



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL
MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA CIVIL

PRESENTA:
GUADALUPE TORRES LIRA

DIRECTOR DE TESIS:
ING. RICARDO HERAS CRUZ



MAYO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



AGRADECIMIENTOS

A mi Madre, a mis hermanos y a cada una de las personas que confiaron en mí, que han sido motivo importante en mi vida.

Mi sincero agradecimiento a cada uno de los profesores por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias obtenidas en el ámbito de la ingeniería.

No existen las coincidencias, sólo lo inevitable y lo inevitable para mi es haberlos conocido, gracias por modificar mi destino.





DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO.....	12
I.- ANTECEDENTES	13
I. 1. Condiciones geotécnicas del Valle de México.....	14
I. 2. Obras hidráulicas en el Valle de México.....	16
II.- GENERALIDADES.....	20
II. 1 Procedimientos de construcción de lumbreras en suelos blandos:.....	21
II. 1. 1. Muro Milán	21
II. 1. 2. Anillos prefabricados.....	23
II. 1. 3. Lumbrera Flotada (Método Cravioto).....	25
II. 2 Tipos de fallas	26
II.2.1.-Falla del Núcleo.....	26
II.2.2.-Falla de Fondo	27
II.2.3.-Falla de Fondo por Subpresión.....	29
III.- GEOMETRÍA DE LA LUMBRERA L-8.....	31
III. 1. Ubicación Geotécnica de la Estructura.....	34
III. 2. Datos de lumbrera.....	35
III. 3. Clasificación de la Estructura	38
IV.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA LUMBRERA FLOTADA.....	39
IV. 1. Construcción de brocales.....	42
IV. 2. Excavación de Muro Primario con lodo bentonítico	44
IV. 3. Colado del Muro Primario con lodo fraguante.....	47
IV. 4. Demolición, retiro del brocal interior y construcción de brocal exterior definitivo.....	49
IV. 5. Excavación de la zanja anular	50
IV. 6. Excavación del núcleo de la lumbrera.....	53
IV. 7. Posicionamiento del tanque de flotación	55
IV. 7. 1. Vigas de sujeción:	56
IV. 7. 2. Tanque de flotación:.....	57
IV. 8. Etapas de colado e inmersión	60
IV. 9. Colado de trabe de liga	66



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



IV. 10. Inyección anular	67
V.- ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA L-8	68
V. 1. Especificación de materiales.....	69
V. 1. 1. Área de trabajo.....	69
V. 1. 2. Lodo bentonítico.....	70
V. 1. 3. Lodo fraguante.....	72
V. 1. 4. Jet-Grouting.....	75
V. 1. 5. Concreto.....	76
V. 1. 6. Acero de refuerzo	82
V. 1. 7. Estructuras metálicas	84
V. 2. Maquinaria y equipo	87
VI.- MEMORIA DE CÁLCULO DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	91
VI. 1. Diseño estructural de brocal.....	92
VI. 1. 1.- Consideraciones de carga sobre el Brocal de la lumbrera	93
VI. 1. 2.- Análisis estructural en SAP2000	96
VI. 1. 3.- Diseño estructural como viga ancha	99
VI. 1. 4.- Armado de Brocal	101
VI. 2. Diseño de Losa Tapa.....	102
VI. 2. 1.- Diseño de Tabletillas.....	102
VI. 2. 2.- Rejilla pultruida tipo Irving de fibra de vidrio (1 1/2”) o similar	107
VI. 2. 3.- Diseño de trabes	109
VI. 2. 4.- Diseño de Ménsulas	129
VI. 3. Diseño estructural de Lumbrera flotada.....	138
VI. 3. 1.- Geometría de lumbrera	138
VI. 3. 2.- Consideraciones de diseño.....	140
VI. 3. 3.- Modelo en SAP2000 de la lumbrera L-8	147
VI. 3. 4.- Diseño de muro de lumbrera $e=60$ cm.....	151
VI. 3. 5.- Armado de muro de la lumbrera	153
VI. 4. Diseño de tanque flotado	154
VI. 4. 1.- Geometría de tanque	154



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

VI. 4. 2.- Consideraciones de diseño	155
VI. 4. 3.- Análisis del tanque flotado en STAAD. Pro.....	157
VI. 5. Diseño de Losa Fondo	163
VI. 5. 1.- Geometría de losa fondo	163
VI. 5. 2.- Análisis como viga simplemente apoya.....	164
VI. 5. 3.- Armado de losa fondo	169
VII.- ESTADO LIMITE DE SERVICIO DE LA LUMBRERA L-8	170
VIII.- ANEXOS	174
CONCLUSIONES	183
BIBLIOGRAFÍA	184



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FIGURAS

Fig. 1	Zonificación del Valle de México.....	15
Fig. 2	Valle de México.....	16
Fig. 3	Antiguo funcionamiento hidrológico de la cuenca de valle de México (D.F., 1975).....	17
Fig. 4	Obras de drenaje asociadas al Túnel Emisor Poniente.....	18
Fig. 5	Evolución de los lagos.....	19
Fig. 6	Colocación del armado para el Muro Milán de la lumbrera.....	22
Fig. 7	Lumbrera de anillos prefabricados.....	24
Fig. 8	Lumbrera Flotada.....	25
Fig. 9	Estabilidad del núcleo.....	26
Fig. 10	Mecanismo de falla de fondo.....	27
Fig. 11	Factor de capacidad de carga, N_c de Skempton.....	28
Fig. 12	Estabilidad del fondo por subpresión y flotación.....	30
Fig. 13	Localización de la Lumbrera L-8.....	32
Fig. 14	Sistema de drenaje del oriente y centro del valle de México.....	33
Fig. 15	Perfil estratigráfico del suelo donde se ubicará la lumbrera.....	34
Fig. 16	Tanque de flotación.....	35
Fig. 17	Esquema tipo (geometría de la excavación).....	36
Fig. 18	Geometría de la lumbrera L-8.....	37
Fig. 19	Zonificación sísmica de la zona de estudio.....	38
Fig. 20	Etapa 1.....	42
Fig. 21	Armado de brocal exterior.....	43
Fig. 22	Brocales terminados para excavación de muro primario.....	43
Fig. 23	Planta para lodo Bentonítico.....	44
Fig. 24	Excavación Muro Primario.....	45
Fig. 25	Etapa 2.....	46
Fig. 26	Muro Primario con lodo fraguante.....	47
Fig. 27	Etapa 3.....	48
Fig. 28	Etapa 4.....	49
Fig. 29	Detalle 2 Brocal exterior definitivo.....	50
Fig. 30	Grúa Liebherr 855 HD y Almeja Hidráulica.....	51
Fig. 31	Etapa 5.....	52
Fig. 32	Excavación del núcleo de lumbrera flotada.....	53
Fig. 33	Etapa 6.....	54
Fig. 34	Posicionamiento de tanque flotado.....	55
Fig. 35	Detalle de viga de sujeción.....	56
Fig. 36	Viga de sujeción.....	56
Fig. 37	Viga de sujeción para posicionar el tanque de flotación.....	57



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Fig. 38	Planta de Tanque de flotación	58
Fig. 39	Corte A-A' Tanque de flotación	58
Fig. 40	Etapa 7.....	59
Fig. 41	Armado de muro de lumbrera	62
Fig. 42	Cimbrado de muro de lumbrera	63
Fig. 43	Muro de lumbrera, primera inmersión	63
Fig. 44	Inmersión con ayuda de viguetas de sujeción y malacate manual	64
Fig. 45	Etapa 8.....	65
Fig. 46	Etapa 9.....	66
Fig. 47	Curvas granulométricas para material de mejoramiento.....	70
Fig. 48	Tipos y propiedades de fibras sintéticas.....	73
Fig. 49	Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibras	74
Fig. 50	Jet Grouting.....	76
Fig. 51	Detalles de refuerzo.....	82
Fig. 52	Retroexcavadora CAT 416E	87
Fig. 53	Almeja hidráulica BAYA de TEC Systems	88
Fig. 54	Aditamentos para el sistema de colado mediante tubería Tremie.....	89
Fig. 55	Aditamentos para el sistema de colado mediante tubería Tremie.....	89
Fig. 56	Especificaciones técnicas del malacate manual	90
Fig. 57	Brocales: análisis de cargas.....	92
Fig. 58	Carga actuante sobre el brocal (Camión de diseño).....	93
Fig. 59	Áreas tributarias sobre resortes	95
Fig. 60	Armado de brocales.....	101
Fig. 61	Elementos mecánicos de tableta.....	103
Fig. 62	Tableta con carga uniforme.....	105
Fig. 63	Armado de Tableta.....	106
Fig. 64	Ubicación de rejilla en losa tapa	107
Fig. 65	Especificaciones de rejilla.....	107
Fig. 66	Especificaciones de Carga en Rejilla	108
Fig. 67	Rejilla Irving de fibra de vidrio (1 1/2")	108
Fig. 68	Áreas tributarias de trabes en losa tapa	109
Fig. 69	Análisis de losa tapa en SAP 2000.....	110
Fig. 70	Elementos mecánicos SAP 2000.....	111
Fig. 71	Trabe T-1	111
Fig. 72	Trabe T-1 análisis en SAP2000.....	112
Fig. 73	Trabe T-1 elementos mecánicos.....	113
Fig. 74	Armado de Trabe T-1	117
Fig. 75	Trabe T-2 elementos mecánicos.....	118
Fig. 76	Armado de Trabe T-2.....	122



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Fig. 77 Trabe T-3 elementos mecánicos.....	123
Fig. 78 Armado de Trabe T-3.....	125
Fig. 79 Trabe T-4 elementos mecánicos.....	126
Fig. 80 Armado de Trabe T-4.....	128
Fig. 81 Detalles de ménsula RCDF.....	129
Fig. 82 Corte Transversal T-1 con ménsulas M-2 y M-3.....	130
Fig. 83 Detalle de armado de Ménsula M-3 y M-2.....	133
Fig. 84 Corte Transversal T-1 con ménsulas M-4 y M-Tableta.....	134
Fig. 85 Detalle de armado de Ménsula M-4 y M-Tableta.....	137
Fig. 86 Geometría de la lumbrera L8.....	139
Fig. 87 Acciones de diseño.....	140
Fig. 88 Tracto camión articulado T3-S2.....	144
Fig. 89 Empuje debido al sismo.....	145
Fig. 90 Elementos mecánicos de lumbrera “Momento máximo”.....	148
Fig. 91 Elementos mecánicos de lumbrera “Cortante ultimo”.....	149
Fig. 92 Desplazamientos en la lumbrera.....	150
Fig. 93 Detalle de armado de muro de lumbrera.....	153
Fig. 94 Geometría de tanque flotado.....	154
Fig. 95 Configuración de secciones del Tanque flotado.....	157
Fig. 96 Tanque flotado simplemente apoyado.....	158
Fig. 97 Esfuerzos en placa de 6.00mm.....	160
Fig. 98 Resultados de STAAD Pro.....	161
Fig. 99 Geometría de Losa fondo.....	163
Fig. 100 Viga simplemente apoyada con carga uniformemente repartida.....	164
Fig. 101 Elementos mecánicos en losa fondo sección más desfavorable.....	165
Fig. 102 Armado de losa fondo.....	169



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



TABLAS

Tabla 1	Listado de Lumbreras del proyecto	35
Tabla 2	Características del lodo Bentonítico	70
Tabla 3	Tendencia al colapso	71
Tabla 4	Dosificación del lodo Bentonítico	71
Tabla 5	Dosificación para el lodo fraguante	74
Tabla 6	Tipos de cemento (Clasificación)	77
Tabla 7	Cementos con características especiales	77
Tabla 8	Composición de los cementos	77
Tabla 9	Materiales para concreto	80
Tabla 10	Tolerancias en peralte y recubrimiento	84
Tabla 11	Rigideces de resortes	94
Tabla 12	Dimensiones de Trabes	109
Tabla 13	Análisis de cargas	110
Tabla 14	Modelo Geotécnico de la Lumbrera L-8	141



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



INTRODUCCIÓN

Debido a la insuficiente capacidad de drenaje y la emisión de aguas negras (de las que sólo se sanea menos de un 10%) y poca conciencia de ahorro y uso eficiente del líquido; aunado al incremento del hundimiento del subsuelo en el Valle de México que ha tenido lugar en los últimos años, ha ocasionado entre otros problemas, la significativa disminución en la eficiencia del drenaje por gravedad de la cuenca del Valle de México, este fenómeno a la red de drenaje, surgiendo contrapendientes, colapso de algunas estructuras y falta de capacidad de las mismas lo que ha provocado inundaciones, agravándose la situación durante la época de lluvias, lo que da por resultado la inundación periódica de algunas de las partes bajas de la zona metropolitana;

Cabe mencionar que debido a este problema se realizan proyectos ejecutivos los cuales dan solución con la construcción de drenaje profundo el cual considera las lumbreras con el propósito de utilizarlas como elementos estructurales auxiliares en la construcción de túneles, son construidas verticalmente, generalmente de arriba hacia abajo, de forma circular, además con concreto reforzado o simple dependiendo de las características del suelo, permiten tener acceso a instalaciones para labores de mantenimiento, así como proveer de recursos y personal necesario para construcción de un tramo de túnel, asimismo tendrá capacidad estructural para resistir las cargas del suelo, sobrecargas, y sismo en su caso al efectuar una excavación de ciertas dimensiones en suelos arcillosos de baja resistencia al corte y en presencia de aguas freáticas, como es el caso de los suelos en zona de lago en donde surgen serias dificultades de estabilidad, que se agravan en la medida que los parámetros de resistencia y deformabilidad variables del suelo se modifican con el tiempo, de tal suerte que se eviten los dos tipos más comunes de falla en estas estructuras (Falla de fondo y Subpresión).

Uno de los procedimientos constructivo más favorables en este tipo de suelos es el método de lumbrera flotada o método Cravioto, el cual tiene la peculiaridad de un tanque flotado estabilizado con bentonita.

En los primeros capítulos del presente trabajo, se mencionan los antecedentes y la geometría de la lumbrera que se diseña estructuralmente en el capítulo VI; se hace una descripción de cada una de las etapas del procedimiento constructivo de la lumbrera flotada en suelos blandos y se incluyen las especificaciones para los materiales y el equipo que se requiere para la construcción de esta. En la memoria de cálculo de diseño estructural (capítulo VI) se analizaron los elementos que conforman la lumbrera, tomando en cuenta todas las condiciones de diseño requeridas y se modelaron en softwares de diseño estructural.

En el capítulo VII se revisa el estado límite de servicio de la lumbrera, el cual se refiere a la ocurrencia de daños económicos o a la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se ha proyectado la construcción.

En las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables, la revisión del estado límite de desplazamientos se cumplirá si se verifica que no exceden los valores especificados en las Normas



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones sobre criterios y acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, .

Se incluyen anexos de siete planos estructurales de la memoria de cálculo de diseño estructural y uno de procedimiento constructivo de lumbrera flotada por el método Cravioto.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



OBJETIVO

Describir cada una de las etapas de construcción de lumbreras localizadas en suelo blando por el método de Cravioto, y diseñar estructuralmente cada uno de los elementos que la conforman, (Brocales, losa tapa, cuerpo de la lumbrera, tanque flotado y losa fondo) con ayuda de Software de análisis estructural como STAAD Pro. y SAP2000.



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



I.- ANTECEDENTES



I. 1. Condiciones geotécnicas del Valle de México.

El área urbana del valle de México se divide en tres principales zonas geotécnicas: Zona I (Lomas), Zona II (Transición) y zona III (Lago). La figura 1 muestra las tres zonas definidas.

Zona I (Lomas)

Está formada por suelos areno-limosos compactos (tobas), de alta capacidad y baja deformabilidad. Se presentan frecuentemente oquedades en rocas de cavernas. En esta zona se han detectado varios tipos de suelos que se pueden clasificar en seis grupos atendiendo a los problemas de cimentación y se describen a continuación:

- a) Tobas estables ante la acción erosiva del agua
- b) Tobas inestables bajo la acción erosiva del agua
- c) Suelos pumíticos
- d) Rellenos
- e) Suelos de origen eólicos
- f) Roca basáltica

Zona II (Transición)

Aquí los depósitos se encuentran a 20 m de profundidad y está constituida por estratos arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

Zona III (Lago)

Esta zona se caracteriza por los grandes depósitos de arcillas blandas de alta compresibilidad, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales, el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m. De acuerdo con la localización e historia de cargas se ha dividido en tres subzonas, atendiendo a la importancia relativa de dos factores independientes:

- El espesor y las propiedades de la costra superficial
- La consolidación inducida en cada sitio

Lago virgen: Aunque a consecuencia de las acciones del hombre, ya no existen las arcillas tan blandas como las que existieron hace 400 años, resulta razonable identificar como arcillas en condición virgen a las más blandas de lo que ahora es el vaso del ex lago de Texcoco. Sin embargo, como consecuencia del reciente desarrollo de esta zona las sobrecargas en la superficie se han incrementado e intensificado el bombeo profundo.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Lago centro I: Corresponde al sector no colonial de la ciudad el cual se desarrolló a partir de principios de este siglo y ha estado sujeto a sobrecargas generadas por construcciones pequeñas y medianas. Las propiedades mecánicas del suelo en esta zona representan una condición inmediata entre las del lago virgen y las del lago centro.

Lago centro II: Esta subzona está limitada por la antigua traza de la ciudad y en ella la historia de cargas aplicadas en la superficie ha sido muy variable por lo cual se representan las siguientes condiciones extremas: 1) Arcillas fuertemente consolidadas por rellenos y grandes sobrecargas de construcciones; 2) Arcillas blandas, asociadas a lugares que han alojado plazas y jardines durante largos periodos de tiempo, y 3) Arcillas muy blandas en los cruces de antiguos canales.

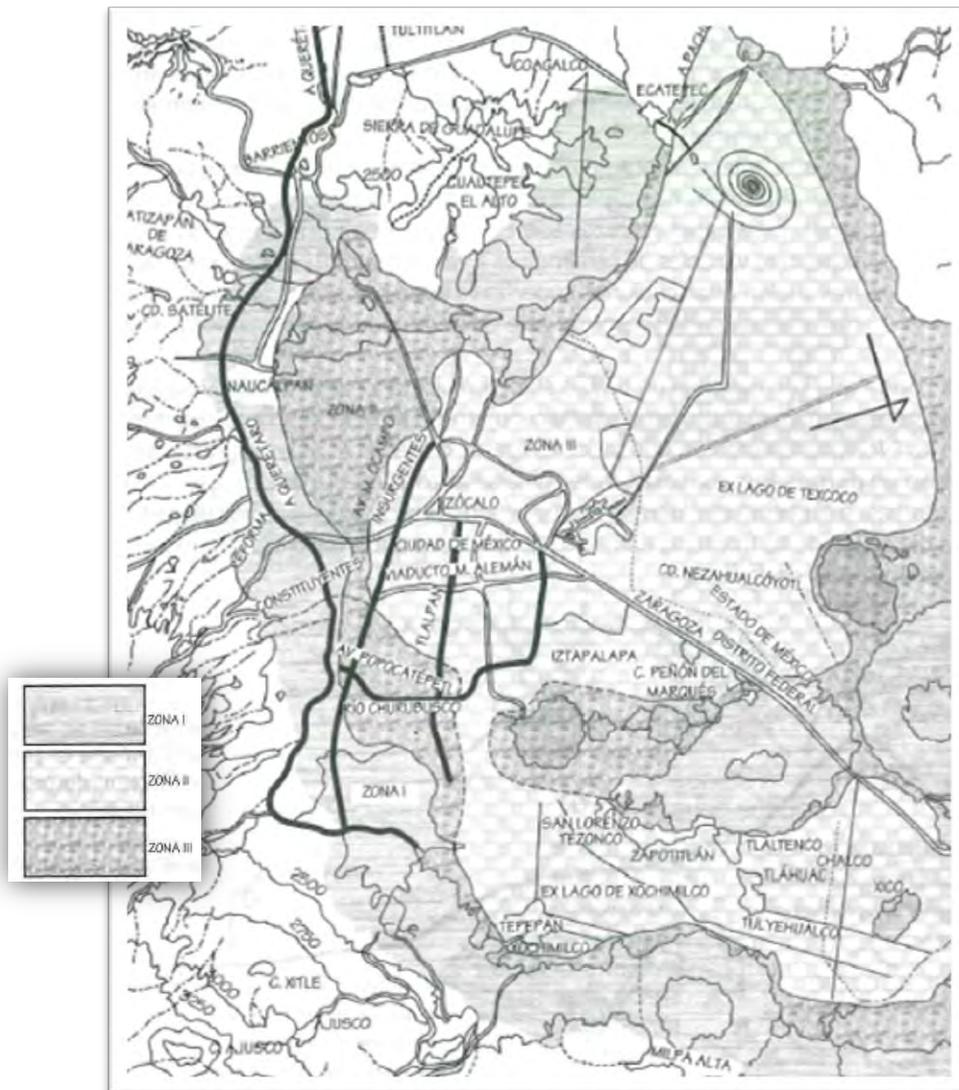


Fig. 1 Zonificación del Valle de México



I. 2. Obras hidráulicas en el Valle de México

Cuenca prehispánica: A la llegada de los españoles, a principios del siglo XVI, se calcula que vivían en la cuenca cerca de un millón de personas, cuyas ciudades tenían pirámides, templos, casas, edificios, acueductos, diques, canales y chinampas. Tenían ya un buen manejo de agua; los lagos tenían diferentes alturas con respecto a otros y en épocas de inundación había que controlar las avenidas.



Fig. 2 Valle de México

Las obras salobres y potables eran otro problema a resolver, lo cual fue logrado con obras como las siguientes:

- Albarradón de Netzahualcóyotl: Alrededor de 1450, el emperador Netzahualcóyotl mandó construir un dique para dividir el lago de Texcoco en dos con el objetivo de separar las aguas salobres de las dulces.
- Acueducto de Chapultepec: En 1466 se construyó el primer acueducto que provenía de agua dulce a Tenochtitlán desde Chapultepec.

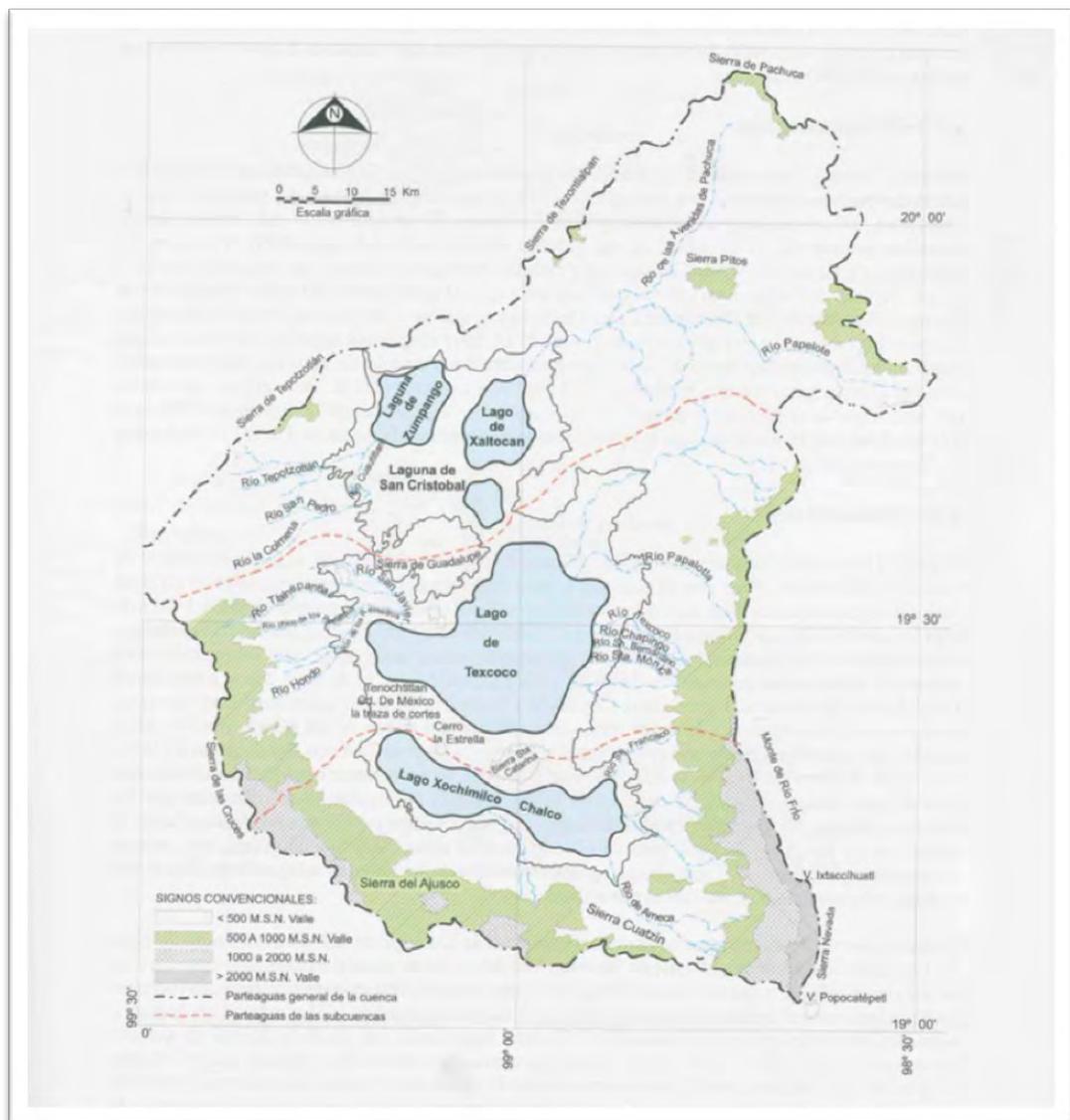


DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

- Se construyó una extensa red Hidráulica con obras como calzadas-dique, acueductos, canales, puertos, ríos canalizados y presas que hicieron posible tanto el poblamiento urbano como la navegación y la práctica de la agricultura chinampera.
- Túnel de Huehuetoca: se construye en 1607 y tiene una longitud de 7 km de largo y 50m de profundidad, que comunicó el lago de Zumpango con el río Tula y lo drenó a través del río Cuautitlán.
- Canal de Guadalupe: se inició 1794 y abriría la cuenca y desecaría el lago de San Cristóbal-Xaltocan.





DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Cuenca moderna: En 500 años, la cuenca del Valle de México cambió 1,100km² de áreas lacustres por 1,400 km² de asfalto y edificaciones siendo uno de los cambios hidrológicos y ambientales más drásticos.

- ❖ Drenaje profundo: este consta de 1,353 km de túneles subterráneos de 5 m de diámetro a 240 m de profundidad.
- ❖ Sistema Lerma: 1942 se iniciaron los procesos para traer agua potable a la ciudad desde la cuenca del río Lerma. Después de usarla se descarga hacia el Golfo de México mediante los ríos Tula, Moctezuma y Pánuco.
- ❖ Sistema Cutzamala: en 1976 se iniciaron las obras para traer agua desde la cuenca del río Cutzamala en el Estado de México. Estas aguas son traídas desde una distancia de 130km y, en algunos puntos, hay que elevar el agua a más de 1000 m de altura.



Fig. 4 Obras de drenaje asociadas al Túnel Emisor Poniente



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, insuficiente capacidad de drenaje, la emisión de aguas negras —de las que sólo se sana menos de un 10%—, y poca conciencia de ahorro y uso eficiente del líquido; aunado al incremento del hundimiento del subsuelo en el Valle de México que ha tenido lugar en los últimos años, ha ocasionado entre otros problemas, la significativa disminución en la eficiencia del drenaje por gravedad de la cuenca del Valle de México, este fenómeno ha perjudicado considerablemente a la red de drenaje, surgiendo contrapendientes, colapso de algunas estructuras y falta de capacidad de las mismas lo que ha provocado inundaciones, agravándose la situación durante la época de lluvias. En las zonas urbanas de nuevo desarrollo, tales como el centro del lago de Texcoco y de los antiguos Lagos de Xochimilco y Chalco, en el sur del valle, el proceso de consolidación está en su primera etapa y la tasa de hundimiento alcanza más de 30 cm por año.

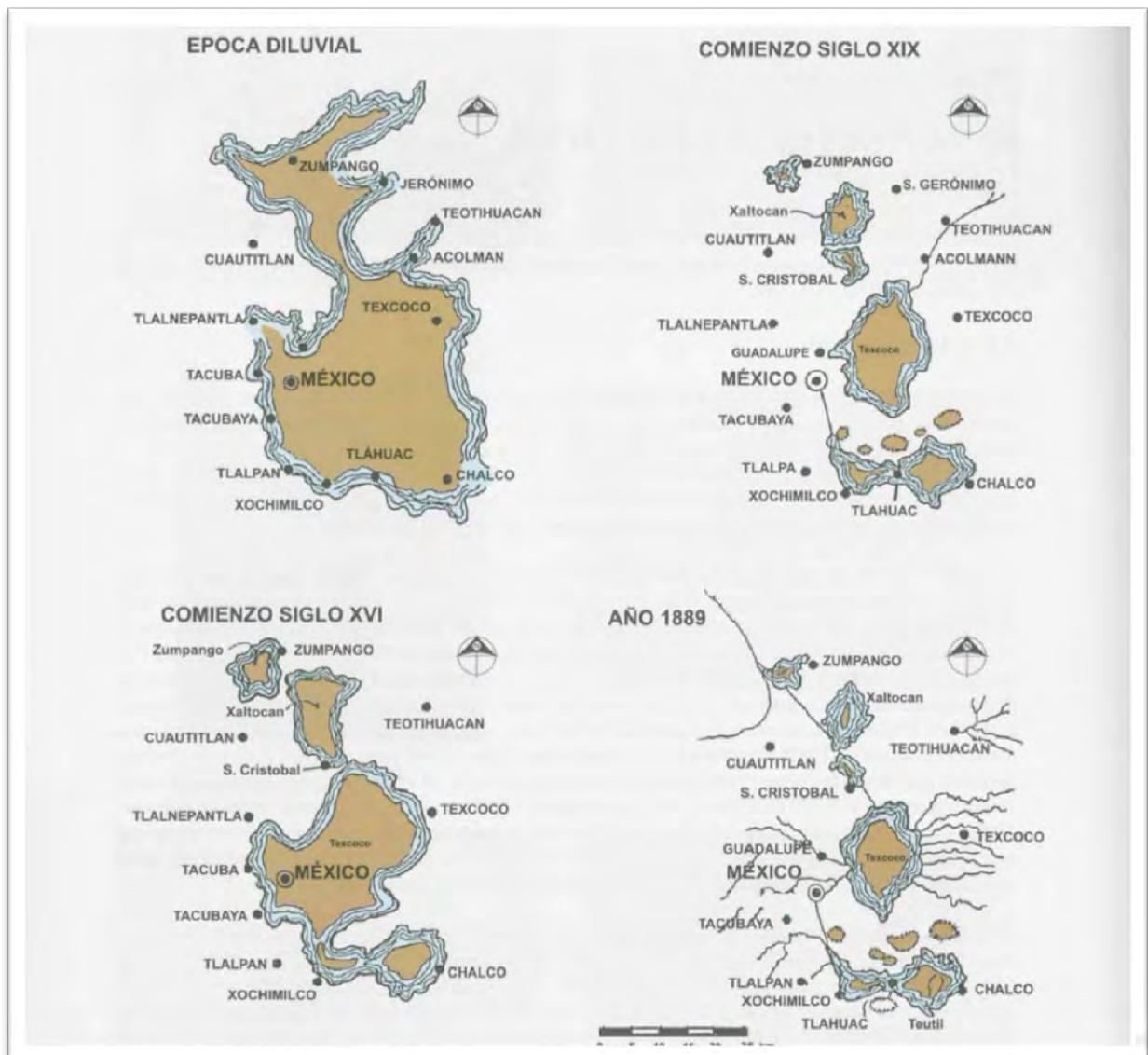


Fig. 5 Evolución de los lagos



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



II.- GENERALIDADES



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Las lumbreras son elementos estructurales auxiliares en la construcción de túneles, estas estructuras son construidas verticalmente, generalmente de arriba hacia abajo de forma circular, además con concreto reforzado o simple dependiendo de las características del suelo, permiten tener acceso a instalaciones para labores de mantenimiento, así como proveer de recursos y personal necesario para construcción de un tramo de túnel, asimismo tendrá capacidad estructural para resistir las cargas del suelo, sobrecargas, y sismo en su caso.

Al efectuar una excavación de ciertas dimensiones en suelos arcillosos de baja resistencia al corte y en presencia de aguas freáticas, como es el caso de los suelos en zona de lago, surgen serias dificultades de estabilidad, que se agravan en la medida que los parámetros de resistencia y deformabilidad variables del suelo se modifican con el tiempo.

Para el caso de construcción de lumbreras en suelos blandos; (típicos del Valle de México, debido a sus orígenes lacustres) con experiencias previas en la construcción de colectores, cárcamos profundos y cimentación de edificios; han permitido estudiar con especial cuidado las condiciones geométricas y mecánicas de la excavación para seleccionar el procedimiento constructivo más adecuado de tal suerte que se eviten los dos tipos más comunes de falla en estas estructuras:

- Falla de fondo
- Subpresión

Los métodos constructivos han de considerar estas posibilidades de falla para aplicar el método más adecuado.

Las técnicas aplicadas usualmente en suelos blandos son:

- Lumbreras con muro Milán
- Lumbreras de Anillos Prefabricados
- Lumbreras Flotadas (Método Cravioto)

II. 1 Procedimientos de construcción de lumbreras en suelos blandos:

II. 1. 1. Muro Milán

El muro Milán es una estructura de concreto armado, colado en sitio (*in situ*). Sirve principalmente como apoyo a las cimentaciones o para contener cortes verticales en excavaciones. Sus aplicaciones en las construcciones como: obras subterráneas y túneles urbanos (Metro), sótanos y cajones de cimentación de edificios, estacionamientos subterráneos, muelles, presas, silos, canales de gran sección y cárcamos de bombeo de gran capacidad.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



La estabilización de las paredes de perforación se logra al utilizar lodos de bentonita o polímeros, material fabricado, regenerado y desarenado en una o varias centrales de lodos de 100 m³ de capacidad. La estanqueidad en las uniones de los paneles se obtiene mediante el sistema de junta CWS® desarrollado y patentado en Francia por su casa matriz, Soletanche-Bachy. Consiste en la utilización de juntas metálicas trapezoidales y juntas de neopreno conocidas como Waterstop. Este tipo de juntas permite reducir costos, tiempos de ejecución y aumentar la calidad del muro Milán.

El colado del muro Milán se realiza con tubería Tremie de acoplamiento rápido y hermético, que consiste en unir los tramos de tubos con un sistema de cable para evitar el uso de cuerdas y coples.

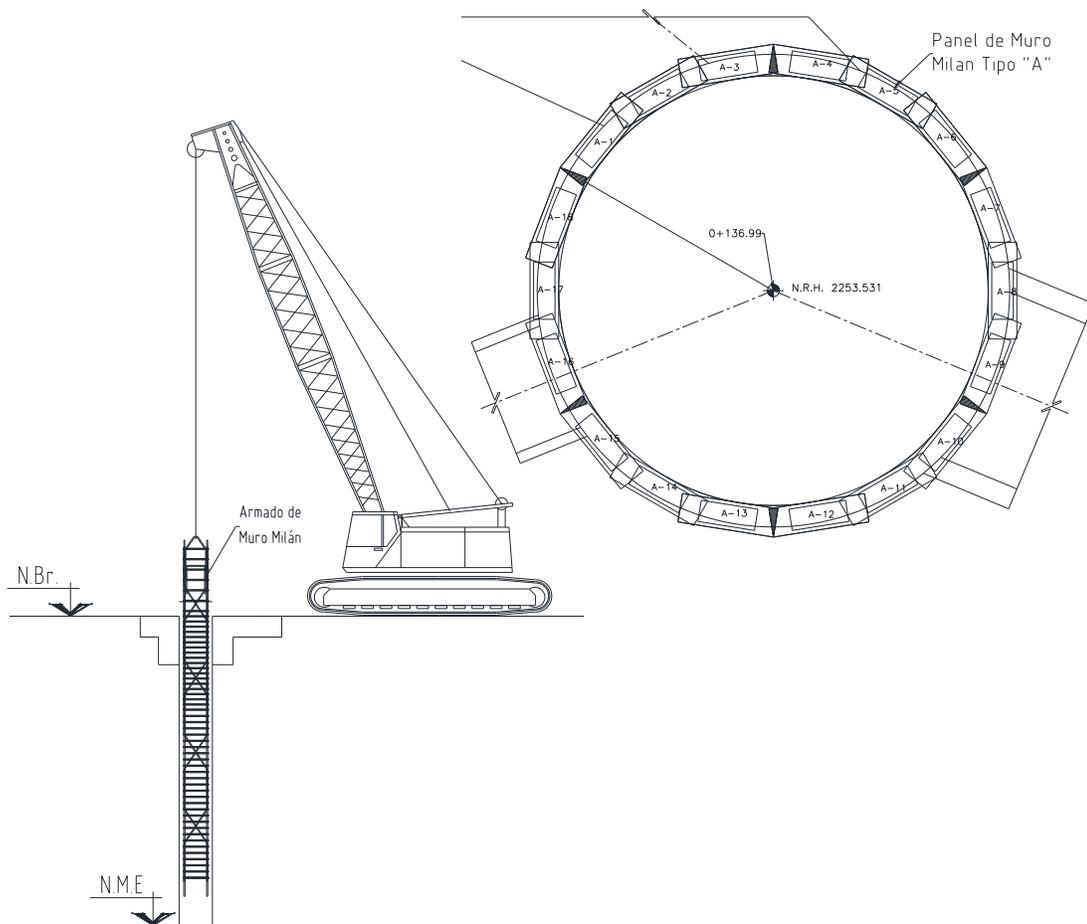


Fig. 6 Colocación del armado para el Muro Milán de la lumbrera



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



II. 1. 2. Anillos prefabricados

En este método en lugar de colocar una pantalla perimetral se van colocando anillos de concreto que al ensamblarse van formando el muro perimetral, el núcleo se va excavando conforme se van colocando los anillos hasta la profundidad de proyecto, concluido el muro se procede a la construcción de las trabes de liga.

El procedimiento constructivo de las lumbreras con anillos prefabricados se ideó para los suelos de muy baja resistencia al esfuerzo cortante, de muy alta compresibilidad, con agua subterránea en condiciones hidrodinámicas como es el subsuelo de la zona de Transición y del Lago del Valle de México. También, es un procedimiento donde se pueden controlar los desplazamientos de suelo para evitar los daños a las estructuras e instalaciones vecinas.

La idea deriva de la metodología de construcción de túneles en suelos blandos que consiste en tres fases:

- Excavación, se estabiliza a muy corto plazo con algún método, por ejemplo aire a presión, lodos bentoníticos, tierra balanceada o algún otro. El propósito de la estabilización a muy corto plazo es evitar el colapso y los desplazamientos excesivos del subsuelo durante el periodo de construcción desde el inicio de la excavación hasta la colocación del ademe primario.
- Durante la estabilización a muy corto plazo se implementa rápidamente el revestimiento primario o temporal que crea un ambiente estable a corto y a mediano plazo, por medio de elementos estructurales prefabricados, que pueden soportar las cargas y los requerimientos de la obra de construcción como son las cargas gravitacionales de suelo, presiones hidráulicas de agua subterránea, cargas debidas a la operación de las máquinas de construcción, y el manejo de los elementos prefabricados; pero todavía no cumple con las condiciones a largo plazo como son la resistencia y otros requerimientos como es la durabilidad, la calidad del concreto, etc.
- La obra definitiva se obtiene con la construcción de un revestimiento definitivo capaz de soportar las cargas y desgastes del servicio a largo plazo según los códigos y las normas preestablecidas como son por ejemplo las normas para las estructuras de ingeniería de medio ambiente, sanitarias, y otras.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

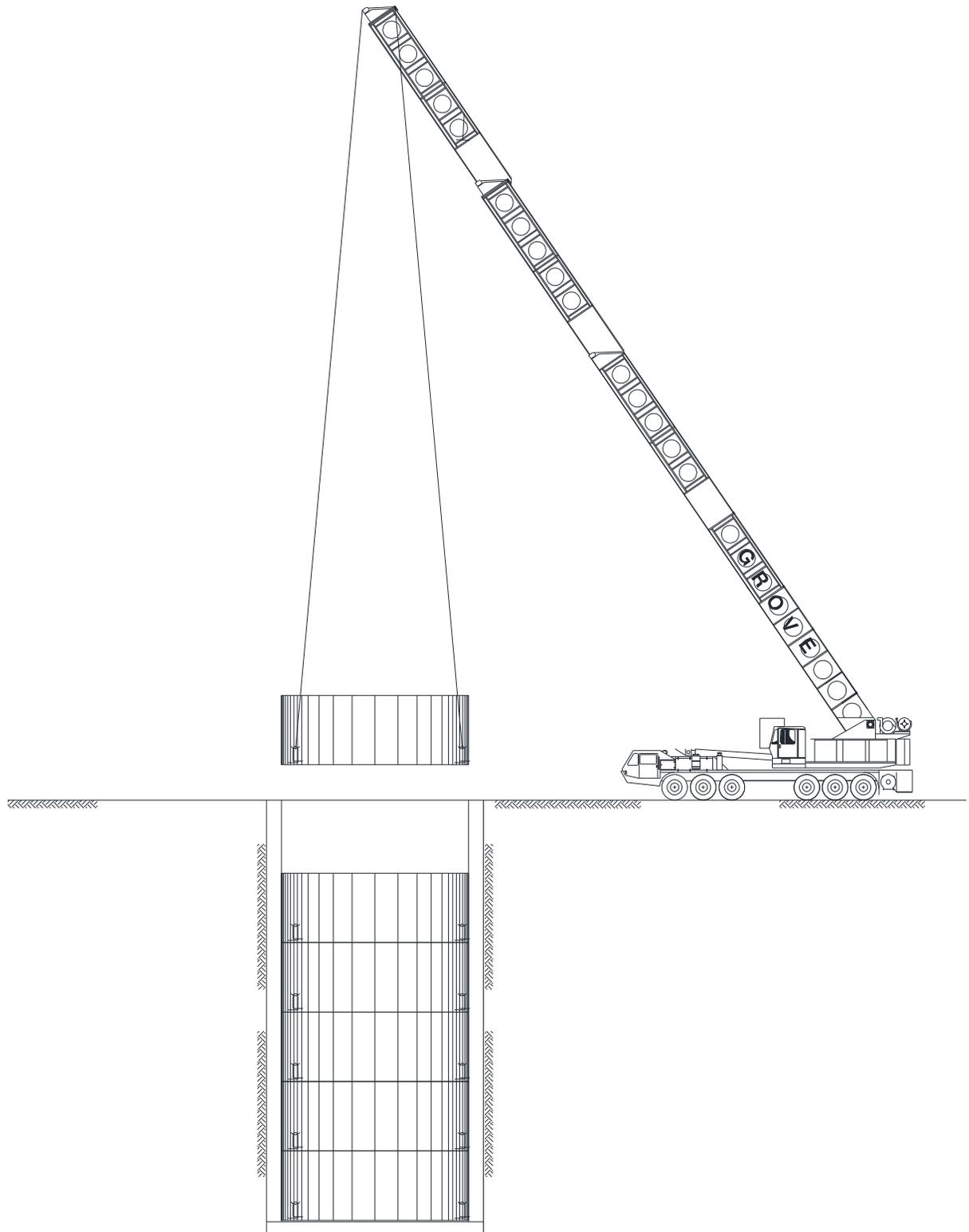


Fig. 7 Lumbreira de anillos prefabricados



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

II. 1. 3. Lumbreira Flotada (Método Cravioto)

El método de lumbreira flotada; Excavado el núcleo y estabilizado con bentonita se procede a colocar el tanque de flotación, sobre el cual se construirá la losa de fondo, conforme se va sumergiendo el tanque se va evacuando el lodo bentonítico de la excavación y por etapas se va colando el muro de la lumbreira hasta alcanzar la profundidad de proyecto. Una vez concluido el muro de la lumbreira se inicia la construcción de las traveses de liga que unirán la estructura de la lumbreira con el brocal exterior definitivo, se inicia la inyección de la zanja perimetral y fondo de la excavación incluyendo el tanque de flotación.

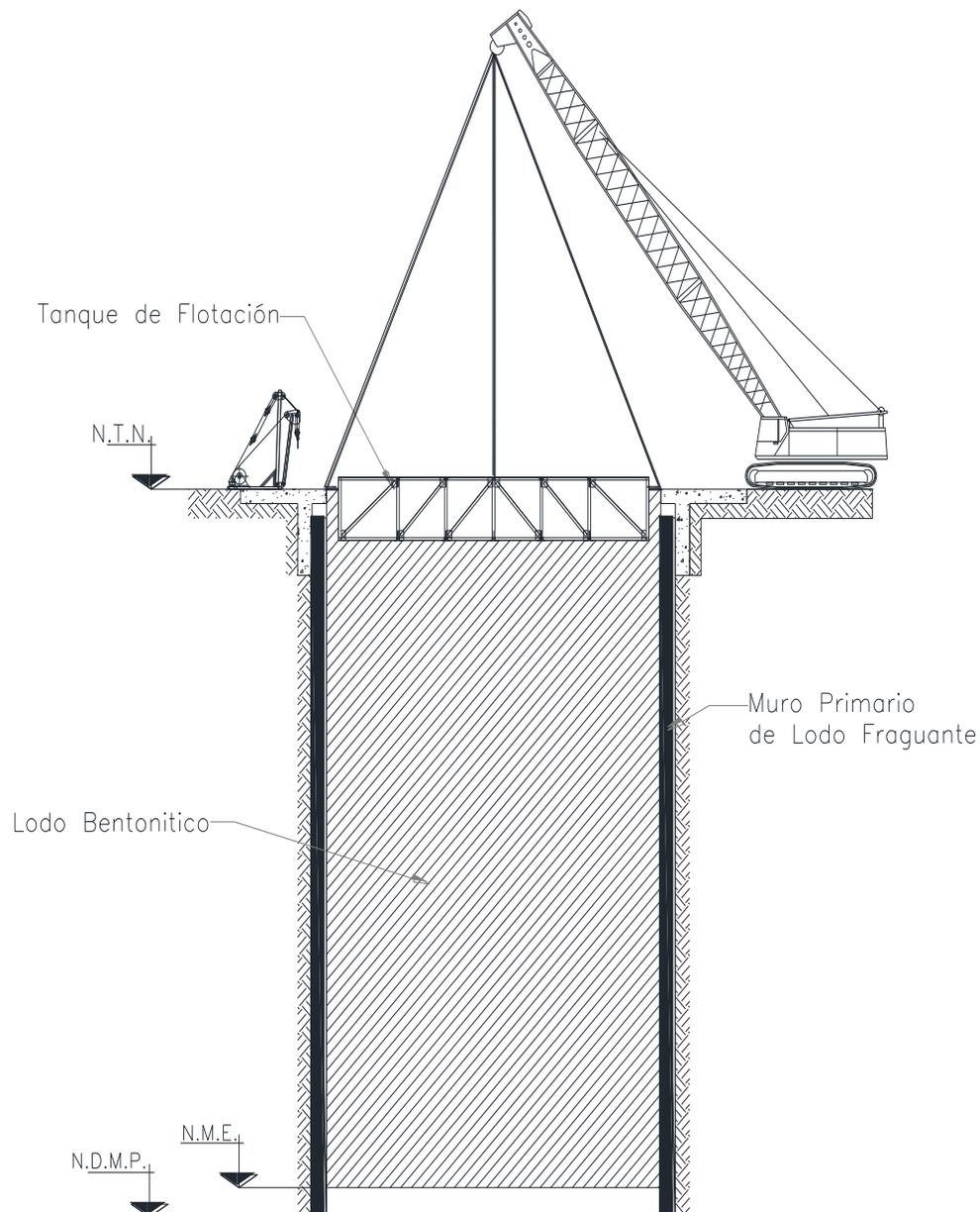


Fig. 8 Lumbreira Flotada



II. 2 Tipos de fallas

II.2.1.-Falla del Núcleo

El núcleo es un cilindro largo de masa de suelo confinado lateralmente por lodo bentonítico. La estabilidad de la masa de suelo bajo su propio peso puede ser calculada por una simple evaluación de esfuerzos cortantes actuando en este sólido.

Una vez realizada la excavación de las zanjas perimetrales utilizando lodo bentonítico como sistema de soporte, ver figura 10, el núcleo central de suelo se encuentra sometido a un estado de esfuerzos horizontales:

$$\sigma_3 = \gamma_L H_L$$

Dónde:

γ_L = peso volumétrico del lodo y

H_L = altura del lodo

La estabilidad del núcleo se verifica comparando el esfuerzo cortante generado al disminuir el esfuerzo horizontal contra la resistencia cortante del suelo en condiciones no drenadas, C_u .

$$\tau = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$$

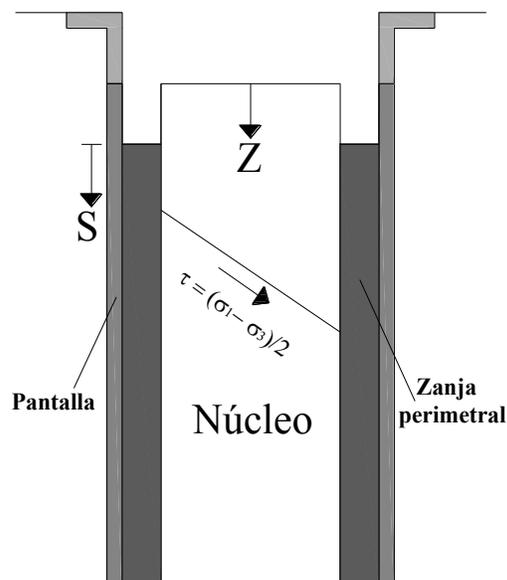


Figura 3.11 Estabilidad del núcleo

Fig. 9 Estabilidad del núcleo

Por lo tanto el factor de seguridad contra la falla del núcleo central del suelo es:

$$FS_N = \frac{C_u}{\tau} = \frac{C_u}{(\sigma_1 - \sigma_3)/2} = \frac{2C_u}{(\gamma * Z - \gamma_L * H_L)}$$

Se debe destacar que cuando el nivel del lodos en la zanja perimetral se abate, el esfuerzo cortante inducido aumenta (el denominador crece) y por ende el factor de seguridad baja.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dónde:

- C_u cohesión, ton/m²
- γ peso volumétrico del suelo, ton/m³
- Z altura de la excavación, m
- γ_L peso volumétrico del lodo bentonítico, ton/m³
- S altura del lodo bentonítico respecto al nivel de brocal, m

II.2.2.-Falla de Fondo

La falla de fondo consiste básicamente en el levantamiento del fondo de la excavación debido a la relajación de esfuerzos que esta misma genera. Este mecanismo se ilustra en la siguiente figura:

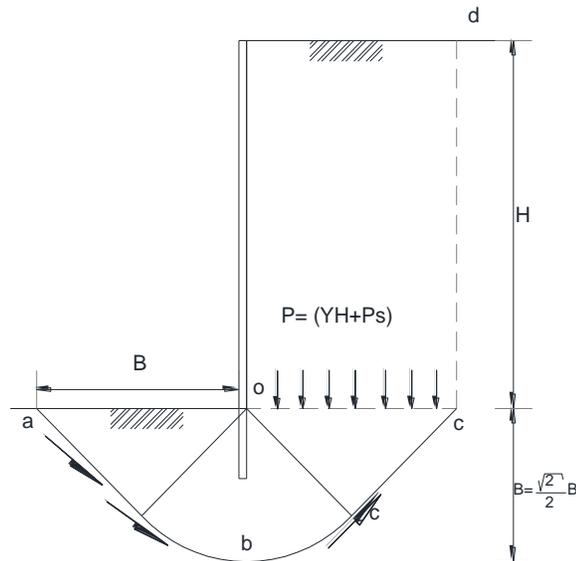


Fig. 10 Mecanismo de falla de fondo

Las condiciones de falla incipiente del fondo de la excavación se tienen cuando:

$$q_c + c N_c = \gamma H + q_s$$

Dónde:

- q_c Carga en el fondo de la excavación, ton/m².
- c Cohesión media de la arcilla, ton/m².
- N_c Factor de capacidad de carga de Skempton, depende de la geometría de la excavación. Ver figura 11.
- q_s Sobrecarga superficial de la excavación, ton/m².
- H Profundidad máxima de excavación
- γ Peso volumétrico del suelo



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

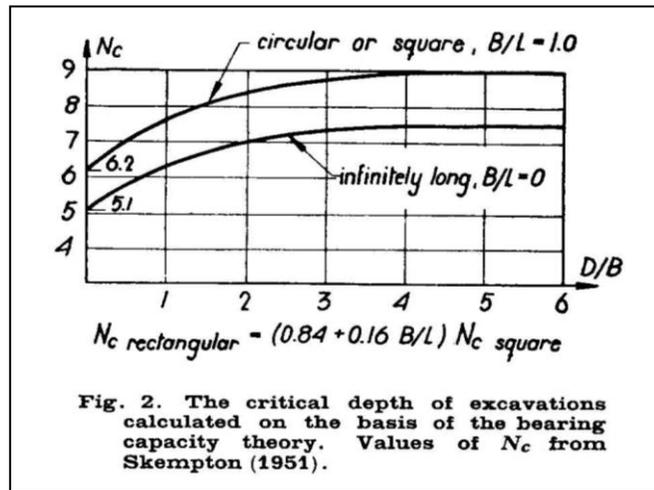


Fig. 11 Factor de capacidad de carga, N_c de Skempton

Se debe verificar que se cumpla con la desigualdad indicada por el RCDF vigente, mediante la siguiente expresión:

$$P_v + q F_c < C_u N_c F_R$$

A la expresión anterior se debe incluir, como aportación a la resistencia contra falla de fondo, el lodo bentonítico, cuyo peso volumétrico es de 1.05 ton/m³.

$$P_v + q F_c < c_u N_c F_R + \lambda_L h_L$$

El factor de seguridad contra falla de fondo se calcula como:

$$F_s = \frac{c N_c + \gamma_{Lodo} h_{Lodo}}{\gamma H + q_s} > 1.5$$

Dónde:

- γ_{Lodo} Peso volumétrico del lodo, propuesto
- h_{Lodo} Altura del lodo bajo el nivel superior del brocal
- H Profundidad máxima de excavación

-Falla de Fondo considerando empotramiento.

$$F_s = \frac{S_u F_s \left(N_c + 2 F_a \frac{H_p}{B} \right) + \gamma_{Lodo} h_{Lodo}}{\gamma H + q_s} > 1.5$$



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

$$N_c = 5.14 \left(1 + 0.2 \frac{H + H_p}{B} \right) \left(1 + 0.2 \frac{B}{L} \right)$$

Dónde:

- s_u resistencia no drenada promedio del suelo por debajo de la lumbrera, ton/m²
- γ_L peso volumétrico del lodo bentonítico, ton/m³
- H_L altura del lodo bentonítico respecto al nivel de brocal, m
- γ peso volumétrico del suelo, ton/m³
- H altura de la excavación, m
- q_s sobre-carga en la superficie, ton/m²
- Fa y Fs Factor de corrección, adimensional
- N_c factor de forma, adimensional

II.2.3.-Falla de Fondo por Subpresión

Tomando en cuenta la posición del nivel freático, la profundidad del estrato permeable, así como el peso del bloque de suelo bajo el fondo de la excavación, la falla contra subpresión se determinará como se indica a continuación:

- a) Sin considerar la fuerza resistente del bloque del suelo bajo el fondo de la excavación:

$$F_s = \frac{\gamma_L h_L + \gamma_s h_1}{\gamma_w h_w}$$

- γ_L peso volumétrico del lodo bentonítico, ton/m³
- h_L altura del lodo bentonítico respecto al nivel de brocal, m
- γ_s peso volumétrico del suelo, ton/m³
- h_1 altura del prisma de suelo bajo el NME hasta el estrato drenante, m
- γ_w peso volumétrico del agua, ton/m³
- h_w altura de la columna de agua hasta el estrato drenante, m

- b) Tomando en consideración la fuerza resistente del bloque del suelo bajo el fondo de la excavación:

$$F_s = \frac{\gamma_L h_L a_t + \gamma_s h_1 a_t + c a_L}{\gamma_w h_w a_t}$$

Dónde:



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



a_t : área transversal de la excavación

a_l : área lateral de la excavación

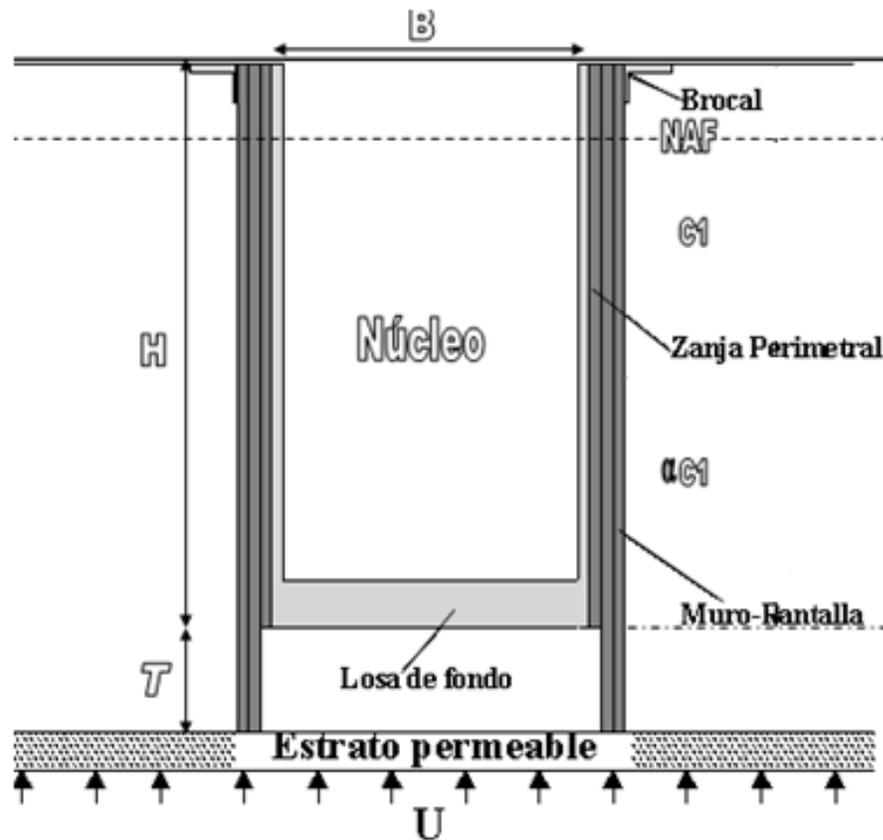


Fig. 12 Estabilidad del fondo por subpresión y flotación



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



III.- GEOMETRÍA DE LA LUMBRERA L-8



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

El Proyecto se ha ideado como una medida adicional para contrarrestar las inundaciones en la cuenca del Valle de México. La zona de estudio está ubicada en la zona nororiente del Distrito Federal, en la fracción del municipio de Nezahualcóyotl adyacente a la delegación Venustiano Carranza. El trazo del Túnel inicia sobre Av. Bordo de Xochiaca, continua hacia el norponiente hasta entroncarse con el Periférico Oriente a un costado del parque Alameda Oriente y continúa su recorrido bajo Periférico Oriente hacia el noreste hasta descargar en la Lumbra 5 del Túnel Interceptor Río de los Remedios.

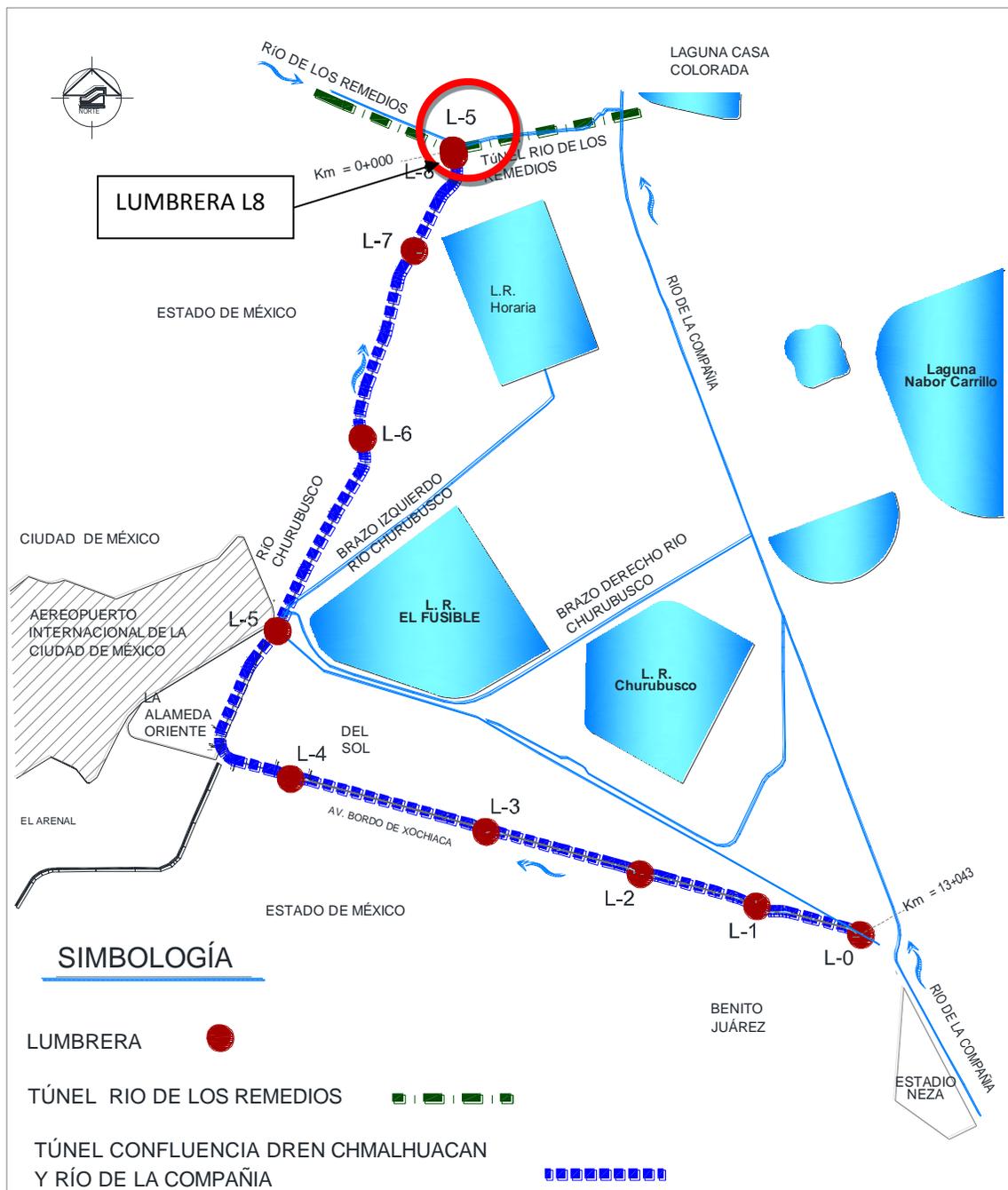


Fig. 13 Localización de la Lumbra L-8



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



La lumbrera L8 es parte un proyecto para el funcionamiento hidráulico del sistema de desalojo de los excedentes sanitarios y pluviales el cual se basa en la necesidad de coadyuvar a minimizar el riesgo de inundaciones y encharcamientos en las zona aledañas.



Fig. 14 Sistema de drenaje del oriente y centro del valle de México



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



III. 1. Ubicación Geotécnica de la Estructura.

Zona III (Lago): Esta zona se caracteriza por los grandes depósitos de arcillas blandas de alta compresibilidad, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales, el espesor de este conjunto puede ser superior a 50m.

El análisis sísmico debe ser considerado como prioritario en las zonas de transición y de lago (zonas II y III) respectivamente, ya que en dichas zonas la respuesta de terreno es desfavorable para el comportamiento de las estructuras.

La estratigrafía presenta arcillas y arenas con limos arenosos a una profundidad de 30 m. Los pesos volumétricos van desde 1.24 t/m³ a 1.58 t/m³ de acuerdo a la profundidad.

Profundidad (m) de a		Esp (m)	DESCRIPCIÓN	Perfil
0.00	4.60	4.60	Material de relleno, conformado por gravas y tezontle; empacadas en una matriz de arcilla de consistencia dura y alta plasticidad.	
4.60	16.80	12.20	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varía de muy blanda a blanda, presenta limo y un lente de arcilla con arena y gravas.	
16.80	27.80	11.00	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varía de muy blanda a blanda, presenta algunos grumos aislados, con poca arena fina	
27.80	30.00	2.20	Arcilla de alta plasticidad y consistencia muy blanda.	
30.00	30.60	0.60	Lente de arcilla con arena	
30.60	38.00	7.40	Arcilla de alta plasticidad y consistencia muy blanda, presenta grumos aislados.	
38.00	40.00	2.00	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varía de muy blanda a media, presenta grumos.	
40.00	44.80	4.80	Intercalación de arcilla de alta plasticidad y consistencia blanda con arcilla de alta plasticidad y consistencia dura, presenta grumos y ceniza volcánica.	

Fig. 15 Perfil estratigráfico del suelo donde se ubicará la lumbrera



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

III. 2. Datos de lumbrera

Lista de las dimensiones de cada una de las lumbreras flotadas a construir en el proyecto.

LUMBRERA	CADENAMIENTO	COORDENADAS			N.R.H. (m)	DIÁMETRO (m)	PROFUNDIDAD (m)
		X	Y	Z			
L-8	0+073.939	496,810.00	2,154,370.75	2,225.027	2,201.930	12.0	23.09
L-7	0+806.417	496,565.00	2,153,700.00	2,226.343	2,202.516	12.0	23.82
L-6	3+042.522	495,909.00	2,151,600.00	2,225.222	2,204.305	12.0	20.91
L-5	5+158.832	495,070.00	2,149,700.00	2,225.290	2,205.998	12.0	19.29
L-4	7+234.683	495,200.00	2,148,240.00	2,225.906	2,207.659	12.0	18.24
L-3	9+240.045	497,129.00	2,147,717.00	2,226.713	2,209.263	12.0	17.45
L-2	10+822.349	498,650.00	2,147,300.00	2,228.124	2,210.529	12.0	17.59
L-1	12+019.393	499,800.00	2,146,983.00	2,228.151	2,211.487	12.0	16.66
L-0	13+088.683	500,825.00	2,146,700.00	2,228.453	2,212.342	12.0	16.11

Tabla 1 Listado de Lumbreras del proyecto

Los muros de la lumbrera L-8 se construirán con la técnica de Lumbrera flotada; su base está constituida por losa de fondo y tanque de flotación, y en la parte superior tendrá una trabe de liga.

La Lumbrera L-8 tendrá un diámetro interior de 12.00 m., profundidad de 23.09 m y un tanque flotado de 2.20 m de altura colocados bajo esta, que tiene como función ser la cimentación con diámetros de 13 m, enterrado a una profundidad 30.22 m del nivel de terreno, esto comprende un diseño de armaduras en los dos sentidos de acero, forrado con placas de 6 mm en el perímetro y en la parte superior, dando así una cámara de aire en contacto con el terreno. Tendrá dos aberturas circulares de 6.20 m para la conexión, una que viene de la lumbrera L7 y la otra que va a la lumbrera L5 (existente).

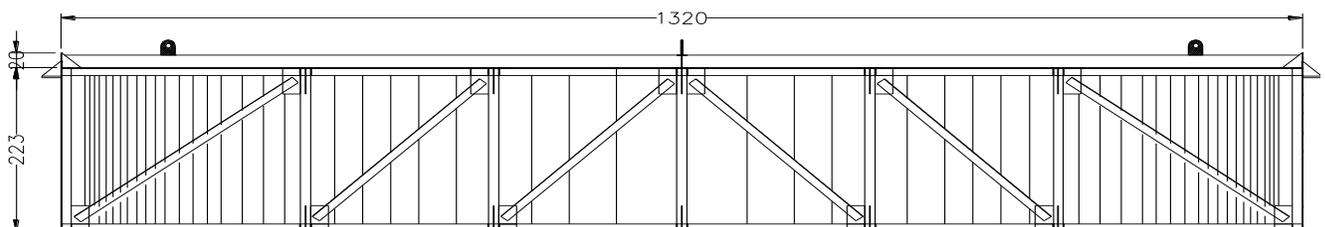


Fig. 16 Tanque de flotación



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

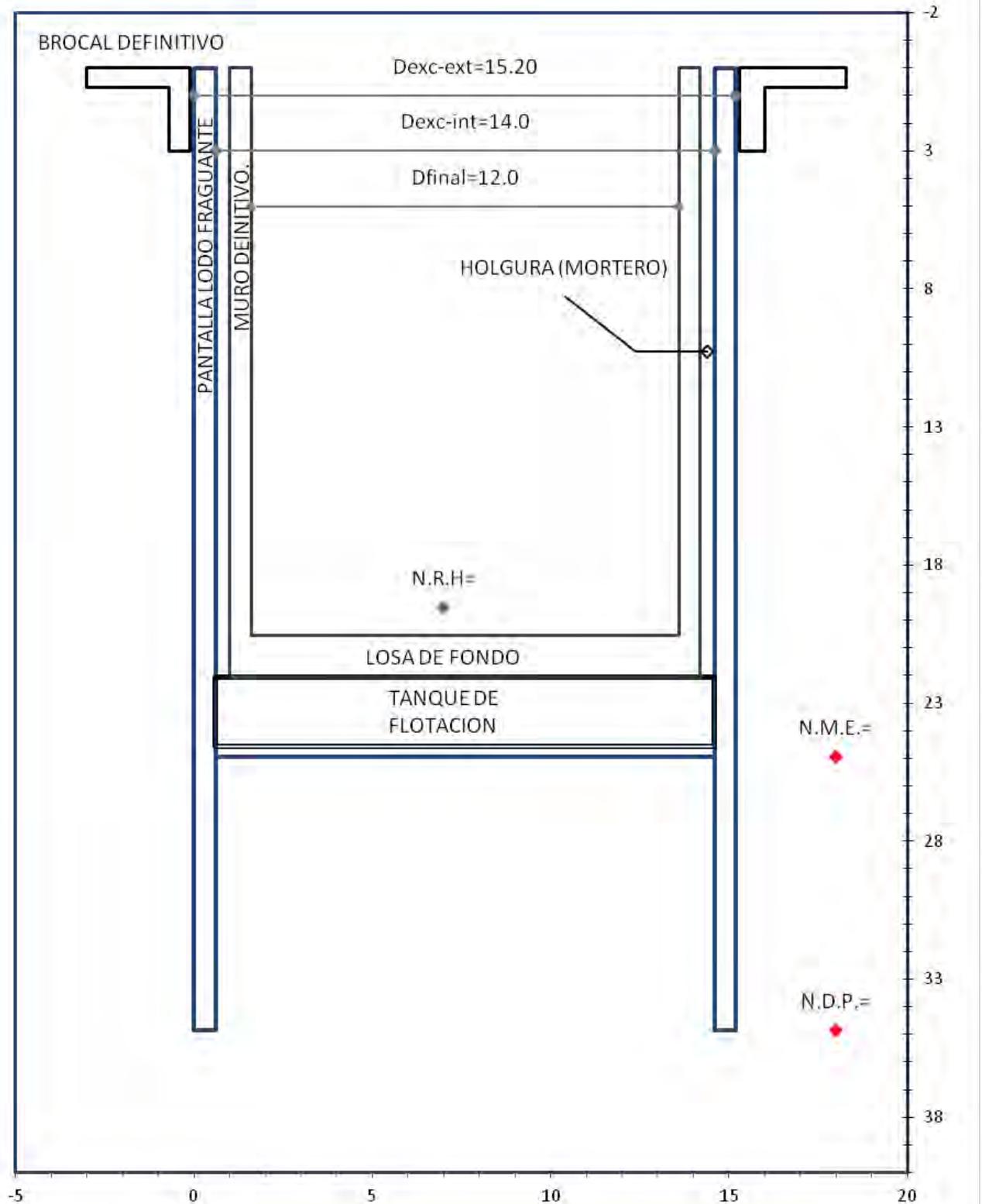


Fig. 17 Esquema tipo (geometría de la excavación)



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

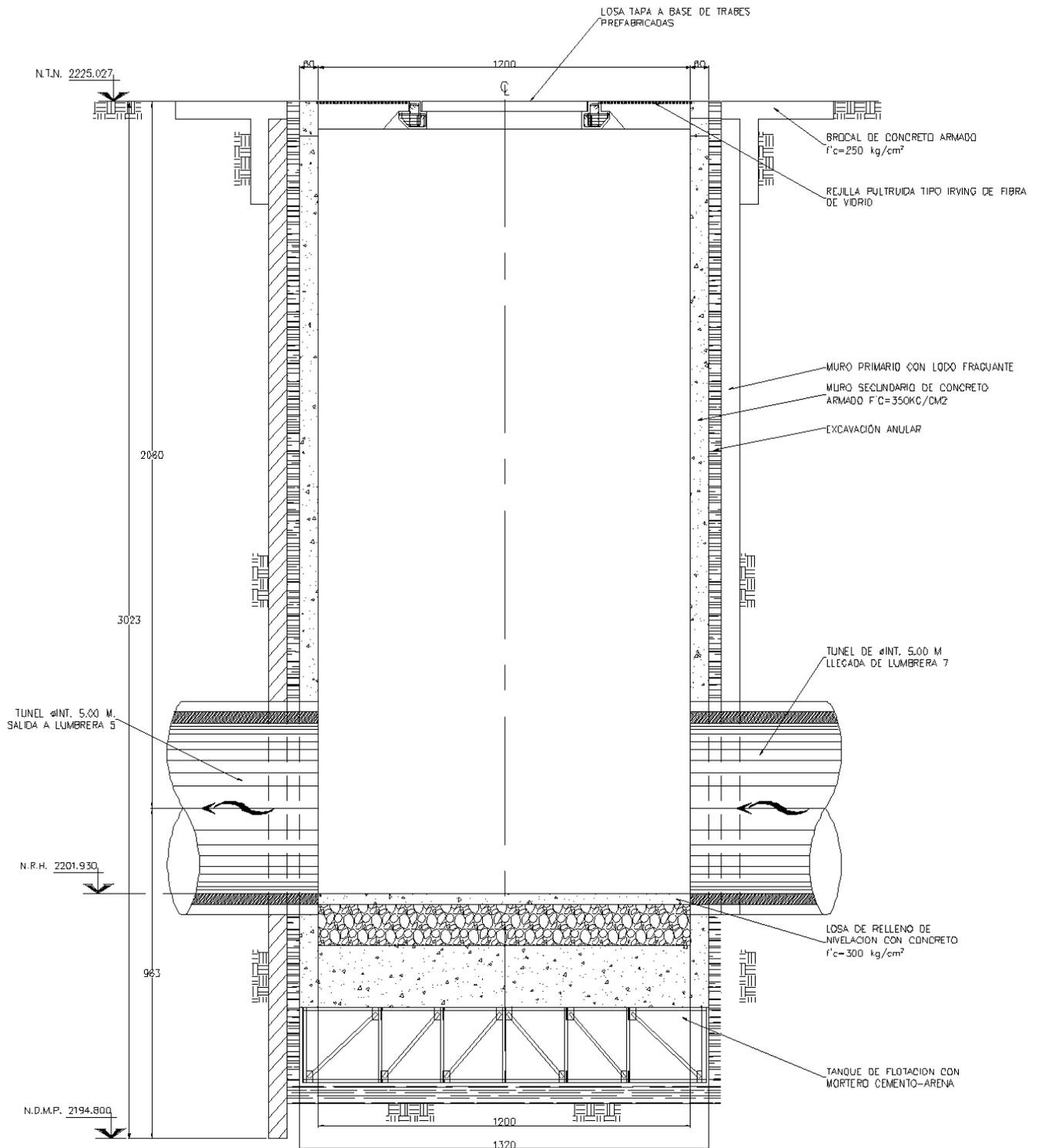


Fig. 18 Geometría de la lumbreira L-8



III. 3. Clasificación de la Estructura

De conformidad con el artículo 139 fracción II del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004 y atendiendo a las características que presenta LUMBRERA L-8, se clasifica como estructura del grupo “A”.

GRUPO A: 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, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios ⁷.

Zonificación sísmica.

La zona de estudio se ubica en la zona IIIId, según lo establecido en las NTC-DF 2004, esta zona se caracteriza por periodos de vibración de entre 4 y 4.5 segundos.

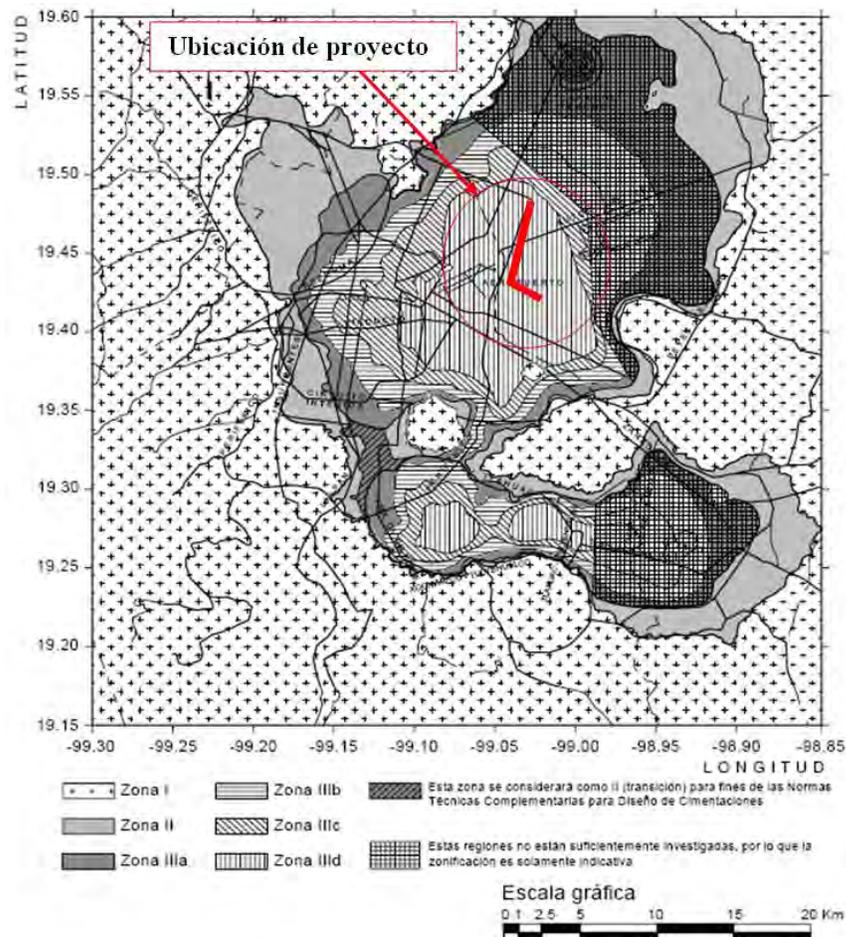


Fig. 19 Zonificación sísmica de la zona de estudio



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**IV.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LA LUMBRERA FLOTADA**



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

El Procedimiento de Construcción de Lumbreras por Flotación, es una técnica ideada a finales de los años 60's por los ingenieros Jorge Cravioto y Abel Villareal quienes patentaron el método, ante la urgente necesidad de construir lumbreras en las zonas lacustres de la Ciudad de México, el cual ha permitido construir, con seguridad y eficiencia, más de 20 lumbreras en las arcillas blandas de la Ciudad de México.

Las dimensiones máximas han sido de 19 metros, en diámetro, y 30 metros, en profundidad; y los lapsos constructivos han variado entre 4 y 6 meses. Pueden considerarse tres características principales que distinguen al procedimiento constructivo de lumbreras flotadas, las cuales representan las partes esenciales que proporcionan las ventajas de estabilidad, seguridad y calidad para la construcción de lumbreras en suelos blandos:

- a) *Ademe permanente del suelo excavado*: Simultáneamente a la excavación de zanja y núcleo, el volumen excavado se sustituye por lodo bentonítico, por lo que las paredes de suelo cortado siempre reciben el soporte a través del empuje hidrostático del lodo colocado.

Esta condición representa alta seguridad para la estabilidad del suelo durante la construcción, hasta que la estructura de la lumbrera queda confinada perimetralmente en contacto con el suelo que es cuando se elimina el riesgo de falla del suelo a consecuencia de la excavación.

- b) *Construcción de la estructura de concreto*: Todas las actividades para la construcción de la estructura de concreto de la lumbrera se realizan a la vista del personal que interviene en la obra, como operarios, técnicos y supervisores; además, las actividades se efectúan a nivel de la superficie del suelo, no teniendo el inconveniente de realizar la construcción dentro de la excavación y oculta bajo lodo.

Esto posibilita que cada actividad del proceso, como armado, cimbrado, colado, descimbrado, curado, se efectúe con la calidad que disponen las especificaciones de construcción al ser un proceso visible y controlable por la facilidad de acceso, como en el caso de la construcción convencional de edificación, con los beneficios en uniformidad de la geometría de la estructura, buena aplicación del armado y el concreto y buen acabado de las superficies.

- c) *Sustentación de la estructura por efecto de flotación en el lodo de ademe*: De esta característica toma su nombre el método. Durante todo el proceso de construcción, la estructura se mantiene siempre en flotación a manera de una embarcación que va creciendo en altura pero que no pierde su condición de flotación estable. Debido a ello, el equipo periférico utilizado en el procedimiento como son vigas radiales de atraque y plumas metálicas con malacates, tienen la función de controlar la posición de la lumbrera y de contribuir en la conducción durante las inmersiones. Cada etapa de construcción de la lumbrera se analiza para obtener el equilibrio entre el peso de la estructura y el empuje del lodo; este análisis se efectúa en principio en la



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

etapa de proyecto de la lumbrera para efectos de planeación, pero indispensablemente, se retoma en la obra para cada una de las inmersiones de acuerdo a la conveniencia de la construcción en cuanto a las dimensiones de muros y losa de fondo.

La construcción de la estructura de la lumbrera se inicia sobre un tanque metálico de flotación capaz de resistir el diferencial de empuje por subpresión en el fondo en las primeras etapas de construcción, lo que significa que la losa de la lumbrera no trabaja estructuralmente en esas primeras etapas, sino hasta alcanzar resistencia suficiente para desarrollar su trabajo a flexión. Para las primeras inmersiones de la lumbrera, el empuje horizontal perimetral a la estructura es de baja magnitud, por lo que los esfuerzos inducidos al muro son también bajos y son soportados adecuadamente por el concreto.

Este efecto sobre el muro, aunque mínimo como se ha dicho, se elimina cuando se utiliza la variante de tanque invertido, ya que en este caso, el faldón del tanque se comporta como elemento estructural capaz de resistir empujes aún mayores a los ejercidos, hasta que el concreto adquiere resistencia estructural.

Para este método se inicia con los trabajos preliminares de trazo y nivelación, así como los de despalle, se continuará con la colocación de material de mejoramiento del terreno natural a base de 30 cm de tezontle y 20 cm de tepetate en la zona de trabajo para mejor apoyo de la maquinaria que servirá para la construcción de la lumbrera L-8, compactado al 90% de su PVSM, la colocación del material se realizará mediante máquina retroexcavadora CAT 416E o similar, la construcción de brocales, excavación del Muro Primario y colado del mismo, además de una excavación anular auxiliar en la excavación del núcleo de la lumbrera y estabilizado con bentonita se procede a colocar el tanque de flotación, sobre el cual se construirá la losa de fondo, conforme se va sumergiendo el tanque se va evacuando el lodo bentonítico de la excavación y por etapas se va colando el muro de la lumbrera hasta alcanzar la profundidad de proyecto.

Una vez concluido el muro de la lumbrera se inicia la construcción de las traveses de liga que unirán la estructura de la lumbrera con el brocal exterior definitivo, se inicia la inyección de la zanja anular y fondo de la excavación incluyendo el tanque de flotación.

A continuación se presenta de manera cronológica la secuencia constructiva que deberá cumplirse para la excavación, armado, colado e inmersión de una lumbrera flotada.

1. Construcción de brocales para muro primario
2. Excavación de muro primario con lodo bentonítico
3. Colado de muro primario de lodo fraguante
4. Demolición, retiro de brocal interior y construcción de brocal exterior definitivo
5. Excavación de zanja anular
6. Excavación del núcleo de la Lumbrera
7. Posicionamiento del tanque de flotación



8. Etapas de colado e inmersión
9. Colado de trabe de liga
10. Inyección anular y relleno a base de mortero del tanque flotado

IV. 1. Construcción de brocales

La construcción de los brocales temporales, exterior e interior, servirán como guías para lograr la geometría de la pantalla de lodo fraguante, además sirven para reforzar y evitar caídos en las paredes de la excavación en la superficie de la zanja, siguiendo el trazo de un polígono regular de n lados.

El proceso inicia con la excavación en forma manual o con una mini excavadora. Durante el perfilado de paredes se debe cuidar las aristas de la poligonal, para lograr los espesores proyectados, de lo contrario se tendrán volúmenes adicionales de concreto fuera de proyecto. En lo sucesivo se habilita e instala el acero de refuerzo, la cimbra de contacto hecha de madera, y se ejecuta el colado del brocal temporal.

Las cargas consideradas en el diseño de los brocales de la Lumbrera son las siguientes:

- Empuje horizontal del equipo (E_s)
- Peso propio del brocal
- Peso del equipo sobre el brocal

No se consideran solicitaciones sísmicas, teniendo en cuenta que se trata de elementos estructurales temporales cuya vida útil será de un par de meses, por tanto, la probabilidad de simultaneidad de ocurrencia del sismo de diseño con la construcción de la lumbrera es remota.

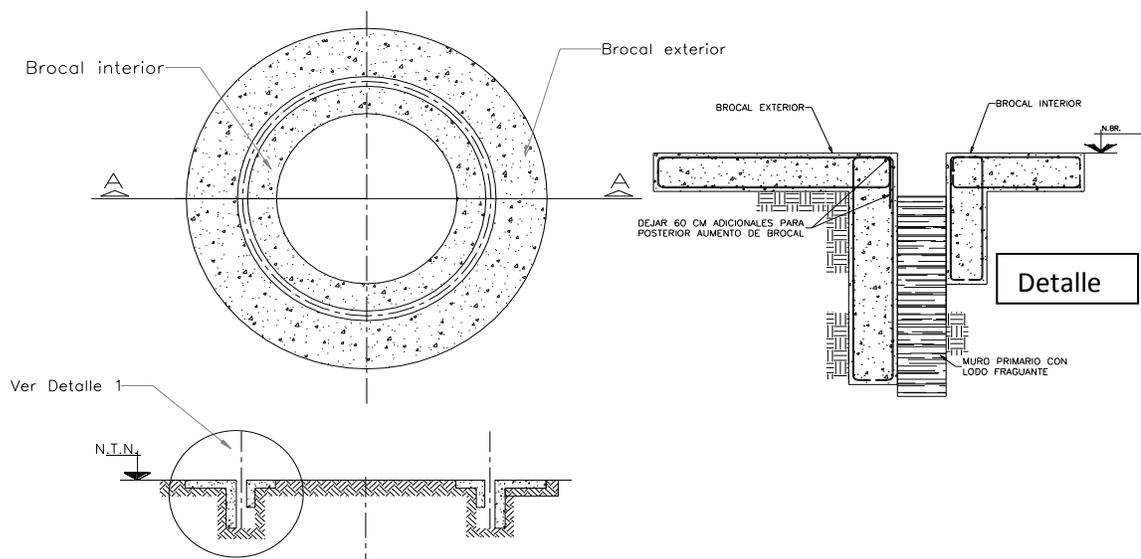


Fig. 20 Etapa 1



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Fig. 21 Armado de brocal exterior.



Fig. 22 Brocales terminados para excavación de muro primario



IV. 2. Excavación de Muro Primario con lodo bentonítico

Antes de iniciar la primera excavación guiada, se deberá contar con el lodo bentonítico previamente fabricado con un peso volumétrico de 1.05 t/m^3 mínimo, para su hidratación, se deberá contar con el equipo de carga y acarreo al sitio de tiro oficial del producto de la excavación.

La producción del lodo bentonítico para la estabilización de los tableros que conformarán la pantalla, se deberá realizar en la planta para lodos instalada en el sitio de obra, una vez fabricado e hidratado el lodo bentonítico, la mezcla de los materiales se producirá en el sistema de dosificación y mezclado, para finalmente ser bombeada hacia la zanja durante el proceso de excavación.



Fig. 23 Planta para lodo Bentonítico

Los tableros a excavar se enumerarán de 1 a n, y su construcción se ejecutará en forma alternada, iniciando la excavación con los tableros de número par. Inmediatamente al primer corte de la zanja, se verterá el lodo de ademe para la excavación, manteniendo los niveles de ademe no mayor a 1.0 m respecto al nivel superior del brocal.

El arranque y la secuencia en la excavación del Muro Primario, consistirá en la ejecución por delante de tres o más tableros pares (esto dependerá de la velocidad de construcción, que a su vez está en función directa de la profundidad de los tableros) y posteriormente se procederán a ejecutar los tableros intermedios (impares).



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Deberán colocarse perimetralmente a la zanja entre ambos brocales, viguetas que servirán como troqueles para evitar que el brocal interior sufra algún desplazamiento y se colapse, cerrando la zanja e impidiendo continuar en algunas zonas esta parte importante del procedimiento constructivo.

La profundidad de la excavación de los tableros con la almeja guiada será de 0.60 m más profundo que la de proyecto. Al concluir la excavación de cada tablero se deberá de extraer el posible azolve del fondo, antes de que inicie el proceso de fraguado inicial de la mezcla, esto se ejecutará con la propia almeja guiada. De esta manera deberá continuarse con la excavación de cada tablero, hasta finalizar la excavación del muro primario completo.



Fig. 24 Excavación Muro Primario



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

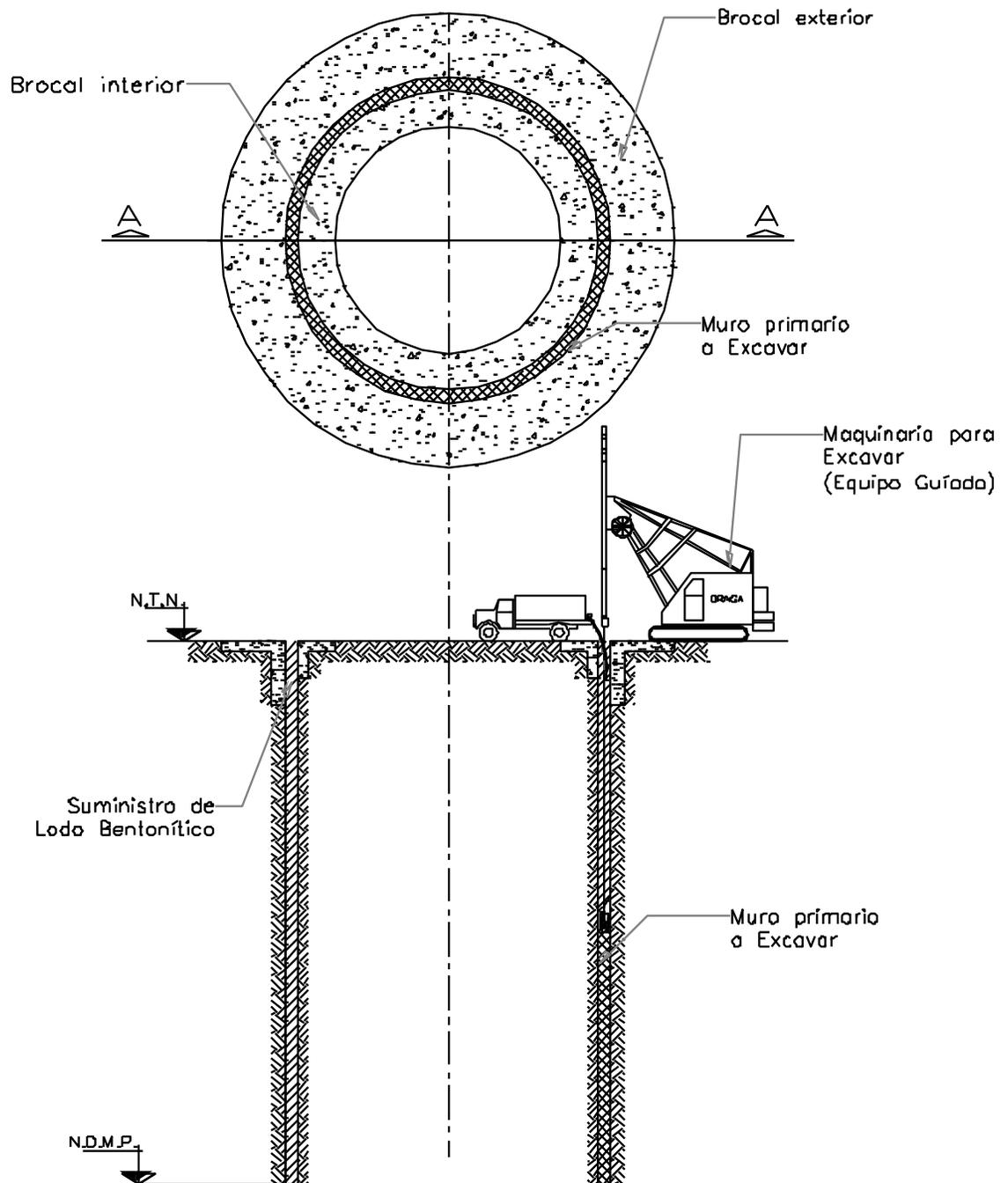


Fig. 25 Etapa 2



IV. 3. Colado del Muro Primario con lodo fraguante

Para el colado de la pantalla se procederá a la introducción de una tubería Tremie en tramos de 3.00 m de largo y un diámetro de 20 cm con coples roscados. En el tramo que sobresale en la superficie, se colocará una tolva que deberá quedar suspendida en una estructura metálica denominada trampa. La boca de la tolva deberá quedar a una altura conveniente para que se pueda descargar directamente el colado. El extremo inferior del tubo, o boca de descarga, deberá quedar apoyado en el fondo de la zanja antes de iniciar el colado.

La boca de descarga del tubo siempre deberá quedar ahogada 1.50 m en lodo fraguante que se estuvo colando. A medida que el lodo fraguante fluya se agregará más a la tolva, manteniendo la columna a una altura conveniente para regular la rapidez del flujo y de esta forma, el lodo bentonítico de la zanja se desbordará hacia la superficie por la diferencia de densidades.

El control del volumen de lodo fraguante colocado contra el volumen geométrico del tablero se deberá monitorear constantemente. El lodo fraguante deberá tener una resistencia a la compresión simple de 15 kg/cm² a los 28 días.



Fig. 26 Muro Primario con lodo fraguante



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

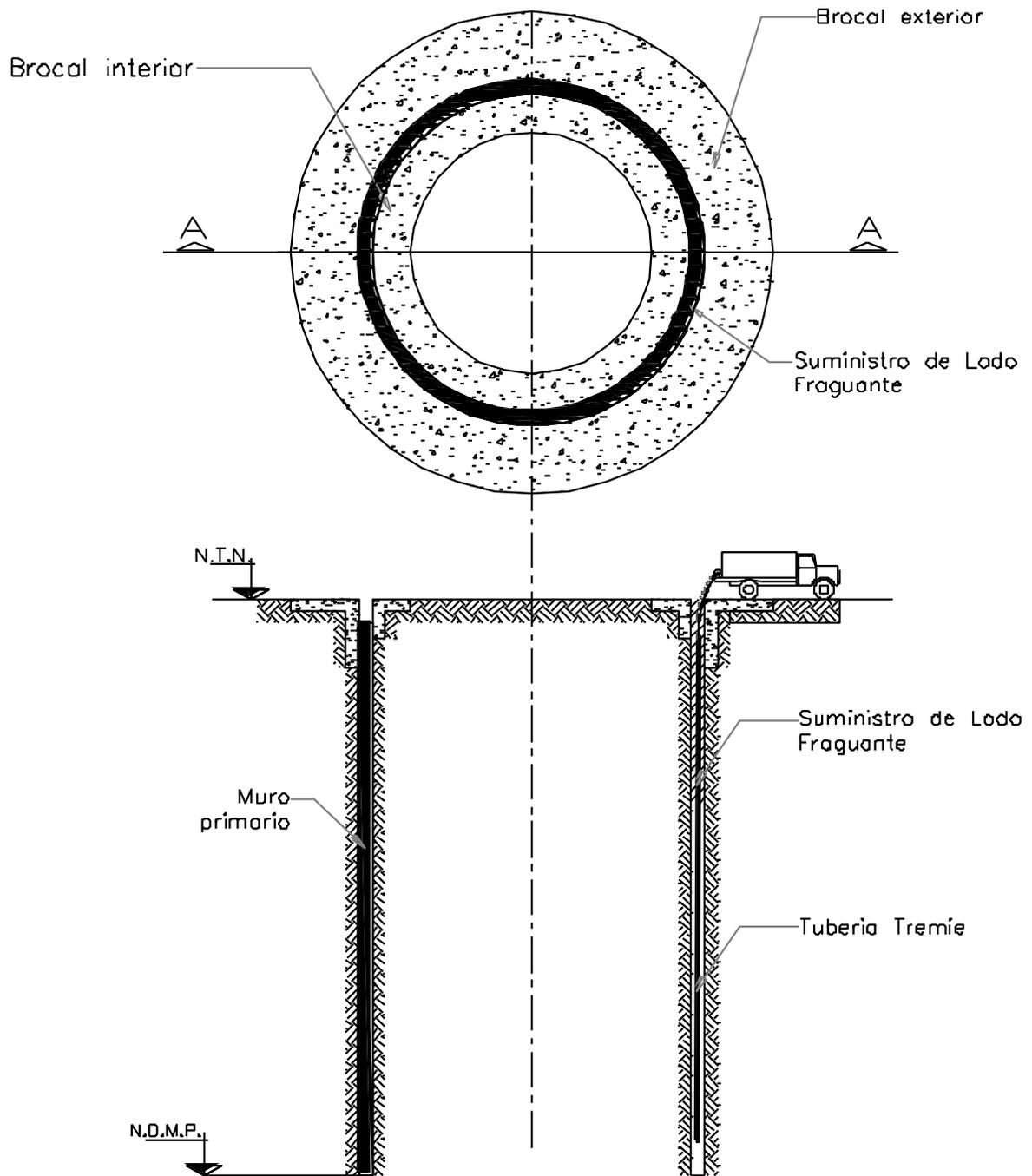


Fig. 27 Etapa 3



IV. 4. Demolición, retiro del brocal interior y construcción de brocal exterior definitivo

Una vez concluida la excavación de la zanja anular, se procederá a la demolición y retiro del brocal interior. Este proceso consistirá en seccionar el brocal en 6 fracciones, las secciones de corte se determinarán desde la construcción del propio brocal, con la inserción de poliuretano expandido antes del colado. En las secciones predeterminadas se retirará el poliestireno y se cortará el acero de refuerzo, los segmentos del brocal se izarán a la plataforma de trabajo con la grúa Link-Belt 118.

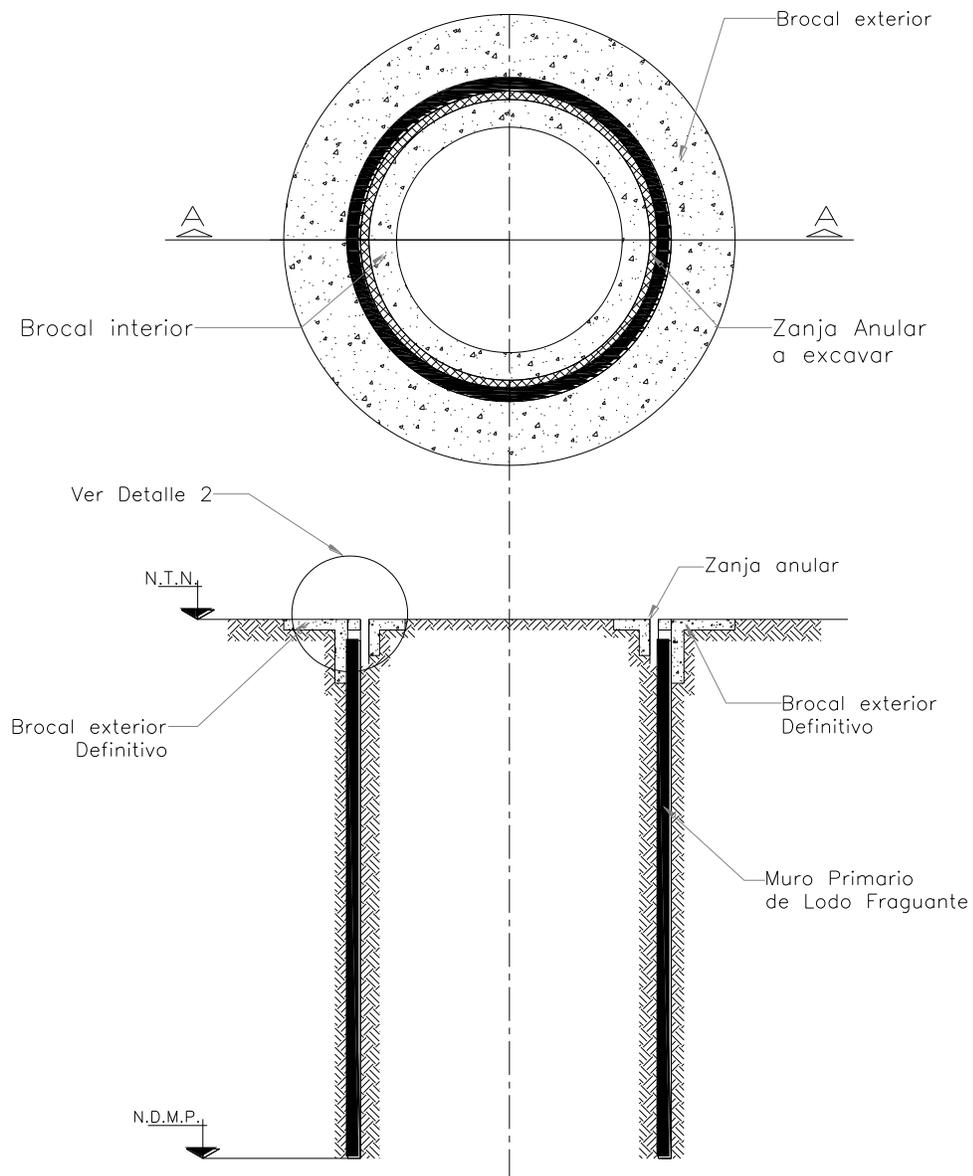


Fig. 28 Etapa 4



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

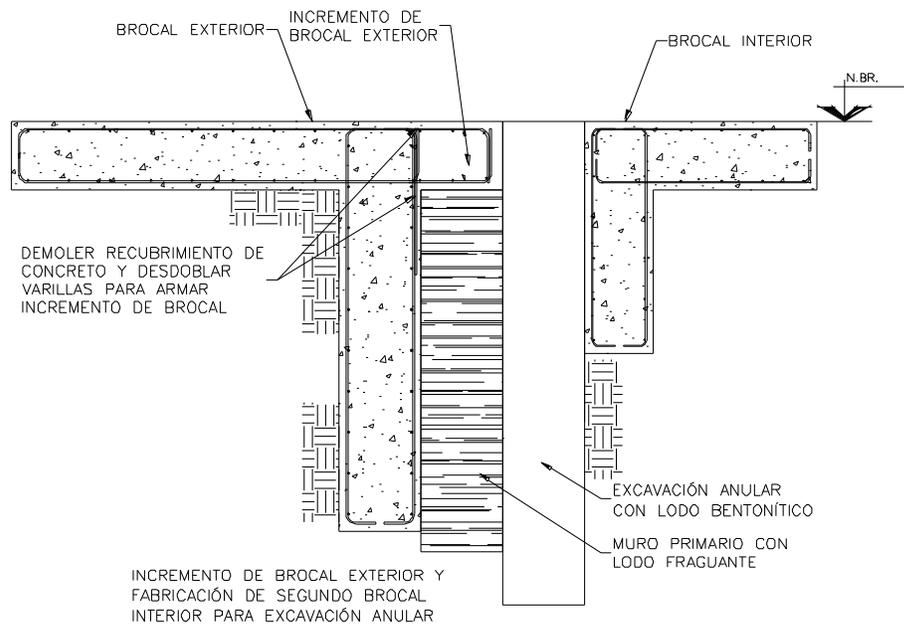


Fig. 29 Detalle 2 Brocal exterior definitivo

IV. 5. Excavación de la zanja anular

Una vez colado el Muro Primario de lodo fraguante se procederá a reubicar y construir el nuevo brocal interior para excavar la zanja anular que delimitará el perímetro del núcleo de la lumbrera.

Asimismo, se numerarán los tableros del 1 a n, procediendo a excavar de forma similar comenzando por los tableros pares e incorporando el ademe de lodo bentonítico hacia la zanja conforme avanza la excavación, mismo que poseerá una densidad de 1.05 t/m^3 y manteniendo el nivel del lodo a una profundidad no mayor a 1.0 m con respecto al nivel superior del brocal reubicado.

La excavación de la zanja anular deberá ser iniciada toda vez que el lodo fraguante alcance el 80% de su resistencia de proyecto.

Posteriormente a la terminación de la excavación de cada tablero, se verificará la profundidad con una plomada de monitoreo; permitiendo en este intervalo la decantación de los fragmentos de arcilla en suspensión, para que en secuencia del proceso se realice la limpieza del azolve en el fondo de la zanja con la propia almeja guiada; se verificarán las propiedades del lodo bentonítico cumpliendo con el peso volumétrico de 1.05 ton/m^3 . Solo entonces el equipo y personal para la excavación se desplazará a otro tablero alterno (par), para repetir el ciclo de la excavación hasta concluir todo el perímetro (impares).



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Fig. 30 Grúa Liebherr 855 HD y Almeja Hidráulica



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

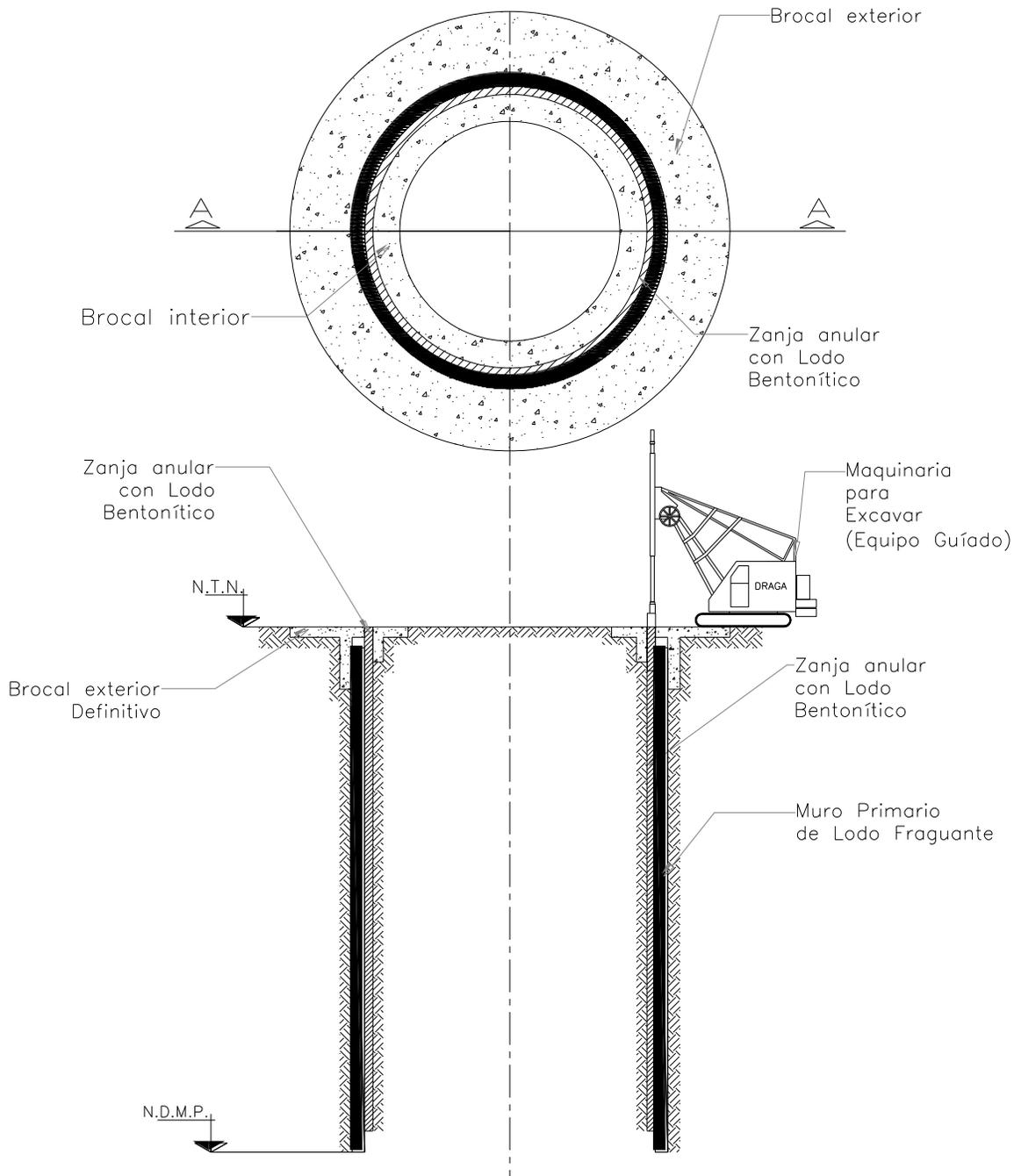


Fig. 31 Etapa 5



IV. 6. Excavación del núcleo de la lumbrera

Se procederá a excavar el núcleo interior a la zanja anular empleando una almeja guiada por cables y sustituyendo los materiales excavados con lodo bentonítico con una densidad mínima de 1.05 t/m^3 . En todo momento deberán conservarse constantes las características del lodo y que su nivel se encuentre a una profundidad no mayor de 1.0 m con respecto al nivel superior del brocal anular.

Resulta de vital importancia el control topográfico (nivelación) del suelo superficial en la vecindad de la construcción de la lumbrera, ya que esto reflejará el comportamiento del suelo por efecto de la excavación de la lumbrera.

Una vez concluida la excavación del núcleo de la lumbrera hasta 0.60 m por debajo del nivel de proyecto, se verificará su nivel final, mediante una cuadrícula que abarque toda el área excavada con una equidistancia de 1.00 m entre punto y punto; de tal forma que pueda conocerse gráficamente la superficie excavada en el fondo de la lumbrera para extraer el azolve que se detecte. El material producto de la excavación deberá cargarse y llevarse al sitio de tiro oficial.

Para la excavación del núcleo de la lumbrera con lodo bentonítico el nivel mínimo será de 60cm arriba de la parte inferior del faldón del brocal exterior, para garantizar la estabilidad de las paredes durante el proceso de excavación del núcleo.

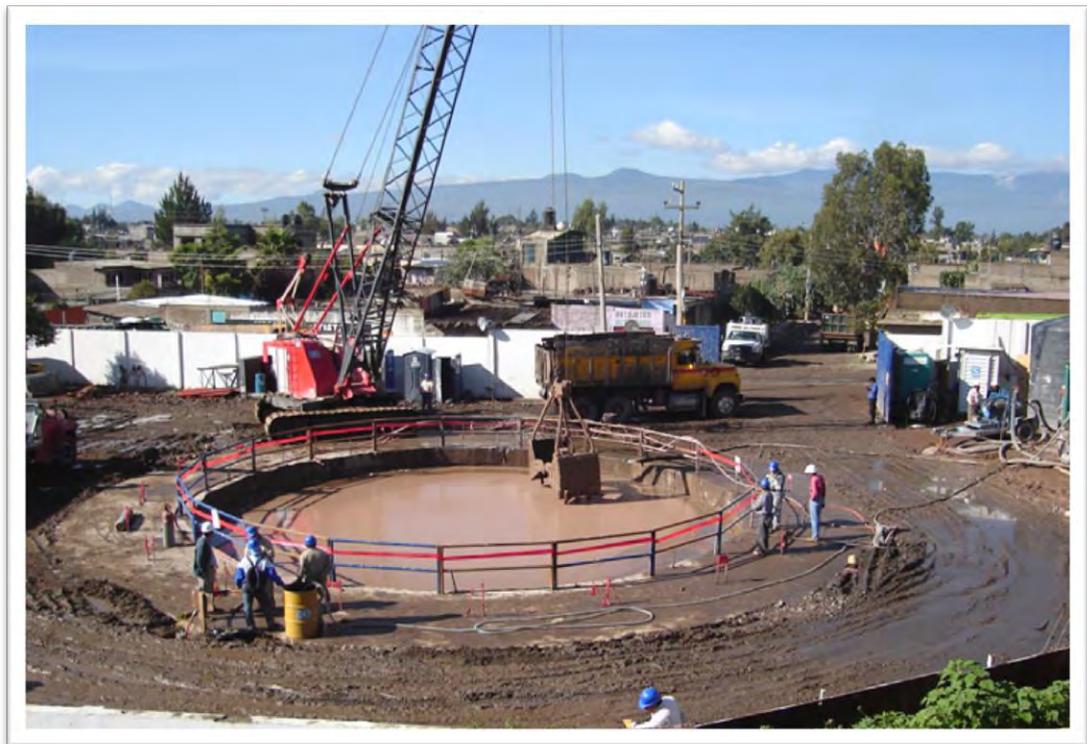


Fig. 32 Excavación del núcleo de lumbrera flotada



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

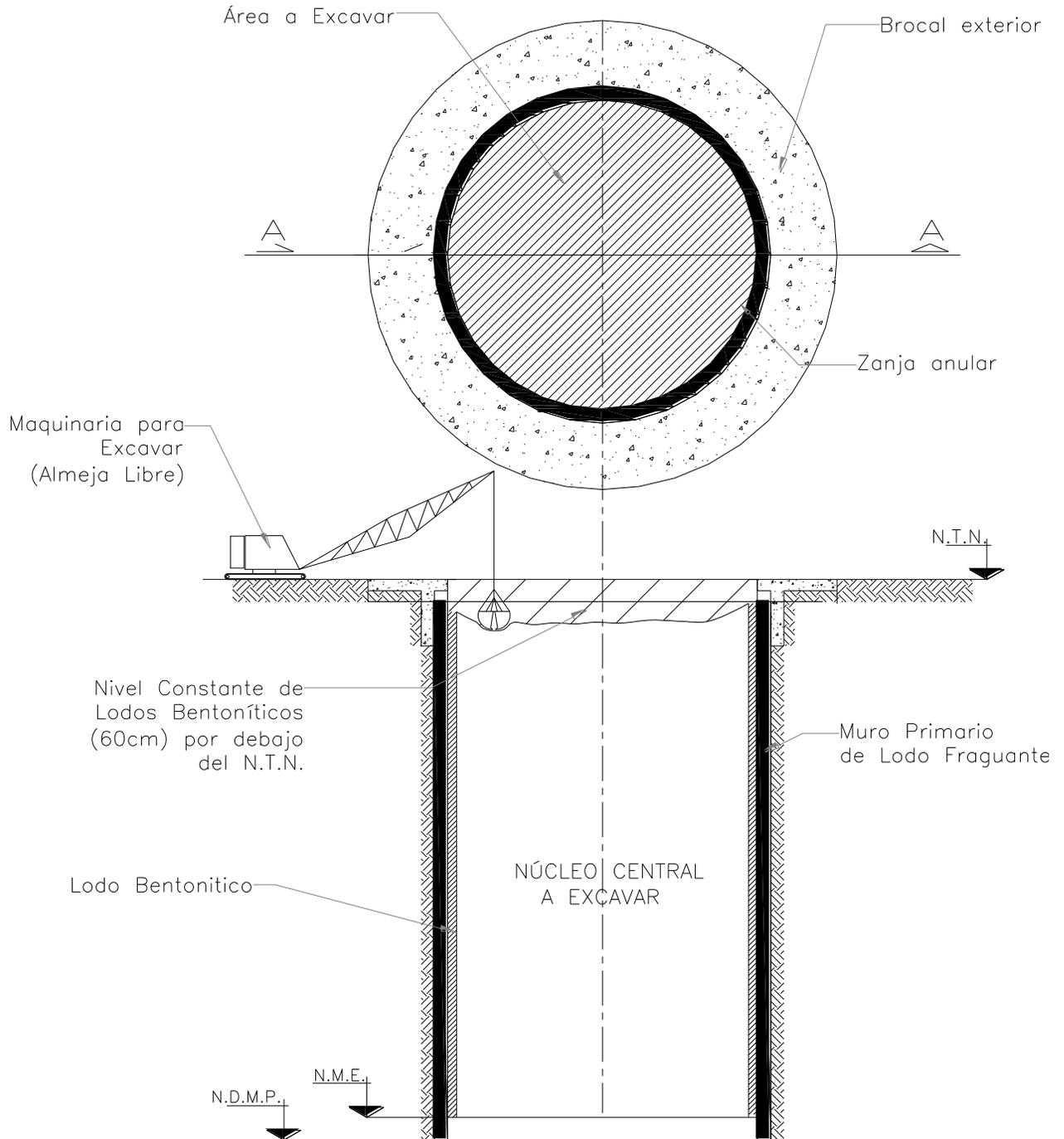


Fig. 33 Etapa 6



IV. 7. Posicionamiento del tanque de flotación

Durante la excavación del núcleo de la lumbrera, se debe concluir la fabricación del tanque de flotación y todos los elementos estructurales auxiliares, por lo que una vez terminada dicha excavación, se procederá al montaje del tanque sobre el núcleo excavado de la lumbrera, apoyándose parcialmente, por medio de las ménsulas en el brocal exterior mediante las vigas de acero (perfil IPR) de sujeción colocadas radialmente. Las maniobras del montaje se lleva a cabo mediante la utilización de una o más grúas dependiendo de las dimensiones y el peso del mismo. Antes de colocar el tanque, se debe tener cuidado de mantener abiertas las válvulas colocadas sobre las tuberías de inyección y extracción de aire instaladas en el mismo, ya que de lo contrario esto impedirá la estabilidad del mismo y tenderá a flotar, repercutiendo en la colocación en su posición y nivelación inicial.

Una vez que se ha montado el tanque de flotación en su posición inicial, se colocan las plumas metálicas con los elementos mecánicos como son los malacates manuales de 6 a 8 toneladas de capacidad y el juego de polipastos que servirán únicamente para ayudar a nivelar y sujetar la estructura de concreto durante cada etapa de la inmersión. Simultáneamente se deberá instalar el puente de maniobras y todos los elementos adicionales para estar en condiciones de iniciar el revestimiento definitivo de la lumbrera. Se deberá asegurar la horizontalidad y verticalidad del tanque de flotación mediante nivelaciones topográficas.



Fig. 34 Posicionamiento de tanque flotado



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

IV. 7. 1. Vigas de sujeción:

Se habilitarán y fabricarán con perfiles metálicos IPR cuya finalidad es de sujetar la lumbrera al término de cada una de sus etapas de inmersión. Dichas vigas metálicas de sujeción deberán ser apoyadas en el brocal exterior y sujeto con las anclas de varilla de acero colocadas previamente para este fin.

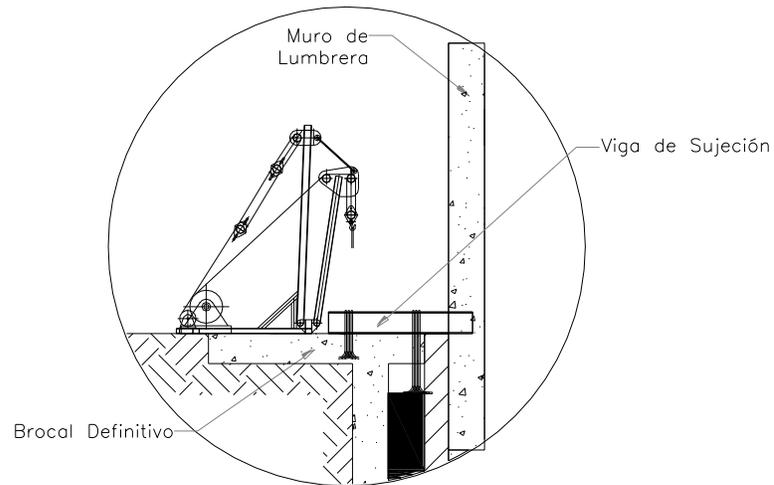


Fig. 35 Detalle de viga de sujeción

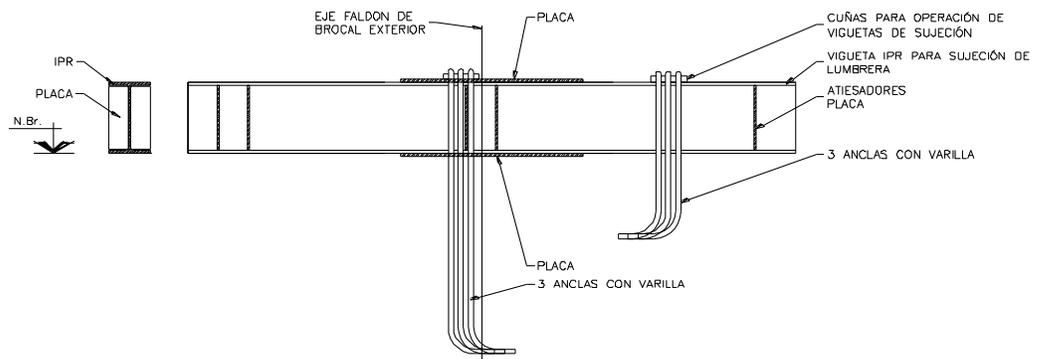


Fig. 36 Viga de sujeción



Fig. 37 Viga de sujeción para posicionar el tanque de flotación

IV. 7. 2. Tanque de flotación:

De manera simultánea a las excavaciones anulares deberá iniciarse la construcción del tanque de flotación, que será necesario para el control de la excavación del núcleo de la lumbrera y para llevar a cabo las maniobras de flotación e inmersión.

El tanque de flotación es una estructura metálica, de forma cilíndrica, cuyas características geométricas deben cubrir el área total de la lumbrera, incluyendo el espesor de los muros del revestimiento definitivo, dejando una holgura de 60 cm con respecto a la pantalla de lodo fraguante.

Finalmente se forra su exterior y tapa superior con placa, debe quedar perfectamente sellada contra fugas mediante soldadura en los elementos estructurales. Como complemento en la fabricación del tanque de flotación se colocan ménsulas de apoyo a base de placas en el perímetro superior externo del tanque, coincidiendo en los puntos donde se colocarán las vigas de sujeción.

Este tanque estará provisto de tuberías cuya función será para la extracción de lodos de la zanja, inyección y extracción de aire para el sistema de flotación y la de inyección del mortero (cemento-



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

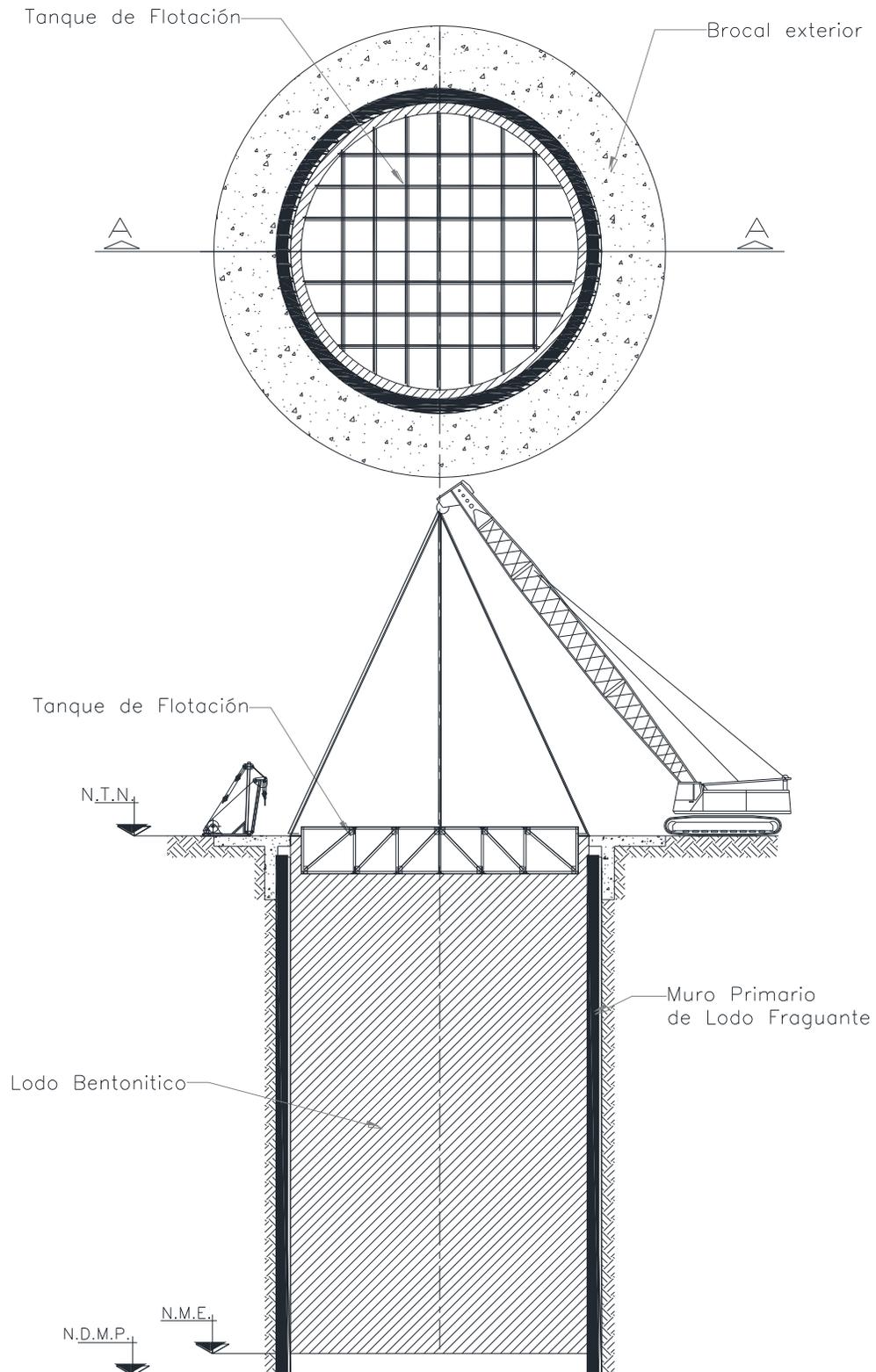


Fig. 40 Etapa 7



IV. 8. Etapas de colado e inmersión

Empleando el tanque de flotación como plataforma de trabajo, conforme a los armados estructurales, se iniciará la instalación del acero de refuerzo en la losa de fondo en su lecho bajo y el armado del muro del primer tramo de la lumbrera.

Una vez que se ha montado el tanque de flotación en su posición inicial, se colocan las plumas metálicas con los elementos mecánicos como son los malacates manuales de 6 a 8 toneladas de capacidad (Figura 56 Especificaciones técnicas del malacate manual) y el juego de polipastos que servirán únicamente para ayudar a nivelar y sujetar la estructura de concreto durante cada etapa de la inmersión.

1. El proceso en cada etapa inicia con el trazo para la ubicación del acero de refuerzo, teniendo un control de precisión en el alineamiento horizontal y vertical y se instalan las barras de acero para cada diámetro, cumpliendo con los traslapes, dobleces y la geometría del elemento de acuerdo a los planos estructurales.
2. En el muro se instalarán cajas metálicas para insertar posteriormente las vigas de atraque. Para impedir que se cubran de concreto, se sellarán con poliuretano expandido.
3. Se colocarán los anclajes que servirán para conectar la estructura con las plumas metálicas.
4. Se instalará un andamio colgante para los trabajos por el interior de la lumbrera que será soportado de las 4 plumas instaladas en el brocal de la lumbrera.
5. Una vez colocado el acero de refuerzo y las preparaciones mencionadas, se colocará la cimbra perimetral.
6. Antes de iniciar el colado se verificará la verticalidad de la cimbra para el muro de la lumbrera, el recubrimiento del acero estructural y el nivel para la terminación del concreto, indicado en el análisis de inmersiones para cada etapa de losa y muro.
7. Una vez aceptado y avalado el acero y la cimbra por la Supervisión de obra se procederá a la colocación del concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ para la construcción de la lumbrera por etapas.
8. Una vez fraguado el concreto se procederá al desarmado total de la cimbra, retiro de puntales, atirantado, cuñas, madrinas verticales y tableros.
9. Después del descimbrado se protegerá la superficie del concreto con una membrana acuosa de curado y se retirará el poliestireno colocado como tapón para descubrir las cajas para la introducción de las vigas de atraque.
10. Finalmente, se verificará que la estructura se encuentre completamente libre para su inmersión.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Para poder iniciar el proceso de flotación e inmersión de la lumbrera, se deberán cumplir primero los siguientes puntos:

- ✓ El personal técnico y obrero debe estar capacitado y adiestrado oportuna y adecuadamente.
- ✓ Deberá mantenerse el nivel del tirante hasta máximo 1.0 m por debajo del nivel superior del brocal exterior y una densidad de lodo de 1.05 t/m^3 . La recirculación del lodo de ademe mediante la operación de sistemas Air-lift con tubería de 8", permitirá conservar la uniformidad de sus características.
- ✓ Los elementos para el suministro de aire comprimido, deberá encontrarse en condiciones óptimas.
- ✓ El equipo de bombeo para lodos, debe estar en operación normal.
- ✓ Se deberá contar con un manómetro calibrado e instalado para el control de la presión en la cámara de aire comprimido.
- ✓ Verificación del equipo periférico de apoyo, los malacates de control y el sistema de atirantado instalado con los cables de acero de 7/8".
- ✓ Instalación de regletas graduadas en centímetros, instaladas en el muro de la lumbrera en posición ortogonal y en correspondencia a las plumas de control, para vigilar el descenso de la lumbrera en forma horizontal.
- ✓ Los depósitos para el almacenamiento del lodo de ademe deberán estar libres.
- ✓ Disponer de una grúa mecánica con capacidad suficiente para las maniobras.

Una vez constatados los puntos anteriores se iniciará la flotación de la lumbrera continuando con la secuencia:

11. Se inyectará aire comprimido por una de las tuberías instaladas en el perímetro del tanque de flotación, hasta alcanzar la presión determinada para la flotación de la lumbrera. En el manómetro instalado en una segunda línea se registrará y controlará la presión dentro de la cámara presurizada, entre la cavidad del tanque y el lodo de ademe. En consecuencia el aire comprimido sustituirá al lodo de ademe y este será dirigido hacia los cárcamos de depósito y posteriormente al tiradero oficial.
12. Consecuentemente al obtener la presión de diseño para cada etapa, la estructura de la lumbrera flotará, permitiendo así el retiro de las vigas de atraque instaladas en la etapa anterior.
13. Cuando se mantenga a la lumbrera en flotación y sujeta con los malacates de las plumas, se verificará la horizontalidad de la misma, con el auxilio de las regletas de nivel instaladas. En caso de detectar desniveles se podrá adicionar una carga en el lado necesario y sobre la losa. Este contrapeso se retirará en las etapas posteriores de armado y colado, y puede reinstalarse nuevamente según sea necesario hasta concluir la totalidad de la lumbrera.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

14. Una vez equilibrada la lumbrera, se procederá a su inmersión con la liberación del aire comprimido controlado con la apertura y cierre de una válvula. El desplazamiento de la lumbrera se entenderá como la distancia entre el nivel de atraque anterior y el nivel de atraque de la siguiente etapa por procesar.
15. Cuando se alcance la cota de inmersión, se instalarán nuevamente las vigas de sujeción.

A partir de este punto se reinicia el ciclo de armado, cimbrado, colado e inmersión de la lumbrera hasta alcanzar la profundidad total de proyecto.



Fig. 41 Armado de muro de lumbrera



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Fig. 42 Cimbrado de muro de lumbrera



Fig. 43 Muro de lumbrera, primera inmersión



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

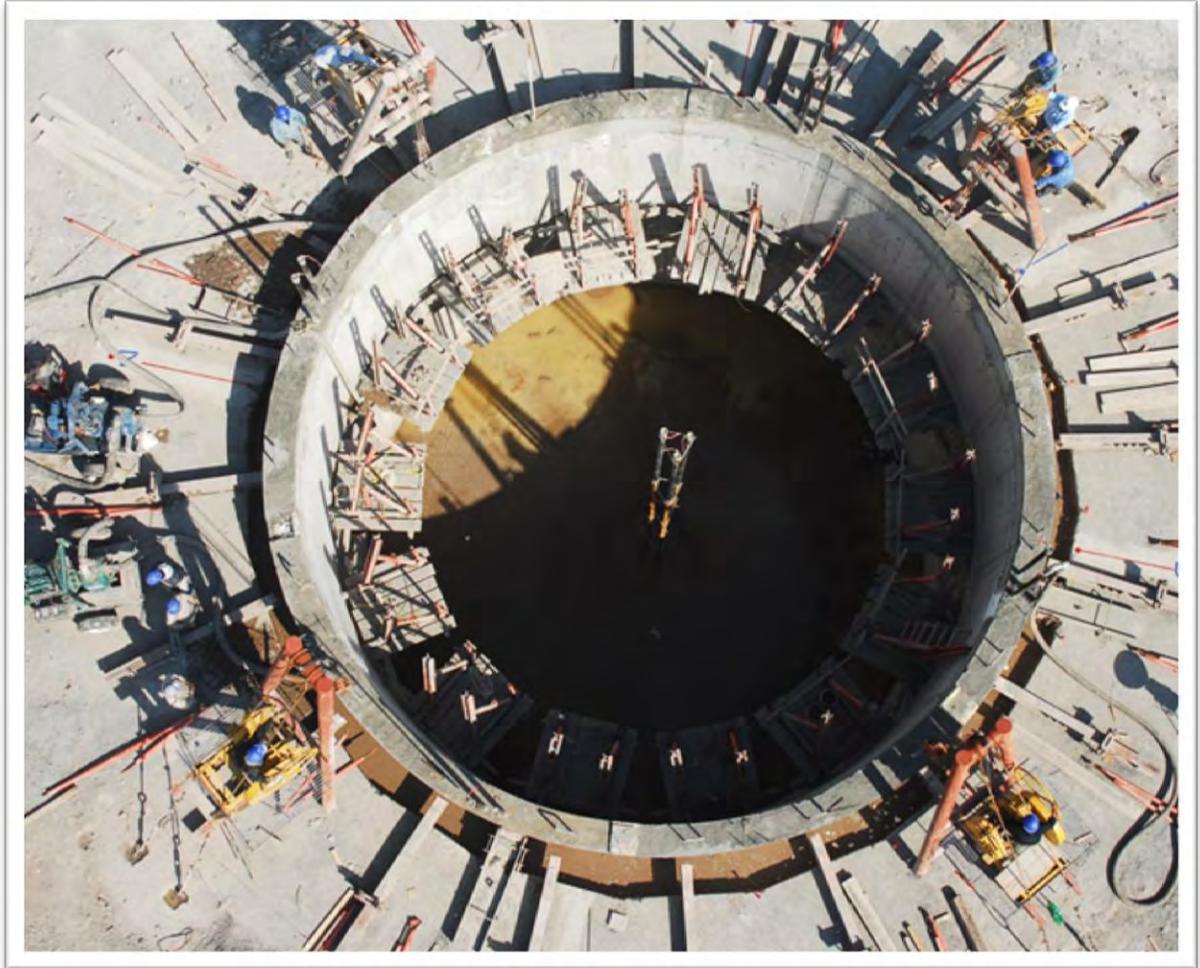


Fig. 44 Inmersión con ayuda de viguetas de sujeción y malacate manual



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

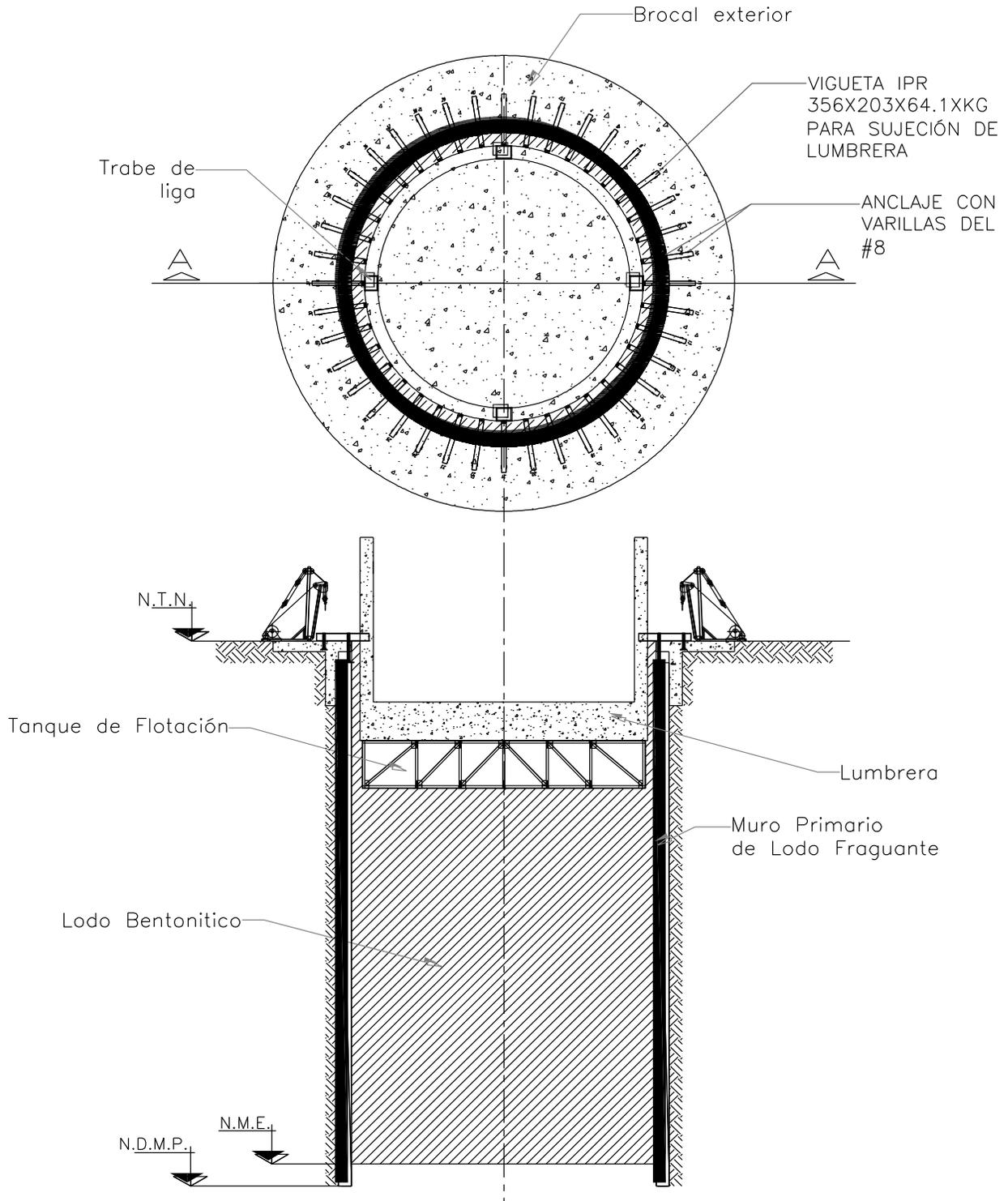


Fig. 45 Etapa 8



IV. 9. Colado de trabe de liga

Terminada la última etapa de inmersión de la lumbrera flotada, se procederá a realizar la construcción de la trabe de liga, para lo cual se deberá mantener el nivel del lodo hasta una distancia máxima de 1.0 m por abajo del nivel superior del brocal definitivo.

Durante la etapa de construcción de la trabe de liga, se deberán cumplir los siguientes aspectos.

1. La sobrecarga en una distancia equivalente a un diámetro del borde de la lumbrera, no deberá exceder el valor de 1.5 t/m^2 , es decir, que no se permitirá el acceso de maquinaria pesada al entorno anular de la lumbrera, definido por un ancho de 12.0 m.
2. El peso volumétrico mínimo del lodo bentonítico deberá ser de 1.05 t/m^3 .
3. Se llevará a cabo el armado, cimbrado y colado de las traves conforme al proyecto estructural.

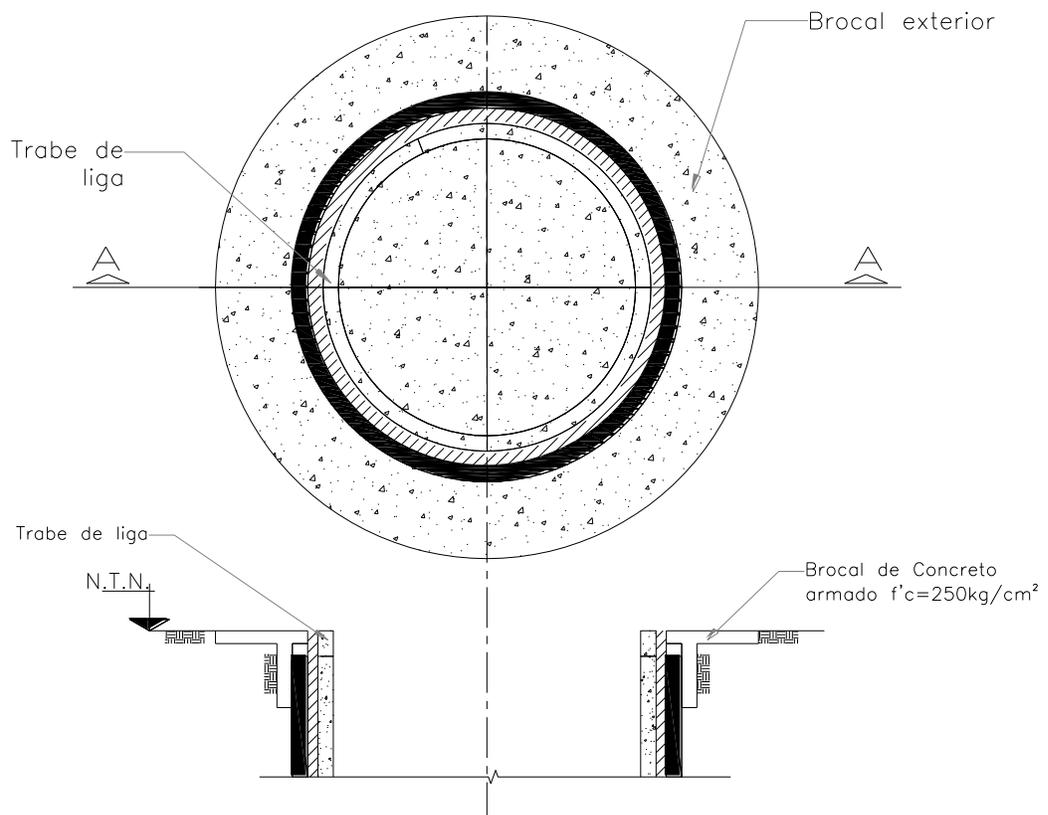


Fig. 46 Etapa 9



IV. 10. Inyección anular

Terminada la construcción de la trabe de coronamiento se procederá a realizar la inyección de relleno bajo tanque y zanja perimetral de la siguiente manera:

- a) Agregar lastre al interior de la lumbrera, en la forma de agua o lodo, sin exceder la capacidad de soporte de las traves de liga.
- b) Transcurridas 24 horas a partir del colado de las traves de liga, se inicia el relleno del tanque metálico mediante inyección de mortero fluido con una resistencia de $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$ a través de las tuberías habilitadas para este fin.
- c) La inyección deberá iniciar en el centro del tanque y con nivel topográfico verificar que no se levante la estructura de la lumbrera, durante el proceso de inyección.
- d) Cuando el mortero inyectado en el tanque del fondo alcance por lo menos el 25% de su resistencia de proyecto, se continuará con la inyección de la zanja perimetral, a través de las tuberías Tremie distribuidas uniformemente.
- e) Cuando el mortero inyectado en la zanja perimetral alcance el 50% de su resistencia de proyecto, se podrá proceder a la limpieza de la lumbrera.



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**V.- ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS Y
MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA L-8**



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Las presentes especificaciones regirán los requisitos mínimos que deberán cumplir los materiales y equipos, necesarios para la construcción de la lumbrera L-8; están sustentadas y deben cumplir en orden de prioridad en las siguientes Normas Base:

- Normativa SCT. Libro CMT Características de los Materiales
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus respectivas Normas Técnicas complementarias (RCDF-04)
- Normas Mexicanas (NMX)
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. (IMCA)

V. 1. Especificación de materiales

V. 1. 1. Área de trabajo

Una capa de material con un espesor de 30 cm de tezontle, el cual deberá poseer un tamaño máximo de 6" y peso volumétrico máximo = 1.5 Ton/m^3 .

El material del mejoramiento estará constituido por "tepetate", una capa de 20 cm de espesor compactado con medios mecánicos hasta obtener un Valor Relativo de Soporte (VRS) mayor de 8 %, este material deberá de cumplir con lo siguiente:

Se tenderá sobre el terreno descubierto por la excavación, material a volteo con equipo ligero (peso máximo de 10 ton) extendiéndolo con palas de mano y rastrillos.

- a) El peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba proctor ASTM D-698, no deberá ser mayor de 1.8 ton/m^3 , ni menor de 1.6 ton/m^3 .
- b) Deberá de satisfacer la granulometría mostrada en la figura 47
- c) El límite líquido de la fracción fina será menor del 30 %
- d) La fracción fina deberá de tener una contracción lineal máxima del 4.5 %
- e) Se compactará al 90 % de su PVSM, según la prueba proctor ASTM D-698
- f) El mejoramiento estará formada por dos capas compactadas de "tepetate", de 20 cm de espesor



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



En la zona anular donde se construyan los brocales para las pantallas, así como en las superficies de rodamiento, se aplicará una franja circular de arena limosa compactada al 90% proctor.

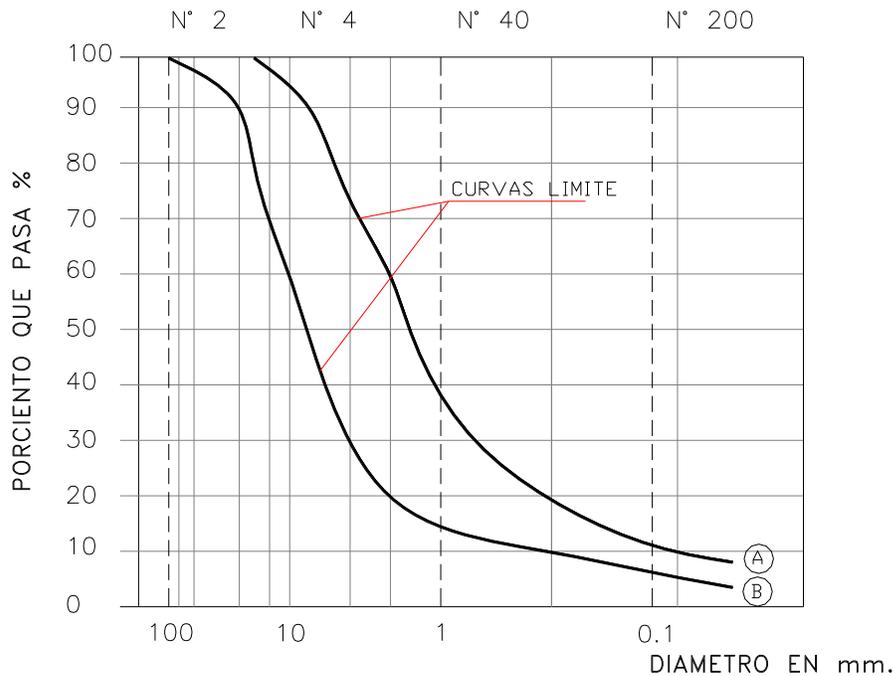


Fig. 47 Curvas granulométricas para material de mejoramiento

V. 1. 2. Lodo bentonítico

El lodo deberá cumplir con las siguientes características:

- El lodo deberá ser una suspensión estable y homogénea de bentonita sódica en agua, la bentonita deberá ser previamente hidratada por un mínimo de 12 horas, la relación bentonita-agua en peso para un volumen dado deberá ser de 10%; esta proporción podrá ajustarse en obra de ser necesario, para que el lodo cumpla con las siguientes especificaciones en sus características:

Parámetro	Límites	
Viscosidad plástica	10 – 15	Centipoises
Punto de fluencia	5 – 25	Lb/100ft ²
Densidad	1.05 ± 2%	gr/cm ³
Viscosidad Marsh	35 – 50	seg.
Volumen máximo de agua filtrada	20	cm ³
Espesor de costra (“cake” o “enjarre”)	3.0 – 5.0	Mm
Contenido máximo de arena	10	%
Potencial de hidrógeno, PH	7 - 10	

Tabla 2 Características del lodo Bentonítico



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

El agua deberá de cumplir con los requisitos exigidos para el agua que se utilizará en la fabricación del concreto.

Dosificación: Debe de dosificarse para el estrato de suelo más crítico que se encontrará en la excavación y se correlacionará con la velocidad mínima necesaria, de acuerdo con la tabla siguiente:

Tipo de suelo	Tendencia al colapso	
	Suelo seco	Suelo con agua
Arcilla	No	No
Limo	Usualmente no	No algo
Arena limosa	Algo	Apreciable
Arena fina, húmeda	Apreciable	Apreciablemente Alta
Arena gruesa	Apreciablemente Alta	Alta
Grava arenosa	Alta	Muy alta
Grava	Muy alta	Muy alta

Tabla 3 Tendencia al colapso

Para dosificar el lodo, se determina la fracción del suelo no coloidal necesario para la estabilidad de paredes, se elige la viscosidad Marsh en función del suelo, luego se establecen los límites de control además se determina si es necesario el uso de agentes de control como la “barita”.

Función	A* %	γ Kg/m ³	Densidad	Viscosidad Plástica Centipoises	B lb/ft ²	pH	Contenido de arena %
Soporte	> 3-4	> 1.03	> 1.03	-	**	-	> 1 ***
Sellado	> 3-4	-	-	-	-	-	1
Arrastre de recortes	> 3-4	-	-	-	> 21 - 15	-	-
Desplazamientos del concreto	< 15	< 1.25	< 1.25	< 20	-	-	< 23
Separación de los no coloides	-	-	-	-	-	-	< 30
Bombeo	-	-	-	-	-	Variable	-
Limpieza física	< 15	-	< 1.25	-	-	-	< 25
Límites	> 3-4 < 15	> 1.03 < 1.25	> 1.03 < 1.25	< 20	> 12 - 15	> 12 - 15	> 1 < 25

Tabla 4 Dosificación del lodo Bentonítico

A: Contenido de bentonita promedio

B: Resistencia del gel, 10 min

* Es muy variable, según la marca

** Es más aplicable la resistencia al corte del enjarre

*** Opcional

- En la fabricación el lodo, se considera que el mezclado es satisfactorio si la resistencia mínima del gel, determinada con el viscosímetro rotacional es de 36 dinas/cm².



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

- Debido a la absorción de agua y formación de grumos, la bentonita debe incorporarse gradualmente al equipo de mezclado a través de la descarga de agua, mediante un cono dosificador y una vez mezclada, recircular una o dos veces más y luego pasarla a un tanque de almacenamiento para permitirle que continúe su hidratación y expansión. Se recomienda un envejecimiento mínimo de 24 horas antes de usarla.
- El lodo se preparará con un mezclador chiflón
- Para incrementar la densidad de los lodos se podrá utilizar “Barita”, en su caso, el constructor deberá presentar la dosificación de tres mezclas a aprobación de la Supervisión.

V. 1. 3. Lodo fraguante

Los trabajos por ejecutar consisten en:

La construcción de un muro vertical de lodo autofraguante (Muro primario) de acuerdo con las dimensiones y geometrías del proyecto, y para sustitución de lodo bentonítico empleado en la excavación de la zanja anular, para excavación y construcción de la lumbrera L-8.

Las características de los materiales del lodo fraguante son las siguientes:

Se elaborará un mortero (Cemento – Bentonita – Arena fina ligera – Agua) con una resistencia $f'c$ ente 10 kg/cm² y 20 kg/cm² y un peso volumétrico de 1.3 a 1.5 ton/m³. Este mortero deberá generarse a partir de un mortero de Cemento–Arena fina ligera–Agua con un peso volumétrico de 1.9 ton/m³, al cual se le dosificará en obra un lodo bentonítico con peso volumétrico de 1.02 ton/m³. Con esta mezcla se obtendrá un mortero con peso volumétrico especificado de 1.3 ton/m³ a 1.5 ton/m³, al cual deberá adicionársele fibras de nylon con diámetro entre 0.005” y 0.007” y longitudes de 50 mm, en una proporción de 0.50 Kg/m³ de mezcla.

Fibras de nylon:

El concreto hecho con cemento portland tiene ciertas características en compresión pero débil en tensión y tiende a ser frágil. La debilidad en tensión puede ser superada por el uso de refuerzo convencional de varilla y, en cierta medida, para la inclusión de volumen suficiente de ciertas fibras.

En la figura 49 (Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibras.) se puede ver que, al agregar fibras de nylon al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz.

Tipos de fibras:

1. Vidrio.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2. Acero.
3. Fibras sintéticas:
 - Acrílico.
 - Aramida.
 - Carbón.
 - Nylon.
 - Polipropileno.
 - Poliéster.
 - Polietileno.

Tipo de fibra	Diámetro equivalente um	Densidad relativa	Resistencia a tensión MPa	Módulo de elasticidad GPa	Alargamiento último %	Temperatura de ignición °C	Temperatura de fusión, oxidación o descomposición, °C	Absorción del agua según ASTM D 570, % por masa
Acrílico	13-104	1.16-1.18	270-1000	14-19	7.5-50.0	-	220-235	1.0-2.5
Aramida I	12	1.44	2900	60	4.4	alta	480	4.3
Aramida II+	10	1.44	2350	115	2.5	alta	480	1.2
Carbón PAN HM •	8	1.6-1.7	2500-3000	380	0.5-0.7	alta	400	nula
Carbón, PAN HT §	9	1.6-1.7	3450-4000	230	1.0-1.5	alta	400	nula
Carbón, brea GP **	10-13	1.6-1.7	480-790	27-35	2.0-2.4	alta	400	3-7
Carbón, brea HP ≈	9-18	1.8-2.15	1500-3100	150-480	0.5-1.1	alta	500	nula
Nylon >	23	1.14	970	5	20	-	200-220	2.8-5.0
Poliéster	20	1.34-1.39	230-1100	17	12-150	600	260	0.4
Polietileno >	25-1000	0.92-0.96	75-590	5	3-80	-	130	nula
Polipropileno >	-	0.90-0.91	140-700	3.5-4.8	15	600	165	nula

*No todos los tipos de fibras se usan actualmente para producción comercial de FRC
+ Módulo alto
• A base de poliacrilonitrilo, módulo alto.
§ A base de poliacrilonitrilo, alta resistencia a tensión
** A base de brea isotrópica, para propósitos generales.
≈ A base de brea mesofase, alto desempeño
> Los datos se enlistan sólo para fibras comercialmente disponibles para FRC.

Fig. 48 Tipos y propiedades de fibras sintéticas

Nylon: Es el nombre genérico que identifica una familia de polímeros. Las propiedades de las fibras de nylon son impartidas por el tipo a base de polímeros, la adición de diferentes niveles de aditivos, las condiciones de fabricación y las dimensiones de las fibras. El nylon es estable en el calor, hidrófilo, relativamente inerte y resistente a gran variedad de materiales.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Es particularmente efectiva para impartir resistencia al impacto y tenacidad a flexión y para sostener e incrementar la capacidad para soportar cargas del concreto después de la primera grieta.



Fig. 49 Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibras

Dosificación del lodo fraguante:

En la siguiente tabla se muestra la dosificación de los materiales que constituirá al lodo fraguante:

Producción de lodo bentonítico al 3% de bentonita por m ³	En peso	Densidad	En volumen	γ mezcla (t/m ²)
Agua	989.00	1.00	989.00	
Bentonita	30.00	2.60	11.54	
Sumas	1,019.00		1,000.54	1.02
Dosificación de mortero por m³				
Cemento	290.00	3.10	93.55	
Lodo bentonítico	643.13	1.02	631.48	
Arena sílica	591.00	2.17	272.35	
Aditivo retardante	2.58	1.03	2.50	
Sumas	1,526.70		999.98	1.53
Dosificación de mortero por 50 kg de cemento				
Cemento	50.00	3.1	16.13	
Lodo bentonítico	110.80	1.02	108.92	
Arena sílica	101.90	2.17	46.96	
Aditivo retardante	0.44	1.03	0.43	
Sumas	263.23		172.44	1.53

Tabla 5 Dosificación para el lodo fraguante

Mezclado: Deberá hacerse por medios mecánicos hasta lograr una distribución uniforme de los materiales evitando la segregación.

Colocación: El lodo fraguante se colocará desde el fondo de la excavación con ayuda de un tubo tipo Tremie, en forma ascendente, evitando su contaminación con el lodo bentonítico de ademe.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

V. 1. 4. Jet-Grouting

El jet-grouting es un proceso que consiste en la desagregación del suelo (o roca poco compacta), mezclándolo, y parcialmente sustituyéndolo, por un agente cementante (normalmente cemento). La desagregación se consigue mediante un fluido con alta energía, que puede incluir el propio agente cementante.

Sistemas de jet-grouting:

- Sistema de fluido único: Cuando la desagregación y cementación del suelo se consigue con un chorro de un único fluido a alta presión que, en general, es una lechada de cemento.
- Sistema de doble fluido (aire): Cuando la desagregación y cementación del suelo se realiza por un fluido, normalmente lechada de cemento, asistido por un chorro de aire a presión que actúa como segundo fluido.
- Sistema de doble fluido (agua): Cuando la desagregación del suelo se obtiene por un chorro de agua a alta presión, utilizando como segundo fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.
- Sistema de triple fluido: Con este sistema la desagregación del suelo se consigue por un chorro de agua a alta presión, asistido por un chorro de aire a presión, utilizando como tercer fluido una lechada para conseguir la cementación del suelo.

En primer lugar, se realiza un taladro, del orden de 10 cm de diámetro. Una vez que se ha llegado a la longitud deseada, comienza el proceso de inyección de fluidos, que salen a alta velocidad por toberas laterales que giran y ascienden solidarias al tubo de perforación en su lenta extracción. Los fluidos van desagregando el suelo y mezclándolo con la lechada de cemento.

Materiales:

Los materiales normalmente utilizados son mezclas de agua y cemento; en las mezclas de agua y cemento la relación entre ambos, salvo justificación en contra, deberá estar comprendida en el intervalo entre cero con cinco y uno con cinco (0,5 y 1,5). Se podrán utilizar aditivos para reducir el contenido de agua, o para variar la viscosidad, estabilizar o aumentar la impermeabilidad de la mezcla agua/cemento adoptada. La lechada, además de agua y cemento, puede incluir bentonita en la mezcla. Este material también se puede usar durante la perforación, cuando hay problemas de agarre de varillaje a profundidades importantes, lechada sola si hay problemas de desprendimientos, espuma en suelos abiertos, o sencillamente aire y agua de limpieza.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

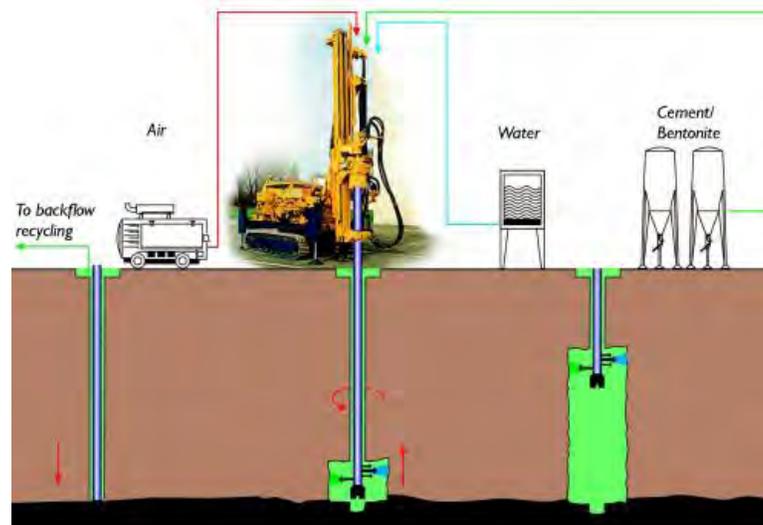


Fig. 50 Jet Grouting

V. 1. 5. Concreto

El Concreto a utilizar en la construcción de la lumbrera deberá cumplir con los requisitos mínimos de los materiales, procesos, procedimientos de elaboración y ejecución necesarios para la construcción de elementos y estructuras de concreto del proyecto.

El concreto de resistencia normal puede ser de dos clases: clase 1, con peso volumétrico en estado fresco superior a 2.2 ton/m^3 y clase 2, con peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 1.9 y 2.2 ton/m^3 .

Para las obras clasificadas como del grupo A o B1, según se define en el artículo 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, se usará concreto clase 1. ⁸

Los materiales que se emplean en la elaboración de concreto hidráulico serán: Cemento Portland, agregados finos y gruesos seleccionados, agua y aditivos, aprobados por la Dirección de la Obra.

Cemento Portland:

El cemento portland utilizado será cualquier tipo de cemento que cumpla con la característica particular requerida, de acuerdo con la norma NMX-C 414-OONCCE-2004 y con las especificaciones de las Normas Mexicanas (NMX), referente a su calidad, almacenamiento, inspección muestreo y demás requisitos para su aprobación. El tiempo máximo de almacenamiento no excederá de ocho semanas.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Tipo	Denominación
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Tabla 6 Tipos de cemento (Clasificación)

Nomenclatura	Características especiales de los cementos
RS	Resistencia a los sulfatos
BRA	Baja reactividad Alkali agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Tabla 7 Cementos con características especiales

TIPO	DENOMINACION	COMPONENTES					
		Clinker	Principales				Minoritarios (2)
		Portland yeso	Escoria granulada	Materiales puzolánicos (3)	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPE G	Cemento Portland con escoria granulada de alto horno	40-94	-	6-50	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto ⁽⁴⁾	65-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Tabla 8 Composición de los cementos

Cemento Portland Ordinario:

El Cemento Portland Ordinario tiene, en principio, los mismos empleos que los de otros tipos de cementos, con las salvedades y matices de cada caso. Por ejemplo, en condiciones comparables de resistencia mecánica, el Cemento Portland Ordinario, en general, desprende un mayor calor de hidratación y es más sensible a los ataques químicos por medios ácidos y salinas (en particular, por sulfatos). No obstante, este cemento puede ostentar, en determinados casos, las características especiales de bajo calor de hidratación y de resistencia a los sulfatos.

Un factor positivo es que puede conferir una mayor protección a las armaduras contra la corrosión metálica, por lo que el Cemento Portland Ordinario es utilizable con ventaja en el caso de concreto pretensado que implique una gran responsabilidad, siempre que se tenga en cuenta la posibilidad de fisuración por retracción (sobre todo térmica), en particular por lo que pueda afectar a la propia



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

corrosión de armaduras.

El Cemento Portland Ordinario es especialmente apto para la prefabricación, particularmente sin tratamientos higrotérmicos y concretos de altas resistencias; en obras públicas especiales y de gran responsabilidad como puentes de concreto pretensado, otras estructuras pretensadas, etc. En el caso de concretos con cenizas volantes, sobre todo en proporciones altas, es aconsejable, prácticamente en exclusiva, el Cemento Portland Ordinario.

Cemento Portland Puzolánico:

El Cemento Portland Puzolánico es idóneo para prefabricación mediante tratamientos higrotérmicos del concreto, bien por vapor libre o, mejor todavía, con vapor a presión en autoclave. Además, va particularmente bien en el caso forzado de tener que emplear en el concreto agregados reactivos con los álcalis del Cemento Portland Ordinario, en primer lugar porque la adición de puzolana reduce la proporción de Clinker Portland y con ella, la de los álcalis que éste aporta, segundo lugar porque la propia puzolana fija álcalis y evita o atenúa la acción sobre los agregados reactivos.

Por su bajo calor de hidratación, el Cemento Portland Puzolánico puede dar colores de hidratación inferiores a los que dan los otros Cementos Portland, sobre todo a edades cortas. Por todas estas circunstancias, los Cementos Portland Puzolánicos son idóneos para obras de concreto en contacto con aguas agresivas de cualquier naturaleza, pero en particular, puras, carbónicas y ligeramente ácidas. Son asimismo, aptos para concreto en grandes masas en que interese evitar una gran elevación de temperatura y con ello la retracción y fisuración de origen térmico.

Por ambas circunstancias son especialmente indicados para concreto de presas y cimentaciones masivas. No son en cambio, los más adecuados para concreto pretensado, particularmente con escasos recubrimientos.

Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno (CPEG):

El Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno es tanto menos vulnerable a la agresión química, en general, cuanto mayor es su contenido de escoria (o cuanto menor es su relación Clinker/escoria) y en particular los menos atacables frente a las agresiones de tipo salino por agua de mar o por sulfatos.

En otro aspecto, el Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno es de bajo calor de hidratación, tanto menor cuanto menor sea su contenido de escoria.

El Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno, por razón de la escoria, puede contener sulfatos en determinada proporción, lo cual puede dar lugar a acciones corrosivas sobre las armaduras, especialmente serias en el caso de concreto pretensado.

Cemento Portland Compuesto:

En principio, los Cementos Portland Compuestos, en general pertenecientes a una misma clase



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



resistente, son equivalentes, desde el punto de vista de utilización práctica, a efectos estructurales.

Entre el empleo de unos y otros cementos pueden existir algunas ligeras diferencias en función de las consistencias o de las relaciones agua/cemento de los concretos.

A efectos de durabilidad, resistencia química (excepto corrosión de armaduras), calor de hidratación, retracción y fisuración o tratamientos higrotérmicos y a igualdad de todo lo demás en principio será preferible Cemento Portland Compuesto a Cemento Portland Ordinario, a no ser que éstos tengan alguna de las características especiales, tales como bajo calor de hidratación y/o resistente a los sulfatos.

Cemento Portland con Humo de Sílice (CPS):

La utilización del Cemento Portland con Humo de Sílice requiere a veces el uso de energéticos superfluidificantes reductores de agua en el concreto, a fin de mantener aceptablemente las exigencias de agua del mismo y su retracción hidráulica de secado, esto se debe a que el humo de Sílice es un producto que consta de partículas muy finas de sílice amorfa, con una superficie 50 veces mayor que la de un Cemento Portland Ordinario.

Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno (CEG):

El Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno es utilizable en aquellos casos en que, no exigiéndose unas resistencias mínimas altas ni una grande o mediana velocidad de endurecimiento, le pueden afectar al concreto problemas de fuerte agresividad salina por parte de yesos, sulfatos o agua de mar.

También se podrán utilizar cuando se necesite un calor de hidratación muy bajo, a condición de que sean compatibles con las otras circunstancias del caso.

El Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno no es, en cambio, recomendable para concreto pretensado, ni para armado con armaduras de diámetro pequeño u escaso recubrimiento.

En la fabricación del concreto, se empleará cualquier tipo de cemento que sea congruente con la finalidad y características de la estructura, clase resistente 30 ó 40.

Resistencia a la compresión: Tendrá una resistencia a la compresión especificada, $f'c$, igual o mayor que 250 kg/cm^2 .

El Módulo de elasticidad (E_c) en el concreto clase 1 se supondrá igual a ⁸:

$$\text{Con agregado grueso calizo: } 14000 \sqrt{f'c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)}$$

$$\text{Con agregado grueso basáltico: } 11000 \sqrt{f'c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)}$$

Los agregados utilizados cumplirán con las especificaciones señaladas por las Normas Mexicanas (NMX) Dichos agregados se obtendrán de los bancos o depósitos aprobados previamente y serán



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

seleccionados solo aquellos que cumplan con los parámetros especificados en Normas Base. Se excluirán los agregados andesíticos.

El contratista deberá efectuar su clasificación por tamaños, de acuerdo al tipo de concreto solicitado. Se efectuarán muestreos periódicos a los agregados provenientes de los bancos, a fin de comprobar su uniformidad o variaciones en sus características que pudieran modificar o anular su utilización.

El concreto clase 1 se fabricará con los agregados gruesos con peso específico superior a 2.6 (caliza, basalto, etc.), se podrá emplear andesítica u otra de las mejores características. El concreto clase 1 deberá proporcionarse por peso. El agua de mezclado deberá ser limpia y cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004. Si contiene sustancias en solución o en suspensión que la enturbien o le produzcan olor o sabor fuera de lo común, no deberá emplearse. Podrán utilizarse aditivos a solicitud expresa del usuario o a propuesta del productor, en ambos casos con la autorización del corresponsable.

Los agregados gruesos serán del tipo basáltico y cumplirán con las especificaciones de la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004, con las modificaciones establecidas las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto y con los valores de densidad, absorción y abrasión siguientes:

Densidad 2.5 Mínimo
Absorción 1.5% Máximo

El contenido máximo de material fino que pase la malla No. 200 en los agregados será el indicado a continuación y en ningún caso excederá del 10 %.

PROPIEDAD	REGLAMENTO			
	CLASE 1	CLASE 2	ARENA	MAX. (1)
MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA No. 200 EN LA ARENA, PORCENTAJE MAXIMO, EN PESO	10	10	-	-
CONCRETOS SUJETOS A ABRASION	-	-	3.0	5.0
CONCRETOS PRESFORZADOS	-	-	3.0	5.0
OTROS CONCRETOS	-	-	3.0	5.0
CONTRACCION LINEAL DE LOS FINOS QUE PASAN LA MALLA No. 40	2	3	-	-

Tabla 9 Materiales para concreto

Transporte:

El equipo de transporte y colocación del concreto debe ser el adecuado según ACI 304 00 y aprobado, por la Dirección de la Obra, dentro de los siguientes sistemas.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Carretillas, vagonetas, cubetas o camiones. Cuando se utilice este sistema de transporte, no se permitirá que éste se apoye directamente sobre el acero de refuerzo, para lo cual se deberán de proveer las pasarelas apropiadas.

Canales y tubos. Estos se dispondrán de tal manera; que se prevenga cualquier segregación y/o clasificación de los materiales. El ángulo de caída de la mezcla será, el adecuado para permitir el flujo, sin provocar velocidades excesivas que propicien la clasificación de los materiales, si es necesario pueden establecerse tramos intermedios en los canales o tubos. Los canales pueden ser de metal, madera forrada con lámina metálica o de cualquier otro material previamente autorizado por la supervisión.

Bombas de concreto. El equipo de bombeo se instalará fuera de la zona del colado, de tal manera que no produzca vibraciones que puedan dañar el concreto fresco, y/o alterar la distribución del acero de refuerzo. El flujo proporcionado por la bomba, deberá ser continuo, en caso de suspensión la mezcla que permaneció en la tubería deberá de removerse y desecharse, debiéndose lavar todo el equipo antes de continuar.

Los sistemas de transporte deberán ser lavados en cada nuevo proporcionamiento del concreto y al finalizar el tramo de trabajo.

Colocación del concreto:

El contratista deberá dar aviso y obtener por escrito la aprobación de la Supervisión, antes de efectuar el colado de cualquier elemento. El representante de la supervisión deberá inspeccionar las dimensiones, desplantes, solidez y demás requisitos de los moldes y obra falsa, la correcta colocación y firmeza del acero de refuerzo, la colocación de anclas y otros soportes, los ductos para las instalaciones, etc. El aviso deberá ser dado por el contratista con una anticipación de 24 hrs. como máximo.

No deberán de transcurrir más de 90 minutos, desde que se inicie el mezclado y la terminación de la colocación, compactación y acomodo del concreto.

No se permite el vaciado de concretos que lleguen a su destino final después de 60 minutos de haber salido de la planta dosificadora.

El concreto no se vaciará hasta que el sitio que ocupará esté libre de agua o cualquier otro material extraño, y se tenga la aprobación del representante de la supervisión.

Se efectuarán colados en contacto con el terreno natural, solo cuando el terreno haya sido preparado según las instrucciones del representante de la supervisión.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

V. 1. 6. Acero de refuerzo

Todo el acero de refuerzo deberá ser con varillas corrugadas de acero de lingote o palanquilla, con él límite de fluencia mínimo de 4,200 kg/cm.

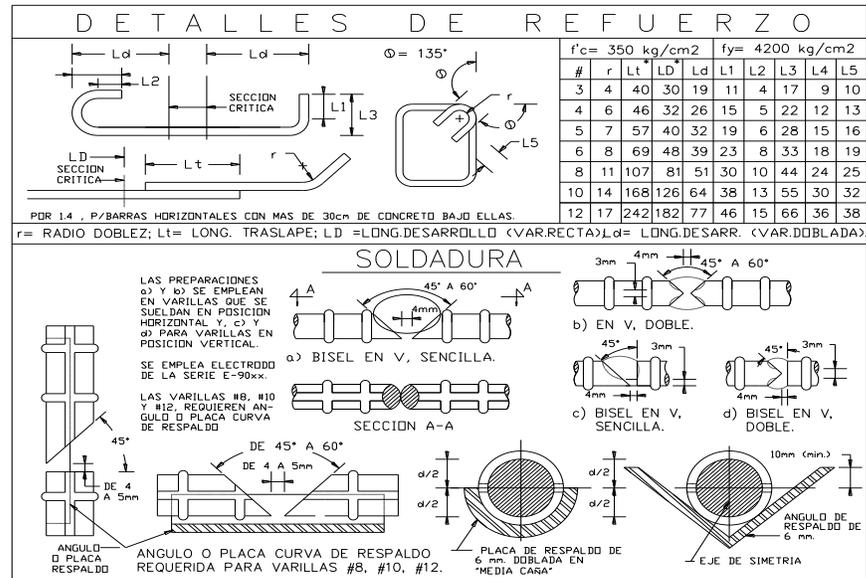


Fig. 51 Detalles de refuerzo

Las varillas corrugadas deberán identificarse con números, letras y/o símbolos realizados, que signifiquen: procedencia, marca del fabricante, número del fabricante, número correspondiente a la designación de la varilla.

Las varillas lisas del # 2 tendrán un límite de fluencia mínimo de 2,300 kg/cm².

El contratista verificará que el acero de refuerzo cumpla con las Normas de calidad establecidas. El contratista, si así lo desea, podrá asignar también un representante en la fábrica de acero de refuerzo para que certifique la calidad del mismo.

Alambre de Amarres:

Para sujetar el acero de refuerzo en su lugar, se utilizará alambre de hierro, relevado de esfuerzos, de calidad adecuada y calibre no inferior al No.16.

Ejecución:

- Descarga, Manejo y Almacenamiento



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Todas las varillas corrugadas de acero de refuerzo serán rectas, de sección completa y se entregarán agrupadas en paquetes, con tarjetas de identificación, en sobres sellados señalados diámetro, grado, horneado y marca del fabricante. Estos paquetes deberán manejarse y almacenarse de manera que las varillas de refuerzo no se deformen, debiendo agrupárseles de acuerdo con su diámetro, longitud y áreas de trabajo a las cuales serán destinadas.

Las varillas estarán libres de escamas sueltas, óxido, grasa, aceite y cualquier otro recubrimiento o materia que pueda reducir su adhesión con el concreto. Se deberán tomar todas las precauciones necesarias para evitar su contaminación con dichos materiales.

- **Habilitado**

1. Todos los lotes de varilla que se reciban en la obra deberán ser muestreados por el contratista para verificar su cumplimiento con las especificaciones, antes de ser empleados. El contratista deberá dotar las facilidades necesarias para el almacenamiento separado de cada lote y muestreo correspondiente.
2. Ningún lote de varilla podrá ser utilizado antes de que se disponga del certificado correspondiente de pruebas.
3. El contratista preparará y habilitará todo el acero de refuerzo, tal y como se indica en los planos.
4. Todos los dobleces de la varilla se harán en frío ver fig. 51 (Detalle de refuerzo). No se calentarán las varillas localmente durante el proceso de doblado, a no ser que se cuente con la aprobación de la Dirección de Obra. No deberá doblarse ninguna varilla que esté parcialmente ahogada en concreto a menos que así este indicado en los planos.
5. Todas las varillas que tengan estrangulaciones o reducciones de sección no deberán utilizarse.

Colocación del acero de refuerzo:

1. Antes de colocar el concreto, el acero de refuerzo debe estar libre de lodo, aceite, pintura o cualquier material que pueda disminuir la capacidad de adherencia.
2. El acero que presente óxido, escamas o ambas, se considera satisfactorio, si las dimensiones mínimas incluyendo la altura de las corrugaciones y el peso del espécimen de prueba cepillado a mano cumplen con las especificaciones de NMX-C-407-ONNCCE-2001.
3. Las varillas de refuerzo deben ser de la clase y diámetro indicados en los planos constructivos, deben ser colocadas con precisión con los soportes y separadores necesarios, y aseguradas contra desplazamientos dentro de las tolerancias especificadas.



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

4. Los separadores y soportes deben ser del tipo y material autorizado; en ningún caso se deben emplear trozos de madera o pedazos de metal diferentes del acero.
5. La separación indicada entre varillas es de centro a centro.
6. El recubrimiento libre mínimo será de 7.5 cm en elementos estructurales a menos que se indique otro recubrimiento en el dibujo.
7. No se deberá traslapar más del 50 % del refuerzo en una misma sección.

Tolerancias:

Las tolerancias para el peralte efectivo "d" y para el recubrimiento mínimo de concreto en elementos sujetos a flexión, a compresión y en muros, deben ser las indicadas en la siguiente tabla.

Tolerancias en peralte y recubrimiento		
Espesor o peralte del elemento	En el peralte del elemento	En el recubrimiento mínimo del concreto
$d \leq 20\text{cm}$	$\pm 1.0\text{cm}$	-1.0cm
$d > 20\text{cm}$	$\pm 1.5\text{cm}$	-1.5cm

Tabla 10 Tolerancias en peralte y recubrimiento

Espaciamiento entre varillas longitudinales de refuerzo

1. La separación libre mínima entre varillas paralelas en trabes, no debe ser menor que el diámetro de la varilla, ni menor de 2.5 cm.
2. Cuando el refuerzo paralelo se coloca en dos o más capas, las varillas de las capas superiores deben estar directamente encima que las de las capas inferiores, con una distancia libre entre ambas no menor de 2.5 cm.

Ganchos y dobleces estándar:

Los traslapes, ganchos, escuadras, etc. que no lleven acotaciones se ajustaran a lo indicado en la fig.51 (detalle de refuerzo) para $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$. Las varillas se remataran rectas cuando no se indique escuadra o gancho.

V. 1. 7. Estructuras metálicas

1. La fabricación de las estructuras se regirá por las especificaciones de acero estructural y por las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2. Norma Oficial Mexicana NOM-H-121-1988 del AISC: “Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings”.
3. Todo acero estructural se ajustará a la especificación ASTM A-36, excepto donde se indique otro tipo.
4. Todas las superficies expuestas para dar continuidad con soldadura sobre placas de base serán cepilladas.
5. Todos los miembros serán fabricados en el taller con las dimensiones anotadas en los planos, de manera que no haya empalmes en campo excepto en los lugares específicamente indicados en los planos, salvo autorización escrito por la supervisión.

Accesorios:

1. Las superficies que van a soldarse (bisel en placa, avellanados, y preparación de bulbos en varillas del N° 8, 10 y 12) deben estar lisas, uniformes y libres de rebabas, fisuras, grietas u otras imperfecciones que puedan afectar la calidad o resistencia de la soldadura.
2. Para el ensamble deben prepararse los detalles de la junta a fin de obtener la posición más favorable para soldar, los miembros que van a unirse deben alinearse al máximo para disminuir las excentricidades
3. Toda soldadura será ejecutada por soldadores que hayan sido calificados por un laboratorio acreditado al (EMA) Entidad Mexicana de Acreditación precisamente por medio de las pruebas especificadas en el “Structural Welding Code-Steel D1. 1-75”, su apéndice “E” y su Rev. 1-76 de la American Welding Society (AWS)”.
4. Se llevará a cabo una inspección continua con pruebas no destructivas sobre la soldadura elaborada en planta y en campo.
5. La clasificación de los electrodos para los procesos de soldadura serán acorde al metal base. Toda soldadura manual para el acero estructural será realizada con electrodos serie E-70xx que cumplan con la última edición de la especificación AWS A5.1 ó AWS A5.5 de la American Welding Society (AWS).
6. Cuando sea requerido por la supervisión, el fabricante de los electrodos debe proporcionar un certificado en el que conste que los electrodos cumplen con los requisitos de la clasificación correspondiente.

Soldadura:



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

1. Todos los soldadores que se empleen deberán estar calificados de acuerdo con las pruebas descritas en el “Structural Welding Code D1.1-75”
2. No se ejecutará ninguna soldadura cuando las superficies estén mojadas o expuestas a la lluvia, a viento considerable o cuando los soldadores estén expuestos a severas condiciones ambientales.
3. Todas las soldaduras a tope serán de penetración completa, precalificadas, de acuerdo a lo indicado en manual “AISC”.

Limpieza y protección:

La protección se hará según la secuencia siguiente:

1. Limpieza de la superficie eliminando totalmente óxidos, grasas, aceite y otras impurezas. El nivel de la limpieza será el de aspecto “Comercial” y deberá darse con sopleteo de arena (sandblasteo) para obtener el aspecto especificado.
2. Se aplicará un recubrimiento anticorrosivo primario a base de Cromato de Zinc, (tipo Cromato de Zinc No. 1 EG1 y JO1 o similar aprobado por supervisión), aplicado en el taller de construcción del elemento metálico. Esta aplicación se hará siguiendo las instrucciones del fabricante del producto que deberá provenir de envases cerrados por el propio fabricante. Se aplicará una mano a razón de 10-12 m² por litro.
3. Aplicación del acabado final en obra. Este se hará sobre superficies perfectamente limpias, secas y libres de grasa, aceite u otras impurezas, lo anterior aplicara en elementos expuestos.

Montaje:

El montaje debe efectuarse con equipo apropiado, que ofrezca la mayor seguridad posible. Durante la carga, transporte, y descarga del material, y durante el montaje, se adoptarán las precauciones necesarias para no producir deformaciones.



V. 2. Maquinaria y equipo

Para el mejoramiento del terreno natural se realizará mediante máquina retroexcavadora CAT 416E o similar.

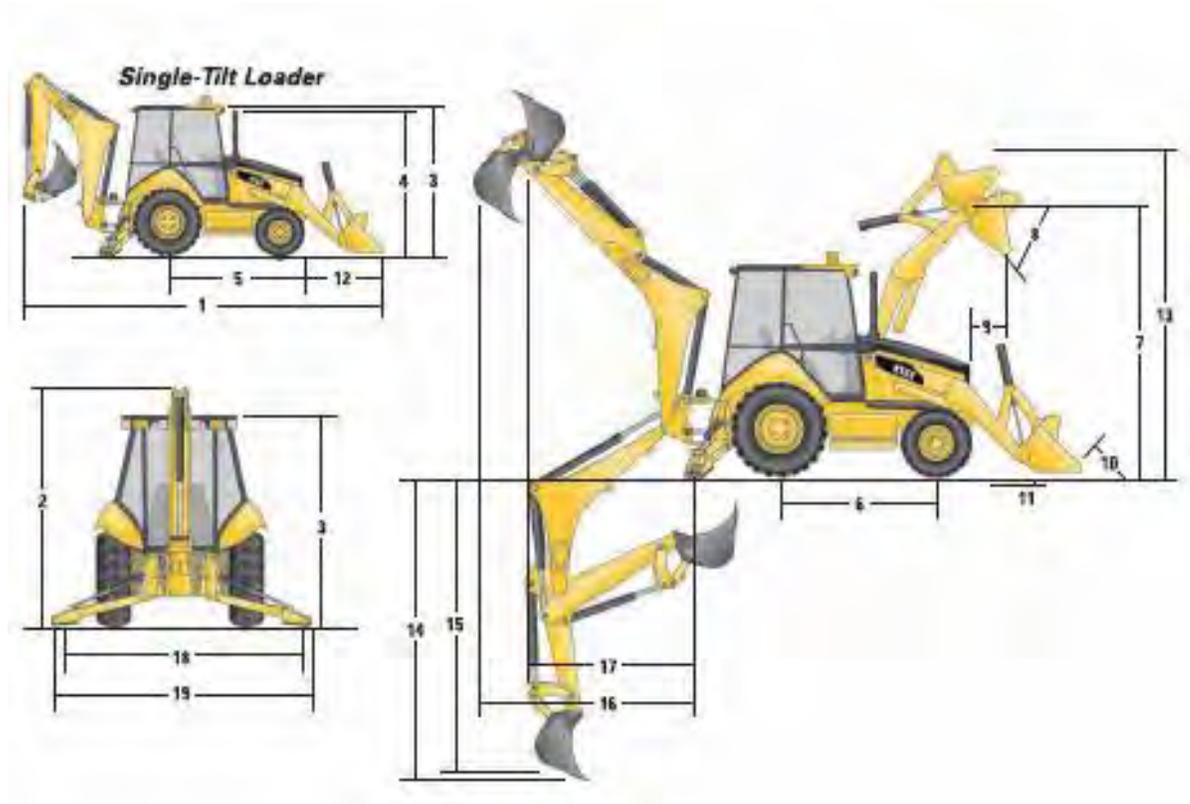


Fig. 52 Retroexcavadora CAT 416E



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



La excavación del muro primario, zanja anular y núcleo de la lumbrera se realizarán con grúa sobre orugas tipo Link-Belt 118 y una almeja hidráulica guiada tipo BAYA de TEC Systems.



Fig. 53 Almeja hidráulica BAYA de TEC Systems



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Tubería Tremie - características técnicas

Utiliza un sistema de acople entre tuberías mediante cable, de fácil conexión y desconexión. Se comercializan las tuberías Tremie, en diferentes diámetros, así como todos los accesorios necesarios: jaula para almacenamiento y transporte de tubería, embudo, etc.



Fig. 54 Aditamentos para el sistema de colado mediante tubería Tremie

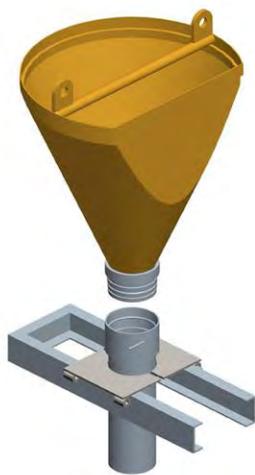


Fig. 55 Aditamentos para el sistema de colado mediante tubería Tremie

El sistema de tubería Tremie se aplicará para entregar el lodo fraguante de la cubeta y la tolva en la parte inferior de la excavación. El sistema de tuberías Tremie incluye tolva, la plataforma giratoria de tuberías conjunta, tubos Tremie, zapato de la tubería, la plataforma, plantilla de la suspensión, estante de tubería y algunos otros aditamentos.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Plumas metálicas

Se integran por los elementos mecánicos como son los malacates manuales de 6 a 8 toneladas de capacidad y el juego de polipastos que servirán únicamente para ayudar a nivelar y sujetar la estructura de concreto durante cada etapa de la inmersión.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Longitud	13 – 1/4”
Altura	9 – 1/16”
Relación de engranaje	5.1:1
Ancho	7 – 7/8”

Fig. 56 Especificaciones técnicas del malacate manual



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**VI.- MEMORIA DE CÁLCULO DE DISEÑO
ESTRUCTURAL**

VI. 1. Diseño estructural de brocal

Las cargas solicitadas en los brocales son las siguientes:

- Empuje horizontal del equipo
- Peso propio del brocal
- Peso del equipo sobre el brocal

Características del equipo:

Grúa sobre orugas tipo Link Belt 118= **65 t**

Almeja Hidráulica BAYA de TEC Systems= **7.8 t**

Pluma Kelly= **1.3 t**

Área de contacto de las orugas= **4.3 m²**

Presión de contacto= **8.6 t/m²**

Camión de carga= **6.0 t**

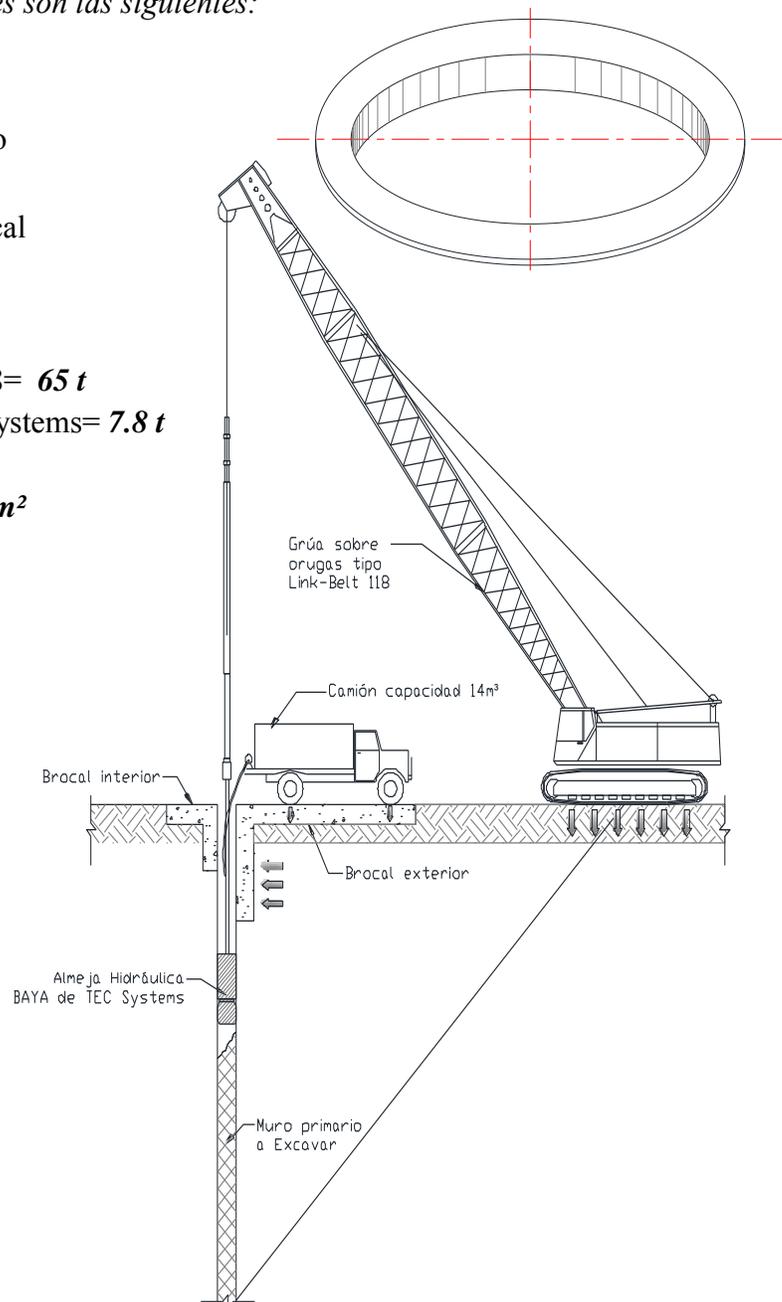


Fig. 57 Brocales: análisis de cargas

VI. 1. 1.- Consideraciones de carga sobre el Brocal de la lumbrera

El equipo que solo se considera que actúa sobre el brocal es el del camión con capacidad de 14 m³ ya que la grúa tipo Link Belt por su ubicación no trasmite carga, debido al ángulo de inclinación de la cuña de suelo a desplazarse (45 + $\theta/2$), por lo tanto la base del triángulo que forma el suelo a moverse está fuera del área de contacto de la máquina.

Brazo de brocal (Y)

- $e = 0.5m$ Espesor de brazo de brocal
- $W_c = 6.0 t$ Peso de Camión de diseño
- $W_m = 18.2 t$ Peso del material excavado ($W_m = \gamma * V$)
- $W = 24.2 t$ Peso sobre el Brocal ($W = W_c + W_m$)

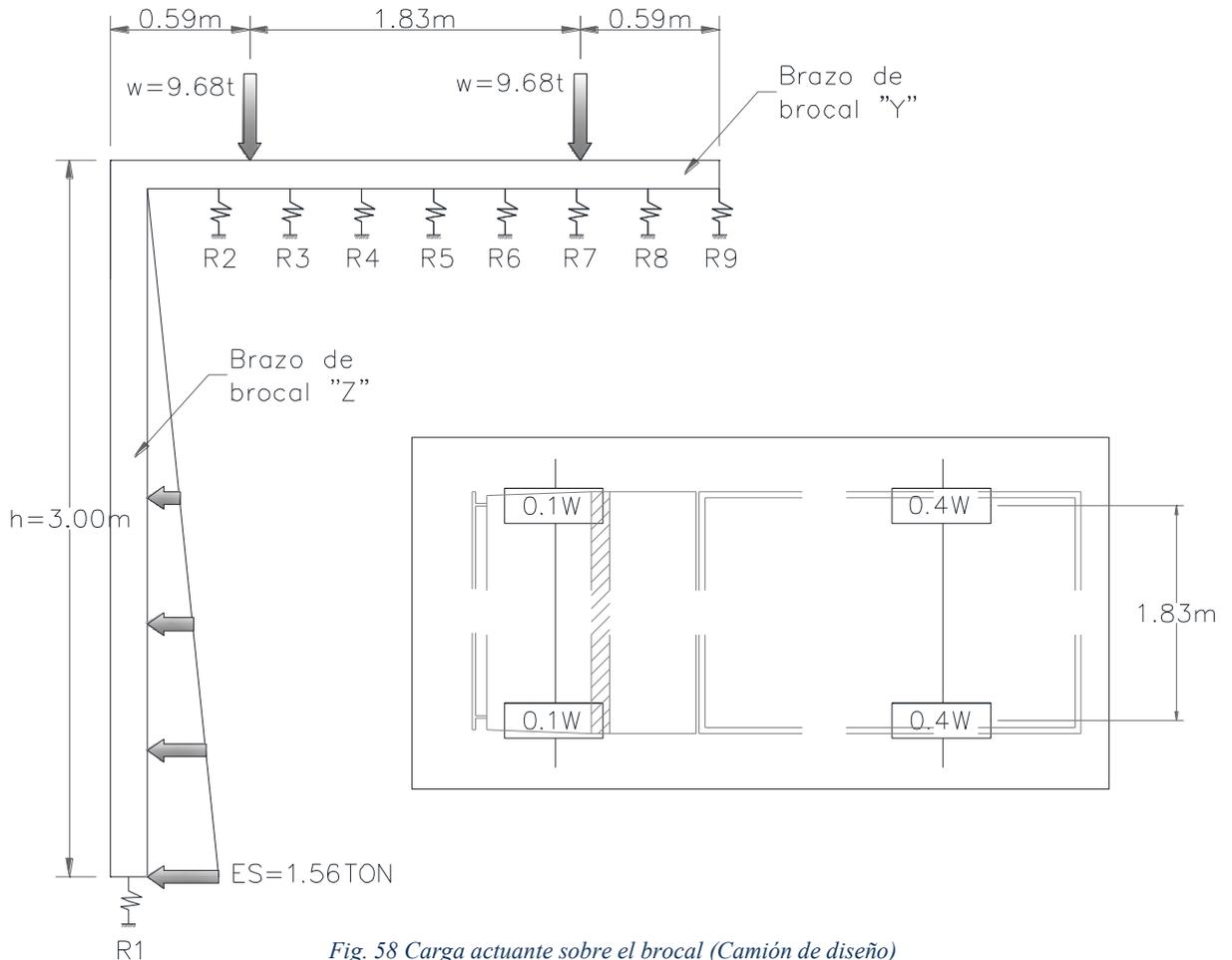


Fig. 58 Carga actuante sobre el brocal (Camión de diseño)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>BROCALES L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	
	MAYO 2014 3 de 10	

$W1 = 9.68 t$ Peso por cada llanta trasera ($W1 = W * 0.4$)

$W2 = 2.42 t$ Peso por cada llanta delantera ($W2 = W * 0.1$)

Brazo de brocal (Z)

$e = 0.6 m$

Espesor de brazo de brocal

$\gamma_s = 1.30 t/m^3$

Peso específico del suelo

$K_0 = 0.4$

Coefficiente de empuje *condiciones a corto plazo

$h = 3.0 m$

Altura

$E_s = 1.56 t/m^2$

Empuje debido a la suelo ($E_s = \gamma * h * K_0$)

Cálculo de la rigidez de los Resortes

Para el diseño del brocal se considera un modelo en el cual el suelo equivale a un número infinito de resortes elásticos; considerando que la estructura esta soportada en un medio elástico según este modelo, la presión con que reacciona el suelo ante la carga es proporcional al hundimiento en el punto en cuestión.

La capacidad de carga del suelo donde se ubicará el brocal es de 0.5 kg/cm^2

El valor de K_s (Módulo de reacción del suelo) para arcillas blandas es del orden de 0.65 kg/cm^3 a 1.39 kg/cm^3 con capacidad de carga de 0.25 a 0.5 kg/cm^2 .¹

$K_s = 1.39 \text{ Kg/cm}^3$ Módulo de reacción del suelo

Área tributaria sobre cada uno de los resortes para el cálculo de la rigidez de estos.

RIGIDECES DE RESORTES									
Resorte	Profundidad	Módulo de reacción del suelo, ks.		lado 1	lado 2	Área		Rigidez de Resorte	
		$K_v (t/m^3)$	$K_h (t/m^3)$			Área total (m ²)	Área tributaria(m ²)	$R_v (t/m)$	$R_h (t/m)$
R1	0.6	1390	695	0.75	1	0.75	0.90	1251.0	625.5
R2	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R3	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R4	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R5	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R6	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R7	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R8	0.5	1390	695	0.3	1	0.30	0.30	417.0	208.5
R9	0.5	1390	695	0.15	1	0.15	0.15	208.5	104.3

Tabla 11 Rigideces de resortes

Áreas tributarias sobre los resortes

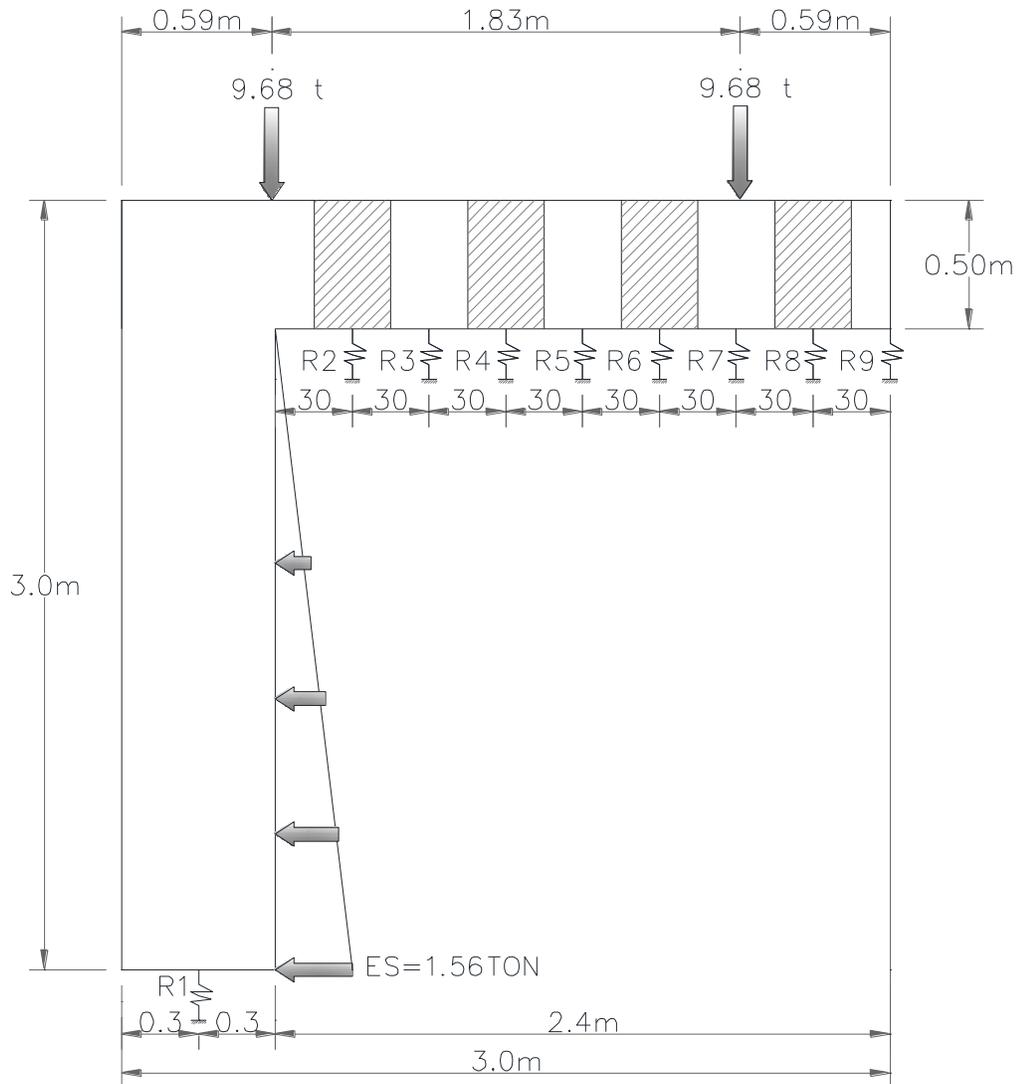
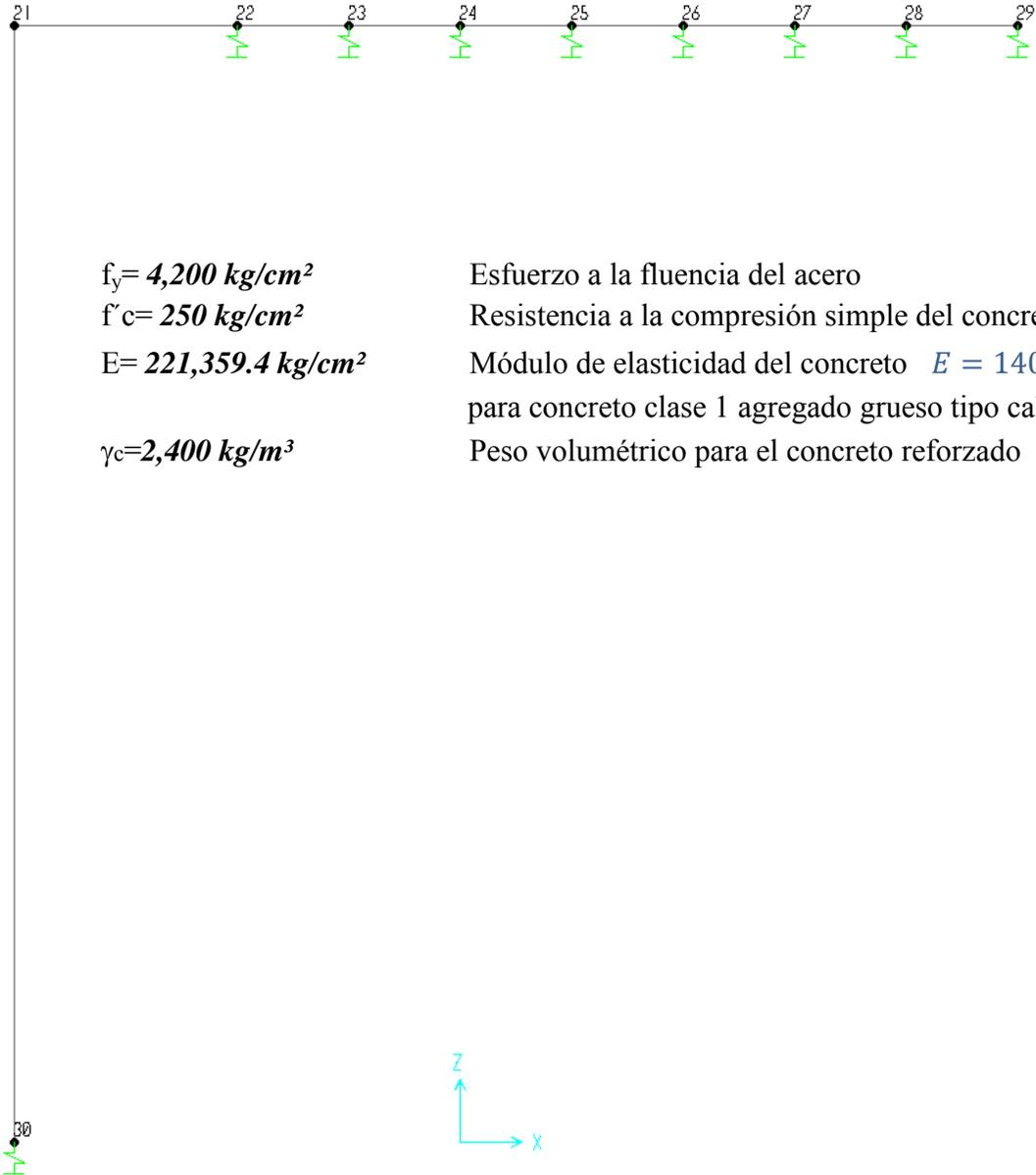


Fig. 59 Áreas tributarias sobre resortes

VI. 1. 2.- Análisis estructural en SAP2000

Modelo



Elementos mecánicos

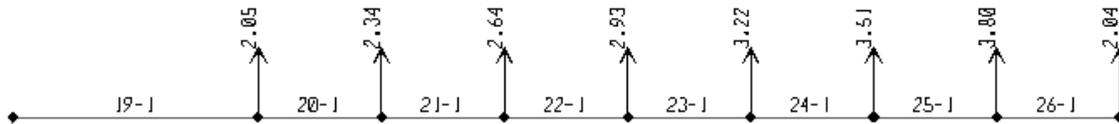


Table 18: Joint Reactions

Joint	OutputCase	Table 18: Joint Reactions					
		F1 Tonf	F2 Tonf	F3 Tonf	M1 Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m
22	DEAD	0.0000	0.0000	2.0514	0.00000	0.00000	0.00000
23	DEAD	0.0000	0.0000	2.3437	0.00000	0.00000	0.00000
24	DEAD	0.0000	0.0000	2.6354	0.00000	0.00000	0.00000
25	DEAD	0.0000	0.0000	2.9268	0.00000	0.00000	0.00000
26	DEAD	0.0000	0.0000	3.2180	0.00000	0.00000	0.00000
27	DEAD	0.0000	0.0000	3.5091	0.00000	0.00000	0.00000
28	DEAD	0.0000	0.0000	3.7998	0.00000	0.00000	0.00000
29	DEAD	0.0000	0.0000	2.0452	0.00000	0.00000	0.00000
30	DEAD	0.0000	0.0000	4.3906	0.00000	0.00000	0.00000

Table 19: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	Table 19: Element Forces - Frames, Part 1 of 2		
			P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf
19	0.0000	DEAD	4.0000	-0.0706	0.0000
19	0.29250	DEAD	4.0000	0.2804	0.0000
19	0.58500	DEAD	4.0000	0.6314	0.0000
19	0.58500	DEAD	4.0000	10.3114	0.0000
19	0.60000	DEAD	4.0000	10.3294	0.0000
20	0.00000	DEAD	2.0000	8.2781	0.0000
20	0.30000	DEAD	2.0000	8.6381	0.0000
21	0.00000	DEAD	2.0000	6.2944	0.0000
21	0.30000	DEAD	2.0000	6.6544	0.0000
22	0.00000	DEAD	0.0000	4.0189	0.0000
22	0.30000	DEAD	0.0000	4.3789	0.0000
23	0.00000	DEAD	0.0000	1.4521	0.0000
23	0.30000	DEAD	0.0000	1.8121	0.0000
24	0.00000	DEAD	-2.0000	-1.4059	0.0000
24	0.30000	DEAD	-2.0000	-1.0459	0.0000
25	0.00000	DEAD	1.0000	-4.5550	0.0000
25	0.01500	DEAD	1.0000	-4.5370	0.0000
25	0.01500	DEAD	1.0000	5.1430	0.0000
25	0.30000	DEAD	1.0000	5.4850	0.0000
26	0.00000	DEAD	0.0000	1.6852	0.0000
26	0.30000	DEAD	0.0000	2.0452	0.0000
27	0.00000	DEAD	-0.0706	-4.0938	0.0000
27	1.50000	DEAD	-2.2306	-3.0700	0.0000
27	3.00000	DEAD	-4.3906	0.0012	0.0000



 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	21	0.30000	DEAD	LinStatic	2.0000	6.6544	0.0000
	22	0.00000	DEAD	LinStatic	0.0000	4.0188	0.0000
	22	0.30000	DEAD	LinStatic	0.0000	4.3789	5.0000
	23	0.00000	DEAD	LinStatic	0.0000	1.4521	0.0000
	23	0.30000	DEAD	LinStatic	0.0000	1.8121	0.0000
	24	0.00000	DEAD	LinStatic	2.0000	-1.4059	0.0000
	24	0.30000	DEAD	LinStatic	-2.0000	-1.0459	0.0000
	25	0.00000	DEAD	LinStatic	1.0000	-4.5550	0.0000
	25	0.01500	DEAD	LinStatic	1.0000	-4.5370	0.0000
	25	0.01500	DEAD	LinStatic	1.0000	5.1430	0.0000

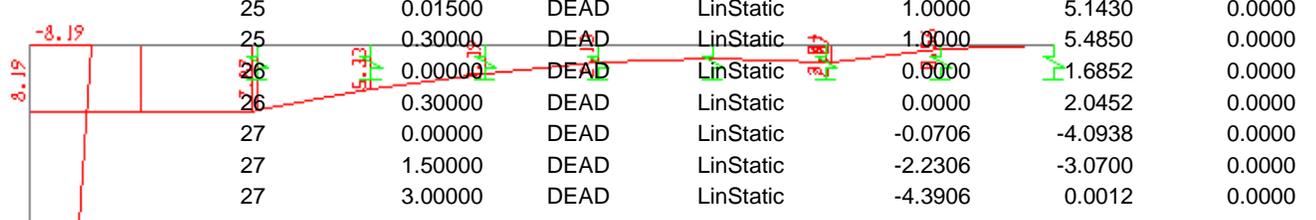


Table 19: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	M3 Tonf-m	FrameElem	ElemStation m
19	0.00000	DEAD	8.18600	19-1	0.00000
19	0.29250	DEAD	8.15532	19-1	0.29250
19	0.58500	DEAD	8.02196	19-1	0.58500
19	0.58500	DEAD	8.02196	19-1	0.58500
19	0.60000	DEAD	7.86716	19-1	0.60000
20	0.00000	DEAD	7.86716	20-1	0.00000
20	0.30000	DEAD	5.32974	20-1	0.30000
21	0.00000	DEAD	5.32974	21-1	0.00000
21	0.30000	DEAD	3.38743	21-1	0.30000
22	0.00000	DEAD	3.38743	22-1	0.00000
22	0.30000	DEAD	2.12775	22-1	0.30000
23	0.00000	DEAD	2.12775	23-1	0.00000
23	0.30000	DEAD	1.63811	23-1	0.30000
24	0.00000	DEAD	1.63811	24-1	0.00000
24	0.30000	DEAD	2.00588	24-1	0.30000
25	0.00000	DEAD	2.00588	25-1	0.00000
25	0.01500	DEAD	2.07407	25-1	0.01500
25	0.01500	DEAD	2.07407	25-1	0.01500
25	0.30000	DEAD	0.55957	25-1	0.30000
26	0.00000	DEAD	0.55957	26-1	0.00000
26	0.30000	DEAD	-2.096E-12	26-1	0.30000

Momento máximo= 8.2 t-m

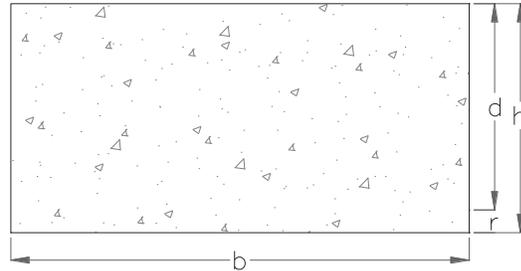
*Nota: No se consideran solicitaciones sísmicas, teniendo en cuenta que se trata de elementos estructurales temporales.

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL BROCALES L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 8 de 10

VI. 1. 3.- Diseño estructural como viga ancha

Acero necesario por flexión

b=100 cm Ancho
r=5 cm Recubrimiento
d=45 cm Peralte efectivo



f'c=250 kg/cm² Resistencia a la compresión de concreto
f*c=200 kg/cm² Resistencia nominal de concreto a compresión ($f * c = 0.8f'c$)
f''c= 170 kg/cm² Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos ($f''c = 0.85f * c$)
FR= 0.9 Factor de resistencia por flexión
Mmáx= 819, 000 kg-m Momento máximo

Resistencia a flexión como viga simplemente armada $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$-15,491,250q^2 + 30,982,500q - 819,000 = 0$$

x1=0.026 **x2=1.97**

si $q=0.026$ por lo tanto:

$\rho_{nec}=0.0011$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)
 $A_s = 4.88 \text{ cm}^2$ Área necesaria ($A_{s \text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:

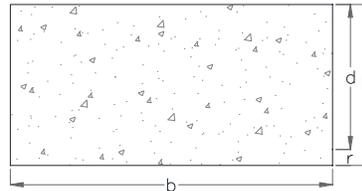
$a_s = 0.71 \text{ cm}^2$ Área de acero del #3
 $S = 38.9 \text{ cm} \sim 35 \text{ cm}$ Separación de acero ($S = \frac{100 * a_s}{(A_s/2)}$)

Vars#3@35cm

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>BROCALES L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 9 de 10

Acero mínimo por flexión

$b=100\text{ cm}$ Ancho
 $r=5\text{ cm}$ Recubrimiento
 $d=45\text{ cm}$ Peralte efectivo



$f'c=250\text{ kg/cm}^2$ Resistencia a la compresión de concreto
 $f_y=4,200\text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

$A_s=11.86\text{ cm}^2$ Acero mínimo por flexión ($A_{smin} = \frac{0.7*\sqrt{f'c}}{f_y}bd$)

Se propone:

$as=1.98\text{ cm}^2$ Área de acero del #5
 $S=33\text{ cm} \sim 30\text{ cm}$ Separación de acero ($S = \frac{100*as}{(As/2)}$)

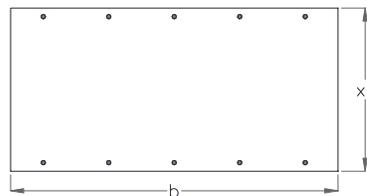
*El área de acero se divide entre 2 porque se colocará en ambos lechos

Vars#5@30cm

Acero por cambios volumétricos

Si x_1 (ancho de viga) es mayor que 15.0 cm, el refuerzo se coloca en dos capas próximas a las caras de elementos ⁸ (ambos lechos).

$b=100\text{ cm}$ Base
 $x_1=50\text{ cm}$ Ancho



$f'c=250\text{ kg/cm}^2$ Resistencia a la compresión de concreto
 $f_y=4,200\text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
 $a_{s1}=0.052\text{ cm}^2/m$ Área transversal del refuerzo colocado ($a_{s1} = \frac{(660)x_1}{f_y(x_1+100)}$)

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será menor que:

$A_s=7.86\text{ cm}^2/m$ Área de acero por cambios volumétricos ($A_s = 1.5 * a_{s1}$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>BROCALES L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 10 de 10

Se propone:

$$as = 1.27 \text{ cm}^2$$

Área de acero del #4

$$S = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Separación de acero } (S = \frac{100 \cdot as}{(As/2)})$$

*El área de acero se divide entre 2 porque se colocará en ambos lechos.

Vars#4@30cm

VI. 1. 4.- Armado de Brocal

Debido a que el acero necesario es menor que el acero mínimo por flexión, se propone el siguiente armado para:

Brocal exterior

Vars#5@30cm

Acero mínimo por flexión

Vars#4@30cm

Acero por cambios volumétricos

Brocal interior

Vars#5@30cm

Acero mínimo por flexión

Vars#4@30cm

Acero por cambios volumétricos

*Brocal interior solo servirá de guía por lo tanto no se consideran cargas sobre él.

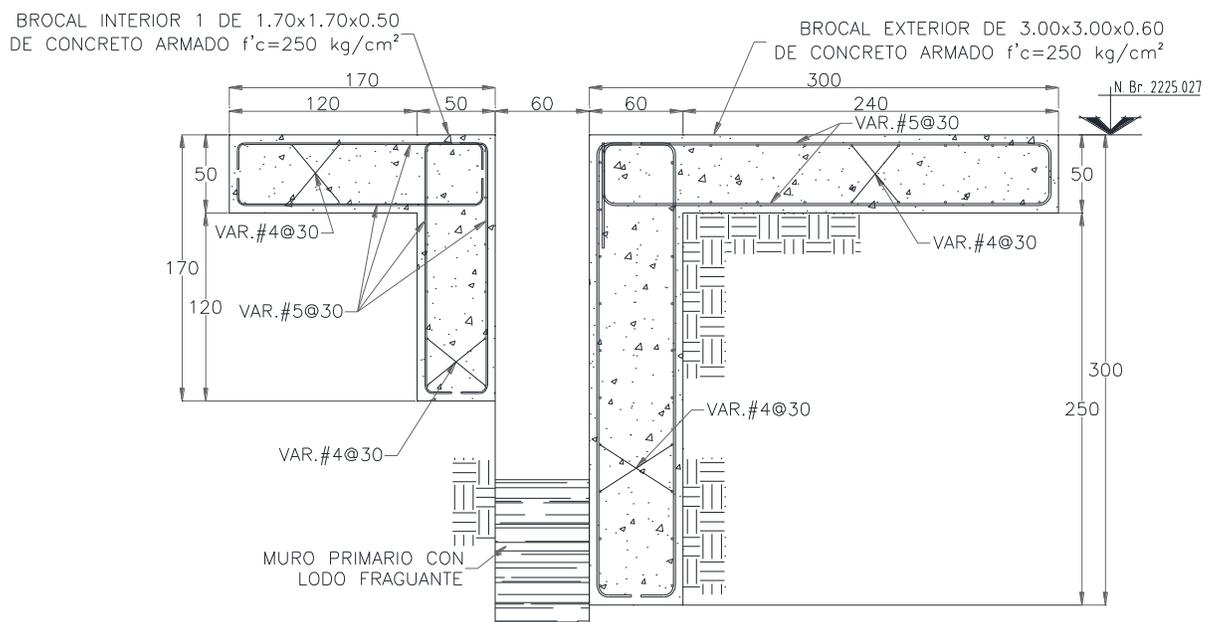
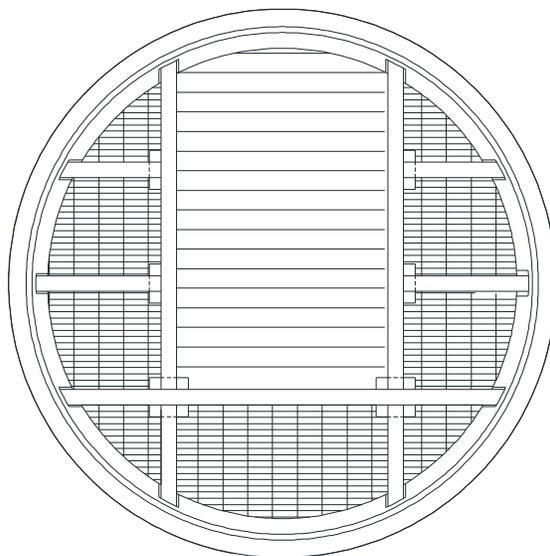


Fig. 60 Armado de brocales

VI. 2. Diseño de Losa Tapa

1.- Geometría

$\varnothing_1 = 12.00 \text{ m}$ Diámetro de lumbrera
 N.T.N. = 2225.027 Nivel terreno natural



2.- Diseño de elementos de losa tapa

VI. 2. 1.- Diseño de Tabletillas

∴ Tabletillas de 30 cm x 50 cm (17pzas.)



$b = 0.5 \text{ m}$	Base de tableta
$h = 0.3 \text{ m}$	Altura de Tableta
$l = 5.8 \text{ m}$	Longitud de tableta
$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la compresión de concreto
$A = 0.15 \text{ m}^2$	Área
$V = 0.87 \text{ m}^3$	Volumen de tableta ($V = b * h * l$)
$w_t = 2.088 \text{ t}$	Peso de tableta ($w_t = V * P.V.$)

Análisis como viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida

$b = 0.5 \text{ m}$	Base de tableta
$h = 0.3 \text{ m}$	Altura de Tableta
$l = 5.8 \text{ m}$	Longitud de tableta
$FC = 1.5$	Factor de carga (Estructuras tipo "A") ⁸
$A = 0.15 \text{ m}^2$	Área
$C_{viva} = 0.5 \text{ t/m}^2$	Carga viva *En recipientes enterrados, la carga viva en la losa de cubierta no será menor que 0.5 t/m ² ¹³

Cargas consideradas

$w_1 = 0.25 \text{ t/m}$ Carga 1 ($w_1 = (b)C_{viva}$)
 $w_2 = 0.36 \text{ t/m}$ Carga 2 Peso propio ($w_2 = (A)(P.V.)$)
 $w = 0.61 \text{ t/m}$ Carga total ($w = w_1 + w_2$)

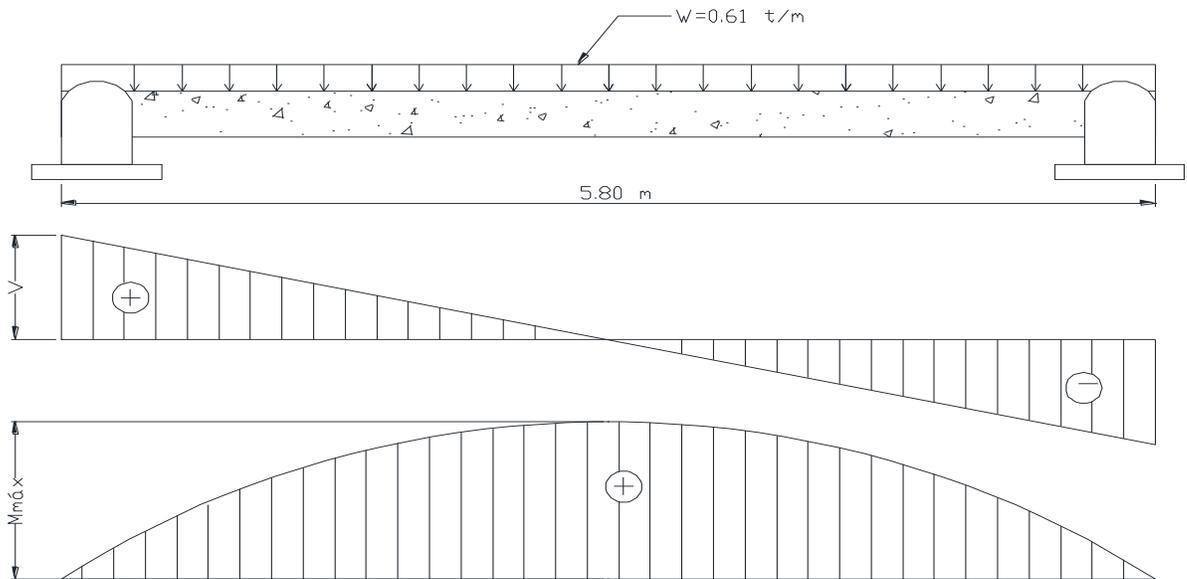
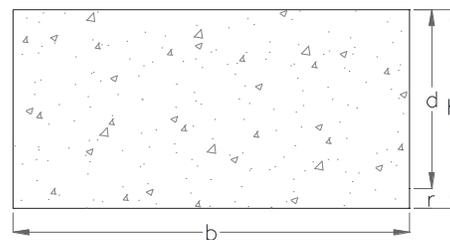


Fig. 61 Elementos mecánicos de tableta

$M_u = 3.85 \text{ t-m}$ Momento al centro del claro ($M_u = \frac{(W)(FC)l^2}{8}$)
 $V_u = 2.65 \text{ t}$ Cortante en el extremo del claro ($V_u = \frac{(W)(FC)l}{2}$)

Para el diseño de acero de refuerzo se considera la trabe Tableta

$b = 50 \text{ cm}$ Base de tableta
 $h = 30 \text{ cm}$ Altura de Tableta
 $r = 5 \text{ cm}$ Recubrimiento
 $d = 25 \text{ cm}$ Peralte efectivo



$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia a la compresión de concreto
 $f^*c = 200 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia nominal de concreto a compresión ($f^*c = 0.8f'c$)
 $f''c = 170 \text{ kg/cm}^2$ Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos ($f''c = 0.85f^*c$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014

$$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

Acero necesario por flexión

FR= 0.9 Factor de resistencia por flexión

M_{máx}=385,000 kg-cm Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-2,390,625q^2) + (4,781,250q) - (385,000) = 0$$

$$x_1 = 0.084$$

$$x_2 = 1.92$$

Por lo tanto $q = 0.084$ (q debe ser menor a la unidad)

$\rho_{nec} = 0.0034$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As = 4.25 cm² Área necesaria ($A_{s \text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:

as=1.27 cm² Área de acero del #4

N_{Vars}= 3.35 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 4 varillas

4Vars#4

Acero mínimo por flexión

$\rho_{mín} = 0.0026$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{f_y}$)

As = 3.29 cm² Acero mínimo por flexión ($A_{smin} = \frac{0.7 * \sqrt{f'c}}{f_y} bd$)

Se propone:

as=1.27 cm² Área de acero del #4

N_{Vars}= 2.59 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 3 varillas

3Vars#4

Acero máximo por flexión

B₁=0.85

$\rho_b = 0.020$ Cuantía de acero balanceado ($\rho_b = \left(\frac{f''c}{f_y}\right) \left(\frac{6000 * B_1}{f_y + 6000}\right)$)

$\rho_{máx} = 0.0152$ Cuantía de acero máx. ($\rho_{máx} = 0.75 * \rho_{balanceado}$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Si $\rho_{nec} > \rho_{mín.} \rightarrow 0.0034 > 0.0026$ Si pasa la sección

Si $\rho_{nec} < \rho_{máx.} \rightarrow 0.0034 < 0.0152$ Si pasa la sección

Acero por cortante

FR=0.8 Factor de resistencia para cortante o torsión

Si $\rho > 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = 1.5FRbd\sqrt{f^*c})$$

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = ((FRbd(0.20 + 20\rho_{nec})\sqrt{f^*c})/1000))$$

Si $\rho=0.0034$ $V_{cR}=4.02 t$

En vigas debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR}

$$V_u=2.65 t < V_{cR}=4.02 t$$

Por reglamento, la tableta requiere refuerzo por tensión diagonal; por lo cual se propone:

E#3@12.5 cm

Deflexiones en Tabletas

$E=221,359.4 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f^*c}$)

$w=0.61 \text{ t-m}$

Carga total ($w = w_1 + w_2$)

$I=0.00113\text{m}^4$

Momento de inercia ($I = \frac{bh^3}{12}$)

$\rho'=0.0026$

Se considera la cuantía de acero a compresión igual a la cuantía de acero mínima a tensión ($\rho_{mín.}=0.0026$)

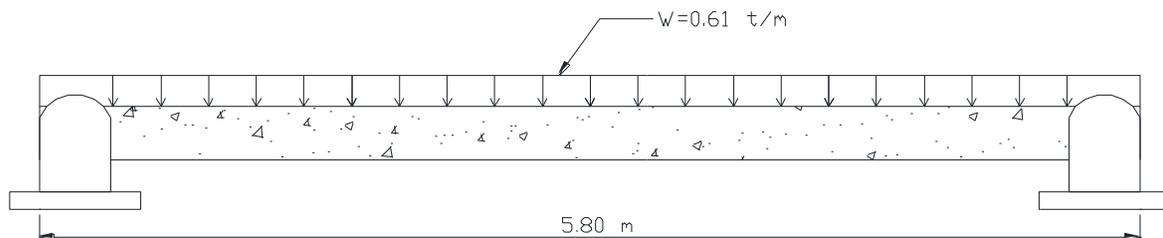


Fig. 62 Tableta con carga uniforme

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

$\Delta_{inm} = 0.0036 \text{ m} \sim 0.36 \text{ cm}$ Deflexión inmediata bajo carga total ($\Delta_{inm} = \frac{5(W)(l^4)}{(384)EI}$)
 $\Delta_{dif} = 0.64 \text{ cm}$ Deflexión diferida ($\Delta_{dif} = \left(\frac{2}{(1+50\rho')}\right) * \Delta_{inm}$) con $\rho' = \rho_{min.} = 0.0026$
 $\Delta_{perm} = 2.92 \text{ cm}$ Deflexión permisible ($\Delta_{perm} = \frac{L}{(240)} + 0.5 \text{ cm}$)
 $\Delta_{perm} = 2.91 \text{ cm} > \Delta_{inm} = 0.36 \text{ cm}$ Se acepta la sección de propuesta

Armado de Tableta

El acero de la tableta se coloca de la siguiente manera:

Lecho superior

3Vars#4 Acero mínimo por flexión

Lecho inferior

4Vars#4 Acero necesario

Estribos

E#3@12.5cm Acero por cortante

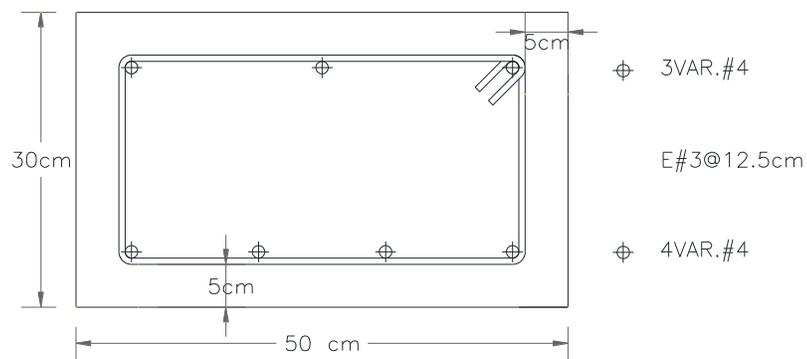


Fig. 63 Armado de Tableta

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

VI. 2. 2.- *Rejilla pultruida tipo Irving de fibra de vidrio (1 1/2") o similar*

Las especificaciones de la rejilla se adaptan a las necesidades del proyecto en el cual el claro mayor de rejilla a utilizar es de 5.8 por lo tanto se propone la rejilla Pultruida tipo Irving de 1 1/2" SI 83 de fibra de vidrio o similar.

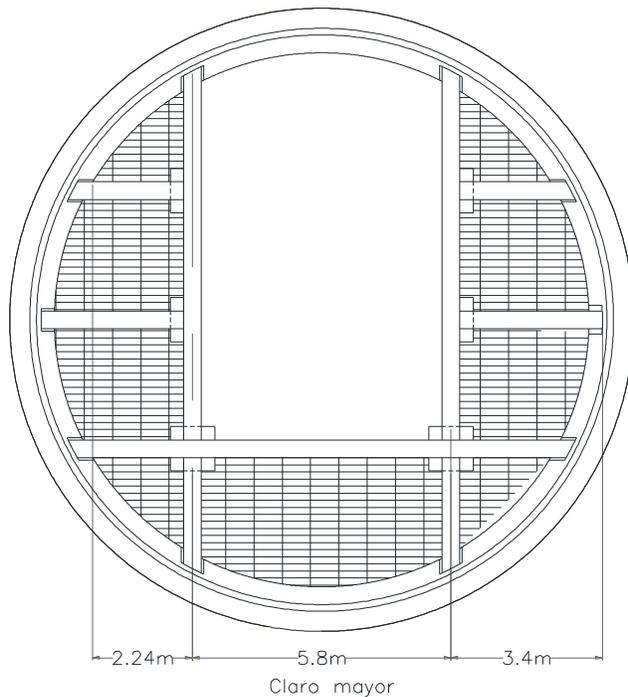


Fig. 64 Ubicación de rejilla en losa tapa

Especificaciones

- Alta resistencia a la corrosión
- Dimensiones 1.19 m x 3.05 m
- Espesor de 3.81 cm
- Superficie antiderrapante
- Peso de rejilla 18.58 kg/m²
- Área abierta de 73%

Serie	IFV05		
	Peralte (pulg)	1"	1.25"
Espacio Abierto (mm)	22	22	22
Tamaño del Tablero (mm)			
Ancho	1019	1019	1019
Largo	3050	3050	3050
Peso	13.2	16.14	18.58
Área abierta	73%	73%	73%

Resina	Propagación de la Flama ASTM E-84	Color	Color de Antiderrapante
Poliéster (Isofáltica) (PF)	25 o Menos	Amarillo	Negro
Vinyl Ester (VF)	25 o Menos	Amarillo	Negro

Fig. 65 Especificaciones de rejilla

TIPO: SI 83			CLAROS EN mm (Pulg's)										
TIPO DE REJILLA	CARGA SEGÚN C Y U		610 (24")	762 (30")	914 (36")	1067 (42")	1219 (48")	1372 (54")	1524 (60")	1676 (66")	1829 (72")	1981 (78")	2134 (84")
1" SI 83	U 244 (50) FU	0.40	1.20	2.41	4.41	7.62	12.03	18.44					
	U 488 (100) FU	1.20	2.41	4.81	8.82	15.23							
	U 976 (200) FU	2.00	4.81	9.62									
	Resist Ultrm (2.5 FOS)	9981	6389	4437	3261	2497	1971	1596					
	C 298 (200) FC	1.60	3.21	5.21	8.02	12.03	17.24						
	C 446 (300) FC	2.41	4.41	7.62	12.43	18.44							
	C 744 (500) FC	4.01	7.62	12.83									
Resist Ultrm (2.5 FOS)	1042.18	2433.93	2028.43	1737.98	1521.09	1352.29	1216.49						
1 1/4" SI 83	U 244 (50) FU	0.40	0.80	1.20	2.41	4.41	8.02	14.83	22.05				
	U 488 (100) FU	0.80	1.20	2.81	4.81	8.82	16.03						
	U 976 (200) FU	1.20	2.81	5.21	9.62								
	Resist Ultrm (2.5 FOS)	15819	10126	7032	5167	3954	3125	2531	2091				
	C 298 (200) FC	0.80	1.60	2.81	4.41	7.22	11.22	18.84	25.66				
	C 446 (300) FC	1.60	2.41	4.01	6.81	10.82	16.84						
	C 744 (500) FC	2.41	4.01	6.81	11.22								
Resist Ultrm (2.5 FOS)	482.65	3857.89	3214.75	2755.5	2411.3	2143.48	1928.47	1753.07					
1 1/2" SI 83	U 244 (50) FU	0.40	0.40	0.80	1.60	2.81	4.41	6.41	9.62	13.23			
	U 488 (100) FU	0.40	0.80	2.00	3.21	5.61	8.82	12.83	18.84				
	U 976 (200) FU	0.80	2.00	3.61	6.41	10.82	17.24						
	Resist Ultrm (2.5 FOS)	22443	14365	9974	7329	5612	4430	3592	2967	1832			
	C 298 (200) FC	0.80	1.20	2.00	2.81	4.41	6.01	8.42	10.82	14.03			
	C 446 (300) FC	0.80	1.60	2.81	4.41	6.41	9.22	12.43	16.43	21.24			
	C 744 (500) FC	1.60	2.81	4.81	7.62	10.82	15.23	20.84					
Resist Ultrm (2.5 FOS)	6840.65	5472.33	4560.43	3908.81	3420.33	3040.29	2736.64	2487.68	2280.22				

U Carga Uniforme Permisible Kg/m²(Lb/ft²) FU Deflección en mm bajo U
C Carga Uniforme Permisible Kg/m²(Lb/ft²) FC Deflección en mm bajo C

Area abierta 73% $\frac{3/16"}{TYP}$



Fig. 66 Especificaciones de Carga en Rejilla

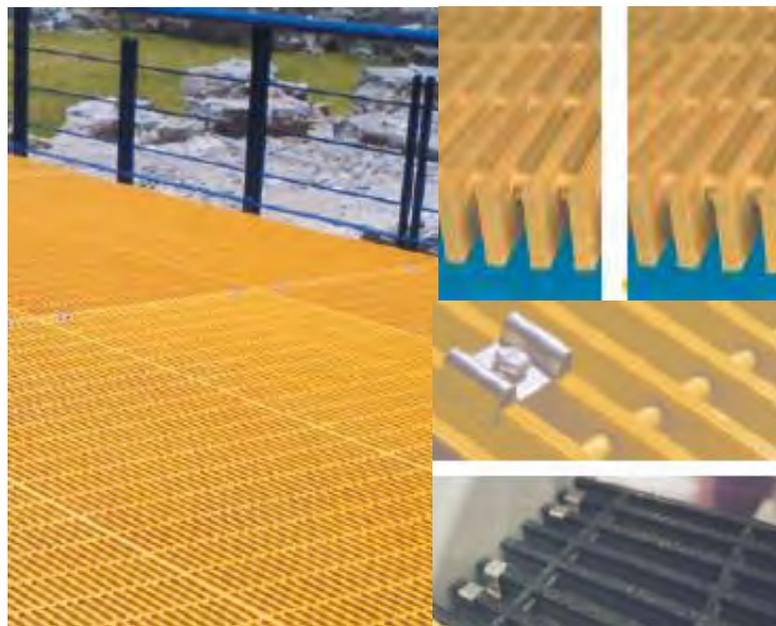


Fig. 67 Rejilla Irving de fibra de vidrio (1 1/2")

VI. 2. 3.- Diseño de traveses

Se propone traveses:

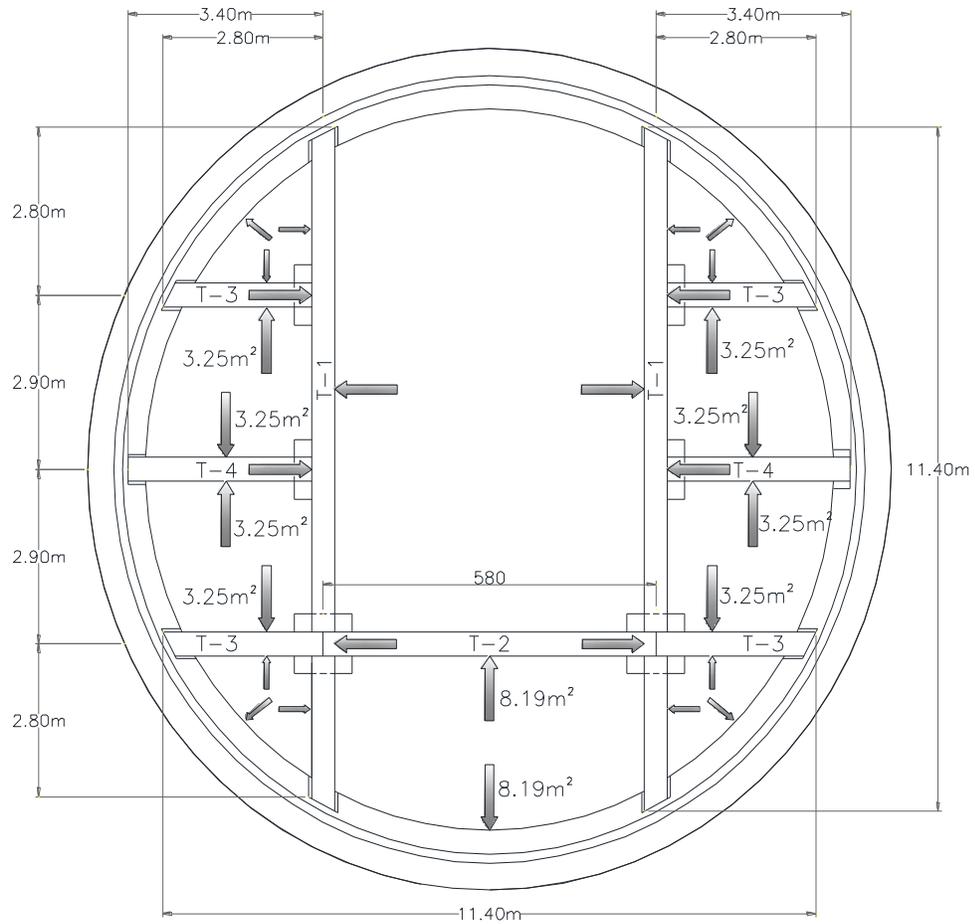


Fig. 68 Áreas tributarias de traveses en losa tapa

Trabe	b (m)	h (m)	l (m)
T-1	0.4	0.8	11.4
T-2	0.4	0.5	5.8
T-3	0.2	0.3	2.8
T-4	0.2	0.3	3.4

Tabla 12 Dimensiones de Traveses

Análisis de cargas:

Trabe	b (m)	h (m)	l (m)	Peso propio (t)	Peso de rejilla sobre la trabe (t)	Carga uniformemente repartida (t/m)	Carga puntual (t)
T-1	0.40	0.80	11.38	8.74	0.01	w1= 2.24	P1= 0.48
						w2= 1.80	P2= 0.61
						w3= 0.04	P3= 1.95
T-2	0.40	0.50	5.80	2.78	0.15	0.88	0.00
T-3	0.20	0.30	2.80	0.40	0.07	0.21	0.00
T-4	0.20	0.30	3.40	0.49	0.12	0.41	0.00

Tabla 13 Análisis de cargas

Análisis de la estructura completa en SAP2000

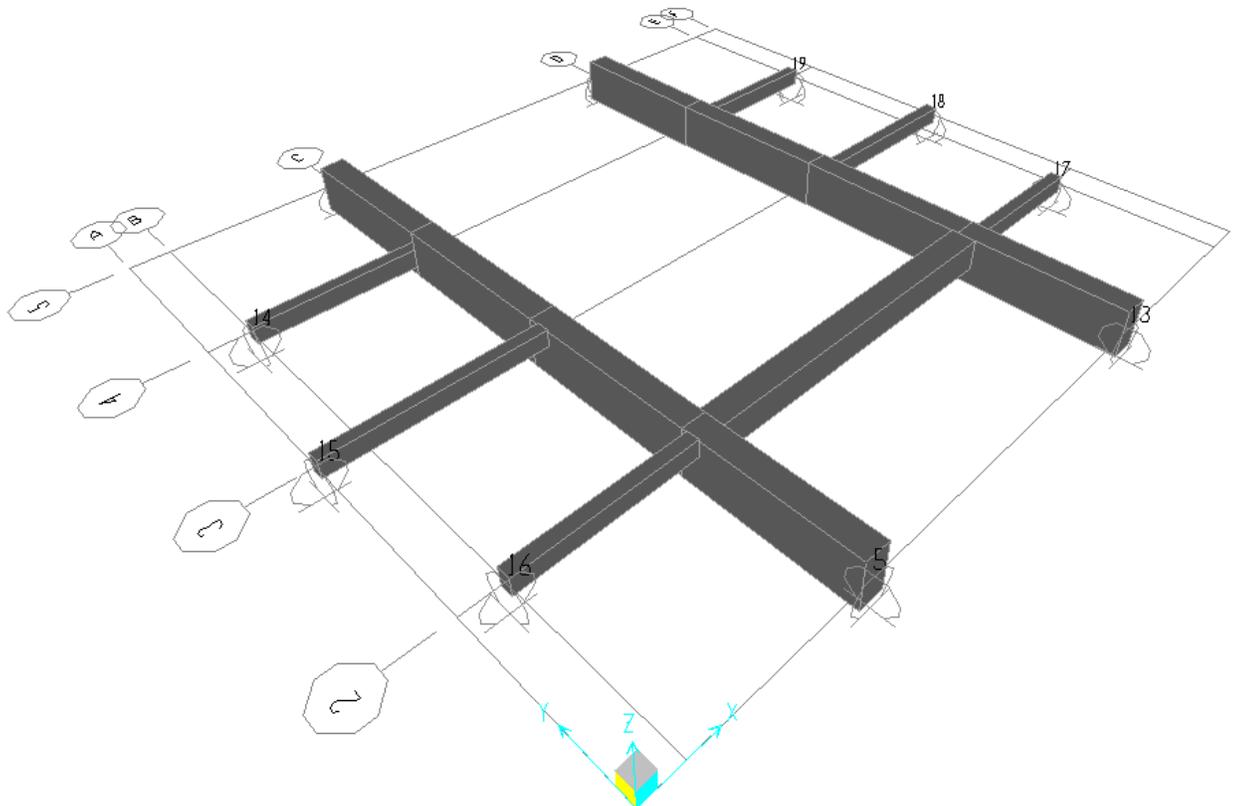


Fig. 69 Análisis de losa tapa en SAP 2000

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 10 de 36

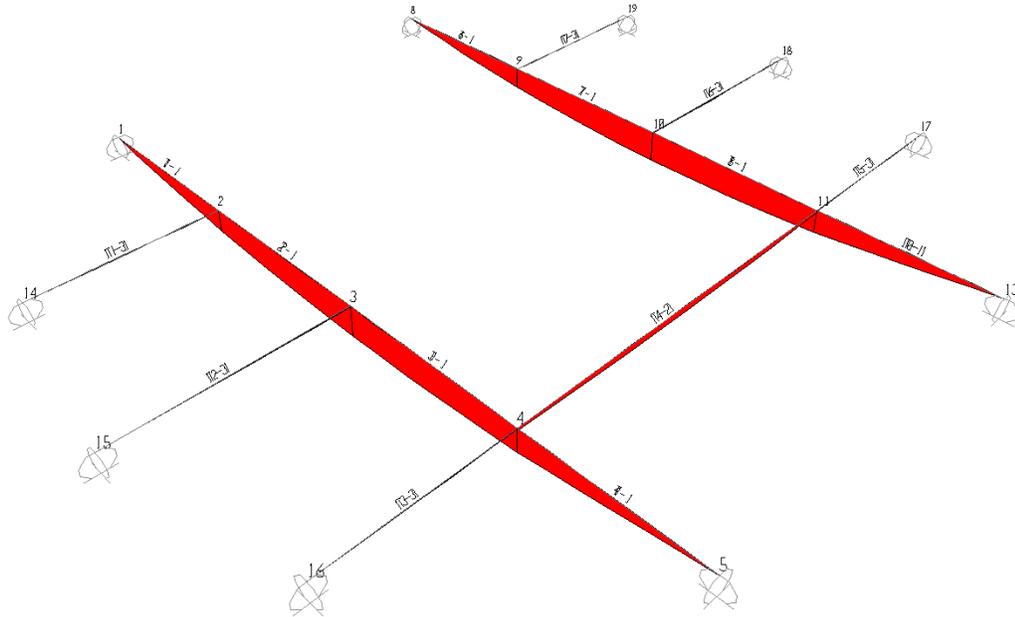


Fig. 70 Elementos mecánicos SAP 2000

Se analizó la configuración de las traveses en conjunto, pero cimbrar en conjunto las traveses se dificulta por la profundidad a la que se encuentra la lumbrera por lo cual se proponen vigas prefabricadas, se diseñarán por separado:

Análisis de la trabe T-1 como viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida

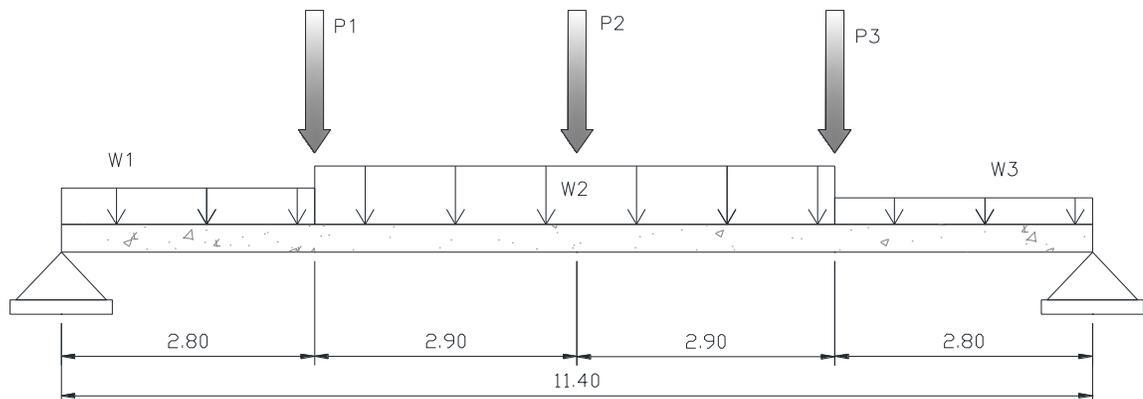


Fig. 71 Trabe T-1

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
		MAYO 2014 11 de 36

Modelo en sap2000 de la trabe T-1

Sección T-1 (40cm x 80cm x 1140 cm)

$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$ Peso volumétrico para el concreto reforzado

$E = 221,359,4.4 \text{ t/m}^2$ Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f'c}$)

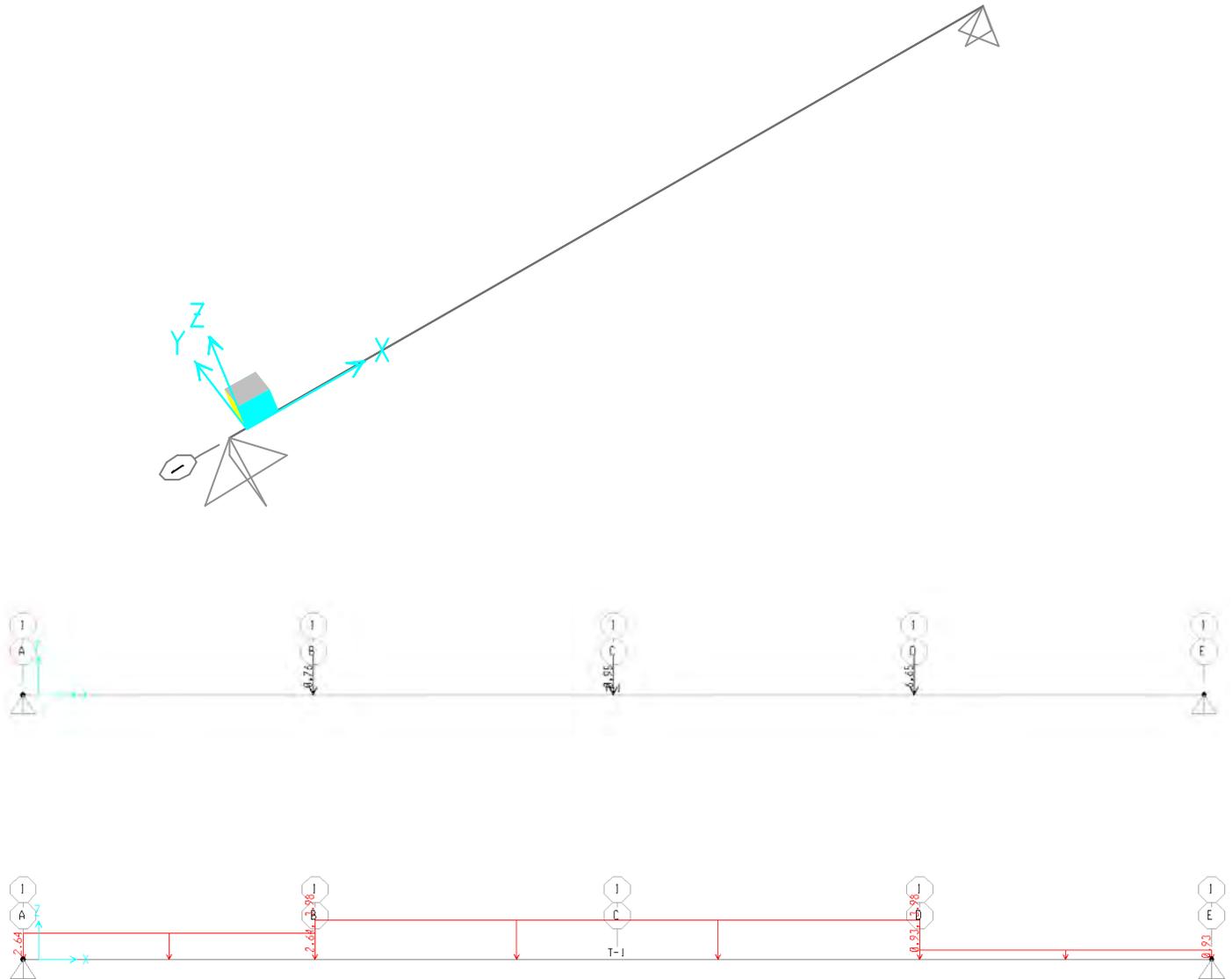


Fig. 72 Trabe T-1 análisis en SAP2000

Elementos mecánico de trabe T-1

Table 21: Material List 2 - By Section Property

Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength m	TotalWeight Tonf
TRABE T-1	Frame	1	11.40000	8.7552

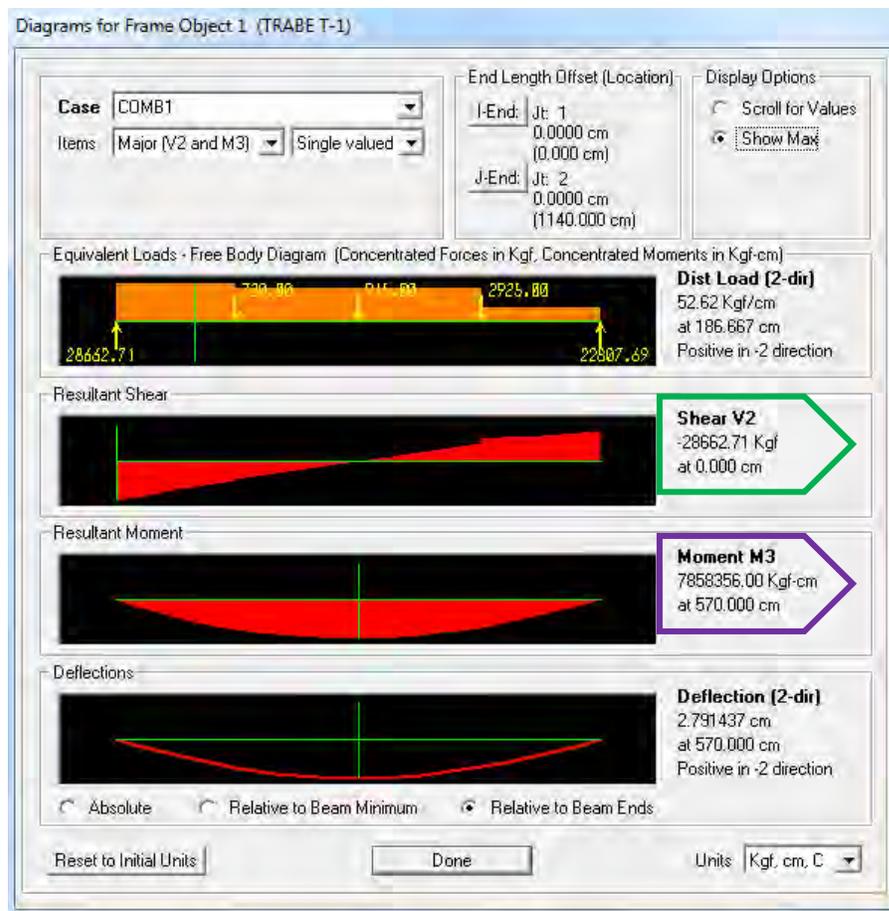
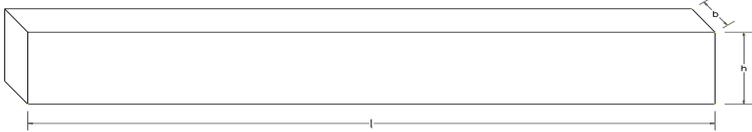


Fig. 73 Trabe T-1 elementos mecánicos

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		13 de 36

Diseño de acero de refuerzo de la trabe T-1

$b=40 \text{ cm}$	Base de T-1	
$h=80 \text{ cm}$	Altura de T-1	
$l=1140 \text{ cm}$	Longitud de T-1	
$r=5 \text{ cm}$	Recubrimiento	
$d=75 \text{ cm}$	Peralte efectivo	
$A=0.32 \text{ m}^2$	Área	
$V=3.648 \text{ m}^3$	Volumen de T-1 ($V = b * h * l$)	
$\gamma_c = 2,400 \text{ kg/m}^3$	Peso volumétrico para el concreto reforzado	
$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la compresión de concreto	
$f^*c = 200 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia nominal de concreto a compresión ($f * c = 0.8f * c$)	
$f''c = 170 \text{ kg/cm}^2$	Magnitud del bloque equivalente de esfuerzos ($f * c = 0.85f * c$)	
$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	
$w_t = 8.76 \text{ t}$	Peso de T-1 ($w_t = V * \gamma_c$)	
$C_{viva} = 0.5 \text{ t/m}^2$	Carga viva *En recipientes enterrados, la carga viva en la losa de cubierta no será menor que 0.5 t/m²	
$FC = 1.5$	Factor de carga (Estructuras tipo "A") ¹¹	

Acero necesario por flexión

FR= 0.9 Factor de resistencia por flexión

Mu=7, 858,356 kg-cm Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-17,212,500q^2) + (34,425,000q) - (7,858,356) = 0$$

$$x_1 = 0.26 \quad x_2 = 1.74$$

Por lo tanto $q = 0.26$ (q debe ser menor a la unidad)

$\rho_{nec} = 0.011$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As= 31.91 cm² Área necesaria ($A_{s \text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:

as=5.07 cm² Área de acero del #8

N_{VarS}=6.29

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014
		14 de 36

Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 7 varillas

7 varillas #8

Acero mínimo por flexión

$\rho_{\min}=0.0026$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{\min} = \frac{0.7*\sqrt{f'c}}{f_y}$)

$A_s=7.91 \text{ cm}^2$ Área de acero mínimo por flexión ($A_{smin} = \frac{0.7*\sqrt{f'c}}{f_y} bd$)

Se propone:

$as=1.99 \text{ cm}^2$ Área de acero del #5

$N_{VarS}=3.97$ Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 4 varillas

Nota: Se recomienda que en lecho opuesto se coloque el 50% del acero por momento, cuando se habla de elementos dúctiles, es decir: **4 varillas #8**

Acero máximo por flexión

$B_1=0.85$

$\rho_b=0.020$ Cuantía de acero balanceado ($\rho_b = \left(\frac{f'c}{f_y}\right)\left(\frac{6000*B_1}{f_y+6000}\right)$)

$\rho_{\max}=0.0152$ Cuantía de acero máx. ($\rho_{\max} = 0.75 * \rho_{balanceado}$)

Si $\rho_{nec} > \rho_{\min}$. → $0.011 > 0.0026$ Si pasa la sección

Si $\rho_{nec} < \rho_{\max}$. → $0.011 < 0.0152$ Si pasa la sección

Acero por cambios volumétricos

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será mayor de 1.5 (as1)

$$x1=22.5\text{cm}$$

$as1=0.026$ $as1 = \left(\frac{660*x1}{f_y(x1+100)}\right)$

$As=3.93 \text{ cm}^2/\text{m}$ Área de acero por cambios volumétricos ($As = 1.5 * as1 * 100$)

Se propone:

$as=1.27 \text{ cm}^2$ Área de acero del #4

$N_{VarS}=3.09$ Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 3 varillas

3 varillas #4

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014
		15 de 36

Acero por cortante

Si $\rho > 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = 1.5FRbd\sqrt{f^*c})$$

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = ((FRbd(0.20 + 20\rho_{nec})\sqrt{f^*c})/1000)$$

$$\text{Si } \rho = 0.011 \quad V_{cR} = 13.66 \text{ t}$$

Cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR} en vigas, debe suministrarse refuerzo por tensión diagonal

$$V_u = 28.66 \text{ t} > V_{cR} = 13.66 \text{ t}$$

Por procedimiento constructivo se propone el siguiente acero

$E = \#3$	Estribos del #3
$A_v = 0.71 \text{ cm}^2$	Área transversal del refuerzo por tensión diagonal del #3
$V_{sR} = 15.00 \text{ t}$	Fuerza cortante de diseño que toma el acero transversal ($V_{sR} = V_u - V_{cR}$)
$S = 23.95 \text{ cm}$	Separación del refuerzo transversal ($S = \frac{FR 2A_v f_y d}{V_{sR}}$) ~ Consideramos entonces @24 cm

E #3@24 cm

Deflexiones en la trabe T-1

$E = 221,359.4 \text{ kg/cm}^2$	Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f^*c}$)
$w = 0.77 \text{ t-m}$	Carga total
$I = 0.0171 \text{ m}^4$	Momento de inercia ($I = \frac{b h^3}{12}$)
$\rho' = 0.0026$	Se considera la cuantía de acero a compresión igual a la cuantía de acero mínima a tensión ($\rho_{\min} = 0.0026$)
$\Delta_{inm} = 0.0223 \text{ m} \sim 2.23 \text{ cm}$	Deflexión inmediata bajo carga total ($\Delta_{inm} = \frac{5(W)(l^4)}{(384)EI}$)
$\Delta_{dif} = 3.95 \text{ cm}$	Deflexión diferida ($\Delta_{dif} = \left(\frac{2}{(1+50\rho')}\right) * \Delta_{inm}$) con $\rho' = \rho_{\min} = 0.0026$
$\Delta_{perm} = 5.25 \text{ cm}$	Deflexión permisible ($\Delta_{perm} = \frac{L}{(240)} + 0.5 \text{ cm}$)

$$\Delta_{perm} = 5.25 \text{ cm} > \Delta_{inm} = 2.23 \text{ cm} \quad \text{Se acepta la sección de propuesta}$$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LOSA TAPA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Armado de Trabe T-1

El acero de la trabe T-1 se coloca de la siguiente manera:

Acero necesario por flexión

7 vars #8 (Paquetes de 2)

Acero mínimo por flexión

4 vars#8

Acero por cambios volumétricos

6vars#3

Acero por cortante

2E#3@25cm

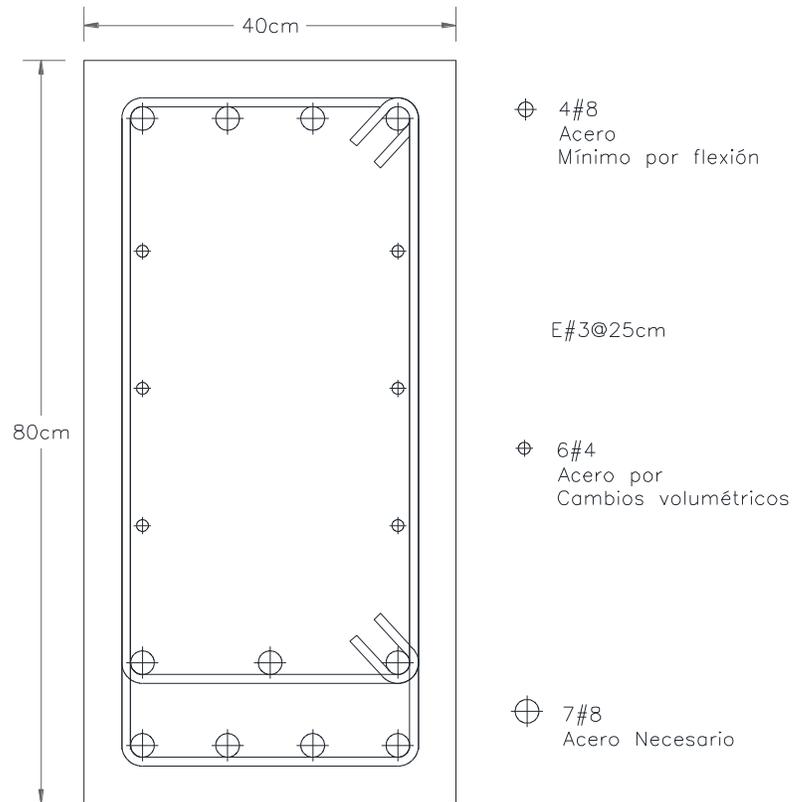


Fig. 74 Armado de Trabe T-1

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		17 de 36

Diseño de acero de refuerzo de la trabe T-2

Análisis como viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida

$b=0.4\text{ m}$	Base
$h=0.5\text{ m}$	Altura
$d=0.45\text{ m}$	Peralte efectivo
$l=5.8\text{ m}$	Longitud
$FC=1.5$	Factor de carga (Estructuras tipo "A")
$C_{muerta}=0.88\text{ t/m}$	Carga muerta *Carga sobre la trabe T-2
$C_{viva}=0.5\text{ t/m}^2$	Carga viva *En recipientes enterrados, la carga viva en la losa de cubierta no será menor que 0.5 t/m^2
$\gamma_c=2.4\text{ t/m}^3$	Peso volumétrico para el concreto reforzado
$E=221,359,4.4\text{ t/m}^2$	Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f'_c}$) ⁸

Elementos mecánicos:

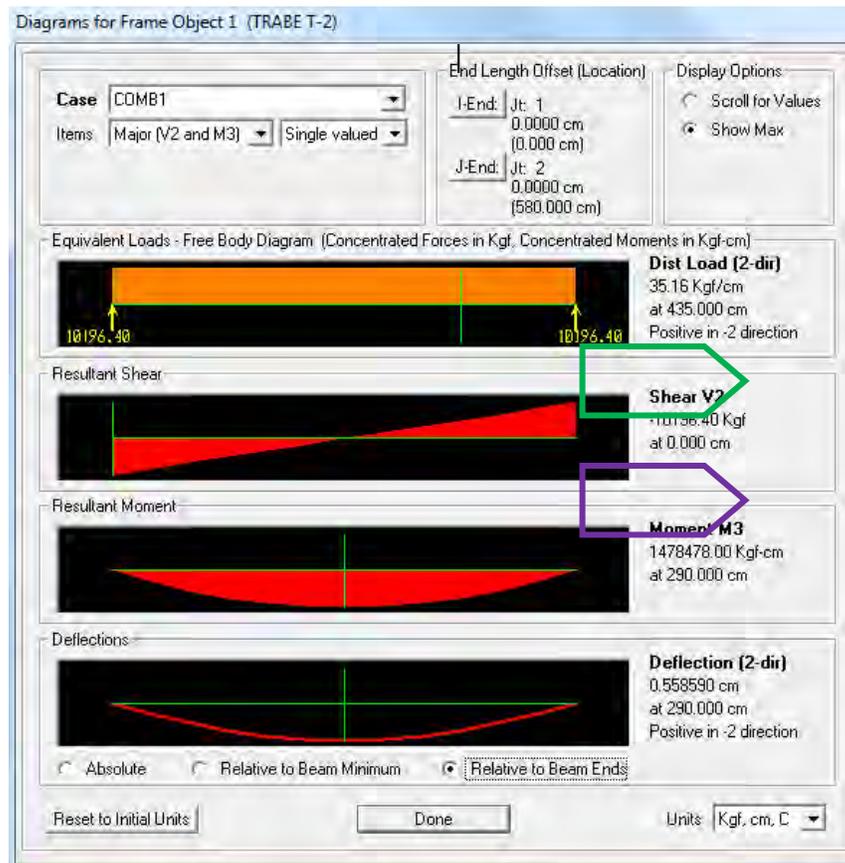


Fig. 75 Trabe T-2 elementos mecánicos

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Acero necesario por flexión

FR= **0.9** Factor de resistencia por flexión
Mu= **1,478,478 kg-cm** Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-6,196,500q^2) + (12,393,000q) - (1,478,478) = 0$$

$$x_1 = \mathbf{0.13} \quad x_2 = \mathbf{1.87}$$

Por lo tanto $q = 0.13$ (*q debe ser menor a la unidad*)

$\rho_{nec} = \mathbf{0.0052}$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As = 9.28 cm² Área necesaria ($A_{s\text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:

as = **1.99 cm²** Área de acero del #5

N_{VarS} = **4.66** Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 5 varillas

5 varillas #5

Acero mínimo por flexión

$\rho_{min} = \mathbf{0.0026}$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y}$)

As = 4.74 cm² Área de acero mínimo por flexión ($A_{smin} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y} bd$)

Se propone:

as = **1.27 cm²** Área de acero del #4

N_{VarS} = **3.73** Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 4 varillas

4 varillas #4

Acero máximo por flexión

B₁ = **0.85**

$\rho_b = \mathbf{0.020}$ Cuantía de acero balanceado ($\rho_b = \left(\frac{f''c}{f_y}\right) \left(\frac{6000 * B_1}{f_y + 6000}\right)$)

$\rho_{máx} = \mathbf{0.0152}$ Cuantía de acero máx. ($\rho_{máx} = 0.75 * \rho_{balanceado}$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LOSA TAPA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		19 de 36

Si $\rho_{nec} > \rho_{mín.} \rightarrow 0.0052 > 0.0026$ Si pasa la sección
Si $\rho_{nec} < \rho_{máx.} \rightarrow 0.0052 < 0.0152$ Si pasa la sección

Acero por cortante

Si $\rho > 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = 1.5FRbd\sqrt{f^*c})$$

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = ((FRbd(0.20 + 20\rho_{nec})\sqrt{f^*c})/1000))$$

$$\text{Si } \rho = 0.0052 \quad V_{cR} = 6.96 \text{ t}$$

En vigas debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR}

$$V_u = 10.19 \text{ t} > V_{cR} = 6.96 \text{ t}$$

Por procedimiento constructivo se propone el siguiente acero

$E = \#3$	Estribos del #3
$A_v = 0.713 \text{ cm}^2$	Área transversal del refuerzo por tensión diagonal del #3
$V_{sR} = 3.23 \text{ t}$	Fuerza cortante de diseño que toma el acero transversal ($V_{sR} = V_u - V_{cR}$)
$S = 75 \text{ cm}$	Separación del refuerzo transversal ($s = \frac{FR 2A_v f_y d}{V_{sR}}$)
$S_{máx} = 22.5 \text{ cm}$	Separación mínima ($s = \frac{d}{2}$) ~ Consideramos entonces @20 cm

E #3@20 cm

Acero por cambios volumétricos

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será mayor de 1.5 ($as1$)⁸

$$x1 = 20 \text{ cm}$$

$$as1 = 0.026 \quad as1 = \left(\frac{660 * x1}{f_y(x1 + 100)} \right)$$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 20 de 36

$A_s = 3.93 \text{ cm}^2/m$ Área de acero por cambios volumétricos ($A_s = 1.5 * a_{s1} * 100$)

Se propone:

$a_s = 0.713 \text{ cm}^2$ Área de acero del #3

$N_{vars} = 5.51$ Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{A_s}{a_s}$) ~ Consideramos entonces 6 varillas

6 varillas #3

Deflexiones en la trabe T-2

$E = 221,359.4 \text{ kg/cm}^2$ Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f'c}$)

$w = 0.88 \text{ t-m}$ Carga total

$I = 0.00416 \text{ m}^4$ Momento de inercia ($I = \frac{b h^3}{12}$)

$\rho' = 0.0026$ Se considera la cuantía de acero a compresión igual a la cuantía de acero mínima a tensión ($\rho_{min} = 0.0026$)

$\Delta_{inm} = 0.14 \text{ cm}$ Deflexión inmediata bajo carga total ($\Delta_{inm} = \frac{5(W)(l^4)}{(384)EI}$)

$\Delta_{dif} = 0.25 \text{ cm}$ Deflexión diferida ($\Delta_{dif} = \left(\frac{2}{(1+50\rho')}\right) * \Delta_{inm}$) con $\rho' = \rho_{min} = 0.0026$

$\Delta_{perm} = 2.92 \text{ cm}$ Deflexión permisible ($\Delta_{perm} = \frac{L}{(240)} + 0.5 \text{ cm}$)

$\Delta_{perm} = 2.92 \text{ cm} > \Delta_{inm} = 0.14 \text{ cm}$ Se acepta la sección de propuesta

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Armado de Trabe T-1

El acero de la trabe T-1 se coloca de la siguiente manera:

Acero necesario por flexión

5 vars #5

Acero mínimo por flexión

4 vars#4

Acero por cambios volumétricos

6vars#3

Acero por cortante

E#3@20 cm

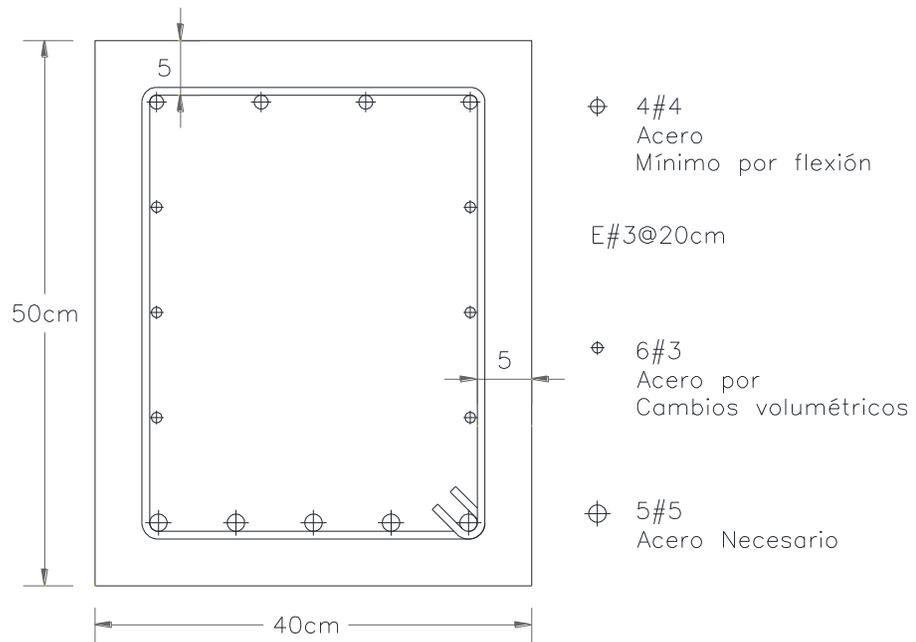


Fig. 76 Armado de Trabe T-2

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 22 de 36

Diseño de acero de refuerzo de la trabe T-3

Análisis como viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida

$b=0.2\text{ m}$	Base
$h=0.3\text{ m}$	Altura
$d=0.25\text{ m}$	Peralte efectivo
$l=2.8\text{ m}$	Longitud
$FC=1.5$	Factor de carga (Estructuras tipo "A")
$C_{muerta}=0.21\text{ t/m}$	Carga muerta *Carga sobre la trabe T-3
$C_{viva}=0.5\text{ t/m}^2$	Carga viva *En recipientes enterrados, la carga viva en la losa de cubierta no será menor que 0.5 t/m ²
$\gamma_c=2.4\text{ t/m}^3$	Peso volumétrico para el concreto reforzado
$E=221,359,4.4\text{ t/m}^2$	Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f'_c}$)

Elementos mecánicos:

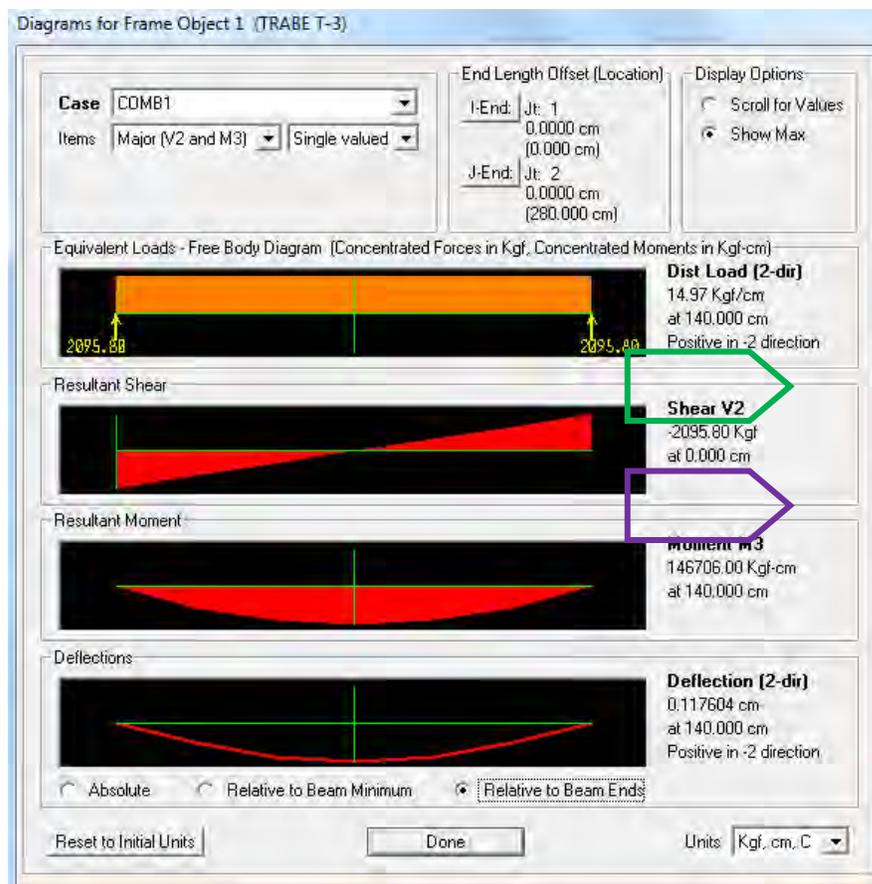


Fig. 77 Trabe T-3 elementos mecánicos

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Acero necesario por flexión

FR= **0.9** Factor de resistencia por flexión

Mu=146,706 kg-cm Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-956,250q^2) + (1,912,500q) - (146,706) = 0$$

$$x1=0.08 \quad x2=1.92$$

Por lo tanto $q = 0.08$ (*q debe ser menor a la unidad*)

$\rho_{nec} = 0.003$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As= 1.62 cm² Área necesaria ($A_{s\ necesario} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:

as=0.71 cm² Área de acero del #3

N_{Vars}= 2.28 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 3 varillas

3 varillas #3

Acero mínimo por flexión

$\rho_{mín} = 0.0026$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{mín} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y}$)

As=1.32 cm² Área de acero mínimo por flexión ($A_{s\ mín} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y} bd$)

Se propone:

as=0.71 cm² Área de acero del #3

N_{Vars}= 1.86 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 2 varillas

2 varillas #3

Acero máximo por flexión

B₁=0.85

$\rho_b = 0.020$ Cuantía de acero balanceado ($\rho_b = \frac{f''c}{f_y} \left(\frac{6000 * B_1}{f_y + 6000} \right)$)

$\rho_{máx} = 0.0152$ Cuantía de acero máx. ($\rho_{máx} = 0.75 * \rho_{balanceado}$)

Si $\rho_{nec} > \rho_{mín.} \rightarrow 0.003 > 0.0026$ Si pasa la sección

Si $\rho_{nec} < \rho_{máx.} \rightarrow 0.003 < 0.0152$ Si pasa la sección

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 24 de 36

Acero por cortante

Si $\rho > 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = 1.5FRbd\sqrt{f^*c})$$

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = ((FRbd(0.20 + 20\rho_{nec})\sqrt{f^*c})/1000))$$

Si $\rho = 0.003$ $V_{cR} = 1.65 t$

En vigas debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR}

$$V_u = 2.10 t > V_{cR} = 1.65 t$$

Por procedimiento constructivo se propone el siguiente acero

- E= #3 Estribos del #3
- $A_v = 0.713 \text{ cm}^2$ Área transversal del refuerzo por tensión diagonal del #3
- $V_{sR} = 0.45 t$ Fuerza cortante de diseño que toma el acero transversal ($V_{sR} = V_u - V_{cR}$)
- $S = 302 \text{ cm}$ Separación del refuerzo transversal ($s = \frac{FR 2A_v f_y d}{V_{sR}}$)
- $S_{\text{máx}} = 12.5 \text{ cm}$ Separación mínima ($s = \frac{d}{2}$) ~ Consideramos entonces @10 cm

E #3@10 cm

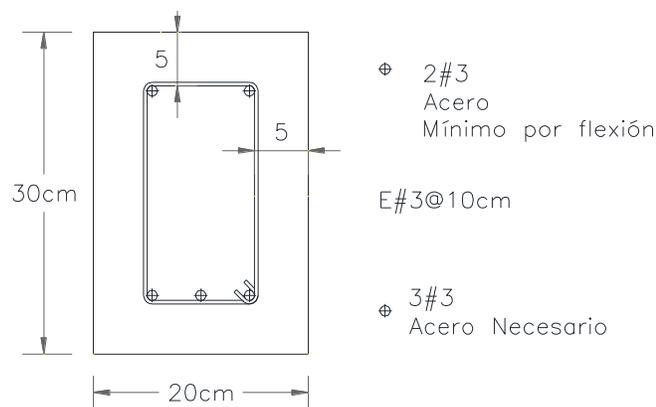


Fig. 78 Armado de Trabe T-3

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		25 de 36

Diseño de acero de refuerzo de las traveses T-4

Análisis como viga libremente apoyada: carga uniformemente distribuida

$b=0.2 \text{ m}$	Base
$h=0.3 \text{ m}$	Altura
$d=0.25 \text{ m}$	Peralte efectivo
$l=3.4 \text{ m}$	Longitud
$FC=1.5$	Factor de carga (Estructuras tipo "A")
$C_{muerta}=0.41 \text{ t/m}$	Carga muerta *Carga sobre la trabe T-4
$C_{viva}=0.5 \text{ t/m}^2$	Carga viva *En recipientes enterrados, la carga viva en la losa de cubierta no será menor que 0.5 t/m^2
$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$	Peso volumétrico para el concreto reforzado
$E = 221, 359, 4.4 \text{ t/m}^2$	Módulo de elasticidad del concreto. ($E = 14000\sqrt{f'_c}$)

Elementos mecánicos:

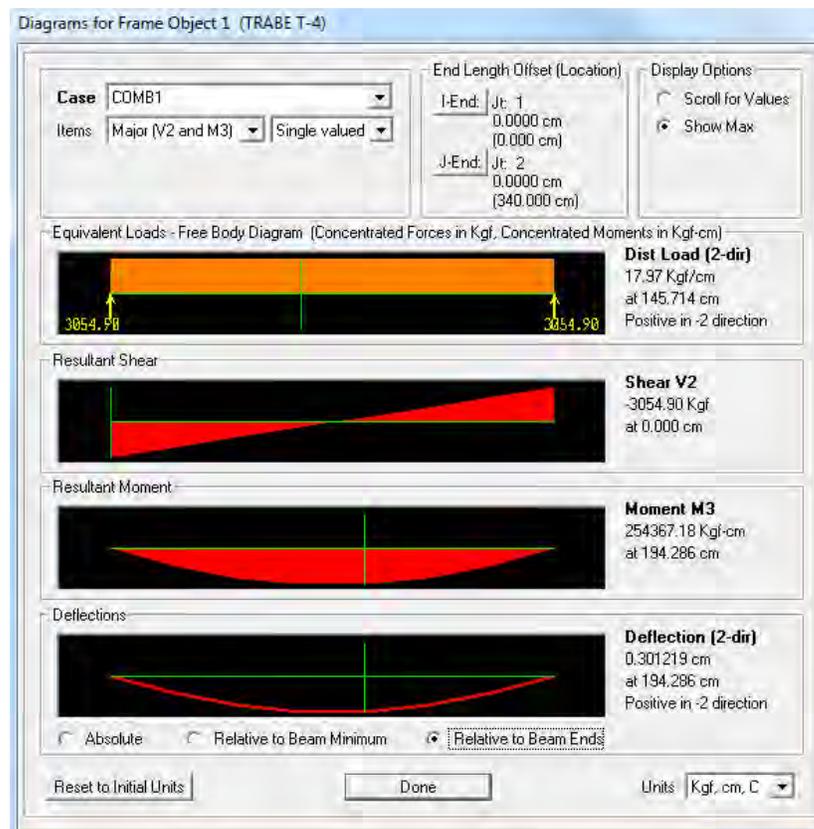


Fig. 79 Trabe T-4 elementos mecánicos

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014
		26 de 36

Acero necesario por flexión

FR= 0.9 Factor de resistencia por flexión
Mu=254,367 kg-cm Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-956,250q^2) + (1,912,500q) - (254,367) = 0$$

$$x_1 = 0.14 \quad x_2 = 1.85$$

Por lo tanto $q = 0.08$ (q debe ser menor a la unidad)

$\rho_{nec} = 0.0058$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As = 2.9 cm² Área necesaria ($A_{s\text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d$)

Se propone:
as = 1.27 cm² Área de acero del #4

N_{VarS} = 2.28 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 3 varillas

3 varillas #4

Acero mínimo por flexión

$\rho_{min} = 0.0026$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y}$)

As = 1.32 cm² Área de acero mínimo por flexión ($A_{smin} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y} bd$)

Se propone:
as = 0.71 cm² Área de acero del #3

N_{VarS} = 1.85 Numero de varillas a colorar ($N_{vars} = \frac{As}{as}$) ~ Consideramos entonces 2 varillas

2 varillas #3

Acero máximo por flexión

B₁ = 0.85

$\rho_b = 0.020$ Cuantía de acero balanceado ($\rho_b = \frac{f''c}{f_y} \left(\frac{6000 * B_1}{f_y + 6000} \right)$)

$\rho_{máx} = 0.0152$ Cuantía de acero máx. ($\rho_{máx} = 0.75 * \rho_{balanceado}$)

Si $\rho_{nec} > \rho_{mín.} \rightarrow 0.0058 > 0.0026$ No pasa la sección

Si $\rho_{nec} < \rho_{máx.} \rightarrow 0.0058 < 0.0152$ Si pasa la sección

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 27 de 36

Acero por cortante

Si $\rho > 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = 1.5FRbd\sqrt{f^*c})$$

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto } (V_{cR} = ((FRbd(0.20 + 20\rho_{nec})\sqrt{f^*c})/1000)$$

Si $\rho = 0.0058$ $V_{cR} = 2.01 t$

En vigas debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR}

$$V_u = 3.05 t > V_{cR} = 2.01 t$$

Por procedimiento constructivo se propone:

$E = \#3$	Estribos del #3
$A_v = 0.713 \text{ cm}^2$	Área transversal del refuerzo por tensión diagonal del #3
$V_{sR} = 1.04 t$	Fuerza cortante de diseño que toma el acero transversal ($V_{sR} = V_u - V_{cR}$)
$S = 129.6 \text{ cm}$	Separación del refuerzo transversal ($s = \frac{FR 2A_v f_y d}{V_{sR}}$)
$S_{\text{máx}} = 12.5 \text{ cm}$	Separación mínima ($s = \frac{d}{2}$) ~ Consideramos entonces @10 cm

E #3@10 cm

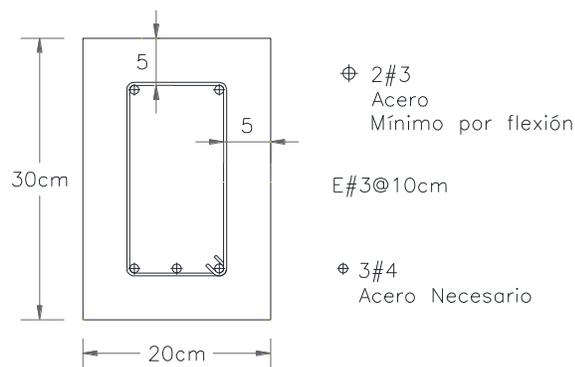


Fig. 80 Armado de Trabe T-4

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 28 de 36

VI. 2. 4.- Diseño de Ménsulas

Diseño de Ménsulas en Trabe T-1⁸

Materiales

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

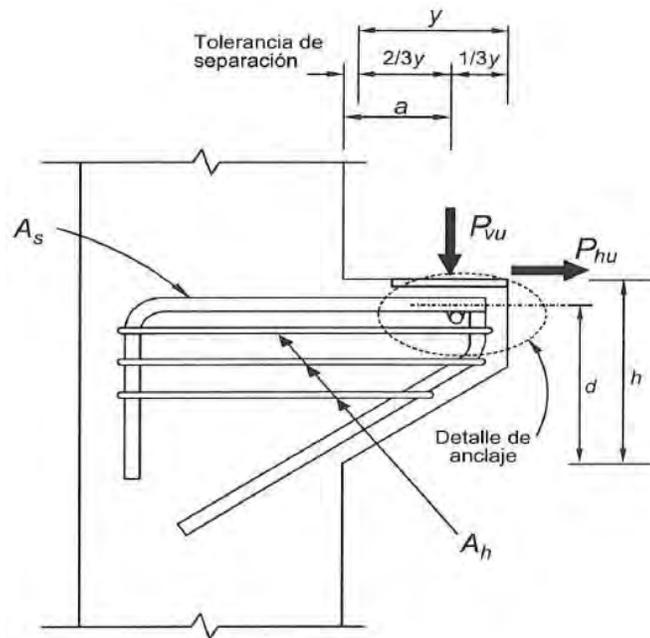


Fig. 81 Detalles de ménsula RCDF

Constantes

$$FR = 0.8$$

Factor de resistencia por flexión

$$\mu = 1.4$$

Concreto colado monolíticamente

$$f^*c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia nominal de concreto a compresión ($f^*c = 0.8f'c$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 29 de 36

Trabe T-1 con Ménsulas que soportan a la trabe T-2 y trabe T-3

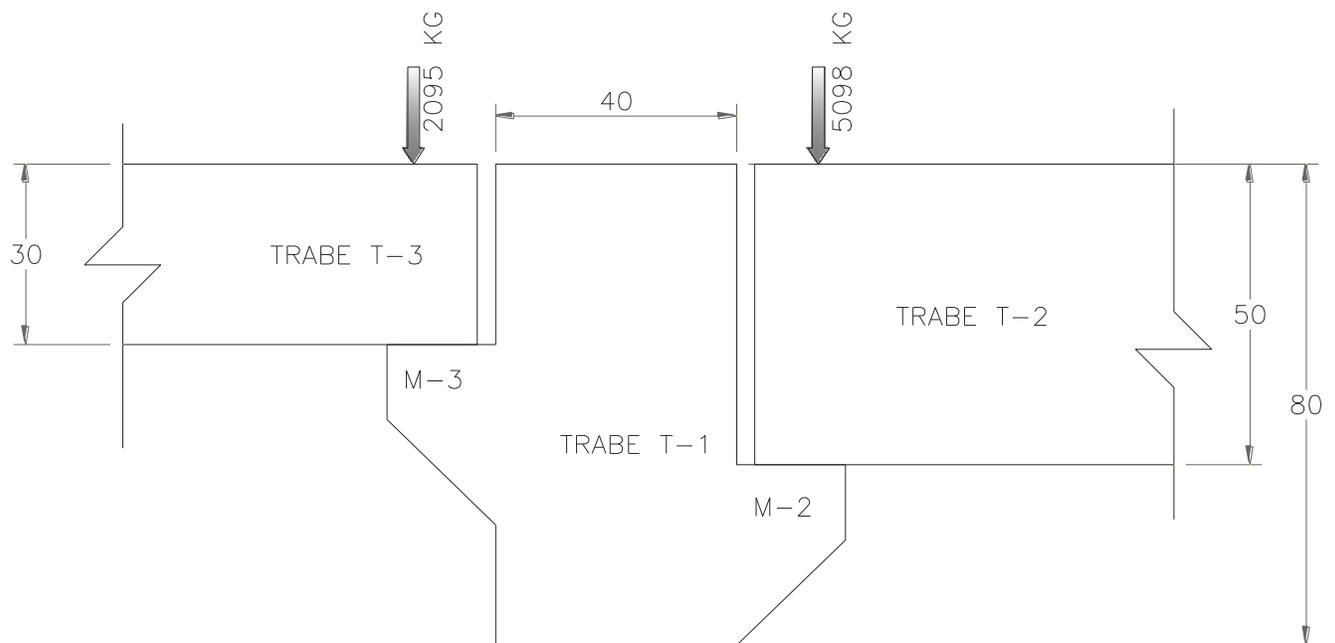
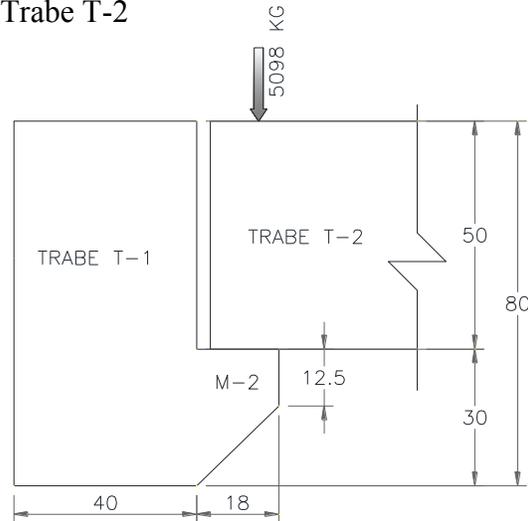


Fig. 82 Corte Transversal T-1 con ménsulas M-2 y M-3

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Ménsula 2 (M-2) que soporta a la Trabe T-2

$y=18 \text{ cm}$
 $a=15 \text{ cm}$
 $d=25 \text{ cm}$
 $h=30 \text{ cm}$
 $h/2=12.5 \text{ cm}$
 $b=50 \text{ cm}$
 $A=1500 \text{ cm}^2$



Nota: de acuerdo a las NTC de concreto la relación a/d menor o igual a 1.0

$P_{vu}=5098 \text{ kg}$

Fuerza cortante de la Trabe T-2

$P_{hu}=1019.60 \text{ kg}$

Tension horizontal ($P_{hu} = 0.2 * P_{vu}$)

$A_{vf}= 1.1 \text{ cm}^2$

Área de acero para resistir la fuerza cortante ($A_{vf} = \frac{P_{vu}}{F_R * \mu * f_y}$)

$M_R=21,235$

Momento flexionante ($M_R = (P_{vu} * a) + (P_{hu}(h-d))$)

$a/h=0.50$

Relación a/h para obtener el valor de z

$z=3.40$

Brazo del par, si $a/h < 0.5$

$A_f= 7.14 \text{ cm}^2$

Área de acero por flexión ($A_f = \frac{M_R}{F_R * z * f_y}$)

$\rho=0.006$

Cuantía de acero ($\rho = \frac{A_s}{bd}$)

Condición:

$0.04 (f'c/f_y) < \rho < 0.008$

$0.0024 < 0.006 < 0.008$ ok

$A_n= 0.30 \text{ cm}^2$

Área de acero necesario

$A_s= 7.44 \text{ cm}^2$

Área de acero ($A_s = A_f + A_n$) **4#5**

$A_{s1}=1.02 \text{ cm}^2$

Área de acero **1#4** (indicado en figura de armado)

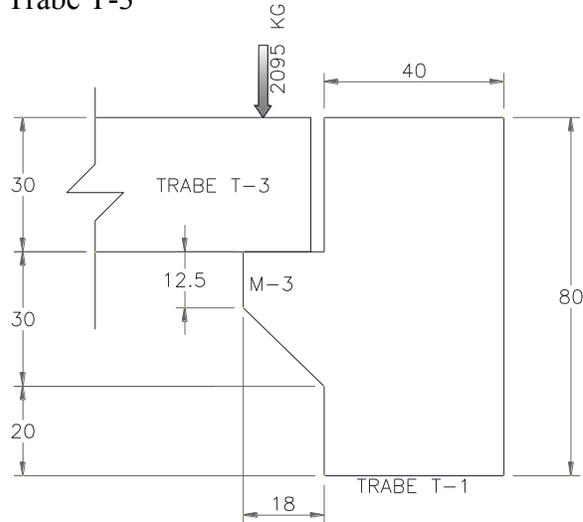
$A_h=3.57 \text{ cm}^2$

Área de acero horizontal **3E#3**

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 31 de 36

Ménsula 3 (M-3) que soporta a la Trabe T-3

$y=18 \text{ cm}$
 $a=15 \text{ cm}$
 $d=25 \text{ cm}$
 $h=30 \text{ cm}$
 $h/2=12.5 \text{ cm}$
 $b=40 \text{ cm}$
 $A=1500 \text{ cm}^2$



$P_{vu}=2095 \text{ kg}$
 $P_{hu}=419 \text{ kg}$
 $A_{vf}=0.40 \text{ cm}^2$
 $M_R=33520$
 $a/h=0.50$
 $z=3.40$
 $A_f=2.93 \text{ cm}^2$
 $\rho=0.0031$
Condición

Fuerza cortante de la Trabe T-3

Tension horizontal ($P_{hu} = 0.2 * P_{Vu}$)

Área de acero para resistir la fuerza cortante ($A_{vf} = \frac{P_{Vu}}{F_R * \mu * f_y}$)

Momento flexionante ($M_R = (P_{Vu} * a) + (P_{hu}(h-d))$)

Relación a/h para obtener el valor de z

Brazo del par, si a/h=0.5

Área de acero por flexión ($A_f = \frac{M_R}{F_R * z * f_y}$)

Cuantía de acero ($\rho = \frac{A_s}{bd}$)

$$0.04 (f'c/fy) < \rho < 0.008$$

$$0.0024 < 0.0031 < 0.008 \quad \text{ok}$$

$A_n=0.124 \text{ cm}^2$
 $A_s=3.05 \text{ cm}^2$
 $A_{s_{\min}}=0.42 \text{ cm}^2$
 $A_h=1.46 \text{ cm}^2$

Área de acero necesario

Área de acero ($A_s = A_f + A_n$) **3#4**

Área de acero mínimo **1#3** (indicado en detalle de armado de ménsula M-3 y M-2)

Área de acero horizontal **3E#3**

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LOSA TAPA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Armado de Ménsulas en Trabe T-1

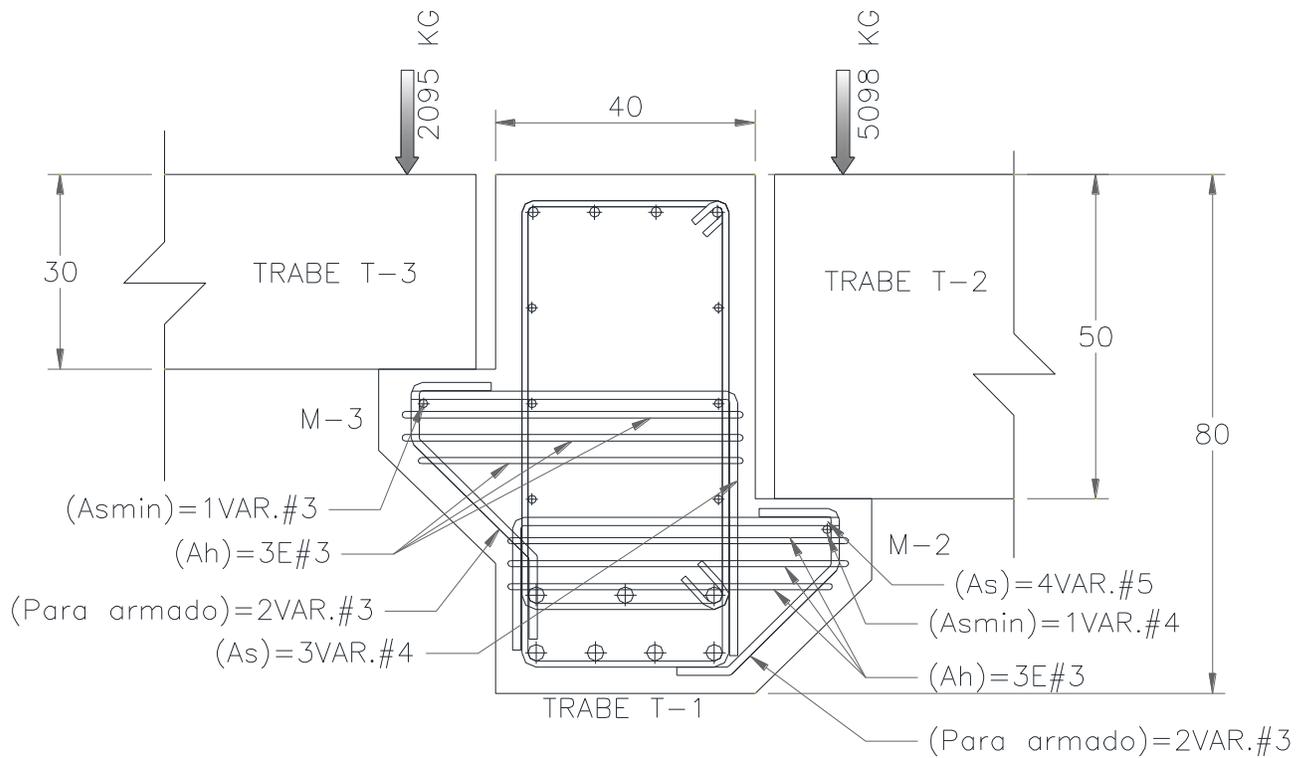


Fig. 83 Detalle de armado de Ménsula M-3 y M-2

Nota: Se usarán 2 varillas del # 3 para el armado de la ménsula M-3 y M-2.

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Trabe T-1 con Ménsulas que soportan a la trabe T-4 y tabletas

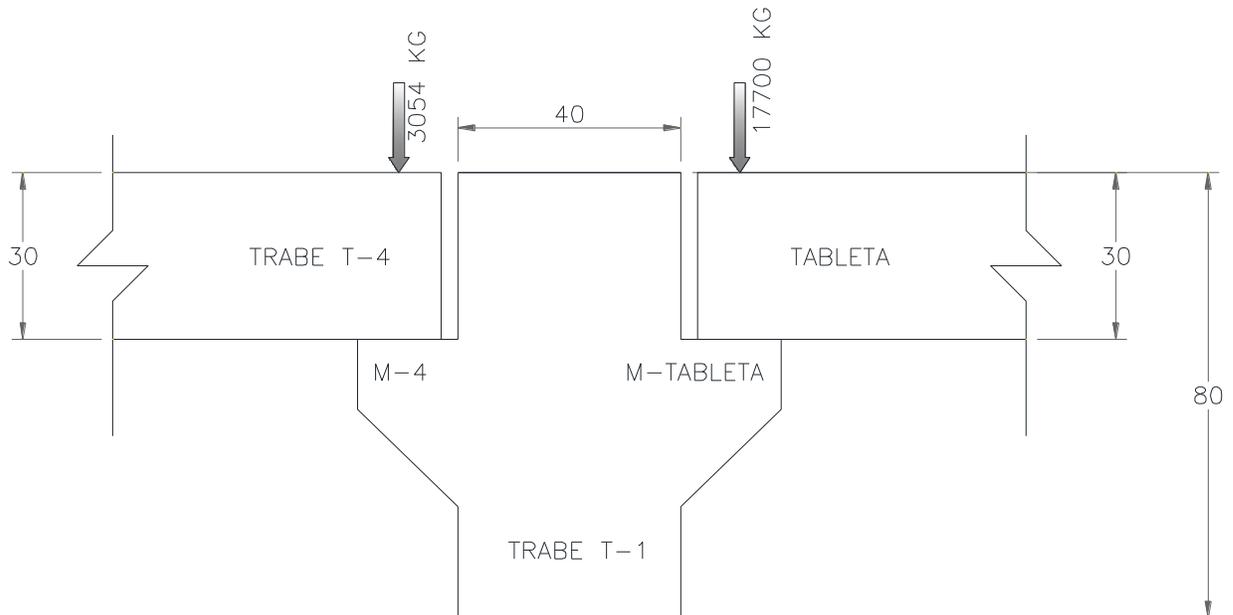
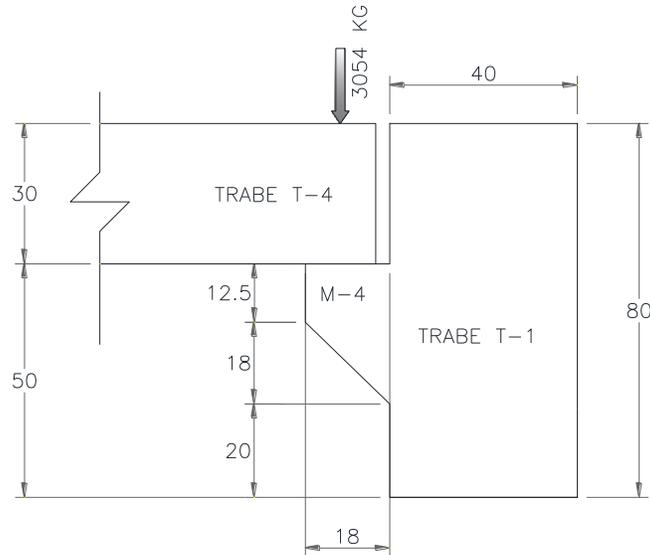


Fig. 84 Corte Transversal T-1 con ménsulas M-4 y M-Tableta

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Ménsula 4 (M-4) que soporta a la Trabe T-4

$y=18 \text{ cm}$
 $a=15 \text{ cm}$
 $d=25 \text{ cm}$
 $h=30 \text{ cm}$
 $h/2=12.5 \text{ cm}$
 $b=40 \text{ cm}$
 $A=1500 \text{ cm}^2$



$P_{vu}=3054 \text{ kg}$
 $P_{hu}=610.80 \text{ kg}$
 $A_{vf}=0.60 \text{ cm}^2$
 $M_R=48864.00$

Fuerza cortante de la Trabe T-4

Tension horizontal ($P_{hu} = 0.2 * P_{Vu}$)

Área de acero para resistir la fuerza cortante ($A_{vf} = \frac{P_{Vu}}{F_R * \mu * f_y}$)

Momento flexionante ($M_R = (P_{Vu} * a) + (P_{hu}(h-d))$)

$a/h=0.50$

Relación a/h para obtener el valor de z

$z=3.40$

Brazo del par, si $a/h < 0.5$

$A_f=4.28 \text{ cm}^2$

Área de acero por flexión ($A_f = \frac{M_R}{F_R * z * f_y}$)

$\rho=0.0045$

Cuantía de acero ($\rho = \frac{A_s}{bd}$)

Condición

$$0.04 (f'c/fy) < \rho < 0.008$$

$$0.0024 < 0.0045 < 0.008 \quad \text{ok}$$

$A_n=0.182 \text{ cm}^2$

Área de acero necesario

$A_s=4.46 \text{ cm}^2$

Área de acero ($A_s = A_f + A_n$) **4Vars #4**

$A_{s_{\min}}=0.61 \text{ cm}^2$

Área de acero **1#3** (indicado en detalle de armado de ménsula M-4 y M-Tableta)

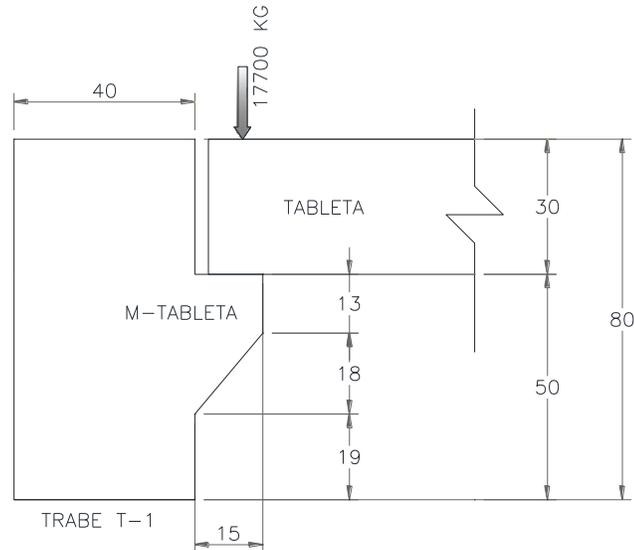
$A_h=2.14 \text{ cm}^2$

Área de acero horizontal **4E#3**

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 35 de 36

Ménsula -Tableta (M-Tableta) que soporta 1tableta

$y=15\text{ cm}$
 $a=13\text{ cm}$
 $d=26\text{ cm}$
 $h=31\text{ cm}$
 $h/2=13\text{ cm}$
 $b=50\text{ cm}$
 $A=1550\text{ cm}^2$



$P_{vu}=17700\text{ kg}$
 $P_{hu}=3540\text{ kg}$
 $A_{vf}=3.8\text{ cm}^2$
 $M_R=247800$

$a/h=0.42$

$z=23.4$

$A_f=3.15\text{ cm}^2$

$\rho=0.0032$

Condición

Fuerza cortante de la Tableta

Tensión horizontal ($P_{hu} = 0.2 * P_{Vu}$)

Área de acero para resistir la fuerza cortante ($A_{vf} = \frac{P_{Vu}}{F_R * \mu * f_y}$)

Momento flexionante ($M_R = (P_{Vu} * a) + (P_{hu}(h-d))$)

Relación a/h para obtener el valor de z

Brazo del par, si $a/h < 0.5$ por lo tanto $z = 0.9 * d$

Área de acero por flexión ($A_f = \frac{M_R}{F_R * z * f_y}$)

Cuantía de acero ($\rho = \frac{A_s}{bd}$)

$$0.04 (f'c/fy) < \rho < 0.008$$

$$0.0024 < 0.0032 < 0.008 \text{ ok}$$

$A_n=1.05\text{ cm}^2$

$A_s=4.21\text{ cm}^2$

$A_s=3.56\text{ cm}^2$

$A_h=1.58\text{ cm}^2$

Área de acero necesario

Área de acero ($A_s = A_f + A_n$) **4Vars #4**

Área de acero **1#8** (indicado en detalle de armado de ménsula M-4 y M-Tableta)

Área de acero horizontal **3E#3**

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA TAPA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

Armado de Ménsulas en Trabe T-1

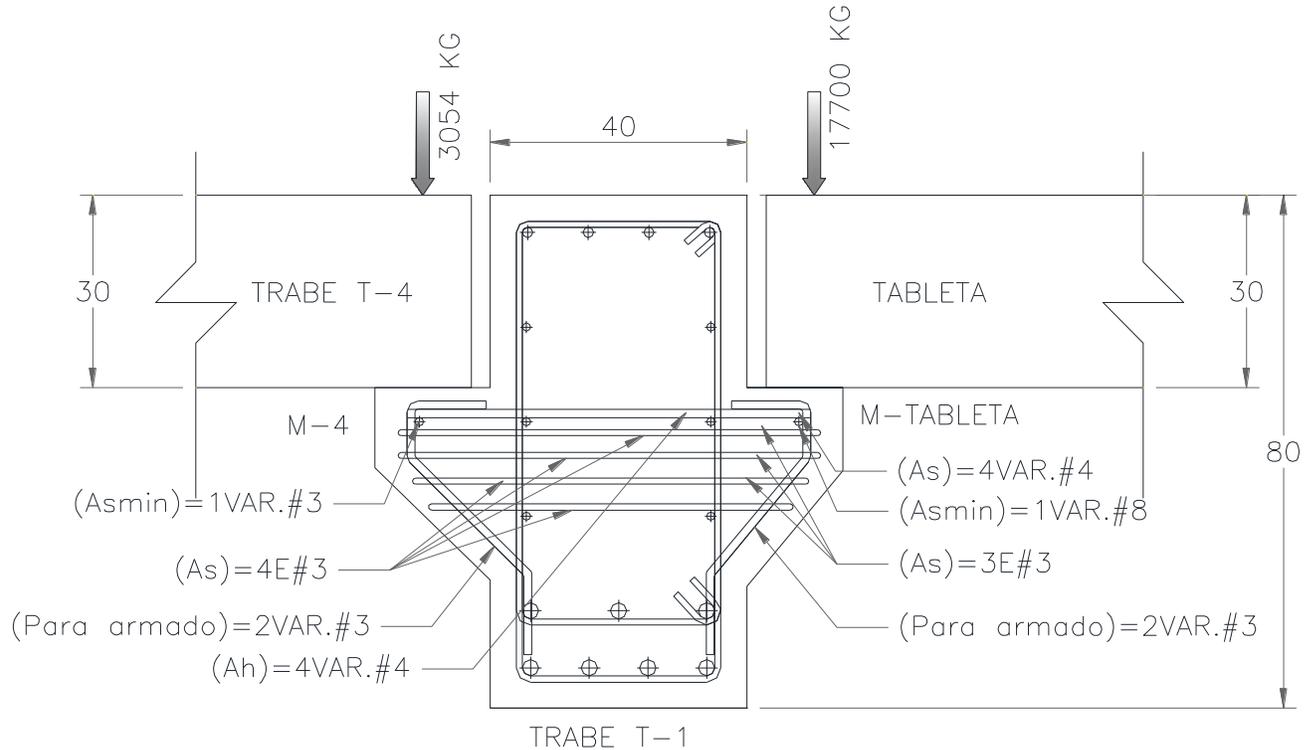


Fig. 85 Detalle de armado de Ménsula M-4 y M-Tableta

Consideración: Analizando la configuración de la Ménsula (M-Tabletas), solo se diseñó para una tableta el armado, por lo tanto este armado se propone para cada 50cm de base; si la base de la ménsula es de 840 cm se realizaran 17 ménsulas continuas para soportar las 17 tabletas.

Nota: Se usarán 2 varillas del # 3 para el armado de la ménsula M-4 y M-Tableta.

VI. 3. Diseño estructural de Lumbreira flotada

VI. 3. 1.- Geometría de lumbreira

$\varnothing_1=12.00\text{ m}$ Diámetro de lumbreira

$\varnothing_2=5.00\text{ m}$ Diámetro del túnel

N.R.H.=2202.930 Nivel rasante hidráulica

N.T.N.=2225.027 Nivel terreno natural

H= 30.23 m Altura de lumbreira

h= 23.01 m Profundidad de lumbreira

$f_y= 4,200\text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo a la fluencia del acero

$\nu=0.2$ Relación de Poisson del concreto

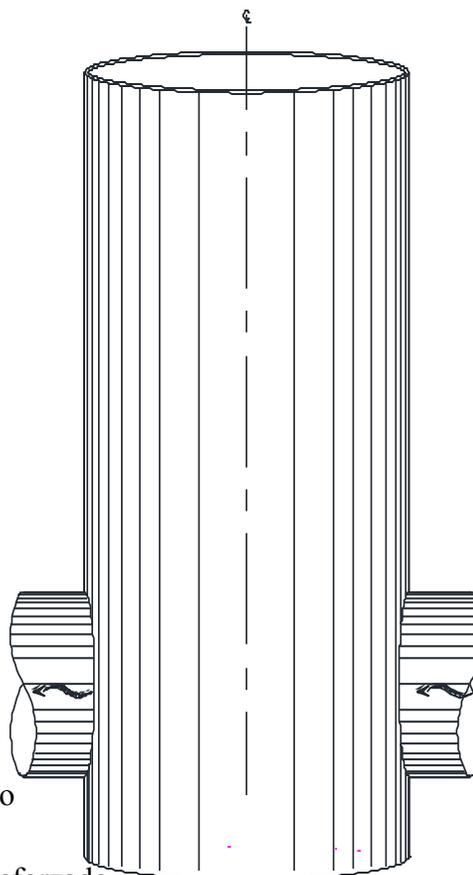
P. V.=2,400 kg/m³ Peso volumétrico del concreto reforzado

$f'_c= 350\text{ kg/cm}^2$ Resistencia a la compresión simple del concreto

e= 0.6 m Espesor de muro perimetral de lumbreira *Espesor propuesto

E= 205,791.2 kg/cm² Módulo de elasticidad. $E = 11000\sqrt{f'_c}$ *Para concreto clase 1 agregado basáltico

Nota: El agregado grueso calizo no se recomienda porque este reacciona al entrar en contacto con las aguas residuales⁸



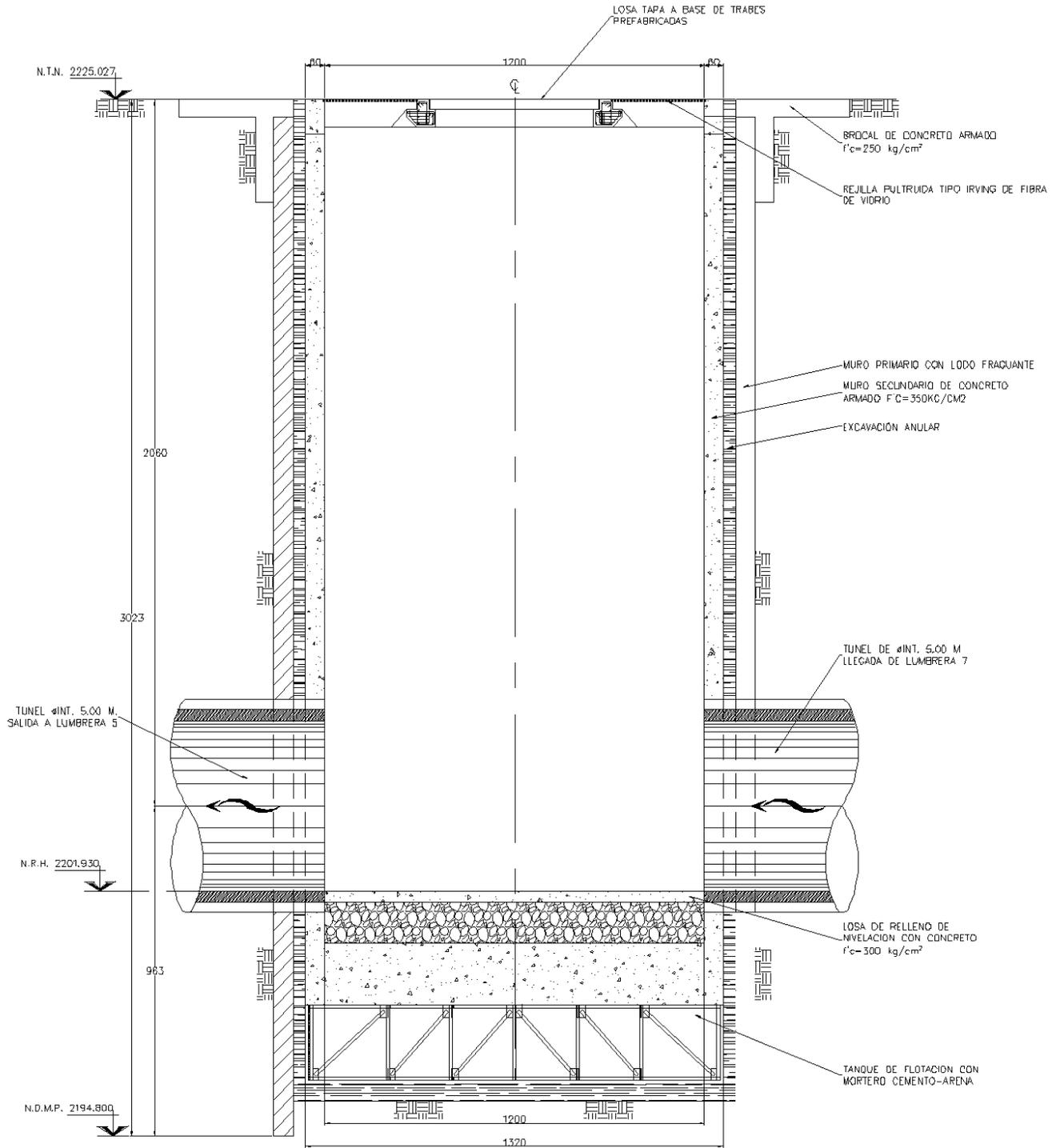


Fig. 86 Geometría de la lumbra L8

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LUMBRERA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

VI. 3. 2.- Consideraciones de diseño

- ∇ Estructura del grupo "A" Estructuras cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, y cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana.⁷
- ∇ La lumbrera tendrá dos aberturas radiales de 5.0 m de diámetro para su conexión, las cuales no interfieren en el cálculo de la lumbrera.
- ∇ Se propone una losa de cimentación de 1.80 m
- ∇ En el análisis de recipientes enterrados o semienterrados, se deberá tener en cuenta el empuje activo del terreno y considerando la sobrecarga que pueda presentarse por efecto de cargas vivas rodantes.¹³
- ∇ La carga viva recomendada para el análisis de la cubierta en recipientes enterrados no será menor que 500kg/m².

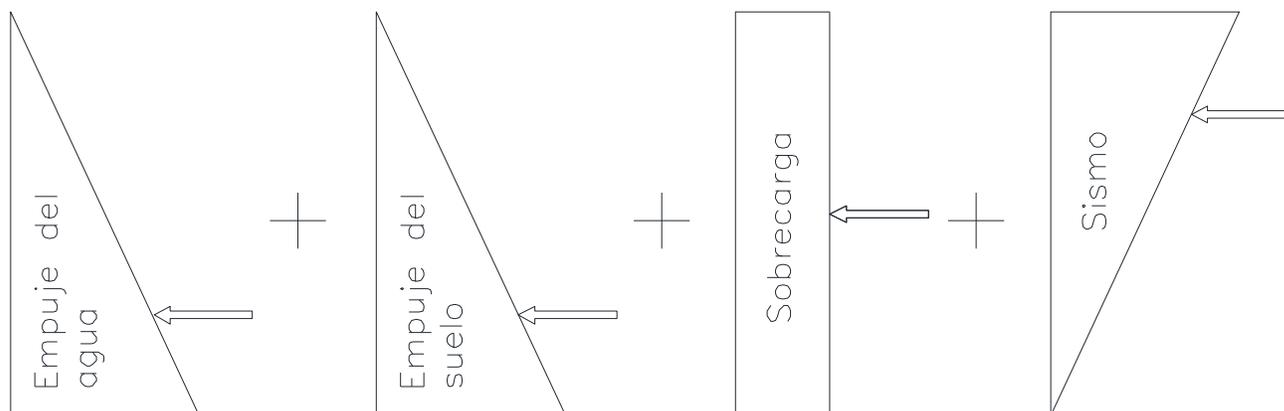


Fig. 87 Acciones de diseño

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LUMBRERA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		4 de 16

Empuje del agua

Para el análisis de recipientes enterrados o semienterrados, donde el nivel de aguas freáticas se encuentre temporal o permanentemente arriba de la losa de fondo, se deberá tener en cuenta el empuje hidrostático lateral del agua sobre los muros y el efecto de flotación del conjunto.¹³

$\gamma_o = 1000 \text{ Kg/m}^3$ Peso volumétrico del agua

El nivel de aguas freáticas se localiza en la zona en estudio a profundidades variables de entre 1.0 m a 2.5 m.

En la zona sumergida la presión es igual a la suma de la hidrostática más la presión del suelo calculada con la expresión usual, pero en la que γ se toma como la diferencia entre el peso volumétrico del suelo saturado (γ_s) y el del agua (γ_o) por lo tanto, se calcula, solo el empuje del suelo quiere decir que ya se incluye el del agua en este.¹

Empuje del suelo

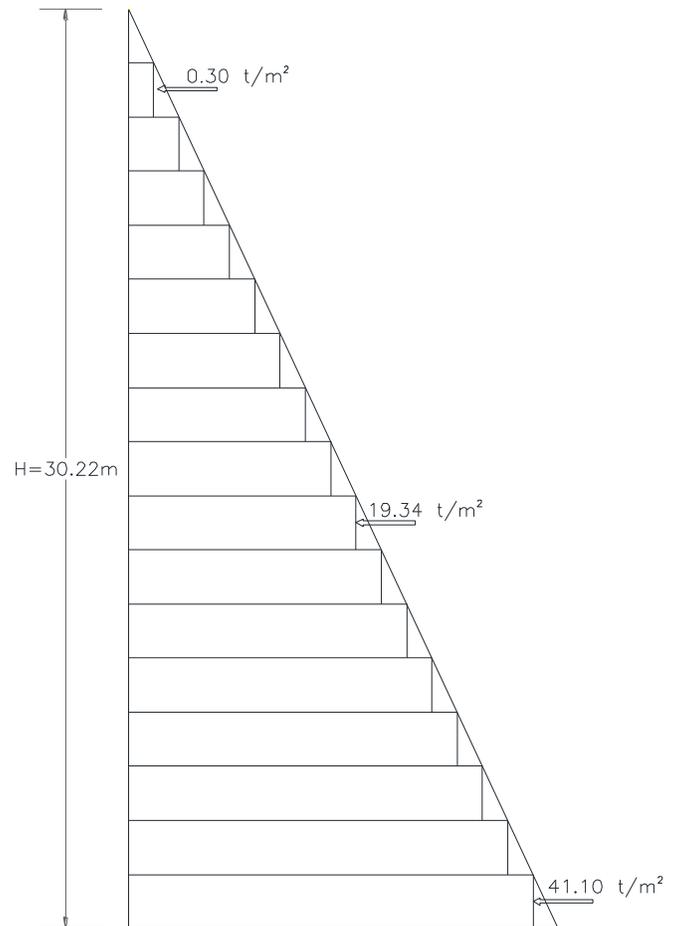
En el análisis de tanques enterrados o semienterrados, se deberá tener en cuenta el empuje activo del terreno.

Profundidad (m)		Esp (m)	DESCRIPCIÓN	% W	LL	LP	γ (t/m ³)	C (t/m ²)	ϕ (°)	E (t/m ²)
de	a									
0	4.6	4.6	Material de relleno, conformado por gravas y tezontle; empacadas en una matriz de arcilla gris color rojizo de consistencia dura y de alta plasticidad	38	68	28	88	1.5	0	276.4
4.6	16.8	12.2	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varia de muy blanda a blanda color gris, gris oscuro, café oscuro, café rojizo y negro, presenta limo y un lente de arcilla con arena y grava.	141	163	43	96	1.32	0	204.19
16.8	27.8	11	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varia de muy blanda a blanda color gris, gris oscuro, café oscuro, gris y gris verdoso, presenta algunos grumos aislados, con poca arena fina.	212	262	52	99	1.24	0	180.96
27.8	30	2.2	Arcilla de alta plasticidad y consistencia muy blanda color café rojizo, gris obscuro y gris verdoso.	144	206	41	98	1.34	0	139.6
30	30.6	0.6	Lente de arcilla con arena	187				1.3	0	0
30.6	38	7.4	Arcilla de alta plasticidad y consistencia muy blanda color gris, gris verdoso, café y café rojizo presenta grumos aislados.	189	248	48	100	1.25	0	158.1
38	40	2	Arcilla de alta plasticidad y consistencia que varia de muy blanda a media color gris y gris obscuro, presenta grumos	70	88	41	89	1.58	17	1905.2

Tabla 14 Modelo Geotécnico de la Lumbra L-8

$\gamma = 1.36 \text{ t/m}^3$ Peso volumétrico del suelo
 $H = 30.22 \text{ m}$ Altura total de lumbrera
 $\phi = 0^\circ$ Angulo de fricción interna
 $K_a = 1.0$ Coeficiente de empuje activo del suelo ($K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$)
 $E_s = 621.00 \text{ t}$ Empuje del suelo ($E_s = K_a \gamma \frac{H^2}{2}$)
 $P_\gamma = 41.10 \text{ t/m}^2$ Presión debida al suelo ($P_\gamma = K_a \gamma H$)

H (m)	P_γ (T/m ²)
0.22	0.30
2.22	3.02
4.22	5.74
6.22	8.46
8.22	11.18
10.22	13.90
12.22	16.62
14.22	19.34
16.22	22.06
18.22	24.78
20.22	27.50
22.22	30.22
24.22	32.94
26.22	35.66
28.22	38.38
30.22	41.10



 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LUMBRERA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 6 de 16

Peso de Losa Tapa

Rejilla pultruida tipo Irving de fibra de vidrio o similar

- Alta resistencia a la corrosión
- Dimensiones 1.00 m x 3.05 m
- Espesor de 2.54 cm
- Superficie antiderrapante
- Peso de rejilla 13.8 kg/m²

$A = 46.78 m^2$ Área de rejilla
 $P = 13.8 kg/m^2$ Peso de rejilla por metro cuadrado

$$W_{rejilla} = 0.869 t \quad \text{Peso de rejilla } (W_r = A * P)$$

Peso de Tabletas

Tabletas de 30 cm x 50 cm (17 pzas.)

$b = 0.5 m$ Base de tableta
 $h = 0.3 m$ Altura de Tableta
 $l = 5.8 m$ Longitud de tableta
 $f'c = 250 kg/cm^2$ Resistencia a la compresión de concreto
 $A = 0.15 m^2$ Área
 $V = 0.87 m^3$ Volumen de tableta ($V = b * h * l$)
 $w_t = 2.088 t$ Peso de tableta ($w_t = V * P.V.$)

$$W_{tabletas} = 35.50 t \quad \text{Peso de 17 tabletas}$$

Trabes T-1, T-2, T-3 y T-4

Trabe	b (m)	h (m)	l (m)	Peso propio (t)
T-1	0.4	0.8	11.38	8.74
T-2	0.4	0.5	5.8	2.78
T-3	0.2	0.3	2.8	0.4
T-4	0.2	0.3	3.4	0.49

$$W_{trabes} = 12.41 t \quad \text{Peso de trabes}$$

$A_{lt} = 113.10 m^2$ Área de losa tapa ($A_{lt} = \pi * r^2$)

$$W_{lt} = 0.43 t/m^2 \quad \text{Peso losa tapa } (W_{lt} = \frac{W_{rejilla} + W_{tabletas} + W_{trabes}}{A_{lt}})$$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LUMBRERA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 7 de 16

Sobrecarga

Se considera una sobrecarga en la superficie de la excavación de la Lumbrera, considerándose por lo menos igual a 1.5 ton/m^2 , como se establece en el RCDF, pero tomando en cuenta el efecto que la maquinaria producirá durante la construcción de las mismas se considerará un tracto camión articulado T3-S2 el cual trasmite una sobrecarga igual a 4.5 t/m^2

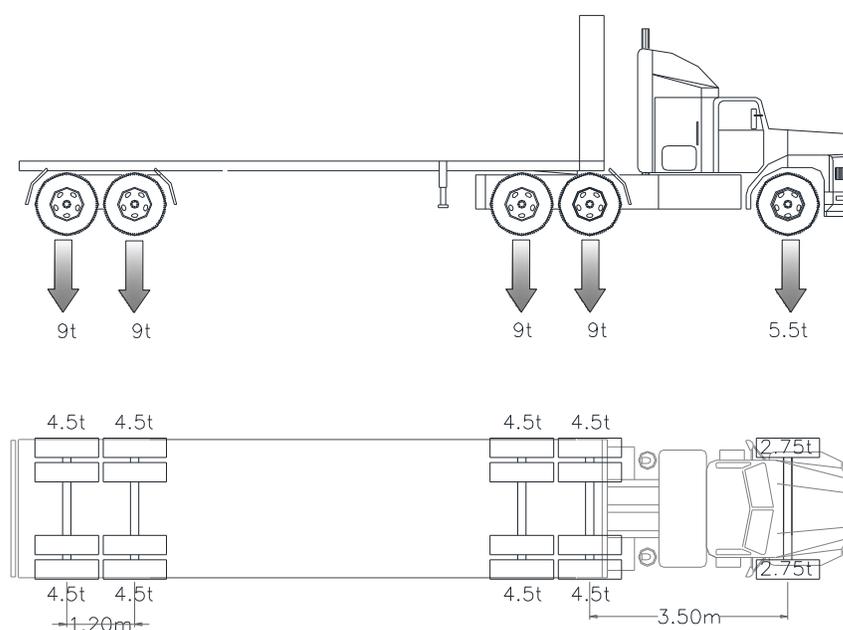


Fig. 88 Tracto camión articulado T3-S2

$$W_{\text{sobrecarga}} = 4.5 \text{ t/m}^2 \quad \text{Peso de tracto camión}$$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LUMBRERA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 8 de 16

Sismo

La estructura se ubica en la zona IIIId grupo A.

$C_s=0.36$	Coefficiente sísmico por ser del grupo A se incrementa 50% $\therefore C_s=0.45$ ¹⁰
$H=30.22$ m	Altura total de la lumbrera flotada
$\phi=0^\circ$	Angulo de fricción interna
$b=30.22$ m	Base ($b = \tan \phi * H$)
$A_s= 456.62$ m ²	Área del triángulo que forma ($A_s = \frac{b*H}{2}$)

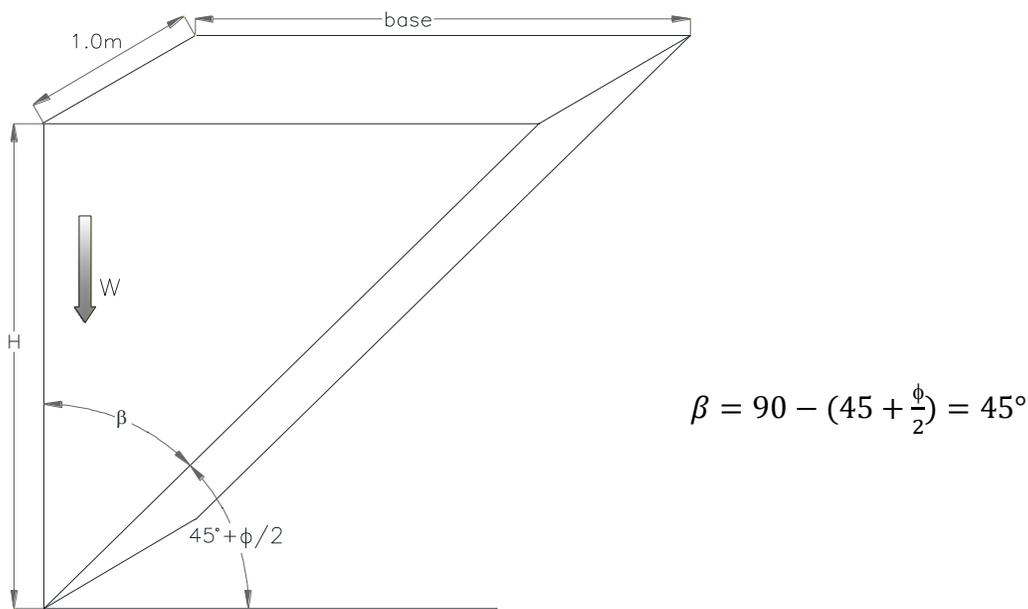


Fig. 89 Empuje debido al sismo

$\gamma=1.36$ t/m ³	Peso volumétrico del suelo (arcilla de alta plasticidad)
$W_s=621.0$ t/m	Peso del suelo $W_s = A_s * \gamma$
$E_{sis}= 279.45$ t/m	Fuerza lateral o' Empuje debido al sismo $F_i = E_{sis} = W_s * C_s$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LUMBRERA L-8 TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014
		9 de 16

Acciones de diseño

- | | | | |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Permanentes
etc. | } | 1.- Carga muerta por peso propio | |
| | | 2.- Carga muerta por sobrecarga, acabados, elementos no estructurales, etc. | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ○ $W_{sobrecarga} = 4.5 \text{ t/m}^2$ Peso de tracto camión ○ $W_{lt} = 0.43 \text{ t/m}^2$ Peso losa tapa | |
| | | 3.-Empuje de suelos y líquidos | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ○ $P_{\gamma} = 41.10 \text{ t/m}^2$ Presión debida al suelo | |

- | | | | |
|--|------------|----------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Variables | Carga viva | $C_v = 0.50 \text{ t/m}^2$ | Carga viva para recipientes enterrados |
|--|------------|----------------------------|--|

- | | | | |
|---|-------|--------------------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Accidentales | Sismo | $E_{sis} = 279.45 \text{ t/m}$ | Fuerza lateral o Empuje debido al sismo |
|---|-------|--------------------------------|---|

Factores de carga

- $F_c = 1.5$ Para edificaciones del grupo "A" para acciones permanentes y acciones variables.
- $F_c = 1.1$ Para acciones accidentales.

Combinaciones de carga

- 1.5(CM+CVmáx)
- 1.1(CM+SISx+0.3SISy)
- 1.1(CM+SISx-0.3SISy)
- 1.1(CM-SISx-0.3SISy)
- 1.1(CM-SISx+0.3SISy)
- 1.1(CM+0.3SISx+SISy)
- 1.1(CM+0.3SISx-SISy)
- 1.1(CM-0.3SISx-SISy)
- 1.1(CM-0.3SISx+SISy)

Notas:

- El empuje del suelo queda considerado en el parámetro de carga muerta como lo especifica el RCDF 2004.
- Base de la lumbrera se considera simplemente apoyada.

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LUMBRERA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 10 de 16

VI. 3. 3.- Modelo en SAP2000 de la lumbrera L-8

Table: Area Section Properties 1 de 2

Section	Material	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness m	BendThick m
MLUM e=60	CONCRETO3 50	Shell	Shell-Thin	Yes	0.600000	0.600000

Table: Area Section Properties 2 de 2

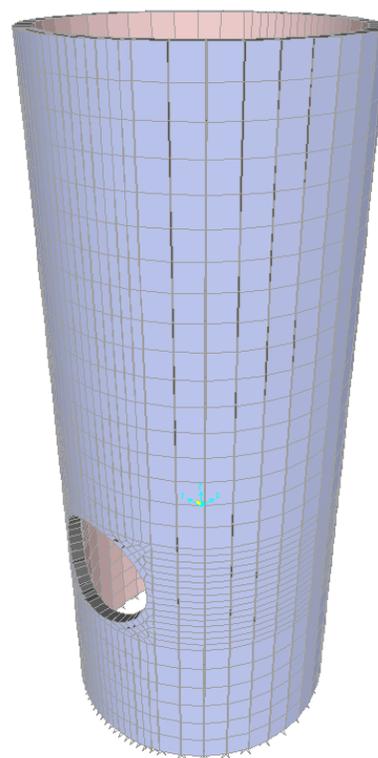
Section	TotalWt Tonf	TotalMass Tonf-s2/m	F11Mod	F22Mod
MLUM e=60	1582.0278	161.32	1.000000	1.000000

Table: Material Properties - Basic Mechanical Properties

Material	UnitWeight Tonf/m3	UnitMass Tonf-s2/m4	E1 Tonf/m2	G12 Tonf/m2	U12
CONCRET O350	2.4000E+00	2.4473E-01	2057912.00	857463.33	0.200000

Table: Load Pattern Definitions

LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
CM	DEAD	1.000000	
CVmax	LIVE	0.000000	
CVa	LIVE	0.000000	
Sisx	QUAKE	0.000000	USER COEFF
Sisy	QUAKE	0.000000	USER COEFF
Sobrecarga	SUPER DEAD	0.000000	
Esuelo	HOR EARTH PR	0.000000	
CLT	OTHER	0.000000	



Elementos mecánicos

Momento

Momento máx.= 22.38 t-m

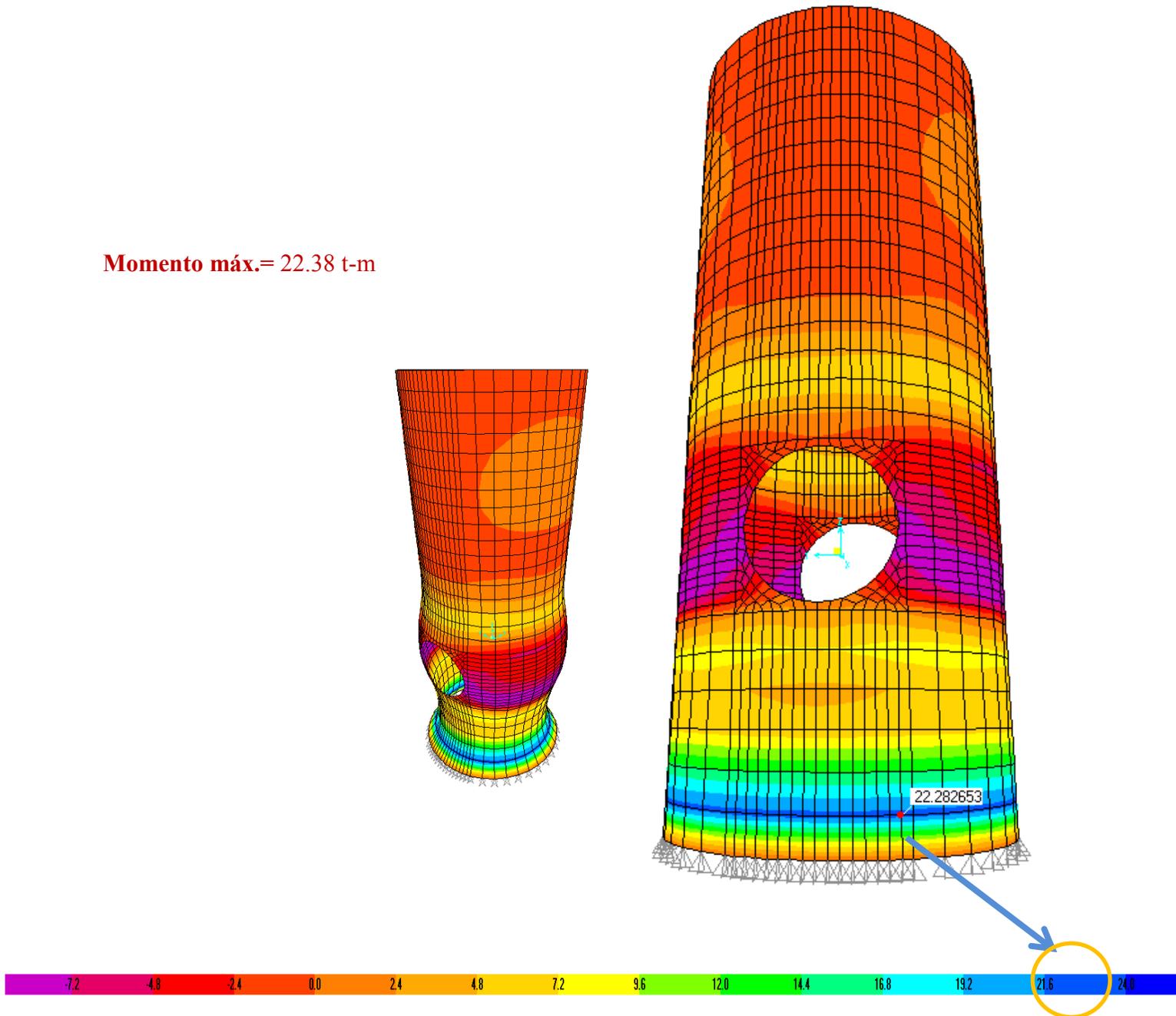


Fig. 90 Elementos mecánicos de lumbrera "Momento máximo"

Cortante

$V_u = 19.69 \text{ t}$

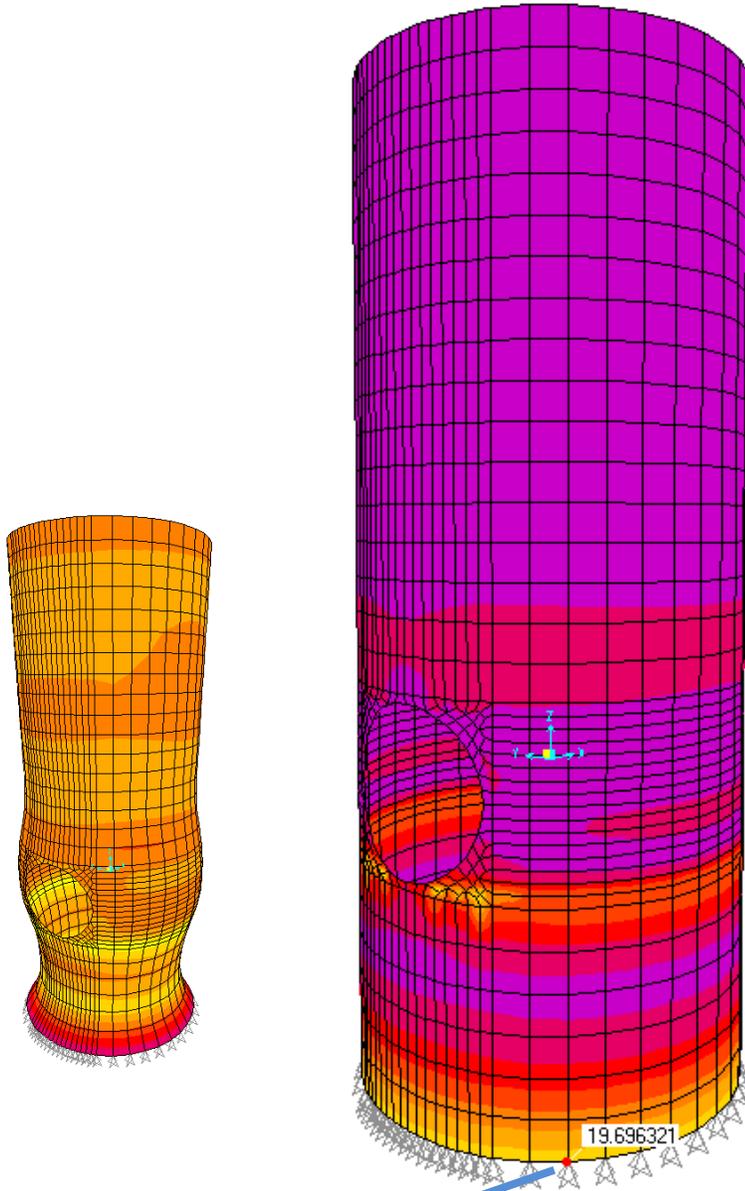


Fig. 91 Elementos mecánicos de lumbreira "Cortante ultimo"

Desplazamientos en la superficie y fondo de la lumbrera

Periodo fundamental **0.24seg.**

El desplazamiento en la superficie de la lumbrera es 20.56 cm y el permitido es: $0.012H \therefore 36\text{cm}$

Si $H=30.22\text{m}$ lo cual indica que el desplazamiento que presenta la lumbrera está dentro del desplazamiento permitido.

El desplazamiento en la zona de tubo es 5.2 cm

U1 = .0262
 U2 = -.0003
 U3 = -.0224
 R1 = -.00046
 R2 = .00488
 R3 = .00075

U1 = 0
 U2 = 0
 U3 = 0
 R1 = -.00083
 R2 = .00128
 R3 = -.00002924

El desplazamiento en el fondo de la lumbrera es cero.

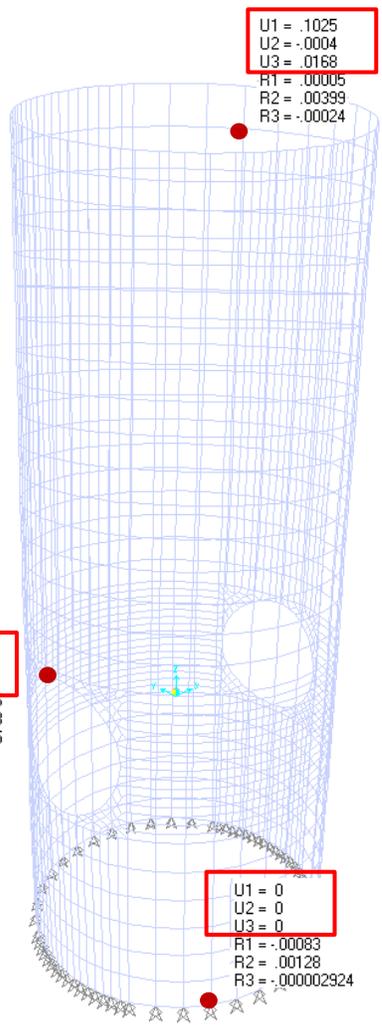


Fig. 92 Desplazamientos en la lumbrera

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LUMBRERA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

VI. 3. 4.- Diseño de muro de lumbreira $e=60$ cm

- En elementos anchos como lo es el muro de la lumbreira debe cumplir las siguientes condiciones:
- Espesor no será mayor a 60 cm

Cumplir la relación $\frac{M}{V_u} * d < 2.0$ $\therefore \frac{22.28t-m}{16.69 t} * 0.53 m = 0.71 < 2.0$ ✓

Acero necesario por flexión

FR= 0.8 Factor de resistencia para cortante y flexión
 Mu=2, 238, 000 kg-cm Momento máximo

Resistencia a flexión $MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$

Ecuación de 2do grado:

$$(-29,234,948q^2) + (58,469,897q) - (2,238,000) = 0$$

$$x_1 = 0.039 \quad x_2 = 1.96$$

Por lo tanto $q = 0.039$ (q debe ser menor a la unidad)

$\rho_{nec} = 0.0022$ Cuantía de acero necesario ($\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y}$)

As = 11.66 cm² Área necesaria ($A_{s\ necesario} = \rho_{nec} * b * d$)

$s = 17.06$ Numero de varillas a colorar ($s = \frac{100 * 1.99}{11.66}$) ~ Consideramos entonces @15 cm

Se propone:

$as = 1.99$ cm² Área de acero del #5

Varillas #5@ 15 cm

Acero mínimo por flexión

$\rho_{min} = 0.00312$ Cuantía de acero mín. ($\rho_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y}$)

As = 16.53 cm² Área de acero mínimo por flexión ($A_{s\ min} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y} bd$)

$s = 17.36$ Numero de varillas a colorar ($s = \frac{100 * 2.87}{16.53}$) ~ Consideramos entonces @15 cm

Se propone:

$as = 2.87$ cm² Área de acero del #6

Varillas #6@15 cm

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>LUMBRERA L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014
		15 de 16

Acero máximo por flexión

$$B_1=0.85$$

$$\rho_b=0.028$$

$$\rho_{m\acute{a}x}=0.021$$

$$\text{Cuantía de acero balanceado } (\rho_b = \left(\frac{f''_c}{f_y}\right)\left(\frac{6000*B_1}{f_y+6000}\right))$$

$$\text{Cuantía de acero máx. } (\rho_{m\acute{a}x} = 0.75 * \rho_{balanceado})$$

$$\rho_{m\acute{i}n} < \rho_{nec} < \rho_{m\acute{a}x} \rightarrow 0.0036 < 0.0022 < 0.021$$

Acero por cambios volumétricos

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será mayor de 1.5 (as1) ⁸

$$x_1=60\text{cm}$$

$$as_1=0.0589$$

$$As=4.42 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$as_1 = \left(\frac{660*x_1}{f_y(x_1+100)}\right)$$

$$\text{Área de acero por cambios volumétricos } (As = (1.5 * as_1 * 100)/2)$$

Se propone:

$$as=1.27 \text{ cm}^2$$

Área de acero del #4

$$s=28 \text{ Numero de varillas a colorar } (s = \frac{100*1.27}{4.42}) \sim \text{Consideramos entonces @25 cm}$$

Varillas #4 @25 cm

Acero por cortante

$$FR=0.8$$

factor de resistencia para cortante y flexión

$$F^*c=280 \text{ Kg/cm}^2$$

$$b=100\text{cm}$$

$$d=53\text{cm}$$

$$V_{CR}=35.48 \text{ t fuerza resistente } (0.5F_Rbd\sqrt{f^*c})$$

$$V_u=16.69 \text{ t}$$

$V_u=16.69 \text{ t} < V_{CR}=35.48 \text{ t} \therefore$ No requiere acero por cortante (Estribos), se recomienda colocar grapas por procedimiento constructivo.

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LUMBRERA L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

VI. 3. 5.- Armado de muro de la lumbrera

El acero de la lumbrera se coloca de la siguiente manera:

Acero mínimo por flexión

Varillas #6@15 cm

Acero por cambios volumétricos

Varillas #4@ 25 cm

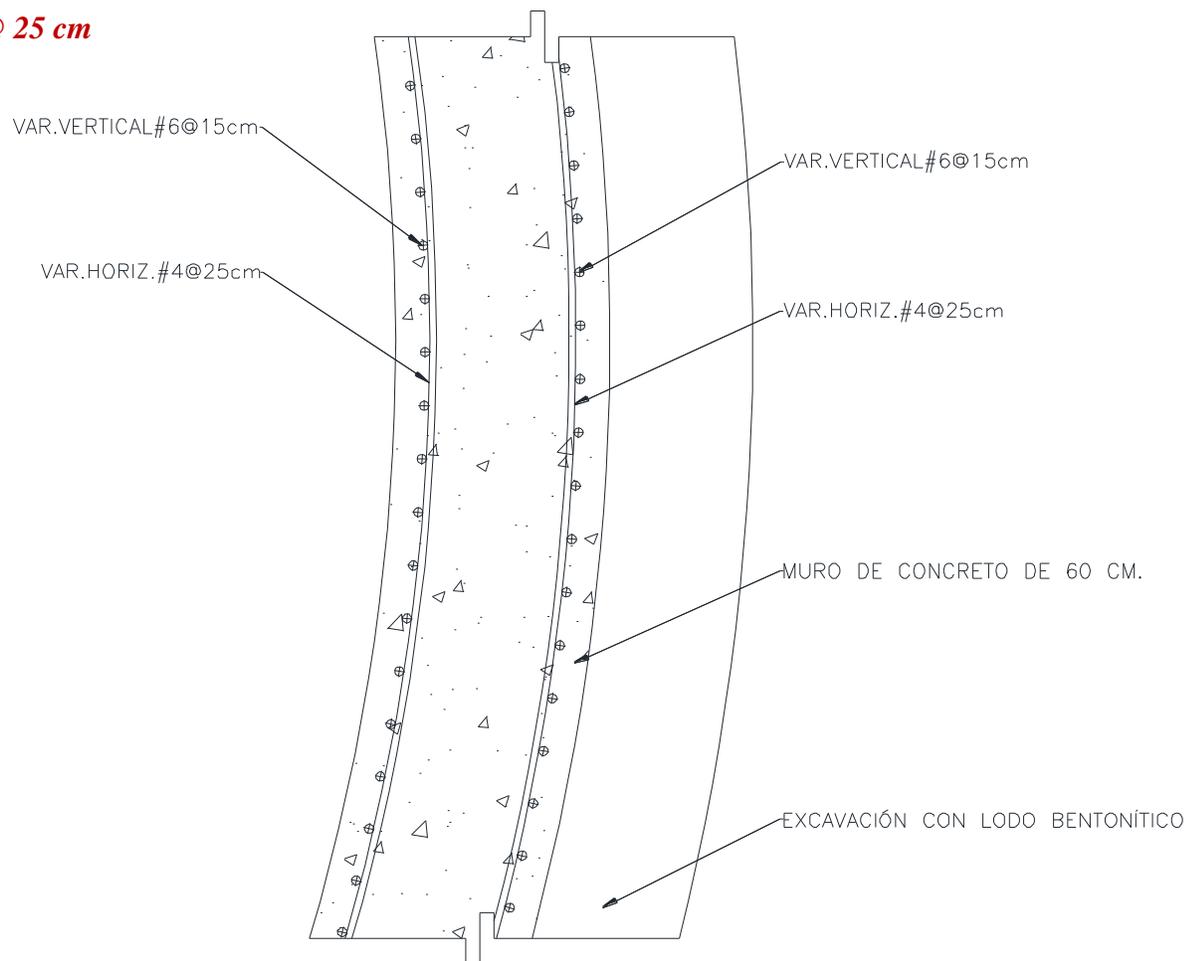


Fig. 93 Detalle de armado de muro de lumbrera

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL TANQUE FLOTADO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 1 de 9

VI. 4. Diseño de tanque flotado

VI. 4. 1.- Geometría de tanque

$\varnothing = 13.20 \text{ m}$	Diámetro del tanque flotado
$P = 29.51 \text{ m}$	Profundidad promedio
$\gamma = 1.36 \text{ t/m}^3$	Peso volumétrico del suelo
$H = 2.23 \text{ m}$	Altura total del tanque
$K_a = 1.0$	Coficiente de empuje activo del suelo ($K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$)
$E = 41.140 \text{ t/m}^2$	Empuje del suelo

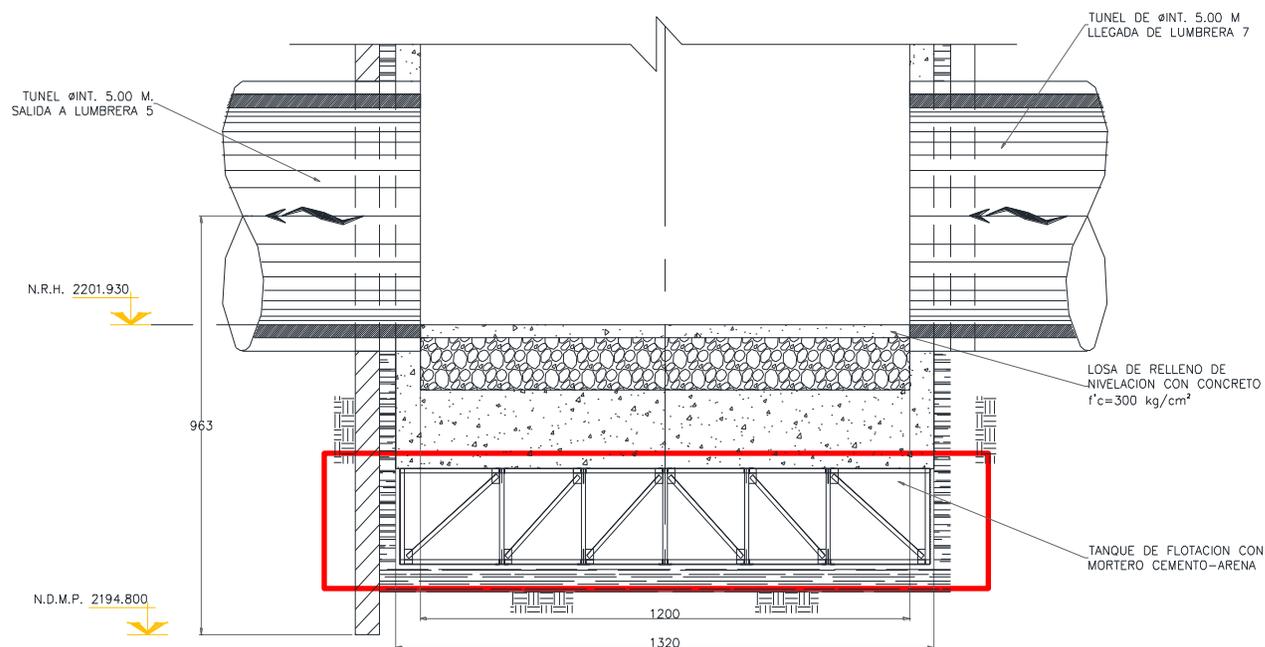


Fig. 94 Geometría de tanque flotado

VI. 4. 2.- Consideraciones de diseño

Materiales

Perfiles A-36 $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$

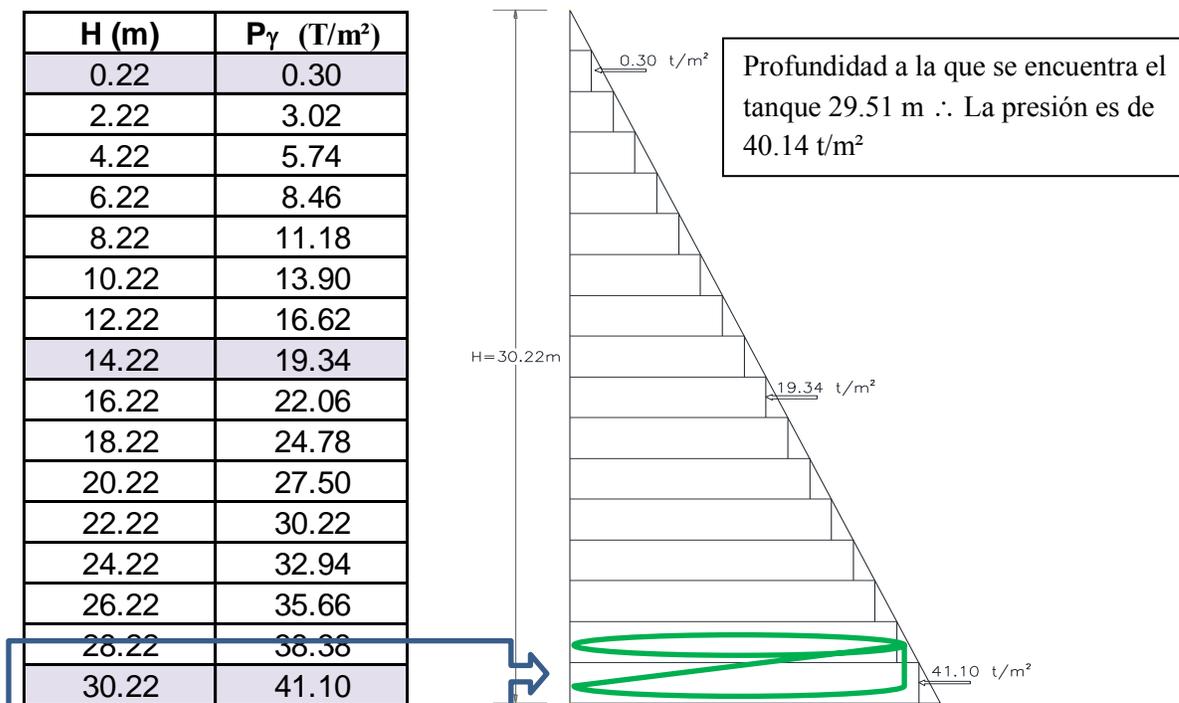
Placas A-36 $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$

Cargas

Las cargas a que se verá sujeta esta estructura son las acciones del empuje del suelo, considerando la presión más desfavorable a la que se encuentra sometido el tanque de flotación y el peso propio de este:

$W=13.203 \text{ t/m}^2$ Peso propio de la estructura

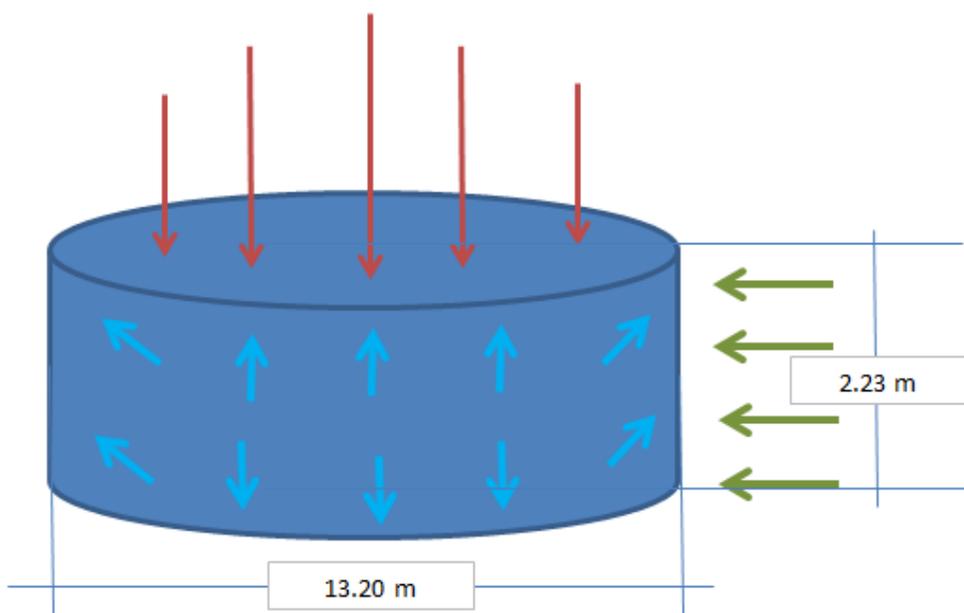
$P_\gamma= 35.209 \text{ t/m}^2$ Presión considerada a la que se encuentra el tanque



 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>TANQUE FLOTADO L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 3 de 9

Presion de aire dentro del tanque

Peso w = 1,751.510 ton
Peso por area = 13.203 ton /m²



Área de apoyo = 132.670 m²
Área interna = 355.180 m²
Calculo de presion horizontal = 4.930 t/m²
Empuje del terreno = 40.140 t/m²
Diferencia de fuerzas = 35.209 t/m²

Combinaciones de carga

- 1: (CM+CV Max)
- 2: (Presion de aire – Presion del terreno)

VI. 4. 3.- *Análisis del tanque flotado en STAAD. Pro.*

Se propone la siguiente configuración para analizar el tanque flotado en STAAD Pro.

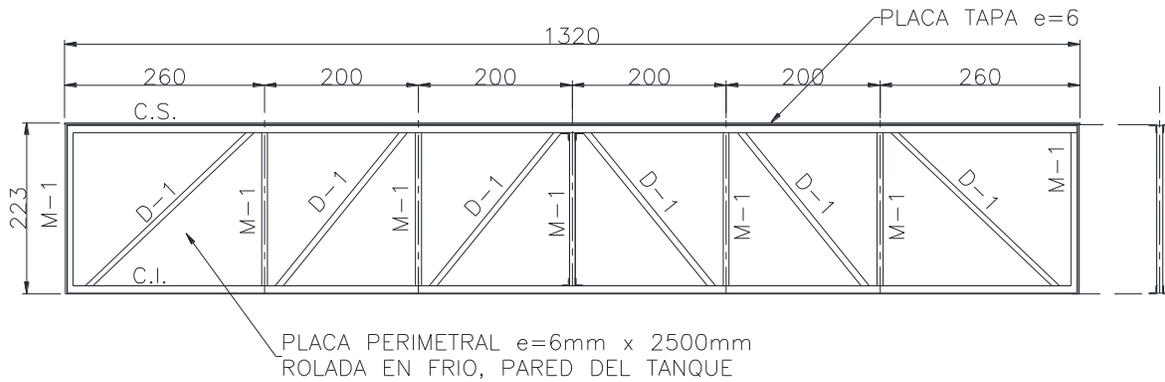


Fig. 95 Configuración de secciones del Tanque flotado

SECCIONES PROPUESTAS →

LISTA DE PERFILES	
	PERFIL
C.S.	 2L1-102x6 (9.82kg/m x2)
C.I.	 2L1-102x6 (9.82kg/m x2)
M-1	 2L1-102x12 (19.05kg/m x2)
D-1	 2L1-102x12 (19.05kg/m x2)
ℙ	PLACA e= 6 (4.68 KG/M2)
	TOTAL

Se considera simplemente apoyada

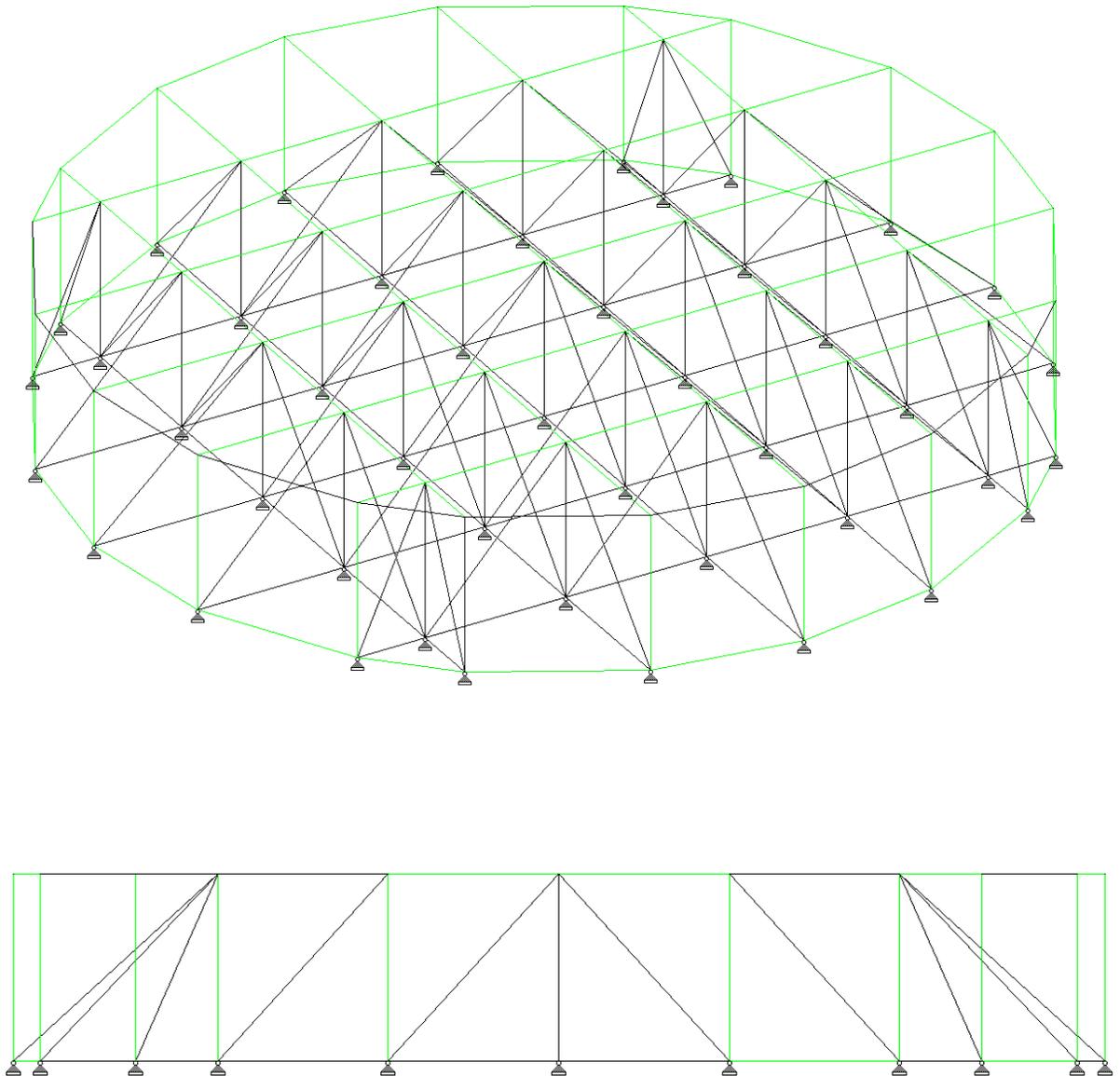


Fig. 96 Tanque flotado simplemente apoyado

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>TANQUE FLOTADO L-8</i> TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
		MAYO 2014 6 de 9

Perfiles y placas en tanque flotado

DATOS DE ENTRADA EN SOFTWARE STAAD V8.

MEMBER PROPERTY AMERICAN

1 TO 160 TABLE LD L40404

168 TO 173 181 TO 186 194 TO 199 207 TO 212 220 TO 225 228 TO 233 -
236 TO 241 244 TO 249 252 TO 257 260 TO 265 TABLE LD L40408

161 TO 167 174 TO 180 187 TO 193 200 TO 206 213 TO 219 226 227 234 -
235 242 243 250 251 258 259 TABLE ST TUB40408

ELEMENT PROPERTY

270 TO 325 THICKNESS .006

CONSTANT

E STEEL ALL

DENSITY STEEL ALL

POISSON STEEL ALL

BETA 180. MEMB 1 TO 80

SUPPORT

1 TO 45 PINNED

LOAD 1 (CM+CVMAX)

SELFWEIGHT Y -1.

ELEMENT LOAD

270 TO 305 PR GY -13.203

LOAD 2 (PRESION DE AIRE-PRES.TERR.)

ELEMENT LOAD

315 TO 322 PR -35.209

306 TO 308 323 TO 325 PR -35.209

309 TO 314 PR -35.209

LOAD COMB 3 (CM+CVMAX+PRESION DE AIRE-PRES.TERR.)

1 1. 2 1.

PERFORM ANALYSIS PRINT LOAD DATA

PRINT ANALYSIS RESULTS

PRINT MEMBER STRESSES LIST 1 TO 265

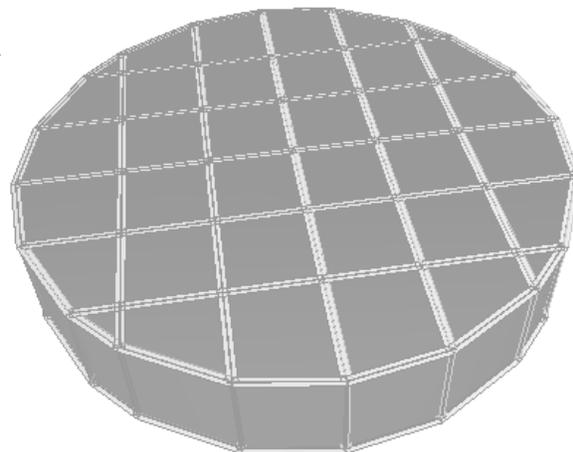
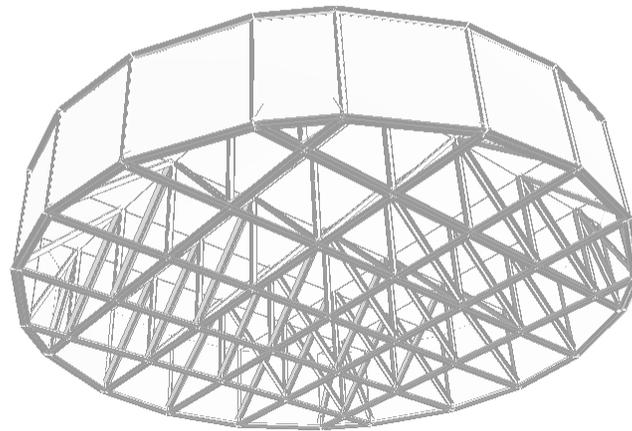
LOAD LIST 3

PARAMETER

CODE AISC

CHECK CODE ALL

FINISH



Esfuerzos permisibles

La placa de 6 mm (4.68 kg/m²) será diseñada de tal manera que el esfuerzo de flexión calculado no exceda el esfuerzo de flexión permisible.

$$F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a la fluencia del acero A-36

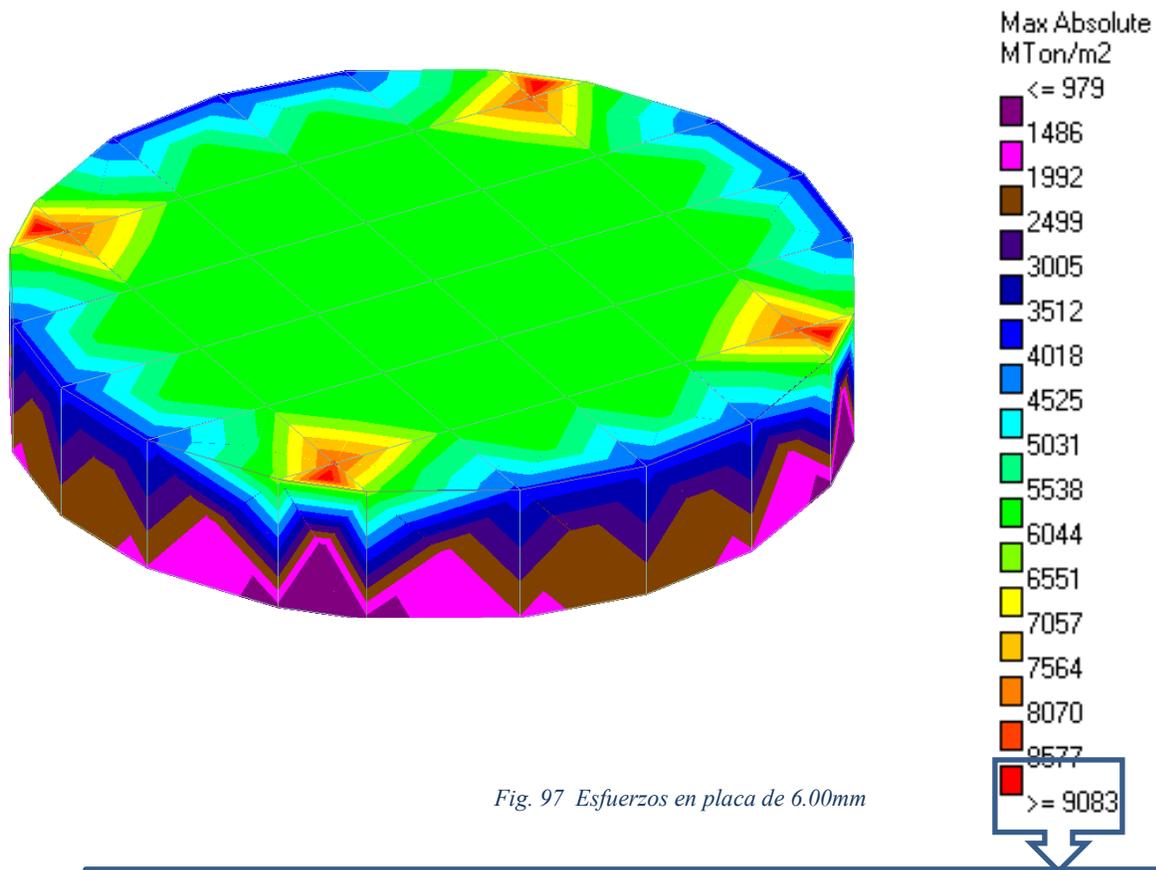


Fig. 97 Esfuerzos en placa de 6.00mm

$f_b = 908 \text{ Kg/cm}^2$	Esfuerzo de flexión calculado
-----------------------------	-------------------------------

$F_b = 1518 \text{ kg/cm}^2$	Esfuerzo de flexión permisible ($F_b = 0.60 * F_y$)
------------------------------	---

$\therefore f_b < F_b \quad \checkmark$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL TANQUE FLOTADO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  MAYO 2014
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	8 de 9

Revisión de piezas de armadura en relación de esfuerzos < que 1

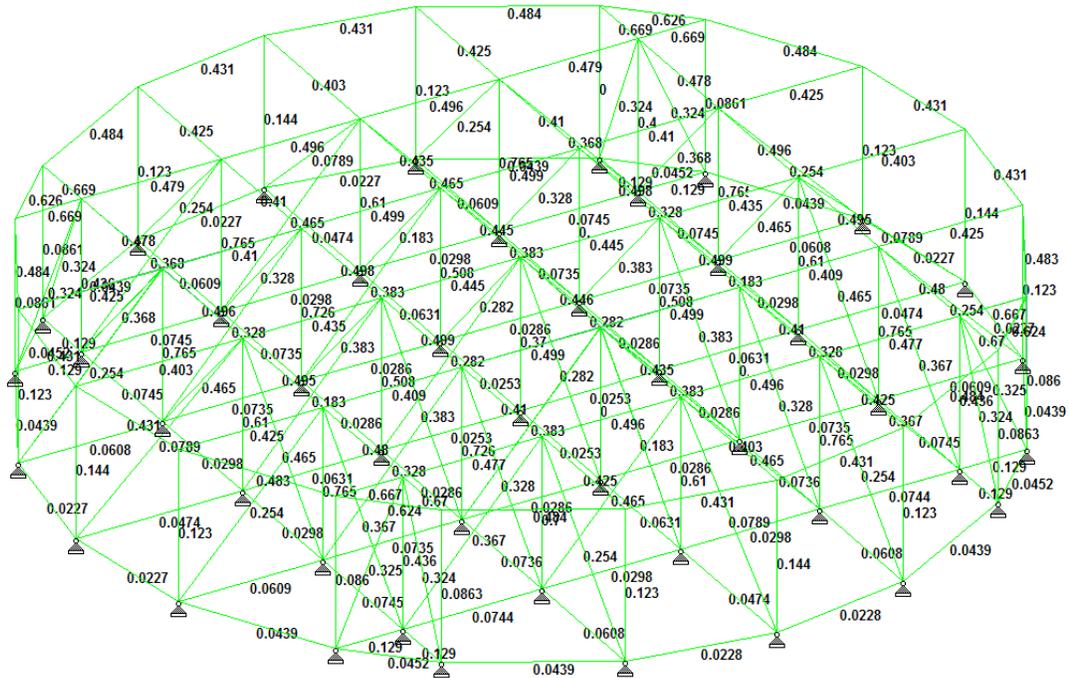


Fig. 98 Resultados de STAAD Pro.

De acuerdo al manual de construcción en acero (IMCA), sección 1.6 Esfuerzos combinados:

Los miembros sometidos simultáneamente a esfuerzos de compresión axial y a esfuerzos de flexión, deben estar diseñados de manera que satisfagan las condiciones siguientes ¹⁴:

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

Dónde:

F_a= esfuerzo de compresión axial permisible si solo existiera fuerza axial, en kg/cm²

F_b= esfuerzo de compresión por flexión permisible si solo existiera momento de flexión, en kg/cm²

f_a= esfuerzo axial calculado, en kg/cm²

f_b= esfuerzo de compresión por flexión calculado en el punto considerado, en kg/cm²

Los subíndices x y y indican el eje de flexión alrededor del cual se aplica un esfuerzo en particular.

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL <i>TANQUE FLOTADO L-8</i>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 9 de 9

El programa indica la combinaciones de esfuerzos en la armadura del tanque todos menores a la unidad por tanto se dice que los esfuerzos combinados en l armadura cumplen la condición anterior.

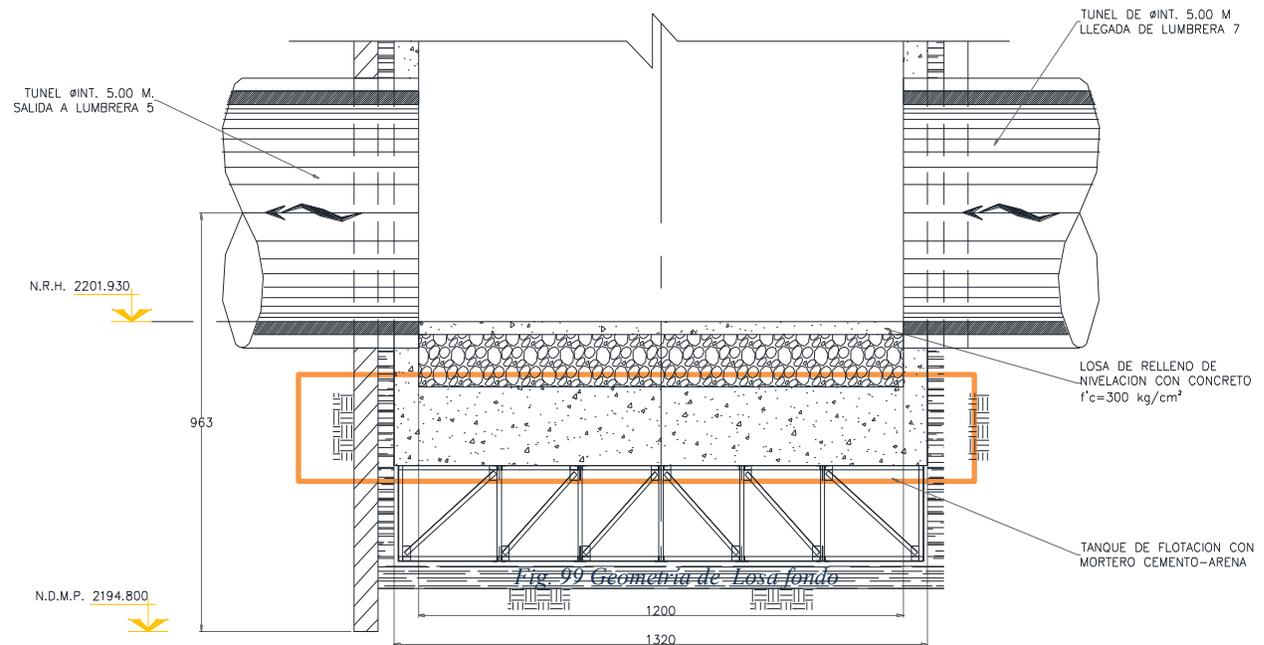
ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
186	LD L40408		(AISC SECTIONS)		
		PASS	AISC- H1-1	0.383	3
		15.89 C	-0.01	0.03	0.00
187	ST TUB40408		(AISC SECTIONS)		
		PASS	AISC- H1-3	0.123	3
		2.88 C	-0.03	0.08	0.00
188	ST TUB40408		(AISC SECTIONS)		
		PASS	AISC- H1-1	0.765	3
		37.03 C	0.01	-0.01	2.20
189	ST TUB40408		(AISC SECTIONS)		
		PASS	AISC- H1-1	0.726	3
		34.24 C	0.02	-0.02	2.20

VI. 5. Diseño de Losa Fondo

VI. 5. 1.- Geometría de losa fondo

N.I.L.F. = 2198.630	Nivel inferior losa fondo
b=1.00 m	Base de losa tapa
h=0.9 m	Altura de losa tapa
l=13.20 m	Longitud de tableta
A=0.9 m²	Área
V= 11.88m³	Volumen
W_v= 28.15 t	Peso propio de viga
γ= 1.36 t/m³	Peso volumétrico del suelo
FC=1.5	Factor de carga (Estructuras tipo "A")



P.V.=2.4 t/m³	Peso volumétrico del concreto
H= 26.40 m	Profundidad a la que se encuentra la losa fondo
K_a=1.0	Coefficiente de empuje activo del suelo
P_γ= 35.90 t/m²	Presión debida al suelo ($P_{\gamma} = K_a \gamma H$)

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA FONDO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014 2 de 7

VI. 5. 2.- Análisis como viga simplemente apoyada

Se analizará como viga ancha con carga uniformemente distribuida.

Cargas consideradas

La combinación de cargas que actúan sobre la losa a la profundidad de 26.40 m:

1.- Peso del suelo actuando en la losa

$$W_s = 35.90 \text{ t/m}^2 * 12.00 \text{ m}^2 \text{ Área} / 12.00 \text{ m} = \mathbf{35.9 \text{ t/m}}$$

2.- Peso Propio

$$W_{Is} = 1.00 \text{ m} * 1.80 \text{ m} * 12.00 \text{ m} * 2.4 \text{ t/m}^2 = \mathbf{4.32 \text{ t/m}}$$

3.- El peso de tirante de agua no se incluye, debido a que resta peso sobre la losa tapa.

4.- El peso que actúa sobre la losa fondo, se deduce de la resta del peso propio y el peso que ejerce el suelo por un factor de carga para la estructura Tipo A (FC=1.5) \therefore la carga total es de 47.377 t/m.

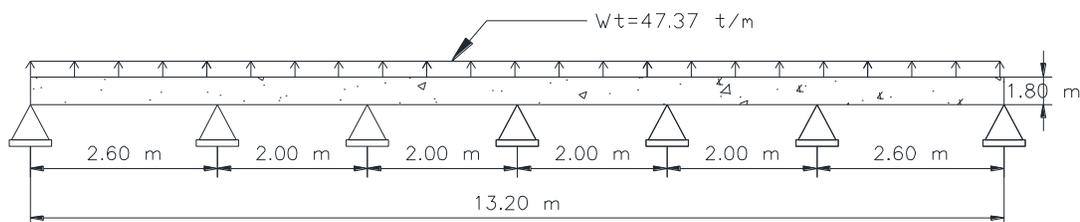
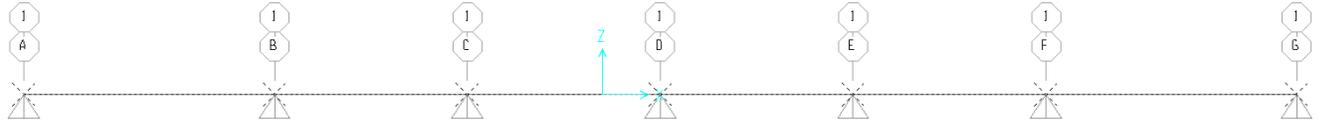


Fig. 100 Viga simplemente apoyada con carga uniformemente repartida

Análisis en SAP2000



Elementos mecánicos

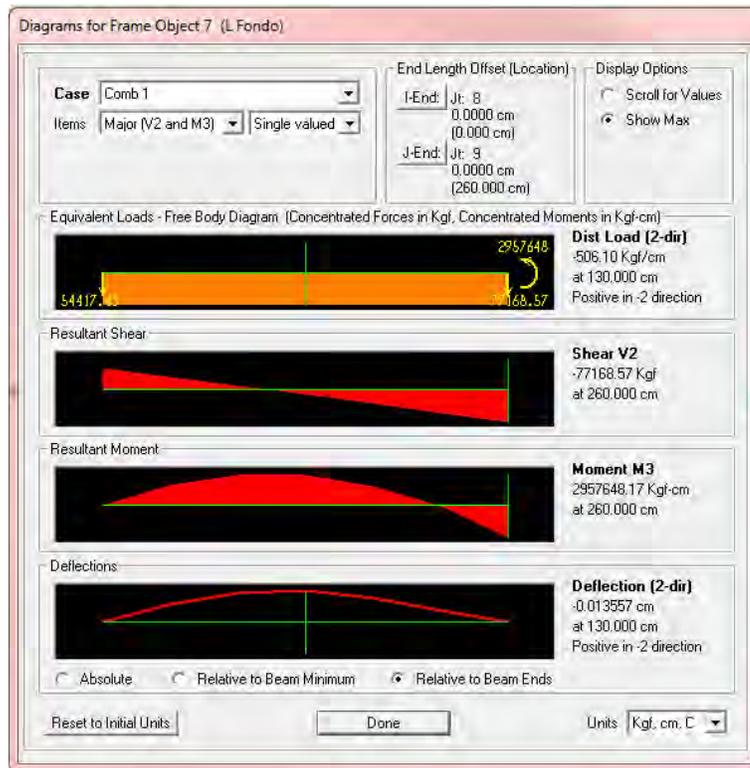
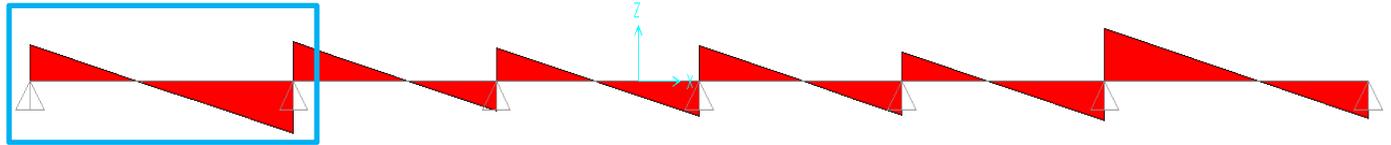


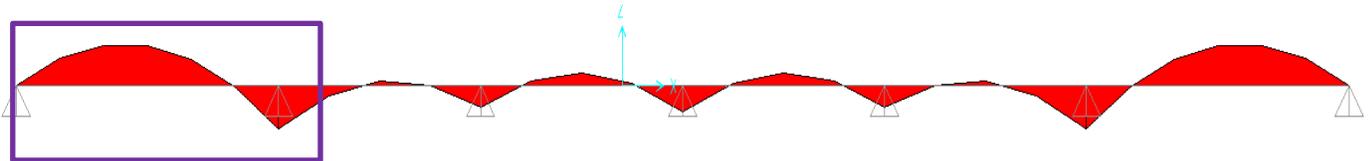
Fig. 101 Elementos mecánicos en losa fondo sección más desfavorable

El análisis de la viga en sap2000, muestra que:

$V_u = 77168 \text{ kg}$



$M_u = 2957648 \text{ kg-cm}$



Diseño de acero de refuerzo

$b = 100 \text{ cm}$

$h = 180 \text{ cm}$

$r = 7 \text{ cm}$

$d = 173 \text{ cm}$

$f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

Base de tableta

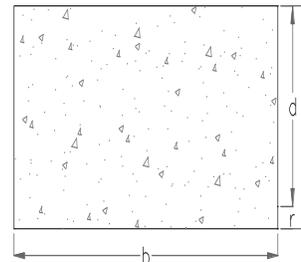
Altura de Tableta

Recubrimiento

Peralte efectivo

Resistencia a la compresión de concreto

Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo



Acero necesario por flexión

$FR = 0.9$

Factor de resistencia por flexión

$M_{\text{máx}} = 2,957,648 \text{ kg-cm}$

Momento máximo

Resistencia a flexión

$$MR = FRbd^2f''c q(1 - 0.5q)$$

Ecuación de 2do grado:

$$(-320,539,590 q^2) + (641,079,180q) - (2,957,648) = 0$$

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA FONDO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

$$x_1 = 0.0046$$

$$x_2 = 1.99$$

Por lo tanto

$$q = 0.0046 \quad (q \text{ debe ser menor a la unidad})$$

$$\rho_{nec} = 0.00026$$

$$\text{Cuantía de acero necesario} \quad (\rho_{nec} = \frac{q * f''c}{f_y})$$

$$A_s = 4.53 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área necesaria} \quad (A_{s \text{ necesario}} = \rho_{nec} * b * d)$$

Acero mínimo por flexión

$$\rho_{min} = 0.0031$$

$$\text{Cuantía de acero mín.} \quad (\rho_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y})$$

$$A_s = 53.94 \text{ cm}^2$$

$$\text{Acero mínimo por flexión} \quad (A_{smin} = \frac{0.7 * \sqrt{f''c}}{f_y} * b * d)$$

Se propone:

$$a_s = 7.94 \text{ cm}^2$$

Área de acero del #10

$$s = 14.72 \text{ cm}$$

$$\text{Separación del acero de refuerzo} \quad (s = \frac{100 * a_s}{A_s}) \sim \text{Consideramos entonces @ 15 cm}$$

Vars. #10@15cm

Acero máximo por flexión

$$B_1 = 0.85$$

$$\rho_b = 0.028$$

$$\text{Cuantía de acero balanceado} \quad (\rho_b = \frac{f''c}{f_y} * (\frac{6000 * B_1}{f_y + 6000}))$$

$$\rho_{máx} = 0.0213$$

$$\text{Cuantía de acero máx.} \quad (\rho_{máx} = 0.75 * \rho_{balanceado})$$

Acero por cortante

$$FR = 0.8$$

Factor de resistencia para cortante o torsión

Si $\rho < 0.015$ V_{cR} se calcula como:

$$\text{Fuerza cortante del concreto} \quad (V_{cR} = ((FR * b * d * (0.20 + 20 * \rho_{nec}) * \sqrt{f''c}) / 1000))$$

$$\text{Si } \rho = 0.00026$$

$$\text{Factor de cortante cuando el espesor h es mayor de 70 cm:} \quad (1 - 0.0004)(h - 700) = 0.92$$

$$V_{cR} = 47.53 \text{ t} * 0.92 = 26.61 \text{ t}$$

En vigas debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño V_u sea menor que V_{cR}

$$V_u = 77.17 \text{ t} > V_{cR} = 26.61 \text{ t}$$

Por procedimiento constructivo se proponen grapas:

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA FONDO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

$$s = 30 \text{ cm}$$

Separación de acero por cortante

$$A_{v \min} = 3.59 \text{ cm}^2$$

Acero mínimo por cortante ($A_{v \min} = 0.3 * \sqrt{f^*c} \frac{b_s}{f_y}$)

E #3@30 cm

Acero por cambios volumétricos

Se propone el espesor de la losa fondo de 1.8 por las condiciones del terreno, dado que el espesor es mayor se diseñara dividiéndolo, en cuanto al cálculo de acero por temperatura

En toda dirección en que la dimensión de un elemento estructural sea mayor que 1.5m, el área de refuerzo que se suministre no será menor que:

$$as1 = \left(\frac{660 * x1}{f_y(x1+100)} \right)$$

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será mayor de 1.5 (as1)

$$x1 = 90 \text{ cm}$$

$$as1 = 0.074$$

$$as1 = \left(\frac{660 * x1}{f_y(x1+100)} \right)$$

$$As = 11.17 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Área de acero por cambios volumétricos ($As = 1.5 * as1 * 100$)

Se propone:

$$as = 5.07 \text{ cm}^2$$

Área de acero del #8

Vars #8@30 cm

 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN	MEMORIA DE CÁLCULO, DISEÑO ESTRUCTURAL LOSA FONDO L-8	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 
	TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO"	MAYO 2014

VI. 5. 3.- Armado de losa fondo

De acuerdo al análisis de la losa fondo, se propone colocar el acero de la siguiente forma:

Lecho superior-----**Varilla #10 + Varilla #8** Acero necesario y acero por temperatura

Lecho inferior----- **Varilla #10 + Varilla #8** Acero necesario y acero por temperatura

Grapas-----**2 Grapas#3@30cm** Acero por cortante

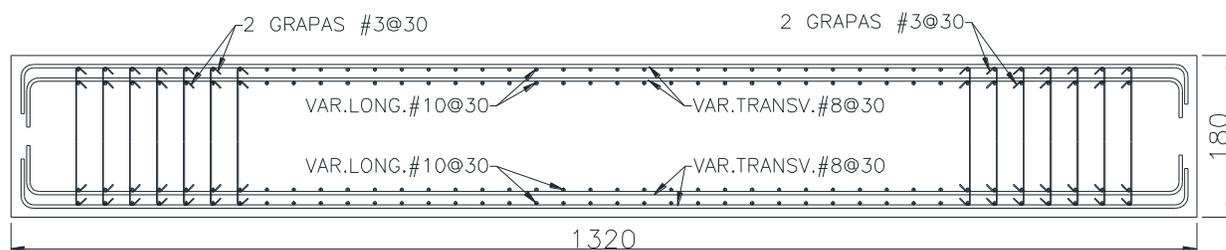


Fig. 102 Armado de losa fondo



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



VII.- ESTADO LIMITE DE SERVICIO DE LA LUMBRERA L-8



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Se refiere a la ocurrencia de daños económicos o a la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se ha proyectado la construcción.

En las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables, la revisión del estado límite de desplazamientos se cumplirá si se verifica que no exceden los valores siguientes¹¹:

ACCIONES PERMANENTES

Cargas muertas

Se considerarán 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.

Para la evaluación de las cargas muertas se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos unitarios de los materiales.

Peso muerto de losas de concreto, el peso muerto calculado de losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 0.2 kN/m^2 (20 kg/m^2).

Empujes estáticos de tierras y líquidos

Para valuar el empuje de un líquido sobre la superficie de contacto con el recipiente que lo contiene se supondrá que la presión normal por unidad de área sobre un punto cualquiera de dicha superficie es igual al producto de la profundidad de dicho punto con respecto a la superficie libre del líquido por su peso volumétrico.

ACCIONES VARIABLES

Cargas vivas

Se considerarán cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente.

Disposiciones generales

Para la aplicación de las cargas vivas unitarias se deberá tomar en consideración las siguientes disposiciones:

- La carga viva máxima W_m se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

- b) La carga instantánea W_a se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área.
- c) La carga media W se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas; y
- d) Cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en el caso de problemas de flotación, volteo y de succión por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área.

Cargas vivas transitorias

Durante el proceso de edificación deberán considerarse las cargas vivas transitorias que puedan producirse. Éstas incluirán el peso de los materiales que se almacenen temporalmente, el de los vehículos y equipo, el de colado de plantas superiores que se apoyen en la planta que se analiza y del personal necesario, no siendo este último peso menor de 1.5 kN/m^2 (150 kg/m^2). Se considerará, además, una concentración de 1.5 kN (150 kg) en el lugar más desfavorable.

Cambios de temperatura

En los casos en que uno o más componentes o grupos de ellos en una construcción estén sujetos a variaciones de temperatura que puedan introducir esfuerzos significativos en los miembros de la estructura, estos esfuerzos deberán considerarse al revisar las condiciones de seguridad ante los estados límite de falla y de servicio de la misma, en combinación con los debidos a los efectos de las acciones permanentes.

DEFORMACIONES IMPUESTAS

Los efectos de las deformaciones impuestas sobre una estructura, tales como las causadas por asentamientos diferenciales de los apoyos o alguna acción similar, se obtendrán mediante un análisis estructural que permita determinar los estados de esfuerzos y deformaciones que se generan en los miembros de dicha estructura cuando se aplican sobre sus apoyos las fuerzas necesarias para mantener las deformaciones impuestas, mientras los demás grados de libertad del sistema pueden desplazarse libremente. Para fines de realizar este análisis, el módulo de elasticidad de cualquier miembro de la estructura podrá tomarse igual al que corresponde a cargas de larga duración. Los efectos de esta acción deberán combinarse con los de las acciones permanentes, variables y accidentales establecidas en otras secciones de estas Normas.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO



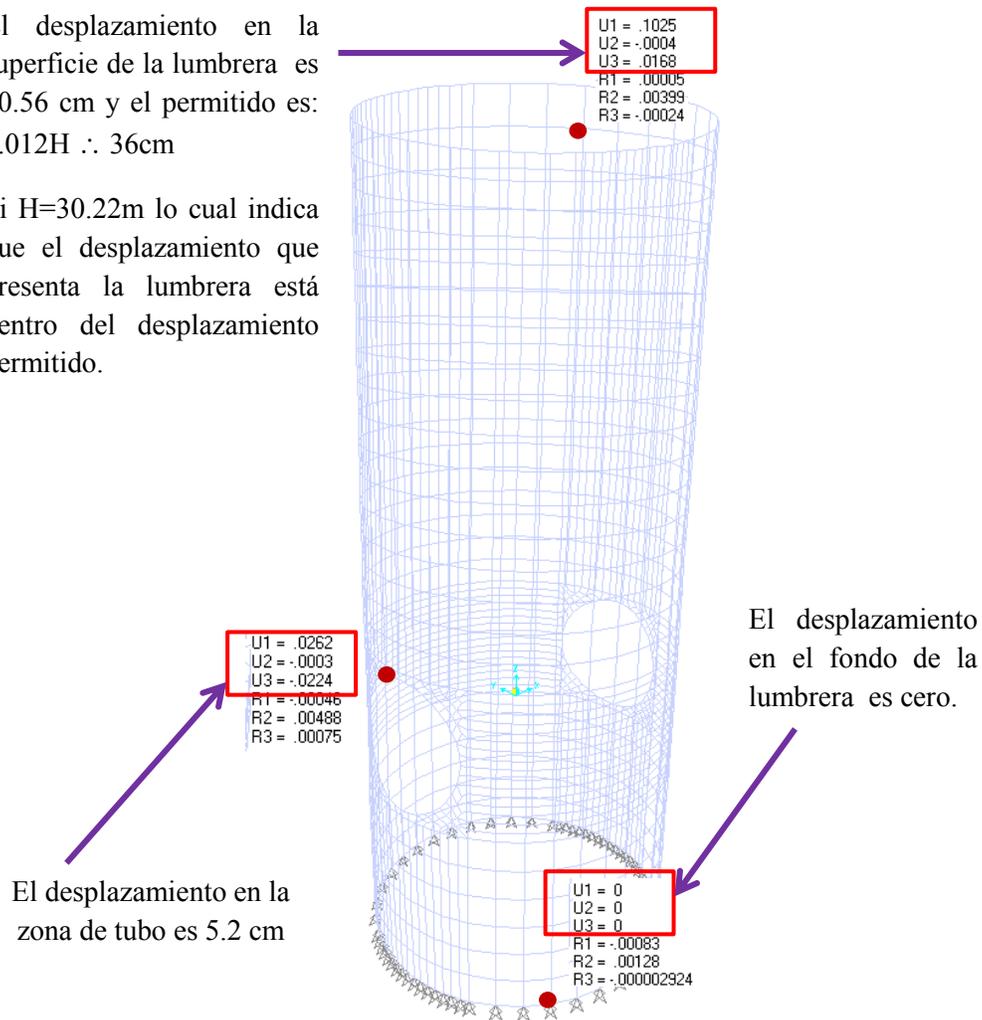
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Desplazamientos en la superficie y fondo de la lumbrera

Periodo fundamental **0.24seg.**

El desplazamiento en la superficie de la lumbrera es 20.56 cm y el permitido es: $0.012H \therefore 36\text{cm}$

Si $H=30.22\text{m}$ lo cual indica que el desplazamiento que presenta la lumbrera está dentro del desplazamiento permitido.



El desplazamiento en la zona de tubo es 5.2 cm

El desplazamiento en el fondo de la lumbrera es cero.

Nota: Los desplazamientos en la lumbrera son mínimos por lo tanto de acuerdo el estado límite de servicio de la misma cumple con las especificaciones descritas en el R.C.D.F.

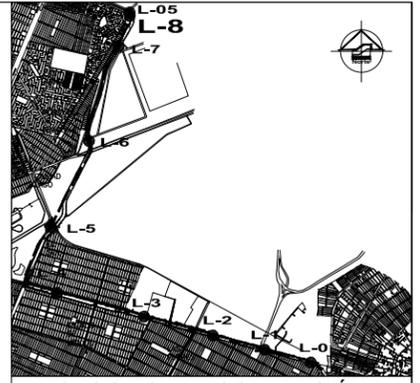


**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



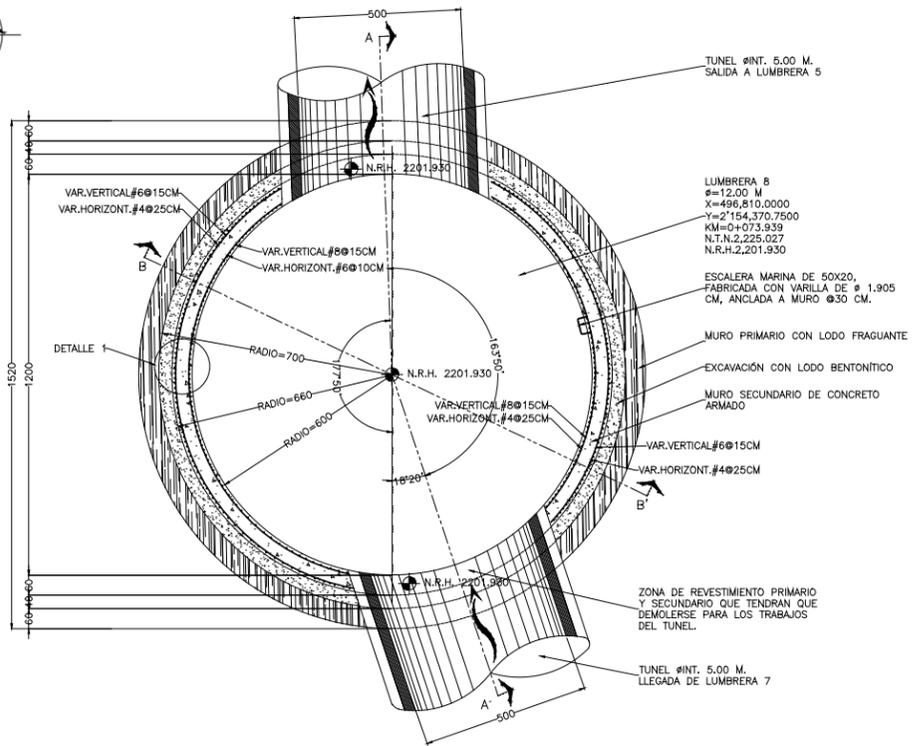
VIII.- ANEXOS



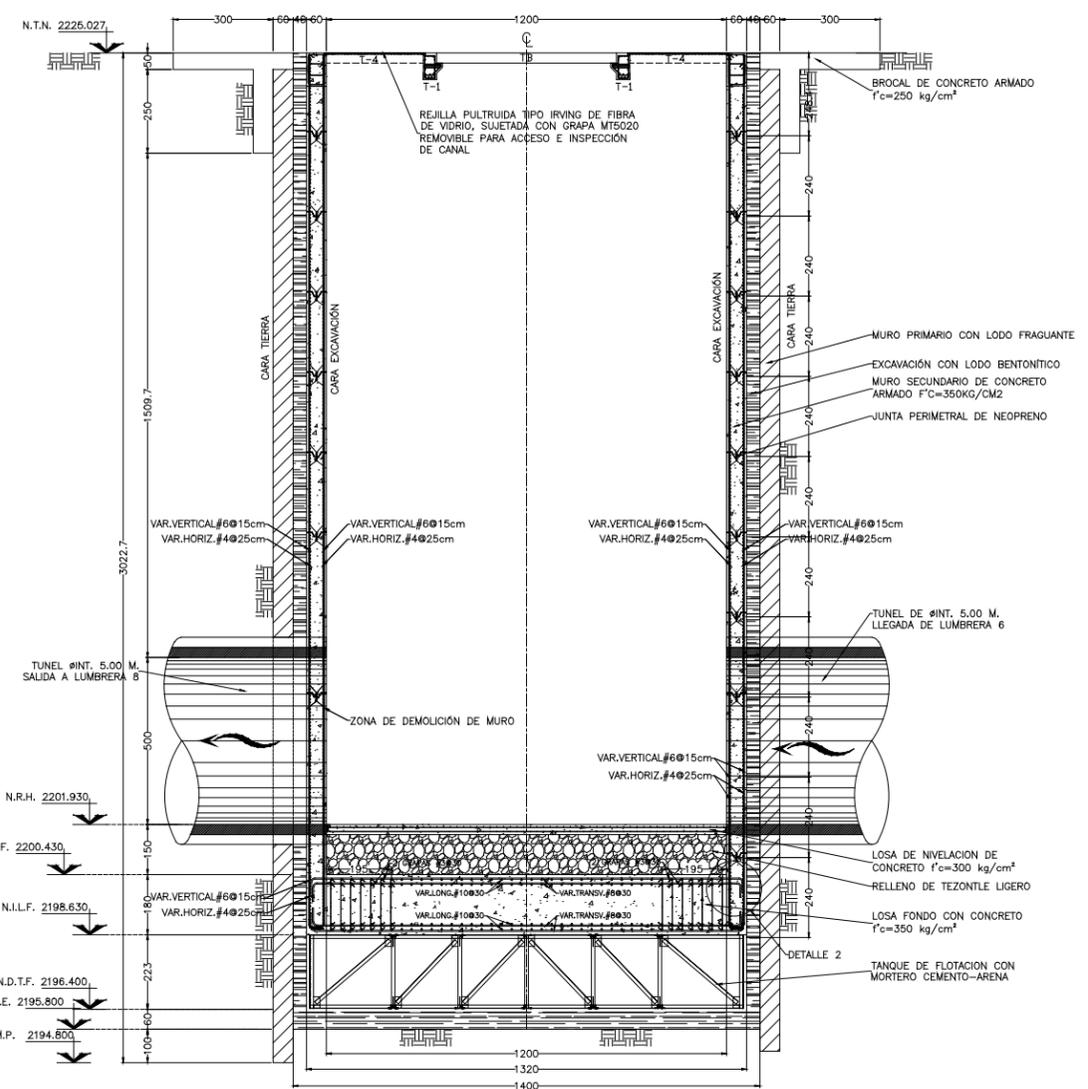
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

NOTAS GENERALES

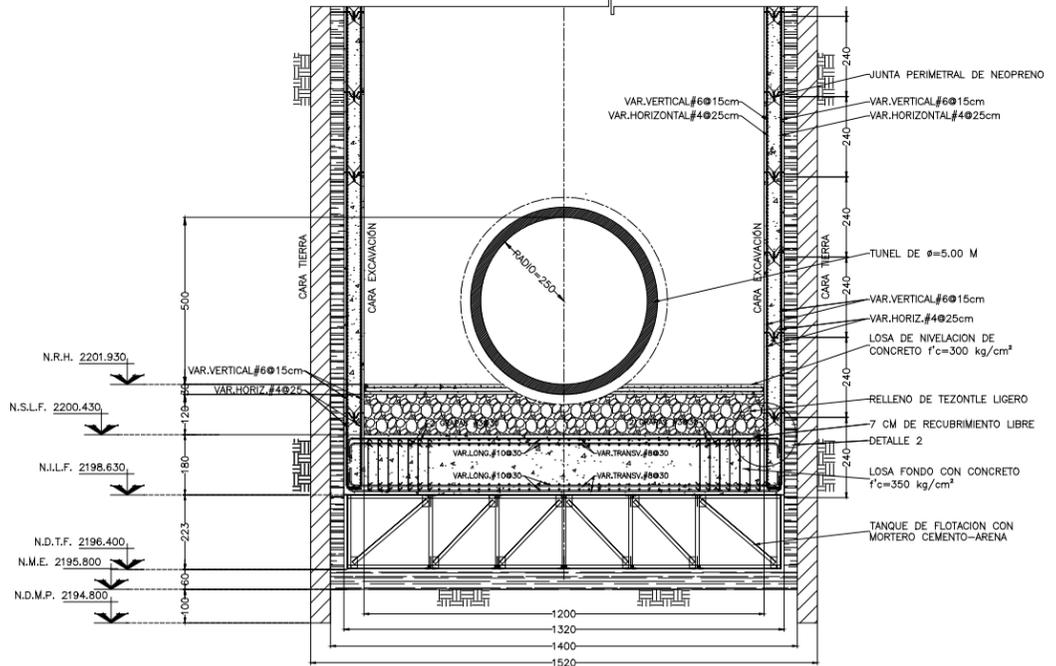
- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS, NIVELES EN METROS.
 - 2.- LAS COTAS RIGEN AL DIBUJO.
 - 3.- TODAS LAS DIMENSIONES, PAROS, EJES Y NIVELES DEBERÁN SER VERIFICADOS EN CAMPO CON LOS PLANOS DE REFERENCIA CORRESPONDIENTES.
- MATERIALES:
1. CONCRETO CLASE I ESTRUCTURAL, FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND COMPLETO (CPC) RESISTENTE A LOS SULFATOS (RS), COMPRESIÓN $f_c = 350$ KG/CM² A LOS 28 DÍAS DE EDAD (NORMA NMX-C-414-ONNCE-2004), REVENIMIENTO 14 CM.
 2. TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO 3/4", TIPO CALIZO.
 3. ACERO DE REFUERZO CON LÍMITE DE FLUENCIA $F_y = 4200$ KG/CM².
 4. IMPERMEABILIZANTE INTEGRAL TIPO FESTERGRAL O SIMILAR EN PROPORCIÓN ESPECIFICADA EN PRODUCTO.
 5. DEBERÁ LLEVARSE UN CONTROL DE CALIDAD DE TODOS LOS MATERIALES DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA POR UN LABORATORIO ACREDITADO.
- F3E1-6M0897CB0#177#8
- A.- COLOCACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.
1. ANTES DE COLOCAR EL CONCRETO, EL ACERO DE REFUERZO DEBE ESTAR LIBRE DE LODO, ACEITE, PINTURA O CUALQUIER MATERIAL QUE PUEDA DISMINUIR LA CAPACIDAD DE ADHERENCIA.
 2. EL ACERO QUE PRESENTE ÓXIDO, ESCAMAS O AMBAS, SE CONSIDERA SATISFACTORIO, SI LAS DIMENSIONES MÍNIMAS INCLUYENDO LA ALTIMA DE LAS CORRUGACIONES Y EL PESO DEL ESPÉCIMEN DE PRUEBA CEPILLADO A MANO CUMPLEN CON LAS ESPECIFICACIONES DE NMX-C-407-ONNCE-2001.
 3. LAS VARILLAS DE REFUERZO DEBEN SER DE LA CLASE Y DIÁMETRO INDICADOS EN LOS PLANOS CONSTRUCTIVOS, DEBEN SER COLOCADAS CON PRECISIÓN CON LOS SOPORTES Y SEPARADORES NECESARIOS, Y ASEGURADAS CONTRA DESPLAZAMIENTOS DENTRO DE LAS TOLERANCIAS ESPECIFICADAS EN LA TABLA 1. LOS SEPARADORES Y SOPORTES DEBEN SER DEL TIPO Y MATERIAL AUTORIZADO; EN NINGÚN CASO SE DEBEN EMPLEAR TROZOS DE MADERA O PEDAZOS DE METAL DIFERENTES DEL ACERO.
 4. LA SEPARACIÓN INDICADA ENTRE VARILLAS ES DE CENTRO A CENTRO.
 5. EL RECUBRIMIENTO LIBRE MÍNIMO SERÁ DE 7 CM EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES A MENOS QUE SE INDIQUE OTRO RECUBRIMIENTO EN EL DIBUJO.
 6. NO SE DEBERÁ TRASLAPAR MÁS DEL 50 % DEL REFUERZO EN UNA MISMA SECCIÓN.
- B. ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS LONGITUDINALES DE REFUERZO
1. LA SEPARACIÓN LIBRE MÍNIMA ENTRE VARILLAS PARALELAS EN TRABES, NO DEBE SER MENOR QUE EL DIÁMETRO DE LA VARILLA, NI MENOR DE 2.5 CM.
 2. CUANDO EL REFUERZO PARALELO SE COLOCA EN DOS O MÁS CAPAS, LAS VARILLAS DE LAS CAPAS SUPERIORES DEBEN ESTAR DIRECTAMENTE ENCIMA QUE LAS DE LAS CAPAS INFERIORES, CON UNA DISTANCIA LIBRE ENTRE AMBAS NO MENOR DE 2.5 CM.
 3. EN MUROS Y LOSAS MACIZAS, LA SEPARACIÓN DEL REFUERZO PRINCIPAL POR FLEXIÓN NO DEBE SER MAYOR DE TRES VECES EL ESPESOR DEL MURO O LA LOSA, NI MÁS DE 45 CM.
- C. GANCHOS Y DOBLICES ESTÁNDAR.
1. LOS TRASLAPES, GANCHOS, ESCUADRAS, ETC. QUE NO LLEVEN ACOTACIONES SE AJUSTARÁN A LO INDICADO EN LAS TABLAS DE "DETALLE DE REFUERZO" PARA $f_c = 350$ KG/CM². LAS VARILLAS SE REMATARÁN RECTAS CUANDO NO SE INDIQUE ESCUADRA O GANCHO.



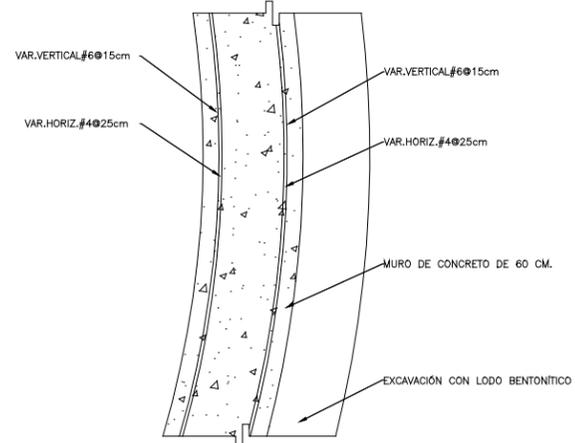
ARMADO DE MUROS EN PLANTA
ACOTACION EN CM ESC. 1:100



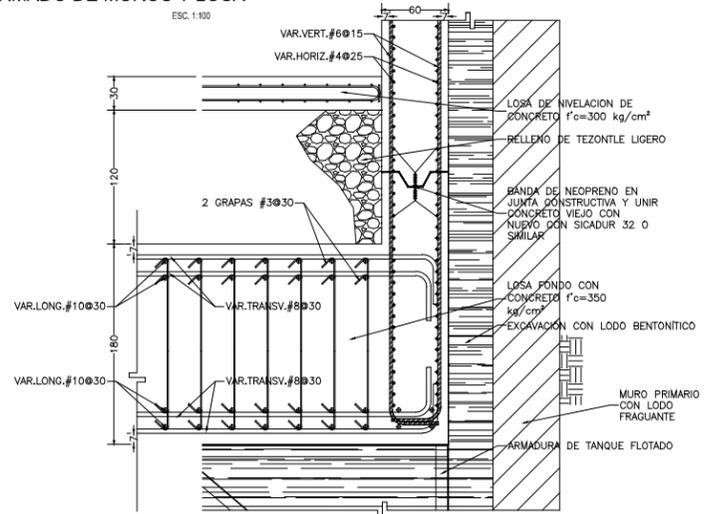
CORTE A-A' ARMADO DE MUROS Y LOSA
ACOTACION EN CM ESC. 1:100



CORTE B-B' REFUERZO PERIMETRAL EN TUNEL
ACOTACION EN CM ESC. 1:100



DETALLE 1
ACOTACION EN CM ESC. 1:20



DETALLE 2
ACOTACION EN CM ESC. 1:30

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

PROYECTÓ:
ING. GUADALUPE TORRES LIRA

REVISÓ:
DIRECTOR DE TESIS
ING. RICARDO HERAS CRUZ



CUADRO DE PLANOS COMPLEMENTARIOS

CUADRO DE MODIFICACIONES

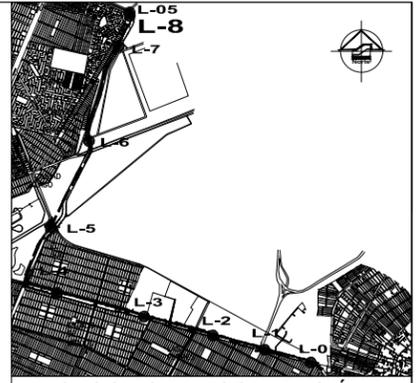
PLANO	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	GEO	EST	HID	ELE	MEC

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



TRABAJO DE TESIS:
"DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO."

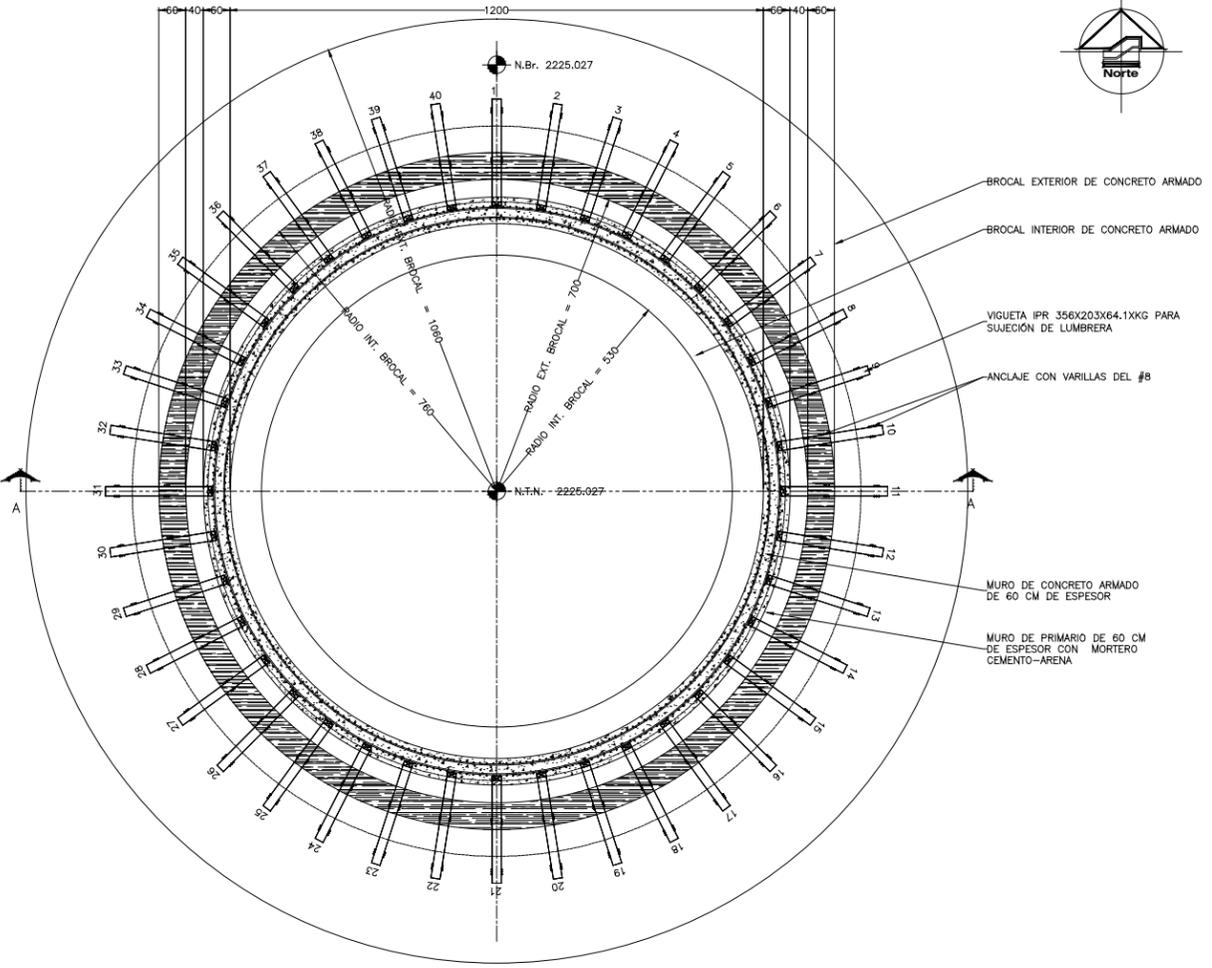
ESCALA: 1:100
PLANO: PL-E-LUML8-04P
No. DE ARCHIVO: 4 DE 8
FECHA: 2014
REV.



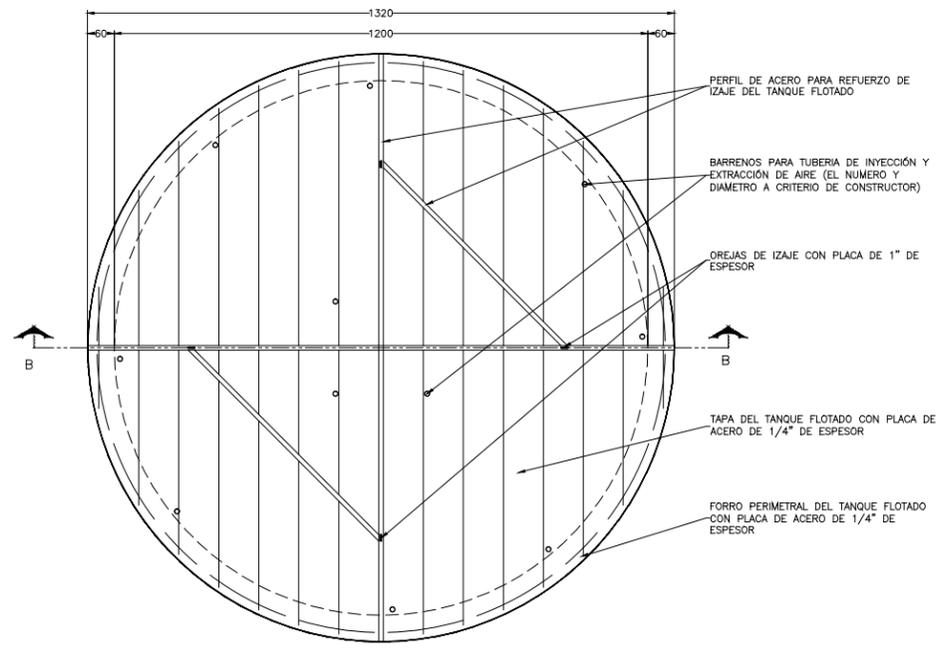
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

NOTAS GENERALES

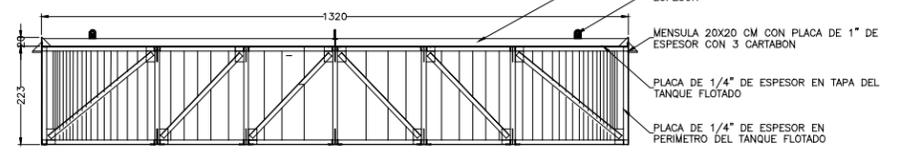
- NOTAS DE SOLDADURA**
1. ESPECIFICACIONES A.S.S.
 2. EN TODAS LAS SOLDADURAS EN LAS QUE SE INDIQUE PREPARACION EN LA PLACA O PERFIL (BISEL) DEBERA USARSE PLACA DE RESPALDO.
 3. LAS SOLDADURAS SE REALIZARAN CON ELECTRODOS E-70-XX PARA UNIR PIEZAS DE ACERO A-36 Y CON ELECTRODOS E-90 DE BAJO HIDROGENO PARA UNIR VARILLAS DE ALTA RESISTENCIA CON PIEZAS DE ACERO A-36.
 4. TODAS LAS SOLDADURAS SERAN EJECUTADAS POR OPERARIOS CALIFICADOS POR ESCRITO.
 5. LAS SOLDADURAS DE TALLER O DE CAMPO SE HARAN CON LAS PIEZAS SOSTENIDAS RIGIDAMENTE.
 6. ANTES DE SOLDAR SE VERIFICARA QUE LAS SUPERFICIES EN DONDE SE APLICARA LA SOLDADURA ESTEN LIBRES DE ESCORIAS, POLVO, GRASA, O PINTURAS.
 7. SE APLICARA LA SOLDADURA EVITANDO LAS TORCEDURAS DE LAS PIEZAS POR UNIR, LAS PIEZAS TORCIDAS DESPUES DE HABER APLICADO LA SOLDADURA SERAN REPUESTAS INTEGRALMENTE.
 8. ANTES DE APLICAR LA SOLDADURA, LA TEMPERATURA MINIMA DE LAS PIEZAS SERA DE 20 C.
 9. LA UNION DE PLACAS QUE FORMAN LA PLACA TAPA Y LA PARED LATERAL DEBERA HACERSE CON SOLDADURA CONTINUA, SELLANDO TOTALMENTE PARA EVITAR FUGAS DE AIRE DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA LUMBRERA.
- NOTAS DE FABRICACION**
10. SOLO SE UTILIZARAN PERFILES QUE ESTEN DENTRO DE LAS TOLERANCIAS DE LAMINACION EN ESPESORES, FLECHAS, DIMENSIONES, ETC.
 11. CUANDO NO SE INDIQUE SEPARACION EN LAS PIEZAS POR SOLDAR DEBERAN ESTAR EN CONTACTO TOTAL.
 12. LOS CORTES PODRAN HACERSE CON CIZALLA, SIERRA O SOPLETE GUIADOS MECANICAMENTE.
 13. TODA LA ESTRUCTURA METALICA, INCLUYENDO LAS SOLDADURAS, SE RECUBRIRAN CON DOS MANOS DE PINTURA ANTICORROSIVA COMO MINIMO, ESPECIALMENTE EN LAS CONEXIONES REALIZADAS EN CAMPO.
- NOTAS DE MONTAJE**
14. SE MONTARA CON EL EQUIPO APROPIADO PARA QUE OFREZCA LA MAXIMA SEGURIDAD.
 15. EL TRANSPORTE Y MONTAJE SE HARAN CON LA MAXIMA PRECAUCION PARA NO GENERAR ESFUERZOS ADICIONALES EN LAS PIEZAS.
 16. NO DEBERA COLOCARSE DEFINITIVAMENTE UNA PIEZA HASTA QUE NO HAYA SIDO NIVELADA, ALINEADA Y PLOMEADA.
 17. ADICIONALMENTE SE APLICARAN LAS RECOMENDACIONES RELATIVAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL EDICION VIGENTE.
- MATERIALES**
18. TODOS LOS PERFILES SERAN A-36 NORMA NOM-B-254-1974 CON UN $f_y=2530 \text{ Kg/cm}^2$.
 19. TODAS LAS PLACAS SERAN A-36 NORMA NOM-B-254-1974 CON UN $f_y=2530 \text{ Kg/cm}^2$.
- NOTAS ADICIONALES**
20. ACOTACIONES DE SOLDADURA EN MILIMETROS.
 21. ACOTACIONES DE NIVELES EN METROS.
 22. ES RESPONSABILIDAD DEL CONSTRUCTOR LA ELABORACION DE LOS PLANOS DE TALLER DE LA ESTRUCTURA DE ACERO, A LOS QUE SE DEBERAN SOMETER.
 23. ANTES DE FABRICAR LA ESTRUCTURA DEBERAN VERIFICARSE DISTANCIAS A EJES, PAÑOS Y ELEVACIONES EN PLANOS HIDRAULICOS, GUIAS MECANICAS Y EN OBRA.
 24. LAS DENOMINACIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS PERFILES INDICADOS EN PLANOS CORRESPONDEN A LAS ESPECIFICACIONES DEL MANUAL DE CONSTRUCCION EN ACERO "MCA".
 25. NO SE PODRA MODIFICAR EL PROYECTO ESTRUCTURAL SIN LA DEBIDA AUTORIZACION POR ESCRITO DEL DIRECTOR RESPONSABLE DE OBRA.



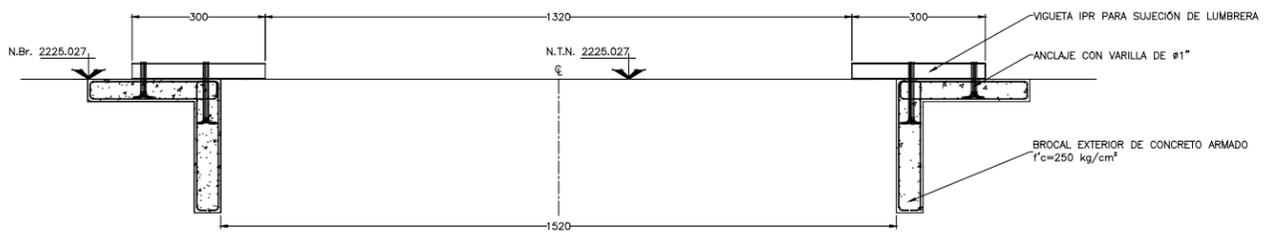
PLANTA DE VIGAS DE SUJECIÓN
ACOTACION EN CM ESC. 1/75



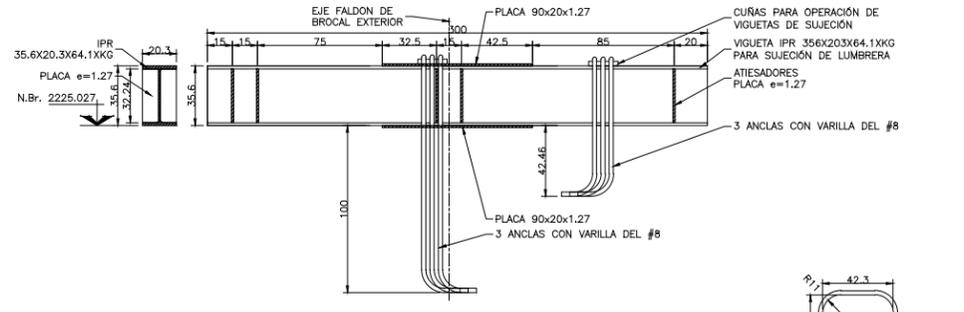
TAPA DEL TANQUE FLOTADO CON PLACA e=1.27
ACOTACION EN CM ESC. 1/75



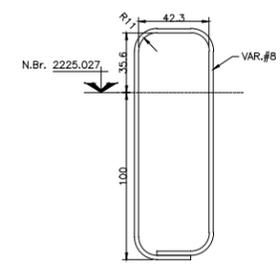
CORTE B-B
ACOTACION EN CM ESC. 1/75



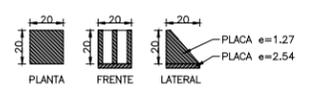
CORTE A-A
ACOTACION EN CM ESC. 1/75



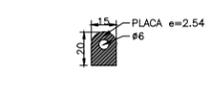
VIGA IPR 356X203X64.1 KG
ACOTACION EN CM ESC. 1/20



ANCLA DEL #8
ACOTACION EN CM ESC. 1/20



MENSULA e=2.54
ACOTACION EN CM ESC. 1/20



OREJA DE IZAJE
ACOTACION EN CM ESC. 1/20

SIMBOLOGIA DE SOLDADURA			APLICACION DE LA SOLDADURA			
TIPO DE LA SOLDADURA	FILETE	BISEL (*)	RELLENO EN VARILLAS CON R	SOLDADURA DE TALLER	SOLDADURA DE CAMPO	ALREDEDOR
POSICION DE LA SOLDADURA						
LADO VISIBLE						
LADO NO VISIBLE						
AMBOS LADOS						
			LONGITUD DE CORDONES			
			TODA LA LONGITUD	PARCIAL	INTERMITENTE	
			(*) CUANDO NO APAREZCA EN EL SIMBOLO EL VALOR DE "a" SE TOMARA ESTE COMO CERO.			

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

PROYECTÓ: ING. GUADALUPE TORRES LIRA
REVISÓ: DIRECTOR DE TESIS ING. RICARDO HERAS CRUZ



CUADRO DE PLANOS COMPLEMENTARIOS

CUADRO DE MODIFICACIONES

PLANO	DESCRIPCIÓN	REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	GEO	EST	HID	ELE	MEC

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



TRABAJO DE TESIS:
"DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO DE CRAVIOTO EN SUELO BLANDO."

ESCALA: 1:75
PLANO: PL-E-LUMLB-06VS
No. DE ARCHIVO: 6 DE 8
FECHA: 2014
REV.



DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describieron cada una de las etapas, materiales y equipo para el procedimiento constructivo de lumbrera por el método Cravioto (lumbrera flotada) en suelo blando.

Se diseñaron estructuralmente los elementos más significativos de la lumbrera flotada:

- Los brocales, parte fundamental en la construcción de la lumbrera, se analizaron en un modelo estructural en cual el suelo equivale a un número infinito de resortes elásticos; considerando que la estructura esta soportada en un medio elástico.
- La losa tapa está diseñada de tal forma que se pueda realizar mantenimiento al túnel.

Se diseñó con traveses prefabricadas apoyadas sobre ménsulas, la rejilla propuesta permite la salida de los gases producidos en el interior de la lumbrera y las tabletas prefabricadas pueden ser retiradas para realizar mantenimiento al Dren.

- El tanque flotado se diseñó por esfuerzos permisibles y se analizó el modelo en STAAD Pro., de acuerdo al Manual de Construcción en Acero (IMCA)
- Para el cuerpo de la lumbrera se consideró: el peso del suelo, el peso del agua, cargas vivas rodantes y la ocurrencia de sismo.

El Proyecto ejecutivo se define como el conjunto de bases de diseño, memoria de cálculo y planos necesarios para la ejecución de la obra; por lo cual es necesaria la participación de una cada de las áreas de la ingeniería como geotecnia, estructuras, hidráulica, topografía, etc.

De lo anterior se debe resalta la importancia de realizar un proyecto ejecutivo de calidad como parte integral a la solución de la problemática, que permita satisfacer las condiciones del cliente, cada área debe aportar la información necesaria para que el ingeniero estructurista, como es el caso de este trabajo de tesis, pueda diseñar y analizar las estructuras que conforman el proyecto.



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Meli R. (2001) *“Diseño estructural” Segunda Edición Editorial Limusa, 596 p. México*
- ² Robert W. Fitzgerald *“Mecánica de materiales” 557 p.*
- ³ Egor P. Popov *“Introducción a la mecánica de sólidos” 652 p.*
- ⁴ *“Memorias de obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal” (1975) Tomo IV- México*
- ⁵ Enrique Santoyo villa, Efrain ovando Shelley, Federico Mooser, Elvira león plata (2005) *“ Síntesis geotécnica de la cuenca del Valle de México” tgc geotecnia 171 p.*
- ⁶ O.C. Zienkiewicz, FRS, R.L. Taylor *“El método de elementos finitos Formulación Básica y problemas lineales” Quinta Edición 650 p.*
- ⁷ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Reglamento de construcciones para el Distrito Federal” 1352 p.*
- ⁸ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el diseño y construcción de estructuras de concreto”*
- ⁹ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el diseño y construcción de estructuras de acero”*
- ¹⁰ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el diseño por sismo”*
- ¹¹ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones sobre criterios y acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones”*
- ¹² Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el Diseño y Construcción de Estructuras de Cimentaciones”*
- ¹³ Luis Arnal Simón & Max Betancourt Suárez (2004) *“Normas Técnicas Complementarias del reglamento de construcciones para el diseño y ejecución de obras en instalaciones hidráulicas”*
- ¹⁴ Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. (IMCA), *“Manual de construcción en acero Diseño por esfuerzos permisibles” Cuarta Edición*



**DISEÑO ESTRUCTURAL Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE
LUMBRERA POR EL MÉTODO CRAVIOTO EN SUELO BLANDO**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

¹⁵ *CONAGUA (2007-2012) “Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México”*

¹⁶ *Paniagua-Calderón C., (2009). TESIS DE LICENCIATURA, UMSNH, MÉXICO “Procedimiento Constructivo de la Lumbrera No. 6 del Interceptor Río de los Remedios en el Sistema de Drenaje Profundo en la Cd. de México, por el método de Lumbreras Flotadas.”*

¹⁷ *Jiménez-Sevilla, G., (2003). TESIS DE LICENCIATURA, IPN, MÉXICO “Procedimiento Constructivo de Lumbreras por el Método de Flotación. “*

¹⁸ *Antonio Murrieta Necochea, Ramón Bacelis E. 1978 “Aplicaciones de la estática” Segunda Edición, Editorial Limusa, 507 p. México*

Gieck “Manual de fórmulas técnicas”, 31^a Edición, Editorial Alfa Omega

<http://www.imcyc.com/ct2007/feb07/PROBLEMAS.pdf>

<http://tsao.enelparaiso.org/files/jet-grouting.pdf>

<http://www.imcyc.com/ct2007/feb07/PROBLEMAS.pdf>

<http://tsao.enelparaiso.org/files/jet-grouting.p>

http://www.onncce.org.mx/normas/catalogo_de_normas_0611.pdf

<http://www.imcyc.com/cyt/diciembre04/CONCEPTOS.pdf>

<http://www.canacero.org.mx/assets/catalogo-de-normas-2013.pdf>