	86.866
114B	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.762	1.676	86.714
115A	914.4	3.353	3.353	1.524	0.610	1.676	86.866
115B	609.6	3.353	3.353	1.524	0.610	1.524	86.866
116	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	86.062
117	762.0	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	86.766
118	A	3.353	3.353	1.524	0.610	1.676	86.516
119	A	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.479	0.610	1.676	86.062
120	H	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.829	0.610	1.676	86.062
121	A	3.200	3.200	1.219	0.610	1.676	87.921

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

19. Tabla Zapatas Zona D.

ZONA D							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
122	762.0	3.200	3.200	1.219	0.610	1.524	87.171
123	762.0	3.505	3.505	1.219	0.610	1.524	87.171
124	762.0	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	87.366
125	914.4	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.774	0.610	1.676	88.366
126	914.4	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.224	0.610	1.676	88.366
127	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	86.866
128	1066.8	3.658	3.658	1.524	0.610	1.829	85.366
129A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	83.866
129B	762.0	3.200	3.200	1.524	0.610	1.676	83.866
130A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	83.866
130B	762.0	3.200	3.200	1.524	0.610	1.676	83.866
131A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	83.866
131B	762.0	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	83.866
132A	1066.8	3.962	3.962	1.524	0.610	1.829	83.866
132B	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.676	83.866
133A	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	83.866
133B	609.6	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	83.866
134A	914.4	3.353	3.353	1.524	0.610	1.676	83.866
134B	609.6	4.115	4.115	1.524	0.610	1.524	83.866
135A	914.4	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.610	1.676	83.866
135B	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.524	0.610	1.524	83.866
136	1066.8	4.724	4.724	1.829	0.610	1.829	83.162
137	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	83.062
138	762.0	4.420	4.420	1.524	0.610	1.524	81.866
139	F	3.658	3.658	1.524	0.610	1.676	84.566
140	A	3.810	3.810	1.524	0.610	1.676	85.366
141	A	3.810	3.810	1.524	0.610	1.676	86.766
142	762.0	4.267	4.267	1.524	0.610	1.524	85.866
143	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	85.062
144	914.4	4.420	4.420	1.829	0.610	1.676	86.562
145	914.4	4.572	4.572	1.829	0.610	1.676	86.962
146	914.4	4.572	4.572	1.829	0.610	1.676	87.062
147	914.4	4.267	4.267	1.524	0.610	1.676	87.366
148	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	87.866
149	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	87.866
150	914.4	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.524	0.610	1.676	88.366
151	914.4	3.353	3.353	1.524	0.610	1.676	86.866
152	914.4	3.200	3.200	1.524	0.610	1.676	85.866
153	914.4	4.724	4.724	1.829	0.610	1.676	83.562
BB1	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	83.866
BB2	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	83.866
BB3	914.4	3.505	3.505	1.524	0.610	1.676	83.866
154A	152.4	4.267	4.267	1.524	0.762	1.220 x 1.220	83.714
154B	152.4	4.267	4.267	1.524	0.762	1.220 x 1.220	83.714
155A	152.4	4.267	4.267	1.524	0.762	1.220 x 1.220	83.714
155B	152.4	4.267	4.267	1.524	0.762	1.220 x 1.220	83.714

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

20. Tabla Zapatas Zona E.

ZONA E							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
156	914.4	4.267	4.267	1.219	0.762	1.676	84.019
157	914.4	4.267	4.267	1.219	0.762	1.676	84.019
158	914.4	4.267	4.267	1.219	0.762	1.676	84.019
159	914.4	4.877	4.877	1.219	0.762	1.676	84.019
160	609.6	3.810	3.810	1.219	0.610	1.219	84.171
161	457.2	2.743	2.743	1.219	0.610	1.219	84.171
162	457.2	2.743	2.743	1.219	0.610	1.219	84.171
163	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	1.524	84.171
165	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.914	0.610	1.524	84.476
166	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM6		0.914	0.610	1.524	84.476
167	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM6		0.914	0.610	1.219	84.476
168	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	1.219	84.171
169	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	1.524	84.171
170	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM7		1.219	0.610	1.524	84.171
171	762.0	4.267	4.267	1.219	0.610	1.524	84.171
172	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	1.219	84.171
173	457.2	2.743	2.743	1.219	0.610	1.219	84.171
174	B	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	1.219	84.171
175	457.2	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.311	0.610	1.219	83.079
176	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.311	0.610	1.219	83.079
177	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	1.219	84.171
178	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM6		1.219	0.610	1.219	84.171
179	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.524	82.214
180	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.219	0.610	1.219	82.671
181	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.524	80.464
182	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.524	80.464
183	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.524	79.919
184	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.524	79.919
185	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.219	79.214
186	457.2	VER DIBUJO TRMRCIM5		1.524	0.762	1.219	79.214

C. REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

21. Tabla Zapatas Zona F.

ZONA F							
COLUMNA No.	SOPORTE/COL (mm)	L (m)	B (m)	d (m)	t (m)	c (m)	NIV CIM (m)
187	457.2	3.200	3.200	1.524	0.610	1.219	79.366
188	609.6	3.658	3.658	1.524	0.610	1.219	77.866
189	609.6	3.353	3.353	1.524	0.610	1.219	77.866
190	762.0	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	78.866
191	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	78.866
192	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	79.866
193A	762.0	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.219	0.610	1.524	81.171
193B	762.0	3.048	3.048	1.219	0.610	1.524	80.171
195	914.4	VER DIBUJO TRMRCIM4		1.719	0.610	1.676	78.671
196	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	77.866
197	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	76.866
198	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	75.866
199	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	74.866
200	762.0	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	74.866
201	762.0	3.810	3.810	1.524	0.610	1.524	74.866
202	762.0	3.658	3.658	1.524	0.610	1.524	76.866
203A	609.6	VER DIBUJO TRMRCIM4		0.924	0.610	1.219	80.466
203B	609.6	2.743	2.743	1.219	0.610	1.219	79.171
204	762.0	3.353	3.353	1.219	0.610	1.524	81.171
206	762.0	3.505	3.505	1.219	0.610	1.524	82.171
207	609.6	2.438	2.438	1.219	0.610	1.219	83.171
208	609.6	2.438	2.438	1.219	0.610	1.219	84.171
CB1	762.0	4.267	4.267	1.524	0.610	1.524	84.866
CB2	762.0	3.962	3.962	1.524	0.610	1.524	86.866
CB3	609.6	3.810	3.810	1.524	0.610	1.219	87.866
CB4	609.6	3.810	3.810	1.524	0.610	1.219	87.866
TL1	609.6	3.962	2.286	1.219	0.610	2.743 x 1.219	90.171

En el diseño de toda cimentación se debe revisar el cumplimiento de los estados límite de falla y de servicio, de los elementos que integran la cimentación, esto es, el suelo y los correspondientes miembros de la estructura, en este caso las zapatas y sus dados.

Considerando las características propias del proyecto y las estratigráficas del subsuelo, se consideró adecuado desplantar las zapatas a una profunidad mínima de 1.80 m, respecto al nivel del terreno natural, debajo de los materiales limo-arenosos sueltos encontrados por encima de esta profundidad. Otros factores importantes a ser tomados en cuenta son que no se detectaron espacios abiertos ní cavidades, además de que no fue detectado el nivel de agua freático a las profundidades de estudio de los sondeos.

ESTADOS LÍMITE DE FALLA

La revisión de la seguridad de una cimentación ante estados límite de falla consiste en comparar para cada elemento de la cimentación, y para ésta en su conjunto, la capacidad de carga del suelo con las acciones de diseño, afectando la capacidad de carga neta con un factor de resistencia y las acciones de diseño con sus respectivos factores de carga. Con ayuda de los estudios consultados, fue posible determinar que al nivel de desplante se trata de un suelo puramente friccionante, por lo que se deberá cumplir con la siguiente desigualdad:

$$\frac{\Sigma\ Q\ F_C}{A} < [\ \bar{p}_v\ (\ N_q\ -\ 1\ )\ +\ 1/2\ \gamma\ B\ N_\gamma\ ]\ F_R\ +\ p_v$$

Donde: ΣQF_c es la suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante, afectada por su respectivo factor de carga.

A es el área del cimiento.

B es el ancho del cimiento.

p_v es la presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo.

$\bar{p}_v$ es la presión vertical efectiva a la misma profundidad.

γ es el peso volumétrico del suelo.

F_R es el factor de resistencia igual a 0.35.

N_q es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_q\ =\ e^{\pi \tan\phi}\ \tan^2\ (\ 45\ +\ \phi/2\ )$$

ϕ es el ángulo de fricción interna.

El coeficiente N_q se multiplicará por $1 + (B/L) \tan\phi$ para cimientos rectangulares y por $1 + \tan\phi$ para cimientos circulares y cuadrados.

$N\gamma$ es el coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_\gamma\ =\ 2\ (\ N_q\ +\ 1\ )\ \tan\ \phi$$

El coeficiente $N\gamma$ se multiplicará por $1 - 0.4\ (B/L)$ para cimientos rectangulares y por 0.6 para cimientos circulares y cuadrados.

Considerando que la cimentación se realizó principalmente mediante zapatas cuadradas, con un ángulo de fricción interna de 28 grados para los materiales de apoyo, un desplante mínimo de 1.80 m y peso volumétrico de 1.25 tonf/m^3 para los materiales por encima del nivel de desplante, se obtiene que para un ancho unitario, la parte derecha de la desigualdad que representa la capacidad de carga máxima del suelo es de aproximadamente 20 tonf/m^2.

Para las zapatas asiladas seleccionadas, se revisaron las combinaciones de carga críticas, tomando en cuenta los factores de carga citados en VI.B; al verificar la desigualdad anterior contra la capacidad de carga máxima del terreno de 20 tonf/m^2 se tienen **condiciones satisfactorias**.

Como parte de la revisión, también se revisaron los estados límite de falla de los elementos constituyentes de las zapatas de cimentación. Estos elementos son de concreto reforzado y se revisaron de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Las zapatas aisladas de concreto reforzado seleccionadas para su revisión, están constituídas de un dado o columna corta de concreto reforzado que sirve como transición entre las columnas de acero estructural y la losa de apoyo, que generalmente son de forma rectangular en planta.

La revisión de los elementos de concreto reforzado de la cimentación se hizo por el Método de Cargas y Resistencias Factorizadas. De los resultados de la revisión de todos los dados o columnas cortas revisadas, se deduce que no se tienen problemas y son **condiciones satisfactorias**, ya que el área de acero de refuerzo requerida para la combinación más crítica en cada una de ellas, es menor que el área de acero de refuerzo colocado. Por otro lado de la revisión de las zapatas, se deduce que para algunas de ellas no se cumplen con los requerimientos mínimos de acero de refuerzo, sin embargo la normatividad contempla zapatas de concreto simple, siempre y cuando se garantice su óptimo funcionamiento y seguridad; por lo que se deduce que las zapatas presentan **condiciones satisfactorias**, ya que el acero suministrado corresponde al requerido para cambios volumétricos y, por ende son aceptables.

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

Se revisaron los asentamientos o movimientos verticales medios, bajo solicitaciones estáticas respecto al nivel de terreno circundante, usando teorías exclusivamente elásticas gracias a las características del subsuelo y de cargas aplicadas. Estos asentamientos se calcularon apartir de la ecuación:

$$S = (q\ B/E)\ (1-\mu^2)\ I_w$$

Donde:
- S es el asentamiento vertical bajo el centro de la zapata.
- q es la presión de contacto aplicada.
- B es el ancho del cimiento.
- E es el módulo de elasticidad del subsuelo de apoyo.
- μ es la relación de Poisson del subsuelo.
- I_w es el factor de influencia unitaria con la profundidad.

Considerando un módulo de elasticidad de 10 000 tonf/m², una relación de Poisson de 0.30, y una presión de contacto de 20 tonf/m², los asentamientos resultan menores de 1.00 cm, que son **condiciones satisfactorias**, y cumplen con los límites que se especifícan en las NTC's para Diseño y Construcción de Cimentaciones, las cuales indican:

① Límite para movimientos verticales en estructuras aisladas cimentadas en la Zona I es de 5 cm, y

② Una relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro para marcos de acero de 0.006.

Los resultados de los sondeos consultados, fueron extrapolados a la totalidad del área que ocupa la montaña rusa, sin embargo como parte de la verificación de la seguridad de la cimentación, se tuvieron que garantizar los siguientes aspectos:

- Si en algún caso se hubieran encontrado materiales limososo, arcillosos o materia orgánica, estos debieron ser sustituidos por materiales de relleno controlados.

- Se debió excavar los materiales existentes hasta alcanzar la profundidad recomendada de desplante, para alojar la cimentación, al término de la excavación se debió verificar que no existieran fisuras, fracturas u oquedades abiertas, las cuales en caso de haber existido, se debieron haber sellado por medio de lechada agua-cemento.

- Una vez alcanzado el nivel de apoyo de las zapatas, se tuvo que haber colado una plantilla de concreto pobre de por lo menos 10 cm de espesor, por debajo del nivel de cimentación.

- Después de haberse habilitado y colocado el refuerzo, y haber efectuado el colado, los espacios vacíos producto de las excavaciones, se tuvieron que haber rellenado con tepetate en capas de 20 cm en estado suelto y compactado según las recomendaciones de la prueba Proctor estándar.

- Se debió haber tomado en cuenta que los apoyos que estuvieran sujetos a tensiones, debieron ser cimentados mediante anclajes o elementos de gravedad que impidieran su movimiento, como es el caso de los tensores concéntricos de la curva de llegada en la Zona F.

De la revisión del comportamiento de las zapatas revisadas, en general se deduce que es aceptable y cumple con la normatividad del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en cuanto estados límite de falla y de servicio se refiere, así como los requisitos señalados en párrafos previos.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Como parte de los objetivos de este trabajo de tesis, se planteó la necesidad de establecer los lineamientos y realizar el análisis y la revisión estructural de la montaña rusa metálica al aire libre construida en la Ciudad de México, en Zona Sísmica I, con la ayuda del programa SAP2000 (Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures), con el fin de determinar el efecto de los sistemas de cargas críticos actuando sobre la estructura y evaluar el cumplimiento de los estados límite de servicio y estados límite de falla para todos los elementos de la superestructura y su cimentación, teniendo como marco de referencia el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, **RCDF04** y sus Normas Técnicas Complementarias, **NTC's**. Resultado de la evaluación de estos índices de seguridad, a continuación se listan algunas conclusiones y recomendaciones:

A. CONCLUSIONES.

1. La estructura, es una hipermontaña rusa de acero del tipo sentados, por la manera en que los pasajeros viajan en el recorrido. Tiene una longitud aproximada de 1700 m, con una altura en sus torres de ascenso de 67 m, provocando una caída de 62.5 m con inclinación de 60 grados, viajando a una velocidad máxima de 120 km/h. La duración del recorrido es de aproximadamente 3:04 minutos y cuenta con trenes de seis carros, con capacidad de transportar tres filas de dos pasajeros para una total de treinta y seis pasajeros, logrando que 1600 pasajeros tomen el recorrido en aproximadamente una hora.

2. Se planteó la necesidad de considerar que la estructura, fuera perteneciente al *Grupo A*, de acuerdo al artículo 139 del RCDF04. En el caso de esta montaña rusa en particular, aunque su falla estructural no constituye un peligro significativo o su funcionamiento esencial en una emergencia, los costos que implicaron incrementar la seguridad fueron mínimos al ser comparados con las pérdidas que resultarían por su falla.

3. Debido a la enorme cantidad de información, se propuso dividir la estructura en seis zonas: A, B, C, D, E y F. Estas zonas solo sirvieron para el manejo eficiente de la información, y no para un análisis y revisión estructural independiente.

4. En el análisis y la revisión estructural se consideraron las siguientes cargas: Cargas Muertas (Peso propio, instalaciones, plataformas, escaleras, equipos y su operación); Cargas Vivas (en plataformas y escaleras); las Fuerzas Sísmicas debidas a los movimientos sísmicos en Zona I, lugar donde se localiza la estructura en la Ciudad de México; las Fuerzas Eólicas por encontrarse al aire libre y presentar una altura considerable; así como los Efectos Dinámicos que genera el paso del tren articulado en las vías de la estructura. Además, se utilizaron las combinaciones de carga que dicta la normatividad para la evaluación de los distintos estados límite, para la superestructura, como para su cimentación, teniendo 238 condiciones básicas de carga, 2900 combinaciones de carga para revisión de estados límite de servicio y 2900 combinaciones de carga para revisión de estados límite de falla.

5. El análisis general de la estructura se hizo considerando hipótesis de comportamiento elástico - lineal. Para la modelación de los contraventeos de las torres de ascenso, corona e impulso y tensores en la curva de llegada, se utilizó una subrutina del SAP2000 que toma en cuenta la no - linealidad en la aplicación de las cargas, esto es, hace trabajar a los contraventeos y tensores solamente a fuerza axial de tensión, impidiéndole tomar cualquier otro tipo de fuerza debido a su esbeltez. La revisión de los elementos de acero de la estructura se hizo por el Método de Esfuerzos Permisibles.

6. La estructura se modeló analítica y matemáticamente mediante un conjunto tridimensional de 18,854 nudos y 6,179 elementos: columnas, trabes, diagonales y contravientos de acero estructural, además de 10,692 elementos panel discretizando las placas de conexión entre los rieles.

7. Para fines de este análisis y revisión estructural, se consideró que todos los elementos que componen la estructura como son columnas, trabes, diagonales, contravientos, etc., son de ACERO ESTRUCTURAL, NORMA NMX B 254 (ASTM A 36).

8. Después de realizar el análisis estructural de la montaña rusa se obtuvieron sus propiedades dinámicas. El programa mediante un análisis de vectores característicos determina las formas modales y las frecuencias desacopladas en vibración libre, las cuales involucran la solución de la ecuación carcaterística. Se tiene que el periodo fundamental de vibración es igual a T = 1.09 seg, que se caracteriza por movimientos de translación en el sentido transversal en las torres de ascenso, corona e impuslo.

9. Como parte de la revisión de estados límite de servicio, se tomaron en cuenta los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, en su Título VI (Seguridad Estructural de las Edificaciones), así como las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, las NTC's para Diseño por Viento, las NTC's para Diseño por Sismo y las NTC's para Diseño y Construccion de Estructuras Metálicas poniendo especial atención a los desplazamientos, vibraciones, expansiones, contracciones, corrosión y protección contra fuego. Se calcularon los desplazamientos de todos los nudos de la estructura. Al revisar todos los **estados límite de servicio** aceptables según la normatividad y compararlos con los obtenidos, resultan **condiciones satisfactorias**.

10. Al revisar los **estados límite de falla**, mediante los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, de sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, del AISC - ASD89 e IMCA, se deduce que para prácticamente la mayoría de las secciones se **tienen resisitencias adecuadas**, presentándose relaciones de esfuerzos actuantes entre esfuerzos permisibles **menores que 1.05**, y un conjunto de cuatro columnas de la zona 'B' con relaciones de esfuerzos ligeramente mayores al límite establecido, con valores de 1.080, 1.091, 1.113 y 1.124, correspondientes al eje 59 de las torres de impulso. Aunque estas relaciones de esfuerzo rebasan el límite establecido, sus valores no son excesivos, y pueden tomarse como valores muy razonablemente aceptables, ya que el Método de Esfuerzos Permisibles toma en cuenta como valor límite máximo la aparición en la primera fibra de la sección del esfuerzo de fluencia dividido entre un factor de seguridad, mientras que no toma en cuenta el fenómeno de endurecimiento por deformación, ni la posible plastificación total de la sección.

11. Al revisar los conceptos aplicables del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, de sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, del AISC - ASD89 e IMCA, se deduce que los esfuerzos absolutos máximos que actuan en las placas de conexión, son menores que la capacidad admisible del acero, que resultan en **condiciones satisfactorias**.

12. Se encuentra en una zona poco accidentada desde el punto de vista topográfico, al surponiente de la Cuidad de México, encontrándose dentro de la Zona I o de Lomas formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre. Del estudio de mecánica de suelos consultado, se determinó que se encontraron materiales limosos hasta 1.20 m de profundidad, sin detectarse materiales finos o arcillosos como constituyentes dominantes por debajo de 1.80 m. Además, no se detectaron espacios abiertos ni cavidades vacías; tampoco fue detectado el nivel freático hasta las profundidades máximas exploradas.

13. Considerando las características propias del proyecto y las estratigráficas del subsuelo, se consideró adecuado desplantar zapatas aisladas y combinadas a una profunidad mínima de 1.80 m, respecto al nivel del terreno natural, debajo de los materiales limo-arenosos sueltos encontrados por encima de esta profundidad.

14. De la revisión de **estados límite de falla de la cimentación** se obtuvo que la capacidad máxima de carga del suelo es aproximadamente de 20 tonf/m², que para las zapatas aisladas seleccionadas, resultan **condiciones satisfactorias**. Como parte de esta revisión se analizaron los elementos de concreto reforzado constituyentes de las zapatas de cimentación. De los resultados de la revisión de todos los dados o columnas cortas revisadas, se deduce que no se tienen problemas y son **condiciones satisfactorias**, ya que el área de acero de refuerzo requerida para la combinación más crítica en cada una de ellas, es menor que el área de acero de refuerzo colocado. Por otro lado, de la revisión de las zapatas, se deduce que para algunas de ellas no se cumplen con los requerimientos mínimos de acero de refuerzo, sin embargo la normatividad contempla zapatas de concreto simple, siempre y cuando se garantice su óptimo funcionamiento y seguridad; por lo que se deduce que las zapatas presentan **condiciones satisfactorias**, al disponer del acero de refuerzo suficiente para cambios volumétricos.

15. Se revisaron los **estados límite de servicio de la cimentación**, respecto a los asentamientos o movimientos verticales medios, bajo solicitaciones estáticas respecto al nivel de terreno circundante, usando teorías exclusivamente elásticas gracias a las características del subsuelo y cargas aplicadas. De esta revisión se deduce que los asentamientos resultan menores de 1.00 cm, que son **condiciones satisfactorias**, y cumplen con los límites que se especifican en las NTC's para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

B. RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda realizar, por parte de un ingeniero especialista, CSE, cada tres meses al menos, inspecciones regulares en todas las zonas y componentes de la montaña rusa, para verificar su óptimo funcionamiento. Además de la verificación continua de los componentes mecánicos de la atracción, también se deberán hacer inspecciones a los elementos estructurales, para evitar desgastes, corrosión y fracturamientos. Se pondrán especial atención a las conexiones entre elementos, ya sean soldaduras, tornillería, etc. También se deberán revisar continuamente la tensión presente en los contravientos y tensores en la curva de llegada, según sus especificaciones, para evitar que estos pierdan la rigidez a tensión que proporcionan al sistema estructural.

2. Se propone contar con un programa específico de mantenimiento, tanto para los elementos mecánicos como para los estructurales, en el cual se indiquen las acciones preventivas y correctivas a realizar en caso de detectar algún problema específico.

3. En caso de detectar algún problema de asentamientos verticales excesivos en la cimentación, se verificarán las condiciones de los elementos estructurales de la cimentación, así como las condiciones del subsuelo en la zona del problema, con el fin de descartar la presencia de espacios abiertos o cavidades vacías no descubiertas durante la construcción.

B I B L I O G R A F Í A.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Anónimo, " STAAD Pro Release 2003 (STructural Analysis And Design), Reference Manual ", 2003.

2. Anónimo, " SAP2000 Advanced 9.0.3 (Static and Dynamic Finite Element Analyisis of Structures), Analysis Reference Manual ", September 2004.

3. Anónimo, " Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal ", Diario Oficial, Enero 29, 2004.

4 Anónimo, " Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento ", Diario Oficial, Octubre 6, 2004.

5. Anónimo, " Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo ", Diario Oficial, Octubre 6, 2004.

6. Anónimo, " Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones ", Diario Oficial, Octubre 6, 2004.

7. Anónimo, " Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto ", Diario Oficial, Octubre 6, 2004.

8. Anónimo, " Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas ", Diario Oficial, Octubre 6, 2004.

9. Anónimo, " American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 M - 02) and Commentary (ACI 318 RM - 02) ".

10. Anónimo, " American Institute for Steel Construction, Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design, 8a. y 9a. ediciones (AISC ASD Rev 89) ".

11. Anónimo, " Manual de Construcción en Acero: Diseño por Esfuerzos Permisibles ", cuarta edición, Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A. C., 2006.

12. Anónimo, " Comentarios, Ayudas de Diseño y Ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, DDF ", Series del Instituto de Ingeniería No. ES - 2, Noviembre 1991.

13. Bowles, J.E.," Foundation Analysis and Design ", Fifth Edition 1997, McGraw-Hill International Editions.

14. Trigos, J.L., " Apuntes de Ingeniería Sísmica ", Facultad de Ingeniería. UNAM, 200X.

Páginas electrónicas consultadas:

15. http://search.eb.com/coasters/

16. http://www.cinternet.net/ ~ bowersda/history.htm

17. http://sepiensa.org.mx/contenidos/s_rusa/rusa_1.htm

18. http://es.wikipedia.org/wiki/Monta%C3%B1a_rusa

19. http://www.montanarusa.com/espanol/fisica_elementos.htm

20. http://www.uch.ceu.es/caleidoscopio/numeros/06/cruz_04.htm

21. http://www.rcdb.com/recordholders.htm