



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de ingeniería civil

**Proceso para la construcción de los tanques
Criogénicos T-1002 y T-1003 para el
Almacenamiento de Gas Natural Licuado
(GNL), en el Puerto de Altamira, Tamaulipas**

TESIS

**Que para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL**

**Presenta:
MANUEL GARCÍA LEMUS**

**Asesor:
ING. OSCAR JUÁREZ CONTRERAS**

Morelia, Michoacán, noviembre del 2018





Contenido

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
1 ESTUDIO, INVESTIGACIÓN DEL TERRENO Y MECÁNICA DE SUELOS	15
1.1 REQUERIMIENTOS GENERALES.	15
1.2 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA INVESTIGACIÓN DEL TERRENO.	15
1.3 ALCANCE.	17
1.4 TRABAJOS DE CAMPO.	17
1.5 PROPÓSITOS Y ALCANCE DEL REPORTE.	18
1.6 TRABAJOS DE LABORATORIO.	19
1.7 ESTRATIGRAFÍAS Y PROPIEDADES DEL SUELO.	20
1.7.1 Aspectos geológicos de la región de Altamira Tamaulipas.	20
1.7.2 Condiciones del subsuelo en el área de tanques.	20
1.7.3 Condiciones sísmicas en el área del proyecto.	26
1.8 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA PARA CIMENTACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO.	27
1.8.1 Propiedades de los suelos para las cimentaciones.	27
1.8.2 Propiedades de las rocas para cimentaciones.	27
1.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.	27
1.9.1 Conclusiones del estudio de mecánica de suelos.	28
1.9.2 Recomendaciones de acuerdo al resultado del estudio de mecánica de suelos.	31
2 CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003	33
2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO.	33
2.1.1 Desmonte y despalle.	33
2.1.2 Número de vehículos.	33
2.1.3 Tractores sobre orugas.	35
2.1.4 Cargadores sobre neumáticos.	38
2.1.5 Procedimiento de abundamiento.	38
2.1.6 Procedimiento de corrección de volúmenes para terraplenes.	39
2.2 LOCALIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MOJONERAS PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003.	39
2.3 MÉTODO PARA LA EJECUCIÓN DE LA EXCAVACIÓN.	42
2.3.1 Trabajos preliminares a la excavación.	42
2.3.2 Tipos de excavaciones.	43
2.3.3 Clasificación de los materiales de excavación.	44
2.3.4 Inicio de la excavación en el área de los tanques y recomendaciones de seguridad.	44
2.3.5 Medidas de seguridad a tomar para las excavaciones.	46
2.4 MÉTODO DE EJECUCIÓN DEL RELLENO Y COMPACTADO PARA MEJORAR EL SUELO.	54
2.4.1 Método de relleno.	54
2.4.2 Método de compactación.	54
2.5 MÉTODO PARA DETERMINAR EL GRADO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.	55
2.5.1 Método del densímetro nuclear.	56



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



2.5.2 Número de determinaciones de control.	58
2.6 EJECUCIÓN DE LA PLANTILLA DE CONCRETO.	58
3 CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN EXTERNA DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003	61
3.1 TRAZO PARA LA CIMENTACIÓN EXTERNA DE LOS TANQUES.	61
3.2 MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD.	61
3.3 RESPONSABILIDADES.	63
3.4 HABILITADO Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO.	64
3.4.1 Recepción en obra y almacenaje.	64
3.4.2 Cortes del acero de refuerzo.	65
3.4.3 Ganchos y dobleces.	66
3.4.4 Traslapes.	69
3.4.5 Colocación y armado.	70
3.5 HABILITADO E INSTALACIÓN DE CIMBRA.	76
3.5.1 Protección y cuidado de las Cimbbras.	77
3.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PRESFUERZO EN "U".	79
3.7 INSTALACIÓN DEL CONDUCTO CALEFACTOR.	80
3.8 INSPECCIÓN FINAL.	81
3.9 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO.	81
3.9.1 Vibrado del concreto.	82
3.9.2 Poscolocación de concreto.	83
3.10 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.	84
3.10.1 Información técnica.	84
3.10.2 fuerza de trabajo.	84
3.10.3 Suministro y abastecimiento de concreto.	85
3.10.4 Gestión de emergencias.	87
3.11 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.	88
3.11.1 Determinación del revenimiento del concreto fresco.	88
3.11.2 Toma de muestras de concreto fresco para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.	91
4 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN	95
4.1 METODOLOGÍA PARA LA LOSA.	95
4.2 ACERO DE REFUERZO.	95
4.3 COLOCACIÓN DE FRONTERA.	96
4.4 INSTALACIÓN DEL CONDUCTO CALEFACTOR.	97
4.5 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO.	98
4.5.1 Procedimiento del colado.	98
4.5.2 Inspección final.	99
4.6 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.	100
4.6.1 Información técnica.	100
4.6.2 fuerza de trabajo.	100
4.6.3 Suministro y abastecimiento de concreto.	100
4.6.4 Vibrado y acomodo del concreto.	101
4.6.5 Acabado de la superficie del concreto.	101
4.6.6 Curado de la superficie de concreto.	103
4.6.7 Gestión de emergencias.	105
4.7 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.	105



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



5 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MURO DE CONCRETO	107
5.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCION DE PERED.	107
5.2 ACTIVIDADES TOPOGRÁFICAS.	107
5.3 MATERIALES.	108
5.4 ACERO DE REFUERZO.	109
5.4.1 Colocación y armado del acero de refuerzo.	109
5.5 PLACAS EMBEBIDAS EN EL CONCRETO.	110
5.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ANCLAJES DEL PRESFUERZO.	111
5.6.1 Colocación de los ductos.	111
5.7 CIMBRA DE LOS MUROS.	112
5.7.1 Procedimiento de armado, montaje y operación del sistema de cimbra trepante.	113
5.8 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL MURO.	118
5.8.1 Condiciones preliminares	118
5.8.2 Secuencia del colado.	120
5.8.3 Suministro de concreto.	125
5.9 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CURADO DE LAS PAREDES DE LOS MUROS Y JUNTAS CONSTRUCTIVAS.	126
5.9.1 Preparación de junta de construcción.	126
5.9.2 Opening temporales.	126
5.9.3 Curado de las juntas y de los muros.	127
5.9.4 Gestión de emergencias.	127
5.10 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.	127
6 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TRABE CIRCULAR	130
6.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TRABE CIRCULAR.	130
6.2 SOPORTES EMBEBIDOS DE ACERO.	130
6.3 ACERO DE REFUERZO.	133
6.4 COLOCACIÓN DE CIMBRA.	134
6.5 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DE CONCRETO.	137
6.5.1 Procedimiento del colado.	137
6.5.2 Inspección final.	138
6.6 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.	138
6.6.1 Información técnica.	138
6.6.2 fuerza de trabajo	139
6.6.3 Suministro y abastecimiento de concreto.	139
6.6.4 Acabado y curado.	140
6.6.5 Gestión de emergencias.	141
6.7 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.	141
7 CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ACERO T-1002/ T -1003	143
7.1 CONSTRUCCIÓN DEL FONDO SECUNDARIO DEL TANQUE.	143
7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE SECUNDARIO DE ACERO.	144
7.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE INTERIOR DE ACERO.	145
7.4 AISLAMIENTO TERMICO DEL TANQUE.	147
7.4.1 Aislamiento del suelo.	147
7.4.2 Construcción del fondo del tanque.	150
7.4.3 Aislamiento del techo.	150





7.4.4 Aislamiento de la pared.....	152
8 PROCEDIMIENTO PARA EL PRESFORZADO DEL CONCRETO EN TRABE CIRCULAR Y MUROS	154
8.1 HISTORIA DEL PRESFUERZO	155
8.2 COMPARACIÓN ENTRE EL FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO.	155
8.3 NOCIONES DE ESFUERZOS	156
8.4 LOS PRINCIPIOS DEL CONCRETO PRESFORZADO	157
8.5 MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	159
8.5.1 Principios de postensado.....	159
8.5.2 Distintos tipos de cables.....	160
8.5.3 Características mecánicas de los aceros de presfuerzo.....	161
8.5.4 Ductos.....	162
8.6 DUCTOS Y ANCLAJES.....	163
8.6.1 Unión de los ductos-ducto y ductos-anclajes.....	163
8.6.2 Anclajes.....	165
8.7 PROCEDIMIENTO PARA EL INSERTADO DE CABLES.....	166
8.7.1 Equipo y accesorios para la inserción de cables.....	167
8.7.2 inserción de cables.....	167
8.8 PROCEDIMIENTO PARA EL TENSADO DE CABLES.....	168
8.8.1 Equipo y accesorios para el tensado de cables.....	169
8.8.2 Tensado de cables.....	169
8.9 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE LECHADA.....	171
8.9.1 Materiales para la elaboración de la lechada.....	171
8.9.2 Equipo para la elaboración de la lechada.....	172
8.9.3 Proceso de elaboración de la lechada.....	173
8.10 PROCEDIMIENTO PARA EL INYECTADO DE LECHADA.....	174
8.10.1 Preliminares.....	174
8.10.2 Equipo.....	175
8.10.3 Inyectado de lechada a los ductos.....	175
9 CONSTRUCCIÓN Y ELEVACIÓN DE LA CÚPULA.....	178
9.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CÚPULA DE ACERO.....	178
9.2 TRABAJOS DE PREPARACIÓN PRELIMINAR.....	179
9.3 IZAJE DE LA CÚPULA DE ACERO CON INYECCIÓN DE AIRE.....	180
9.4 COLOCACIÓN DE PERNOS DE SUJECIÓN EN LA CÚPULA METÁLICA.....	182
9.4.1 Resistencia eléctrica de la unión.....	184
9.5 CONECTORES MECÁNICOS Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO.....	184
9.5.1 Conectores de primera generación.....	185
9.5.2 Habilitado y armado de acero de refuerzo.....	189
9.6 VACIADO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO.....	191
9.7 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.....	192
9.7.1 Información técnica.....	192
9.7.2 fuerza de trabajo.....	192
9.7.3 Suministro y abastecimiento de concreto.....	193
9.8 ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO.....	194
9.8.1 Acabado en la superficie final del concreto.....	194
9.8.2 Curado del concreto.....	194
9.8.3 Terminación de obra civil.....	194



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



9.8.4 Terminación y entrega de la obra..... 195

CONCLUSIONES 196

REFERENCIAS 198





RESUMEN

En la actualidad existen muchas técnicas y procesos constructivos muy bien definidos para realizar cualquier actividad, en la construcción de obra civil existen normas, procedimientos, especificaciones y reglamentos para determinar un proceso de construcción adecuado.

La innovación de técnicas de hacer ingeniería y mejorar constantemente un proceso de construcción hacen que cualquier empresa se logre poner a la vanguardia con novedosos sistemas que facilitan la forma de construir.

La construcción de la terminal regasificadora de LGN de Altamira combina la ingeniería por parte de la constructora japonesa *Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., (IHI)* y los novedosos sistemas de cimbra trepante que facilita el cimbrado y descimbrado de los muros de concreto para los tanques de almacenamiento de gas licuado, y sobre todo con la máxima seguridad cumpliendo con los estándares internacionales.

La calidad de los materiales y el estricto control de calidad durante el proceso de construcción hacen que se reduzcan al máximo los sobre costos que cualquier empresa necesita optimizar, para que sus obras sean rentables.

La rapidez y la innovación de la prefabricación de las secciones de la cúpula y la facilidad para amarlos casi a nivel de piso, y que culmine con la actividad de izaje de la cúpula de acero cuyo peso es de más de 480 toneladas en tan solo 4 horas, utilizando la inyección de un fluido como lo es el aire.

La forma de aumentar la capacidad de soportar el empuje del gas licuado contra los muros de concreto aplicando una fuerza de compresión a la masa de concreto y con esto contrarrestar las fuerzas internas producidas por el empuje del gas.

Sobre todo, la tecnología para mantener el gas en el interior del tanque a temperaturas inferiores a -161°C para conservar el gas natural en un estado líquido.

Proyecto de ingeniería innovador y vanguardista.





ABSTRACT

At present, there are many well defined techniques and construction processes, to carry out any activity, in of construction of civil Works there are standards, procedures, specifications and regulations to determine an appropriate construction process.

The innovation of engineering and constant improvement of a construction process means that any Company can be put at the Forefront with innovative systems that facilitate the way to build.

The construction of the LGN de Altamira regasification terminal combines engineering by the Japanese construction company *Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., (IHI)*, and the innovative systems of climbing false work that facilitates the setting and deconstruction of the concrete walls for liquefied gas storage tanks, and especially with the maximum safety in compliance with international standards.

The quality of the materials and the strict quality control during the construction process means that the cost overruns that any Company needs to optimize, so that their Works are profitable, are reduced to the maximum.

The speed and innovation of the pre-fabrication of the sections of the dome and the facility to raise them almost to ground level, and that culminates with the lifting activity of the Steel dome whose weight is more than 480 tons in just 4 hours, using the injection of a fluid as is the air.

The way to increase the capacity to support and push liquefied gas against the concrete walls by applying a compression force to the constet and thereby counteract the internal forces produced by the thrust of the gas.

Above all, the technology to keep the gas inside the tank at temperatures below -160°C to conserve natural gas in a liquid state.

Innovative and Avant-grade engineering project.



[illegible]



La terminal LNG ocupa aproximadamente una superficie de 33.3 has., teniendo acceso a través del Boulevard Tres Ríos y la carretera que se encuentra en construcción por la Administración Integral del Puerto de Altamira, S.A. de C.V. (API Altamira), obra que comunica a la playa “Tesoro” con las ciudades de Tampico, Altamira y Ciudad Madero, Tamaulipas.

El proyecto comprende de la construcción de 3 tanques criogénicos (***los primeros en México y América Latina***), compuestos de acero y concreto para el almacenamiento de gas LNG, un muelle con una plataforma de descarga, anclaje y diques de amarre apoyados sobre pilotes de acero, una toma inicial de agua de trabajo y otra, para descargar el agua del mar tomada por la terminal para el proceso de vaporización en la regasificación del LNG; dos edificios para la administración de la terminal, así como una vialidad interna y áreas de estacionamiento.

La planta regasificadora es una instalación que permite recibir por vía marítima gas natural en estado líquido y almacenarlo, para devolverlo posteriormente en estado gaseoso para el uso por los consumidores y suministro de las terminales de ciclo combinado de Altamira.

La regasificadora de TLA Altamira, consta de tres tanques con capacidad de 150 000 m³ de LNG por cada tanque y una capacidad de emisión de 800 000 m³/hr. Es una instalación de máxima seguridad desde su diseño, construcción y operación, que cumple con la máxima normativa europea e internacional incluyendo también los buques metaleros que transportan el gas natural.

Desde el punto de vista medio ambiental la regasificadora, no emitirá residuos sólidos, humos, líquidos o gases contaminantes, además de que el gas natural es una de las fuentes de energía más limpias por ser un combustible fósil que menos contamina.

Por otro lado, el agua de mar utilizada en el proceso de vaporización, es devuelta al mar sufriendo solo una leve disminución de temperatura, ya que después de utilizar el vapor para devolver el gas de estado líquido al estado gaseoso, es conducido a un tanque de condensación y posteriormente a una torre de enfriamiento o de refrigeración, para su descarga nuevamente al mar.

Para facilitar el desarrollo de todos estos trabajos de ingeniería, el consorcio directivo (TLA) de la Terminal LNG, atendiendo los compromisos adquiridos con CFE, ha determinado dividir el proyecto básicamente en 2 partes, asignando a *Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., (IHI)*, el desarrollo de la ingeniería para el área de almacenaje de LNG, y a ICA Fluor, S de R.L. de C.V (ICA Fluor), la construcción de los tanques de almacenaje, el diseño del muelle y los trabajos marítimos del embarcadero.



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



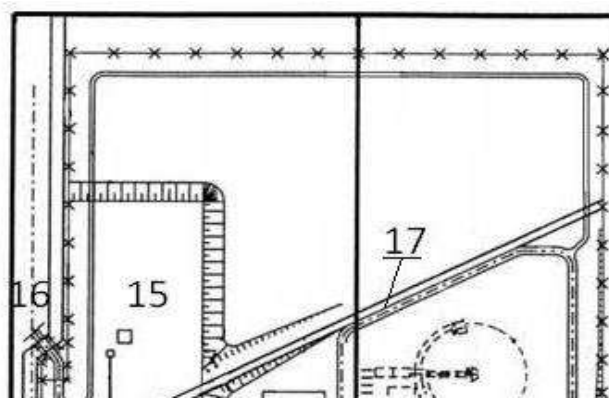
La empresa ICA Fluor ha incluido en su equipo de trabajo a las firmas *Sandwell Internacional, Inc.*, y a Desarrollos y Proyectos de la Huasteca, S.A. de C.V. (DPH), quienes realizarán respectivamente las siguientes actividades: las instalaciones y servicios requeridos para el manejo y proceso del gas y la ejecución de los terraplenes y plataformas, para mejorar las condiciones del suelo.

A continuación, se mencionan las partes que integrarán el proyecto, las cuales se presentan en el plano que muestra la Planta General:

1. Tanque T-1002.
2. Tanque T-1003.
3. Área de dragado.
4. Muelle de atraque.
5. Obra de descarga de agua.
6. Muelles de amarre.
7. Tubería subterránea de descarga de agua.
8. Rack de tuberías de descarga hacia los tanques.
9. Área de influencia en caso de emergencia.
10. Protección de taludes.
11. Obra de toma de agua.
12. Área de bombas y tanque de agua contra incendio.
13. Área de vaporizadores, (cambio de estado líquido -170° Fahrenheit a gas).
14. Edificios administrativos.
15. Subestación eléctrica.
16. Acceso principal.
17. Vialidades.



UI



GO



Fig.1.2 Planta General.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOL
FACULTAD DE INGENIERÍA CI

Distribución a
clientes

Distribución del gas
natural a clientes
para su consumo

.GO

PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002 Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL), EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS

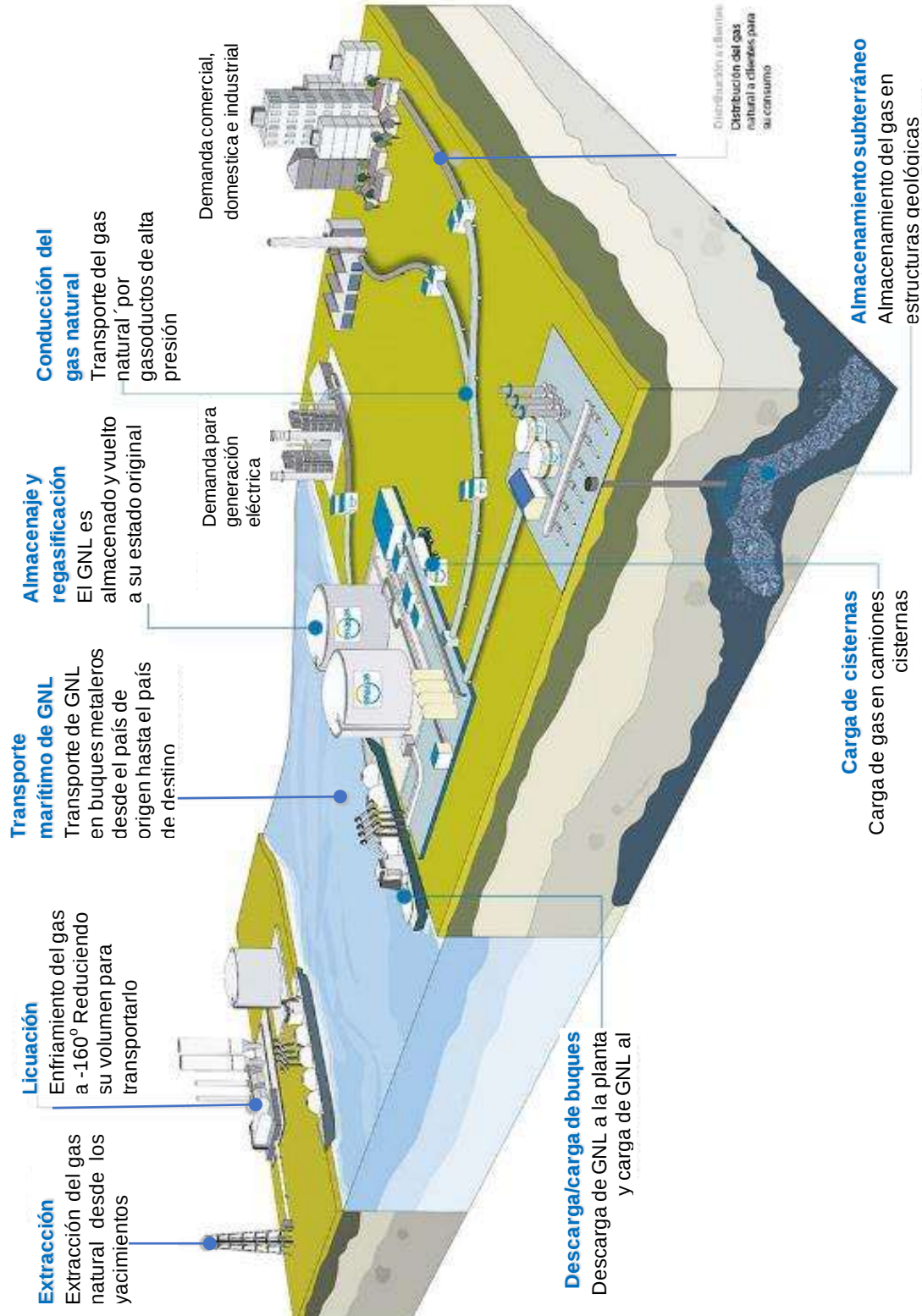


Fig. 1.3 Proceso del LNG desde su extracción de los yacimientos hasta llegar a los consumidores.

Cómo funciona una terminal de GNL

La experiencia acumulada en la operación y mantenimiento de terminales de GNL en diferentes escenarios de demanda nos ha permitido maximizar la disponibilidad operativa y la eficiencia en su gestión.



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**

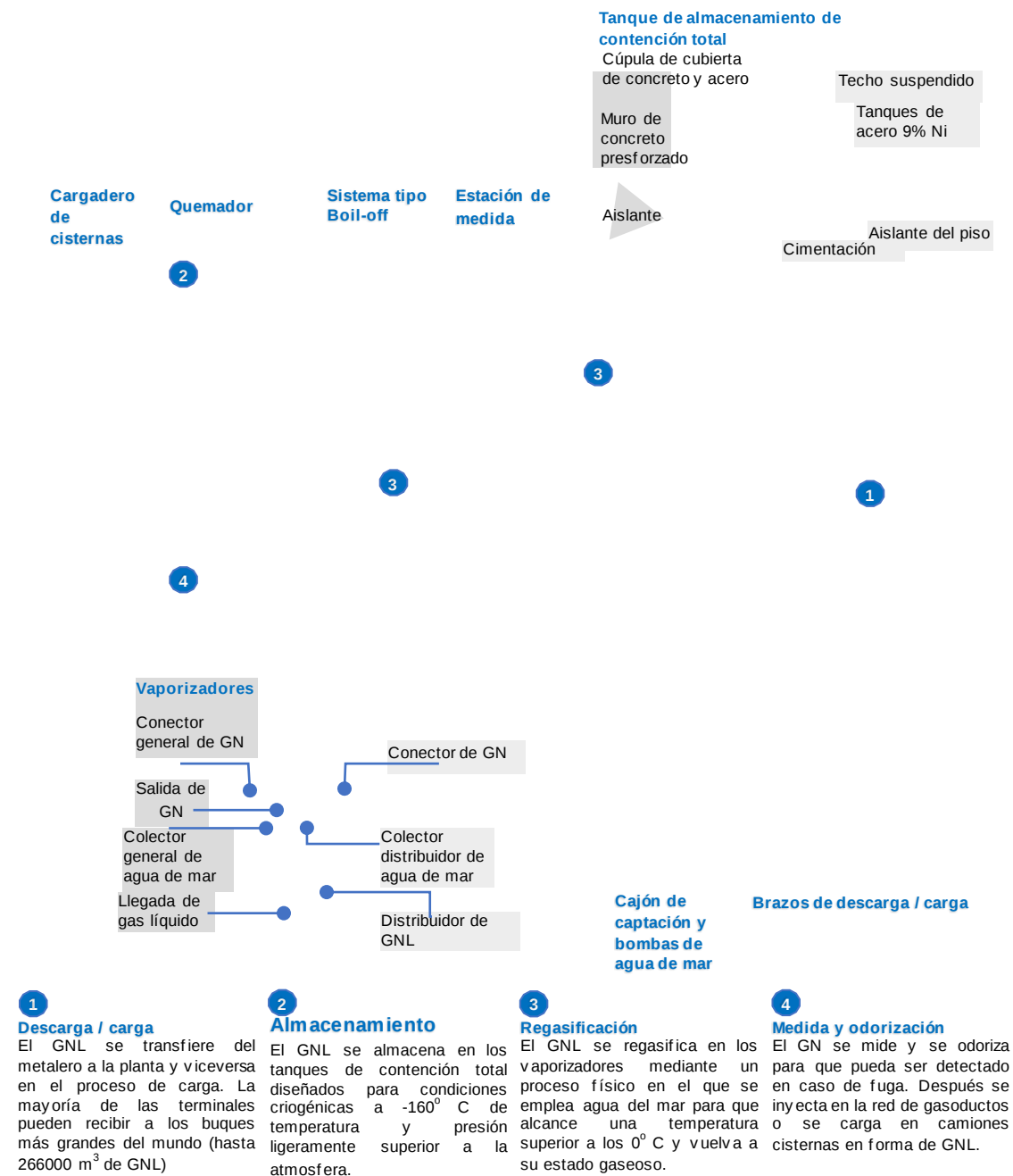


Fig. 1.4 Funcionamiento de una terminal recalificadora de GNL.





CAPÍTULO 1

Estudio, Investigación Del Terreno y Mecánica de Suelos

**1.1 REQUERIMIENTOS GENERALES / 1.2 INFORMACIÓN
REQUERIDA PARA LA INVESTIGACIÓN DEL TERRENO / 1.3
ALCANCE / 1.4 TRABAJOS DE CAMPO / 1.5 PROPÓSITOS Y
ALCANCE DEL REPORTE / 1.6 TRABAJOS DE
LABORATORIO / 1.7 ESTRATIGRAFÍAS Y PROPIEDADES
DEL SUELO / 1.8 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA PARA
CIMENTACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO / 1.9
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE
MECÁNICA DE SUELOS**





1 ESTUDIO, INVESTIGACIÓN DEL TERRENO Y MECÁNICA DE SUELOS

1.1 REQUERIMIENTOS GENERALES.

Cualquier construcción u obra de ingeniería requiere siempre, en una u otra forma, de una investigación del terreno. El campo de acción de la investigación puede abarcar desde un examen sencillo de la superficie del suelo con o sin excavación superficial de prueba, un estudio detallado del suelo y las condiciones de los mantos freáticos, o una investigación profunda bajo la superficie. Lo que significa perforaciones con barrenos, pruebas *in situ* y de laboratorio de los materiales muestreados.

La extensión del trabajo depende de la importancia de la obra, del tipo de cimentación y las cargas en la estructura, de la complejidad de las condiciones del suelo y de la información disponible acerca del comportamiento del suelo, en caso de existir cimentaciones en condiciones similares. Cualquiera que sea el proceso que adopte el ingeniero para llevar a cabo su trabajo de investigación, es esencial que los individuos u organizaciones encargados de realizar el trabajo, sean competentes y absolutamente confiables. El ingeniero tiene la gran responsabilidad de supervisar que el trabajo en el terreno, el laboratorio y la oficina se realice con precisión y meticulosidad.

1.2 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA INVESTIGACIÓN DEL TERRENO.

Una vez definido el tipo de estudio acorde con los propósitos de las cimentaciones, además se podrá obtener información adicional en el transcurso de la investigación del terreno:

- a) Topografía general del terreno.
- b) Ubicación de las redes de servicios.
- c) Reticulares a las principales formaciones geológicas que son la base del terreno y la posibilidad de hundimiento por extracción de minerales u otra causa.
- d) La historia previa y uso del suelo.
- e) Cualquier particularidad, como la posibilidad de terremotos o factores climatológicos.
- f) Disponibilidad y calidad de los materiales de construcción locales.
- g) Información para estructuras marítimas o fluviales en condiciones de marea normales o extremas.
- h) Un registro detallado de la estratificación del suelo y de la roca.
- i) Resultados de las pruebas de laboratorio en muestras de suelo y roca adecuadas al diseño de cimentaciones particulares a los problemas constructivos.
- j) Resultado de los análisis químicos del suelo o de las aguas subterráneas.





Los incisos *a* y *g* se pueden obtener a partir de un reconocimiento general del terreno o de un estudio de las memorias geológicas, mapas y otros registros publicados.

Los incisos *h*, *i* y *j* se obtienen mediante perforaciones u otros métodos de exploración subterránea, junto con pruebas de campo y de laboratorio de los suelos o rocas. Es importante describir el tipo y la consistencia de los suelos. Estas descripciones se dan de acuerdo con la siguiente secuencia: Resistencia del terreno o compactación e indicaciones sobre las condiciones de humedad, Estratificación, Discontinuidad, Estado de erosión, Color, Forma de las partículas y composición, Tipo de suelo, categoría y plasticidad, y el símbolo de la clasificación del grupo de suelo (opcional).

Las rocas deben clasificarse de manera similar: Color, Tamaño del grano, Textura, Estructura, estado de erosión, Nombre de la roca, Fuerza, y otras características y propiedades.

De las descripciones anteriores, las cuatro propiedades de especial relevancia para la ingeniería en cimentaciones, son: la estructura, el grado de erosión, la discontinuidad espacial y la fuerza de compresión uniaxial.

La estructura del suelo es importante desde el punto de vista constructivo, para determinar la facilidad de excavación utilizando maquinaria mecánica u otro método y determinar la fricción superficial que influirá en la colocación de los pilotes; también es importante conocer, la frecuencia y el tipo de discontinuidad que afectan la compresibilidad de la masa de la roca.

Término	Descripción
Fresco	No hay signos visibles de erosión en el material.
Decolorado	Hay cambio en el color original del material rocoso: evidencia de erosión. Se debe indicar el grado de cambio a partir del color original. Asimismo, se debe mencionar en caso de que el cambio de color se reduzca a los componentes minerales.
Descompuesto	La roca esta erosionada a un grado en que el material original permanece intacto, pero algunos o todos los componentes minerales están descompuestos.
Desintegrado	La roca esta erosionada a un grado en que el material original permanece intacto. La roca es friable, pero los componentes minerales están descompuestos.

Tabla 1.1 Descripción el grado de erosión del material rocoso.





Clasificación	Fuerza de compresión uniaxial (MN/m ²)
Muy débil	Menos de 1.25
Débil	1.25 – 5
Debilidad moderada	5 – 12.5
Fuerza moderada	12.5 – 50
Fuerte	50 – 100
Muy fuerte	100 – 200
Fortaleza extrema	Más de 200

Tabla 1.2 Determinación la fuerza de la roca en los registros de perforación.

1.3 ALCANCE.

Los estudios geotécnicos del suelo serán usados como base para elaborar el proyecto general de la terminal de gas LNG. El alcance de estos trabajos comprende la ejecución de 24 sondeos profundos, sobre el área de construcción de tipo mezclas-continúas, tomados entre los 20.0 y 80.0 metros de profundidad.

Los sondeos permiten conocer las condiciones del suelo, para definir la solución adecuada en el diseño y el proceso constructivo de los cimientos. Adicionalmente, se realizaron dos sondeos profundos en el área de anclaje del embarcadero, ya que es en esta zona, es donde se pueden presentar importantes cambios en la estratigrafía, que podrían conducir a diferencias en el comportamiento de los elementos de cimentación.

De acuerdo a lo anterior, el reporte está integrado de la siguiente manera:

- Estudio geológico-geofísico del área de la terminal de gas LNG.
- Condiciones del subsuelo en el área del muelle.
- Condiciones de cimentación en el área del embarcadero.
- Condiciones de cimentación en el área de servicios y de procesos.
- Condiciones de cimentación en el área del futuro tanque.

1.4 TRABAJOS DE CAMPO.

Los trabajos de exploración y muestreo realizados en el área de almacenamiento de la terminal, están dirigidos a conocer las condiciones estratigráficas y características del subsuelo debajo de los tanques T-1002 y T-1003, para realizar el proyecto de la cimentación. Las actividades iniciales son la ejecución de dos sondeos profundos, de 60.0 metros de profundidad, con el propósito de asegurar que las condiciones en los estratos sean los adecuados para





soportar el peso de los tanques. También se realizaron sondeos cortos, con una profundidad de 3.45 a 12.15 metros, así como 10 estudios de placa.

Las muestras obtenidas de tierra y roca son identificadas, etiquetadas y conservadas en cajas y paquetes apropiados para asegurar su integridad y características durante su transportación hasta el laboratorio, el cual se localiza en la ciudad de México.

De los sondeos, se obtuvieron 320 muestras, 256 corresponden al muestreo de tierra y 64 a la obtención de corazones de roca, habiendo perforado un total de 244.60 m.

Una vez concluidos los trabajos de muestreo, los sondeos profundos fueron lavados con agua limpia para remover el barro fluido utilizado en la perforación, y posteriormente, controlar la posición del nivel freático del agua (NFA), el cual, en esta zona, se ubicó a una profundidad de 12.68 a 12.93 m, que, en términos de elevación en relación al nivel del mar, permitió establecer tal nivel entre elevaciones de +0.35 a +1.04 m.

Los trabajos fueron ejecutados por dos cuadrillas de exploración, cada una formada por un ingeniero, un supervisor y tres asistentes, directamente coordinadas por un ingeniero especialista y un geólogo.

El ingeniero supervisor tuvo entre otras actividades, las siguientes:

- Certificar la correcta la utilización del equipo de muestreo y pruebas de campo.
- Clasificación de todas las muestras de tierra obtenidas, siguiendo los lineamientos del sistema unificado de clasificación de tierra (SUCS), en inglés *Unified System of Classification of Soils* (USCS).
- Elaboración de los registros de campo para cada sondeo, indicando las operaciones, resultados y calidad de las muestras obtenidas.
- Manejo e identificación de todas las muestras de roca y tierra, incluyendo su empaque y transportación al laboratorio.

1.5 PROPÓSITOS Y ALCANCE DEL REPORTE.

El reporte presenta un resumen de los resultados, conclusiones y recomendaciones, obtenidos durante el desarrollo del estudio técnico realizado en el área donde se construyen los Tanques T-1002 y T-1003 en el área de almacenamiento, para la Terminal LNG de Altamira, S.A de R.L de C.V., localizada al Noroeste del Puerto Industrial de Altamira, en Lomas del Real, Tamaulipas, México.





El reporte contiene los siguientes aspectos:

- Breve descripción del trabajo programado de campo y laboratorio.
- Resultados del trabajo de campo y laboratorio, incluyendo perfiles y estratigrafías de los cortes del suelo, así como índices y parámetros mecánicos del material del subsuelo.
- Breve descripción de los aspectos geológicos y sísmicos en región de Altamira.
- Definición de las condiciones y características estratigráficas del subsuelo, incluyendo perfiles de sondeos, cortes estratigráficos y características de los materiales.
- Definición de los trabajos requeridos para la cimentación de las estructuras por las condiciones del suelo.
- Presentación de los criterios de análisis utilizados para definir la capacidad de rodamiento en las vialidades y el hundimiento de los cimientos de los tanques.
- Presentación de los resultados obtenidos en el análisis, mediante tablas que describen el comportamiento esperado de los cimientos, observando la variación de los asentamientos.
- Conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo de este estudio.

1.6 TRABAJOS DE LABORATORIO.

Las pruebas de laboratorio proporcionan datos para clasificar los suelos y hacer predicciones sobre su comportamiento bajo las cargas de la cimentación. A partir de la información obtenida en las pruebas de laboratorio, se pueden establecer métodos de tratamiento del suelo para superar las dificultades en las excavaciones, especialmente cuando se enfrentan problemas de aguas subterráneas (NFA).

Además, las pruebas de laboratorio deben ser tan simples como sea posible. Las que emplean un equipo muy complejo, son tardadas y por lo tanto costosas, son susceptibles de error a menos que sean supervisadas muy cuidadosamente por técnicos altamente experimentados. Estos métodos pueden resultar injustificados si se dispone de pocas muestras o si su costo es alto en relación con el proyecto.

Las pruebas de mecánica de suelos relacionadas con la ingeniería de cimentaciones son las siguientes: Examen visual, Contenido de humedad, Límites líquidos y plásticos, Distribución a nivel de partículas, Compresión no confinada, Compresión triaxial, Caja de corte, Veleta, Consolidación, Permeabilidad y Análisis químicos.





1.7 ESTRATIGRAFÍAS Y PROPIEDADES DEL SUELO.

Los trabajos de campo y laboratorio permiten definir las condiciones estratigráficas del suelo, en el área de construcción de los tanques T-1002 y T-1003 de la terminal LNG de Altamira.

1.7.1 Aspectos geológicos de la región de Altamira Tamaulipas.

De acuerdo a los estudios geológicos y geofísicos del área del proyecto, la región de Altamira está localizada dentro de la subprovincia de la penillanura Mante – Tampico, limitando al norte con el Río Guayalejo y al sur con las ciudades de Nautla y Misantla. Esta región comienza a desarrollarse al final de periodo Mesozoico y al comienzo del terciario, cuando el área del proyecto estaba totalmente cubierta por el mar, en el Golfo de México.

Desde aquel tiempo, la costa ha sido recorrida hacia el Oeste por la erosión marina y procesos de trasgresión, lo cual empezó a ocurrir al Noroeste de esta región, provocando una mayor evolución Geosinclinal. Ésta toma lugar especialmente durante los periodos Oligoceno y el Mioceno donde grandes volúmenes de Pelágicos, calcárea y sedimentos de arcilla y arena, producto de la reaparición del área occidental, estuvo depositado en una superficie o ambiente costero marino. Durante este tiempo, el mar gradualmente se retiró hacia el Este exponiendo la llanura costera.

Con relación al movimiento tectónico, la región ha sido afectada a través del tiempo por severos periodos de actividad sísmica o deformación, que han producido rasgos estructurales y características de la formación existente en la región, que condujeron a formar la superficie de tierras generalmente no consolidadas a lo largo de las inclinaciones de los ríos y la costa. Sin embargo, contra esta historia, la región ha quedado en una condición marginal pasiva durante los últimos 3000 años.

Particularmente, donde está localizada la terminal de gas LNG, está compuesta por la sedimentación rocosa de diversos tipos de materiales, que debido a su litología ha sido asociada con la formación del mesón del terciario superior, así como con residuos de tierra cuaternarios.

1.7.2 Condiciones del subsuelo en el área de tanques.

Para diferenciar geotécnicamente y caracterizar los materiales que forman los paquetes estratigráficos, se estudiaron sus características específicas y condiciones del suelo. Es importante también declarar, que para suplementar el modelo estratigráfico que había sido estudiado de los tanques T-1002 y T-1003, también se usaron los resultados geotécnicos





obtenidos para el tanque T-1001, el cual se construirá en el futuro, ya que los tres tanques son parte del mismo escenario geotécnico.

Un aspecto importante que afecta directamente las condiciones del subsuelo para la cimentación bajo los tanques, es indudablemente el paquete de roca arenosa, “Ar”, donde el terreno con colinas o viejo banco de arena de la costa que constituyó las elevaciones en el área, y produjo después actividades de terraplén, condiciones no uniformes.

Otro paquete estratigráfico del subsuelo fue subdividido en siete unidades geotécnicas (Ar-li1, Arn1, Arn2, Al-li2, Arn3, Ar-li3 y Arn-cg), los estratos de roca fueron subdivididos en cuatro unidades (Arn1, Arn2, Arn3, y Arn-cg), y otras cuatro dan forma a la variable de consistencia de suelo arenoso (unidades Ar1b, Ar-li1, Al-li2, Ar-li3).

Contenido de agua, w	=	6.1	a 10.1%
Porcentaje terrón, G	=	1.6	a 11.6%
Porcentaje de arena, A	=	67.2	a 79.7%
Porcentaje Fino, F	=	18.9	a 22.9%
Límite líquido, L_w	=	13.6	a 24.8%
Índice de plasticidad, P_i	=	1.1	a 11.0%
Densidad de sólidos, S_s	=	2.586	a 2.774
Clasificación SUCS	=	SM-SC/ SC-SM	
Peso volumétrico natural, γ_m	=	1,697	a 1,836 Kg./m ³
Resistencia axial no confinada, q_u	=	1.02	gr./cm ²
Módulo de deformación elástica, M_e	=	0.553	Kg/cm ²
Coeficiente de visco plasticidad, K_{vp}	=	0.432	Kg/cm ²
Consolidated non-drained resistant casing, CU			
• Ángulo de Fricción Interna Φ_{cu}	=	26°	a 41°
• Cohesión aparente, C_{cu}	=	0.20	a 0.32 Kg./cm ²
Módulo de compresibilidad unitaria, M_z	=	0.00582	a 0.00868 Kg/cm ²

Tabla 1.3 Se muestran los trabajos de laboratorio con las siguientes características de este material.

elasticidad, E_s	=	8,271	a 11,462 Kg./cm ²
nsión elástica, M_e	=	0.87	a 000121 Kg/cm ²
le visco plasticidad, K_{vp}	=	0.638	a 1.811
nsión Elasto-plástico, M_{ep}	=	0.000143	a 0.000268 Kg/cm ²

Tabla 1.4 Se muestran los resultados de los estudios de placa que fueron realizados en el tanque T-1002.



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



Módulos de elasticidad, E_s	=	5,098 a 7,524 Kg./cm ²
Módulo de tensión elástica, M_e	=	0.133 a 0.00196 Kg/cm ²
Coeficiente de visco plasticidad, K_{vp}	=	3431
Módulo de tensión Elasto-plástico, M_{ep}	=	0.000177 a 0.000281 Kg/cm ² .

Tabla 1.5 Se

muestran los resultados de los estudios placa que fueron realizados en el tanque T-1003.

Según los trabajos de exploración que se realizaron, el material en el área de los tanques presenta una densidad relativa promedio, con una penetración estándar valuada entre 19 a 52 golpes (36 en promedio). Sin embargo, este material queda confinado dentro de la unidad Arn1a, y se observa que en el área del tanque T-1003 tiene un espesor que varía entre 2.10 y 34.80 metros, con una tendencia a disminuir bajo el tanque T-1002, de acuerdo a:

Contenido de agua, w	=	1.3 a 11.3%
Porcentaje terrón, G	=	2.9 a 10.8%
Porcentaje de arena, A	=	65.2 a 82.5%
Porcentaje Fino, F	=	14.1 a 22.9%
Límite líquido, L_w	=	14.5 a 18.3%
Índice de plasticidad, P_i	=	4.9 a 5.3%
Clasificación SUCS	=	SM (no cimentado)
Peso volumétrico natural, γ_m	=	1,700 a 1,806 Kg/m ³
<i>Undrained consolidate a drained envelope strength, CU</i>		
• Ángulo de Fricción Interna Φ	=	37° a 44.5°
• Cohesión aparente, C	=	0.00 a 0.25 Kg/cm ²

Tabla 1.6 Resultados de los estudios realizados en el tanque T-1003 y T-1002.

En las unidades de roca, debajo del área del tanque T-1002 (unidad "Ar-li2"), fue detectada entre niveles de +0.5 a -3.0 metros, ésta capa está hecha de arena fina a mediana, un poco áspera y Arcillosa, mal cementada y terrones de arenisca, se observó una mala distribución granulométrica, con partículas sub-angulares y una fracción de fina a mediana plasticidad. Estas unidades mantienen un valor promedio de 40 golpes. Según, el laboratorio éste material tiene las siguientes características:

Contenido de agua	w	=	17.3%
Porcentaje terrón	G	=	9.1%
Porcentaje de arena	A	=	47.4%
Porcentaje Fino	F	=	43.5%
Límite líquido	L_w	=	41.8%
Índice de plasticidad	P_i	=	22.7%
Clasificación SUCS		=	SC (no cementado)

Tabla 1.7 Resultados de los estudios realizados en el tanque T-1002.





Siguiendo con los niveles entre -2.0 a -6.0 metros, bajo el área de los tanques T-1003 y T-1002, hay una capa verdosa de arcilla café con terrones moderadamente cementados de arenisca y delgadas hojas de arena arcillosa, llegando a un espesor con variantes entre 2.60 y 4.80m, debajo del tanque T-1002 está relacionado con la capa de arenisca identificada como “Arn3”.

Contenido de agua	W	=	17.4	a	23.5	%
Porcentaje terrón	G	=	4.0	a	12.6	%
Porcentaje de arena	A	=	9.3	a	42.3	%
Porcentaje Fino	F	=	56.1	a	90.7	%
Límite líquido	L_w	=	34.7	a	57.0	%
Índice de plasticidad	P_i	=	17.0	a	32.6	%
Densidad de sólidos	S_s	=	2.586	a	2.624	
Clasificación SUCS		=	CL - SC			
Peso volumétrico natural,	Y_m	=	1,988		2,140	Kg/m ³
Resistencia axial no confinada ,	q_{ur}	=	2.4		10.8	Kg/cm ²
Módulo de deformación elástica,	M_e	=	0.00069		0.00977	Kg/cm ²
Coeficiente de visco plasticidad,	K_{vp}	=	0.306		1.143	Kg/cm ²
Fuerza envolvente						
• Ángulo de Fricción Interna	Φ	=	30°		4.5°	Grados
• Cohesión aparente,	C	=	1.11		5.75	Kg/cm ²
Módulo de compresibilidad unitaria	M_z	=	0.00470			Kg/cm ²

Tabla 1.8 parámetros de la descripción de las características del material arcilloso en el laboratorio.

Debajo de la capa de arcilla, se ubica una capa, café claro verdosa y tonos amarillentos, seriamente gradado, con partículas sub-redondas y sub-angulares, una considerable cantidad de terrones mal cementados y fracción fina de plasticidad, con espesores de entre 0.50 y 3.60 metros (1.50 metros en promedio), una densidad con valores resistentes a la penetración, por el rango de 30 a 45 golpes (38 en promedio).

Contenido de agua	W	=	6.2	a	15.7	%
Porcentaje terrón	G	=	14.0	a	25.7	%
Porcentaje de arena	A	=	35.4	a	57.2	%
Porcentaje Fino	F	=	30.2	a	42.4	%
Límite líquido	L_w	=	17.1	a	29.9	%
Índice de plasticidad	P_i	=	5.3	a	13.9	%
Densidad de sólidos	S_s	=		a		
Peso volumétrico natural	Y_m	=	2,054	a	2,316	Kg/m ³
Resistencia axial no confinada ,	q_{ur}	=	36.5	a	89.7	Kg/cm ²
Fuerza/solidez bajo compresión.	q_{ud}	=	8.7	a	19.1	Kg/cm ²
Módulo de deformación elástica,	M_e	=	0.00018	a	0.0005	Kg/cm ²



**PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS**



Coefficiente de visco plasticidad,	K_{vp}	=	0.070	a	4 0.131	Kg/cm^2
Fuerza envolvente						
• Ángulo de Fricción Interna	Φ	=	21.0	a	27.0	Promedio 24.0°
• Cohesión aparente,	C	=	11.8		19.1	Kg/cm^2 (promedio 15.6)

Tabla 1.9 características encontradas por el laboratorio de capa limosa-arcillosa de arena, Ar-li3.

La unidad *Lt1* comprende material que conforma a la corteza superficial de la formación del mesón, que corresponde a la lutita (arcilla esquistosa) reblandecida que produce un poco de arcilla arenosa, ocasionalmente con terrones de arenisca cementados, en color café verdoso con granos de tonos gris verdoso, de alta plasticidad y una consistencia dura a muy dura, con valores de resistencia a la penetración, de entre 45 a 83 golpes (62 golpes en promedio), presentando una profundidad variable de 4.20 a 7.00 metros (5.40 metros de promedio), con las siguientes características:

Contenido de agua	w	=	19.0	a	25.2	%
Porcentaje terrón	G	=	0.0	a	10.4	%
Porcentaje de arena	A	=	0.6	a	45.2	%
Porcentaje Fino	F	=	55.6	a	99.3	%
Límite líquido	L_w	=	33.7	a	63.0	%
Índice de plasticidad	P_i	=	12.8	a	41.1	%
Peso volumétrico natural,	γ_m	=	2,054	a	2,080	Kg/m^3
Resistencia axial no confinada	q_{ur}	=	4.6	a	8.0	Kg/cm^2
Módulo de deformación elástica,	M_e	=	0.00219	a	0.00460	Kg/cm^2
Coefficiente de visco plasticidad,	K_{vp}	=	0.249	a	0.363	Kg/cm^2
Módulo de compresibilidad unitaria	M_z	=	0.00520			Kg/cm^2

Tabla 1.10 Características de la unidad *Lt1*, lutita (arcilla esquistosa).

Finalmente, la serie estratigráfica concluye con la unidad *Lt2*, que forma el basamento de la región y está hecha de roca lutita (arcilla esquistosa), de color verde y negro verdoso a color gris, el estrato en estas capas es de consistencia dura a muy dura, con valores de resistencia a la penetración de 83 golpes, mayor al 70%. Cuando los corazones fueron retirados del barril muestreado, causó pocos problemas y los valores de los parámetros no se distorsionaron.

Contenido de agua	w	=	19.5	a	23.0	%
Porcentaje terrón	G	=	0.0			%





Porcentaje de arena	A	=	1.1	a	2.9	%
Porcentaje Fino	F	=	97.1	a	98.9	%
Límite líquido	L_w	=	52.1	a	61.3	%
Índice de plasticidad	P_i	=	28.0	a	38.1	%
Peso volumétrico natural,	Y_m	=	2,057	a	2,155	Kg/m ³
Resistencia axial no confinada ,	q_{ur}	=	7.4	a	11.7	Kg/cm ²
Fuerza/solidez bajo compresión dimétrico	q_{ud}	=	1.2	a	2.9	Kg/cm ²
Módulo de deformación elástica,	M_e	=	0.00088	a	0.00098	Kg/cm ²
Coeficiente de visco plasticidad,	K_{vp}	=	0.304	a	0.608	Kg/cm ²
Fuerza envolvente						
• Ángulo de Fricción Interna	Φ	=	7.0	a	26.0	15.1° promedio
• Cohesión aparente,	C	=	2.3	a	5.1	Kg/cm ² (4.4 promedio)
Módulo de compresibilidad unitaria	M_z	=	0.00181			Kg/cm ²

Tabla 1.11 Resultados de los estudios de laboratorio a las muestras de la unidad Lt2.

Como resultado de las condiciones estratigráficas y características presentadas en esta fase del proyecto, tenemos los siguientes comentarios y conclusiones:

El subsuelo está hecho de una serie de unidades de arena distribuidas entre los niveles +14.0 a -20.0 metros y esta diferenciado individualmente según sus grados de dureza, que condujo a distinguir cuatro estratos de roca “Arn1, Arn2, Arn3, y Arn-cg” y tres estratos angulares Ar-li1, Ar-li2, Ar-li3, con un espesor total de 34.0 metros. El estrato de roca “Arn3” en particular tiene un status totalmente alteado con trastornos en la arcilla arenosa de consistencia dura.

En la superficie, las series de arenisca forman colinas o lo que se le conoce también como la *vieja barra costera*. Estos estratos fueron reconfigurados para elaborar la plataforma donde los tanques son construidos, cuyas actividades implicaron llevar acabo cortes de más de 12.0 metros, removiendo partes de las unidades “Ar- li1” y “Arn 1”, las cuales son distribuidas en la construcción de la plataforma.

Como las características del subsuelo son variables y complejas para el soporte de la cimentación de los tanques, el material arenoso que constituye la unidad “Ar-li1” será removido por completo, toda vez que presenta características de baja solidez y compresibilidad y una resistencia de penetración estándar de 24 golpes en promedio, la cual es considerada inadecuada para el soporte de la carga ejercida por los tanques.





La segunda unidad detectada en estos niveles de cimentación corresponde a “Arn1”, la cual debido a razones geotécnicas fue subdividida en dos unidades “Arn1 a” y “Arn1 b”, para tomar en consideración los cambios de dureza o cementación que presentan. La primera de estas unidades “Arn1 a”, corresponde a un estrato final de roca o concha, de moderada a fuertemente cementada entre capas de 4.0 a 6.0 metros de grosor, observando características de alta resistencia y baja compresibilidad. En contraste, la segunda unidad, “Arn1 b”, la cual constituye el corazón central de la colina, tiene la misma composición y distribución estratigráfica del primer material, excepto el grado de cementación que es prácticamente nulo, de forma granular similar, a una arena moderadamente compactada. Esta segunda unidad se mantiene a límite con la primera unidad, de espesor variable entre 1.0 y 4.0 metros, y este es visible solamente en el área de tanque T-1003.

1.7.3 Condiciones sísmicas en el área del proyecto.

Aunque el proyecto está localizado en una de las regiones del país con baja actividad sísmica, es un requisito revisar el diseño de los trabajos o estructuras planeados para garantizar que puedan soportar adecuadamente un evento de esta naturaleza. Con este propósito, se clasifica el área del proyecto según los criterios sísmicos establecidos por la comisión federal de electricidad (CFE), definiendo para esta clasificación inicial el coeficiente de sismicidad básico, C_{s1} que fue aplicado cuando se revisaron las estructuras para la Terminal LNG de Altamira.

Como resultado de los trabajos geofísicos llevados a cabo en el área, y según las recomendaciones de los estándares oficiales mexicanos, la clasificación sísmica del sitio es como sigue:

- a. Zona sísmica: **A**;
- b. Tipo de terreno: **II**; medio rígidamente.

Con la información anterior, los parámetros necesarios son obtenidos para la construcción del diseño sísmico (espectro sísmico de diseño), el máximo ordinario de cual corresponde al coeficiente de sismicidad básico, C_{s1} tiene que ser adoptado para el proyecto de la revisión de estructuras, y el cual es igual a:

- c. Coeficiente de sismicidad básico, C_{s1} : 0.16 para grupo “B” estructuras
0.24 para grupo “A” estructuras

Como referencia adicional, CFE llevó a cabo un estudio de la sismología del sitio, donde fueron construidas las unidades II y IV de la Central de ciclo combinado Altamira, las cuales tienen límites al Este con el área del proyecto de la terminal de gas LNG. En este estudio, CFE designó un diseño espectral sísmico con un máximo espectral ordinario de 0.08 para las estructuras del grupo “B” y de 0.12 para las del grupo “A”.





1.8 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA PARA CIMENTACIÓN EN DIFERENTES TIPOS DE SUELO.

Este trabajo de diseño fue realizado por *Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.*, (IHI), y previamente autorizado por Terminal LNG de Altamira, S.A. de C.V. (TLA). En la revisión de estos documentos, se observa que previo a la construcción de la losa de cimentación circular de concreto para los tanques T-1002 y T-1003, se debía retirar el material de la unidad “Ar-li1” y reemplazar el material con propiedades cementantes, en bancos de materiales de la región, para los sectores de los tanques T-1002 y T-1003.

1.8.1 Propiedades de los suelos para las cimentaciones.

Las propiedades de ingeniería de los suelos en referencia a su capacidad de carga y su comportamiento durante la construcción y bajo la acción de las cargas durante su operación, se clasifican como:

- Suelos de baja cohesión: Las gravas y suelos Arenosos.
- Suelos altamente cohesivos: Arcillas con pedernales, Arcillas rígidas fisuradas, Arcillas rojas tropicales, Laterita, Arcillas tropicales negras, Arcillas salino-calcáreas, Arcillas aluviales, Limo y la Turba.

1.8.2 Propiedades de las rocas para cimentaciones.

El ingeniero por lo general no se preocupa de las propiedades físicas del material que forma la roca intacta y no erosionada, ya que su fuerza y compresibilidad son normalmente adecuadas para la mayoría de las estructuras de cimentación. Sin embargo, es importante investigar las propiedades de la masa de la roca, ya que éstas gobiernan el comportamiento de los cimientos y son relevantes para los problemas de construcción de cimientos. Las propiedades de la masa de la roca que se deben investigar son: Erosión, Fallas, Juntas y Fuerza de las rocas intactas.

1.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

El estudio geotécnico se realizó con el objetivo de verificar las condiciones del subsuelo y determinar soluciones a los aspectos geotécnicos involucrados en la construcción de los tanques de almacenaje T-1002 y T-1003 de la terminal de gas LNG.

El principal propósito de este estudio fue establecer las condiciones y características del terreno, para poder determinar: tipo de cimentación, preparación de los cimientos de carga, capacidad de carga permitida y distinción de hundimientos bajo los cimientos.





1.9.1 Conclusiones del estudio de mecánica de suelos.

Las siguientes conclusiones están fundamentadas en los trabajos de campo y laboratorio, estratigrafías y propiedades del subsuelo y en el análisis de la evaluación para una estimación de los cimientos bajo los tanques.

Para cada tanque se realizaron 18 sondeos de exploración, dos de estos fueron profundos, alcanzando una profundidad de 60 metros, y el resto variando en profundidades de 3.45 a 12.5 metros, permitiendo así la definición de las características generales del subsuelo.

Según el estudio geológico y geofísico del área, esta zona está localizada en una formación de roca sedimentaria la cual superficialmente está cubierta por depósitos residuales, estas rocas que son apenas visibles. Se observó además algunas fracturas litológicas.

Tectónicamente la región ha permanecido muy pasiva por más de 3000 años, y el área esta designada como una de baja sismicidad, registrando solamente distantes movimientos con orígenes relativamente lejanos a distancias de 100 km.

Un aspecto importante que tiene directamente efectos en las condiciones del subsuelo para la cimentación de los tanques, es indudablemente el segundo paquete de roca arenisca "Ar", donde la terracería produjo condiciones no uniformes y que pueden ser vistas en la zona.

Según la información geotécnica obtenida en los 18 sondeos de exploración y 10 estudios de placa realizados en el área de los tanques T-1002 y T-1003, suplementado por los 6 sondeos realizados en el área del futuro tanque, el segundo paquete estratigráfico del subsuelo fue primeramente subdividido en siete unidades geotécnicas (Ar -li1, arn1) y subsecuentemente subdividida la unidad Arn1 en "Ar1a" y "Ar1b" para facilitar las diferencias de sus condiciones de cementación. Bajo estos criterios, cuatro de estas unidades son eliminadas, (unidades Arn1a, Arn2, Arn3 y Arn-cg), mientras los otros cuatro están hechos de tierras arenosas variables y consistentes, (unidades Arn 1b, Ar-li1, Ar-li2 y Ar-li3). Tomando en consideración esta distribución estratigráfica y comenzando de nivel de +14.0 metros, se comienza con la construcción de plataforma para el proyecto, el cual se realiza un Terraplén compactado, entre 0.20 y 0.60 metros de espesor, y usando material llevado de banco de préstamo de la región.

En los sectores Este y Oeste del tanque T-1002, la superficie del subsuelo está hecha de una fina a mediana arcilla y arena, rojiza-café, café oscuro y claro con algunos tintes amarillos, y grandes terrones de arena mal cementados "Ar -li1", se observa en general una mala distribución granulométrica, con partículas sub-redondas a sub-angulares y una fracción fina de baja plasticidad.





En la sección central del área del tanque T-1003, el material arcilloso no fue detectado, dado que fue cortado durante las actividades de terracería. Sin embargo, en el Oeste del área ocupada por el tanque T-1001, este material cubre más de 90% de los cimientos del área y hacia el Este, bajo el tanque T-1002, solamente cubre parte del perímetro en un 30%.

Según los estudios y las pruebas de placa realizados la capacidad de carga de este material fue definida en una presión de 5.96 Kg/cm^2 . Esta presión, en términos de carga su valor máximo es de 1.98 Kg/cm^2 (19.8 Ton/m^2), la cual es escasa para la cimentación de los tanques.

El estrato de arena subyacente, y en general bajo toda el área, está presente el estrato de arenisca, unidad Arn1, básicamente constituyendo el cuerpo o corazón de las colinas en el área, y la cual, según el grado de cementación observada, fue subdividida en dos unidades, Arn1a y Arn1b, para así diferenciar sus condiciones.

Bajo este primer estrato arenoso Arn1 y formando el corazón central del área de la colina en el sitio, esta es una segunda serie de arenas, "Arn1b", la cual presenta similares características a aquellas observadas en "Arn1a".

El siguiente nivel, entre +7.00 y 2.00m como un promedio, el paquete de arenisca está compuesto por la unidad "Arn2", la cual está constituida de una capa con una densa a moderada arenisca cementada de 4.40 a 10.20 metros de espesor, en color café claro, estratificado en capas de 5.0 a 12.0 cm, unidos por un cementante de materiales mal conectados, apareciendo una baja calidad en una gran cantidad de fragmentos.

El pH reactivo nivel de agua (NFA), fue localizado en esta unidad a profundidad entre alturas +0.35 a +1.04m cerca del nivel medio del mar.

Sobre el estrato de arcilla, éste tiene un estrato de arena fina a mediana, Ar-li3, café claro con tonos verdosos y amarillentos.

Finalmente, las series de arena concluyen con unidad Arn-cg, compuesta de un estrato de roca de fuerte a moderadamente cementado, entre 9.00 y 13.60 metros de espesor, en color gris y café claro con una abundante cantidad de gris y verde oscuro y gravilla fina, lo que hace que las condiciones del subsuelo para la cimentación de soporte de los tanques sean variable y compleja.

El material arenoso que constituye la Unidad "Ar-li1" presenta bajas características de fuerza de compresibilidad. La segunda unidad detectada para el soporte de estos cimientos corresponde a "Arn1", que debido a razones geotécnicas fue subdividida en dos unidades "Arn1a" y "Arn1b", para tomar en consideración el marcado cambio de dureza o cementación presente en ellos.





Basados en los criterios de CFE, la tierra en el área del proyecto está clasificada como tipo II, con rigidez media. Como un resultado, y según la información sísmica relacionada con el sitio, el coeficiente básico de sismicidad (CS) es de 0.16 debiendo ser adoptado para la revisión de estructuras del grupo B, y un coeficiente de 0.24 para el grupo A.

Según la información del proyecto, estos dos tanques de almacenaje T-1002 y T-1003, ocupan 31,250 m² (125 x 250 metros) de superficie, llegando a alcanzar entre ambos un total de capacidad de almacenaje de 300,000 m³ de gas natural (GNL). Según la información disponible, ambos tanques son iguales, teniendo un diámetro de 79.40 mts y una altura de 41.39 mts, una cúpula metálica recubierta de concreto y muro perimetral de concreto. La separación entre tanques es de 45.0 mts panel a panel o a 124.00 metros centro a centro.

Las cimentaciones de las dos estructuras han sido formuladas basándose en las recomendaciones presentadas por IHI, hacia las losas circulares de concreto, excavadas a 1.0 metro de profundidad con respecto al nivel de la plataforma (+13.00m).

Cada tanque pesa, incluyendo su cimentación, 45,887 Ton (tanque vacío), que representa una distribución uniforme de carga de 9.27 ton/m². Durante los estudios hidrostáticos programados al final de la construcción, los tanques pesarán 141,995 ton, (28.70 ton/m²), y durante la operación tal peso ha sido estimado en 122,800 ton (24.80 ton/m²). En un evento de carga eventual, como viento o sismo, está estimado que el peso en operación se incremente no más de 17% (29.30 Ton/m²).

Para establecer las características del material granular requerido para realizar el tratamiento del sector Este del tanque T-1002, fue determinado que el material provisto por el banco "Triturados Briones", localizado en conocida zona "La Pasadita", se utiliza para este fin. Para propósitos geotécnicos fue asignado este material por sus características como se muestran en la:

Peso volumétrico compactado	1,900	Kg./m ³
Sobre solidez		
Ángulo de Fricción interna	40.0°	Grados
Cohesión Aparente	0.00	Kg/cm ²
Módulo de Young	1,000	Kg/cm ²
Coeficiente de Poisson	0.278	Kg/cm ²
Módulo de visco elasticidad	0.00115	Kg/cm ²
Coeficiente de difusión compresión	0.100	Kg/cm ²

Tabla 1.12 resultados obtenidos del análisis del al banco "Triturados Briones".





1.9.2 Recomendaciones de acuerdo el resultado del estudio de mecánica de suelos.

Según las características del proyecto, el suelo donde está localizada la zona para la instalación de los tanques de almacenaje T-1002 y T-1003, requiere ser mejorada aplicando un tratamiento que consiste en remplazar el material arenoso “Ar-li1”. Para efectuar este tratamiento, todo el material de esta unidad “Ar- li1”, que está localizado en el área de la cimentación del tanque es removido, más un adicional de 0.50 metros sobre este perímetro. La profundidad máxima prevista a alcanzar durante estas actividades puede ser por arriba de los 5.00 metros.

Para completar el tratamiento del sector Este del tanque T-1002, es recomendable utilizar un material granular, tipo “arena y grava” con un tamaño máximo de partículas de $\frac{3}{4}$ ” (19.1 mm), preferentemente partículas aplastadas, manteniendo una distribución granulada cuya fracción fina no exceda de 5% conservando una plasticidad baja, con un límite líquido más grande al 25%. El máximo peso volumétrico seco no podrá ser mayor a 1.900 Kg/m³.

Este material “Gravilla-arena” necesita ser colocado en capas de 0.25 a .30 metros de espesor en promedio, mismas que después serán compactadas con el equipo de construcción adecuado, sucesivamente hasta lograr el 95% de peso máximo volumétrico seco. Este trabajo se realiza para la parte baja del lado Este de la excavación, incorporando gradualmente el resto del área, hasta llegar al nivel definido para el desplante de la cimentación.

Y la última recomendación es el de implementar un sistema de trabajo para el control y monitoreo constante de las marcas localizadas en las losas, refiriéndose a un nivel fijo de la playa localizada a un lado de la zona de influencia de los tanques. Es necesario que este sistema se implemente todo el tiempo y durante cada etapa del proyecto:

- Construcción.
- Pruebas hidrostáticas.
- Al concluir los trabajos.
- Inicio de operaciones y
- Durante los primeros tres años de operación de los tanques, para garantizar que no existan alteraciones en cualquiera de las aéreas de la terminal de gas LNG.





CAPÍTULO 2

Cimentación De los Tanques T-1002 / T-1003

2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO / 2.2 LOCALIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MOJONERAS PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES T-1002 y T-1003 / 2.3 MÉTODO PARA LA EJECUCIÓN DE LA EXCAVACIÓN / 2.4 MÉTODO DE EJECUCIÓN DEL RELLENO Y COMPACTADO PARA MEJORAR EL SUELO / 2.5 MÉTODO PARA DETERMINAR EL GRADO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO / 2.6 EJECUCIÓN DE LA PLANTILLA DE CONCRETO





2 CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003

2.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO.

2.1.1 Desmante y despalme.

El desmante, despalme, la construcción de las plataformas y la construcción de las vialidades, fueron realizadas por la empresa denominada, Desarrollo y Proyectos de las Huastecas, S.A de C.V. (DPH).



Fig. 2.1 Plataforma para despalme de la planta regasificadora.

2.1.2 Número de vehículos.

Uno de los factores importantes para poder preparar correctamente la obra es el suministro de vehículos de transporte de material, de tamaño y capacidad adecuados, además de la cantidad necesaria para realizar un ciclo de trabajo uniforme e ininterrumpido y obtener así un rendimiento al máximo.

Muchas veces ocurre que después de invertir tiempo en la elección de maquinaria de excavación o de maquinaria para carga, no se obtiene el rendimiento al máximo debido que los vehículos de transporte ofrecen alguna o algunas deficiencias tales como:

- Los vehículos son de poca capacidad.
- El número de vehículos es insuficiente.
- Tiempos muertos, es decir se pierde tiempo en el trabajo.





- No se dispone de vehículos de repuesto en caso de falla.
- No se mueven a la velocidad óptima para lograr una correcta sincronización.
- Al momento de ser cargados hay deficiencias.
- En muchos casos la eficiencia de los operadores.

Como una regla general, rápida y aproximada, se puede decir que la capacidad de los vehículos debe ser, como mínimo, de cuatro veces la capacidad del cucharón del cargador, esto quiere decir que cuanto mayor sea la capacidad de cada vehículo más fácil será la sincronización de estos.

Es conveniente mantener siempre un camión bajo el cucharón del cargador, es claro que, a partir de que sale un camión del cargadero, es necesario que se encuentre o valla llegando a cargar otro camión, para que la maquinaria o el cargador no interrumpa su trabajo. Mientras transcurre el ciclo de viaje que invierte el primer camión cargado hasta que regresa al cargadero. Entonces si se divide el tiempo de viaje por el tiempo de carga, el cociente indica el número de camiones que se tienen que poner en carga para que el cargador se mantenga trabajando, mientras el primer camión cargado efectúa su ciclo de viaje y vuelve ser cargado. A partir de este momento el ciclo de carga y transporte se convierte en una serie continua. Por lo tanto, el número de camiones necesarios se puede expresar mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Número de camiones} = \frac{\text{Tiempo de viaje}}{\text{Tiempo de carga}} + 1$$

El número uno que se agrega a la ecuación corresponde al primer camión cargado y que se encuentra haciendo el recorrido de transporte y su descarga.

Es evidente que, si el tiempo de carga es mayor que el tiempo del viaje, el primer camión regresara al cargadero antes de que haya terminado la carga del segundo. Esto nos indicará que se ha producido una capacidad excesiva para las unidades de transporte y que se obtendrán mejores resultados con camiones de menor capacidad.

Las vías que conducen hasta la superficie de trabajo deben estar en muy buenas condiciones y lo ideal sería tener doble vía de circulación para que puedan transitar con facilidad los vehículos en una y otra dirección, y para que los mismos se acerquen y alejen del área de carga del modo más expedito. Además, la vía de transporte debe conservarse tan pareja como sea posible con un sistema para operaciones en tiempo lluvioso. Tales condiciones del terreno en la vía de circulación de los camiones permiten transportar la carga con mayor facilidad y además hacen que los vehículos tengan una mayor duración.





2.1.3 Tractores sobre orugas.

En América a los tractores les llamos *bulldozer* o simplemente *dozer*. Estos tractores que van sobre orugas, son máquinas que tienen una gran variedad de usos en la construcción, la variedad de los usos que se des dan son desde, limpieza de maleza, desmonte, despalmes, cortes, movimiento de tierra a corta distancia, hasta empujando o jalando *escrepas* o *traíllas*, etc.

Hoy en día es muy común que el término de *bulldozer* se use para nombrar a todos los tractores montados sobre orugas, sin embargo, además de los *bulldozer* hay también los *angledozer*. La diferencia consiste en la posición de la cuchilla, esta diferencia es que en los *bulldozer* la cuchilla está montada perpendicularmente a la dirección del avance, la chuchilla de los *bulldozer* están más cerca de la maquina por lo que es más eficiente el empuje frontal del material, ya que de este modo puede llevar cargas a mayor velocidad. Mientras que los *angledozer* tienen la cuchilla montada más retirada de la máquina para poder formar cierto ángulo en dirección al avance de la máquina, empujando el material hacia adelante y hacia un lado.

Existen dos formas de operación de los *dozer*, uno es por medio de cables (este sistema no es muy utilizados), la ventaja del uso de los cables es la sencillez para la operación y la reparación de los controles. Y los operados por un sistema hidráulico (es el sistema más utilizado actualmente), al tener un sistema hidráulico proporciona a la operación un manejo preciso en la cuchilla, además también proporciona presión hacia abajo sobre el suelo con mucha más fuerza, lo que hace que penetre más y por lo tanto puede hacer un corte más profundo.

Como todos los procesos, conocer el rendimiento de una máquina, operarios, etc., es muy importante para poder realizar un análisis de las múltiples actividades que, finalmente nos lleva a la realización de un programa y reducir al máximo los sobrecostos que rebasan el presupuesto. Traduciendo esto, a que en toda actividad realizada se busca obtener una utilidad. El rendimiento horario de los *bulldozer* se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$V = \frac{(C) (E) (60)}{(T) (F)}$$

En donde:

V = Metros cúbicos por hora de material medido en banco.

C = Capacidad de la hoja empujadora o topadora, en metros cúbicos sueltos.

E = Eficiencia del *bulldozer*, según su fuerza tractiva.

T = Duración del ciclo del *bulldozer* en minutos.

F = Factor de abundamiento.





El tiempo T del ciclo consta de dos partes, una es el tiempo fijo que es el necesario para que una maquina se cargue, descargue, haga maniobras de colocación, acelere y desacelere, este tiempo es prácticamente constante ya que no interesa la longitud de acarreo. En los *bulldozer* el tiempo fijo es de medio minuto, y el tiempo variable, depende de la velocidad y de la distancia recorrida. El tiempo T se determina con la ecuación siguiente:

$$T = T_F + D_A * V_{AR} + D_A * V_{RR}$$

En donde:

- T = Duración del ciclo del *bulldozer* en minutos.
- T_F = Tiempo fijo en minutos.
- D_A = Distancia de acarreo en metros.
- V_{AR} = Reciproco de la velocidad de acarreo en metros y minutos respectivamente.
- V_{RR} = Reciproco de la velocidad de regreso en metros y minutos respectivamente.

Las hojas empujadoras o topadoras es una unidad montada al frente de la máquina, por lo general son construidas con una hoja de acero curvada montada en un marco que forman una sola unidad. Las dimensiones de estas hojas dependen del fabricante y son de entre 2.00 metros a 7.00 metros de ancho y de 0.60 metros a 1.50 metros de altura. Dependiendo esto de la capacidad de la máquina.

Los fabricantes proporcionan tablas donde muestran rendimientos, capacidades y eficiencia de los equipos, estas tablas muestran resultados calculados considerando una eficiencia en el rendimiento del factor humano y mecánico del 100%, pero en realidad hay varios factores que afectan este rendimiento, de modo que para tener un resultado más preciso es necesario tomar en cuenta todos los factores que afectan al rendimiento.

Es de notarse que, aunque la maquinaria sobre neumáticos es más rápida con respecto a la que está montada sobre orugas, en el sitio de trabajo la eficiencia es superior de una máquina que está montada sobre orugas a comparación de una que está montada sobre ruedas. Con relación al ciclo de trabajo, en la mayoría de las operaciones de movimiento de tierras, las maquinas efectúan su trabajo de acuerdo con un ciclo determinado, en este ciclo se consideran las operaciones de carga, acarreo y retorno con sus variantes, en el caso de los *bulldozer* su ciclo seria empujar hacia adelante, detenerse, retroceder, detenerse y reiniciar el ciclo nuevamente. La





duración del ciclo es la que se requiere para que una máquina complete el circuito de las operaciones anteriormente mencionadas.

Es importante mencionar también que, para aprovechar al máximo la maquinaria, en todos los casos la eficiencia del equipo depende en gran medida de la destreza y habilidad del operador, y como recurso humano resulta un tanto difícil determinar su rendimiento, esta eficiencia no solo varía de temporada a temporada, sino que puede ser que en un mismo día exista variación entre una hora a otra.

La habilidad del operario influye en gran medida con el rendimiento de las máquinas. Un recurso que se puede utilizar eficazmente para que el operario obtenga el mayor provecho de la máquina es, implementando incentivos para que no baje su rendimiento. Lo ideal sería contar siempre con personal que sea de nuestra confianza.

Aún con el operario más experimentado, no es posible obtener el 100% del rendimiento de una máquina debido a la combinación de los diferentes factores y demoras, de tal manera que, se llega a una hora efectiva de trabajo menor a 60 minutos, además por experiencia no es posible mantener el mismo ritmo de trabajo durante toda la jornada, más aún cuando la jornada se prolonga.

El *bulldozer* es una máquina de mucho empleo y es la más adecuada para los primeros trabajos de terracería de casi cualquier obra civil. Permite efectuar una nivelación rápida en terrenos de poca extensión ya que puede retroceder, remover y empujar las tierras en cualquier dirección y de una forma más rápida que otros tipos de máquinas, además efectúa el trabajo preliminar para facilitar el trabajo de las máquinas que se usan posteriormente.

Es importante tener en cuenta que los *bulldozer* no se deben utilizar para mover tierra a distancias mayores de 60 metros, ya que el rendimiento disminuye considerablemente, para hacer nivelaciones con grandes extensiones de terreno se consigue mayor rendimiento usando las escarpas o traíllas.

Para conseguir el máximo rendimiento se debe trasladar la mayor cantidad posible de metros cúbicos en cada viaje. Usar un adecuado proceso aumenta significativamente el rendimiento de los *bulldozer*, los procedimientos más comunes para aprovechar al máximo los *bulldozer* son: Trabajo con dos o en pareja, método del canal, método de descenso.

Aunque estos métodos no son los únicos, se puede decir que son los más usados, además dependiendo de las condiciones y necesidades de trabajo se pueden combinar los métodos descritos.





2.1.4 Cargadores sobre neumáticos.

Los cargadores sobre neumáticos es otro tipo de tractores, el rendimiento es mayor que los cargadores sobre orugas cuando se trata de material suelto. Básicamente un cargador se compone de un tractor montado sobre ruedas o sobre orugas con un cucharón frontal controlado mediante un sistema hidráulico cuyas capacidades van desde los 0.383 m³ a los 3.06 m³.

El diseño del cualquier cucharón normal es lo suficientemente fuerte como para absorber los golpes a los que puede ser sometido el tractor y a la vez, es lo suficientemente ligero para que mediante el sistema hidráulico del tractor pueda levantar grandes cargas de material sin el peligro de que se pierda el equilibrio del mismo tractor. De acuerdo con el material a mover debe ser el tipo de cucharón que se utiliza, si se va a cargar material clasificado, entonces el cucharón a utilizar es el llamado de rejilla, si el material a cargar es roca entonces se utiliza el cucharón llamado cucharón de cantera cuyo diseño de dientes permite con mayor facilidad la carga de rocas.

2.1.5 Procedimiento de abundamiento.

El procedimiento para cuantificar volúmenes de tierra es midiendo en sitio los volúmenes para transportas material producto de cortes o excavaciones, incluso para recibir material para la construcción de terraplenes multiplicado por un *coeficiente de abundamiento* llamado también *factor de abundamiento*.

Tal factor depende del tipo de material y es mayor a la unidad, el resultado de la multiplicación corresponde al abundamiento que sufrirá el material. Se determina con la ecuación siguiente:

$$F.A. = \frac{Y_b}{Y_g} = \frac{V_g}{V_b}$$

En donde:

- F.A. = Factor de abundamiento del corte del material suelto.
- Y_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.
- Y_g = Peso volumétrico del material suelto.
- V_g = Volumen del material suelto.
- V_b = Volumen del material en banco o corte.

Según lo anterior damos muy en general los valores siguientes:





Material	Factor de abundamiento		
Tierra negra	1.00	a	1.25
Material arenoso	1.10	a	1.30
Roca suelta	1.30	a	1.40
Roca fija	1.40	a	1.65

Tabla. 2.1 Valores típicos de los factores de abundamiento.

Al calcular los sobreacarreos se toman los volúmenes sobrecargados del material compacto; para esto se dividirá la ordenada del volumen sobreacarreado entre el *factor de abundamiento*.

2.1.6 Procedimiento de corrección de volúmenes para terraplenes

Este procedimiento es a la inversa del factor de abundamiento, los volúmenes de los cortes no sufrirán modificación, en cambio los volúmenes de los terraplenes se multiplicarán por un factor menor a la unidad, esto para convertirlos en volúmenes compactos. Para esto hay que saber de qué materiales estará formado el terraplén. A este factor se le conoce con el nombre de *factor de reducción* y al igual que el *factor de abundamiento* lo podemos calcular con la ecuación siguiente:

$$F.R. = \frac{Y_c}{Y_t} = \frac{V_t}{V_c}$$

En donde:

- F.R. = Factor de reducción del material.
- Y_c = Peso volumétrico del material suelto.
- Y_t = Peso volumétrico seco en el lugar de consolidación.
- V_t = Volumen del material en el lugar de consolidación.
- V_c = Volumen del material suelto.

2.2 LOCALIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE MOJONERAS PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003.

Después de que las condiciones del suelo fueron mejoradas, se ubican las coordenadas X, Y para cada tanque, se instalan 6 mojoneras de referencia para ubicar la construcción de cualquier elemento durante el desarrollo del proyecto.

Las mojoneras son instaladas sobre el perímetro exterior de la cimentación de cada tanque, a una distancia en que la cimentación de los tanques pueda ser verificada con un equipo de topografía. Además, las mojoneras son ubicadas en zonas donde no causen daños al equipo rodante o que el equipo en movimiento las dañe. También se marcarán las coordenadas y el nivel en el centro de cada tanque.





En todos los trabajos topográficos se utilizó una estación total marca *Leica* de la Serie TPS800. Estos instrumentos llevan incorporado un distanciómetro de rayo láser visible y un rayo infrarrojo invisible, con ayuda el rayo infrarrojo (invisible), se puede medir a distancia, el rayo sale coaxialmente por el objetivo del anteojo para mediciones a prismas y dianas reflectantes.

Por el modo en que está incorporado el distanciómetro y la disposición de las trayectorias de los rayos se puede conseguir un alcance mayor a 5 km con prismas estándar, también es posible medir a miniprismas, reflectores 360° o dianas reflectantes. El rayo láser visible es para aplicaciones sin reflector, que sale del objetivo en modo coaxial para hacer mediciones a cualquier objeto.

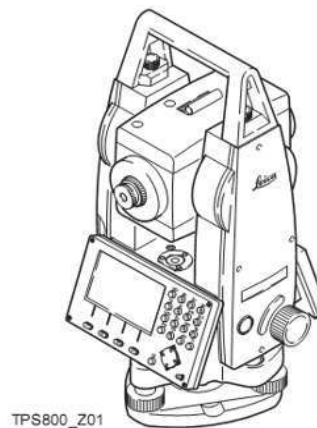


Fig.2.2 Estación total.

Los taquímetros electrónicos TPS800 pertenecen a una nueva generación de instrumentos topográficos. Su probado diseño constructivo y las modernas funciones contribuyen a facilitar de modo considerable las tareas topográficas cotidianas. Los instrumentos son muy adecuados para trabajos de topografía catastral y de ingeniería, construcción subterránea o de edificios, especialmente en replanteos y levantamientos taquimétricos. La sencilla concepción de manejo del instrumento contribuye a su vez a que el profesional aprenda a utilizarlo sin dificultades en un tiempo mínimo.

IR-prec	Para mediciones de máxima con prismas (2mm + 2 ppm)
IR-rapid	Modo rápido, para mediciones rápidas de menor precisión (5mm + 2 ppm)
IR-Track	Medición continuada de distancias (5mm + 2 ppm)
IR-Diana	Para medir con dianas reflectantes (5mm + 2 ppm)
LR-Corto	Distancias cortas. Para medir





	distancias sin prismas (3mm + 2 ppm)
LR-Track	Medición continuada de distancias, sin reflector (5mm + 2 ppm)
LR-prism	Distancias largas. Para medir con prismas (5mm + 2 ppm)

Tabla 2.2 Tipos de prisma y modo de medición.

Prismas Leica Prismas	Constante [mm]	Prisma
Constante [mm] [mm]	0	
Prisma 360° GRZ4	23.1	
Miniprisma 360° GRZ101	30	
Miniprisma GMP101/102	17.5	
JPMINI	34.4	Miniprisma
Diana reflectante	34.4	
USUARIO	--	Se fija en „Prismconst“(-mm+ 34.4; z.B.: mm = 14 -> Introducción = -14 + 34.4 = 20.4)
LR	34.4	Sin reflector

Fig.2.3 Características de los prismas y sus constantes.



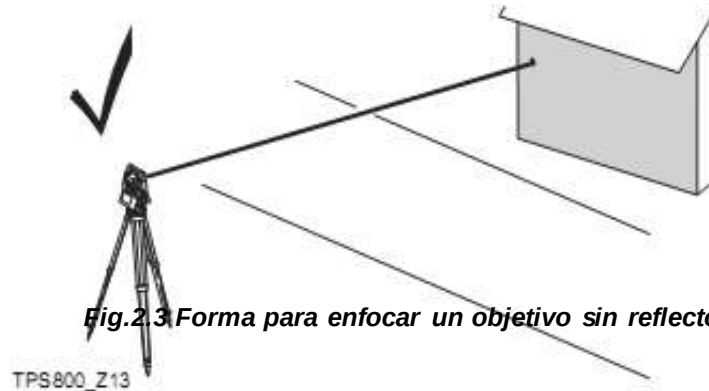


Fig.2.3 Forma para enfocar un objetivo sin reflector.

2.3 MÉTODO PARA LA EJECUCIÓN DE LA EXCAVACIÓN.

2.3.1 Trabajos preliminares a la excavación.

Antes de dar inicio a la excavación es muy importante asegurarse que queden definidos los niveles, cotas, ejes, centros y todas las referencias topográficas necesarias, de este modo se podrá reducir en gran medida errores de ubicación, ya que por las dimensiones del proyecto se trabaja al mismo tiempo con las otras disciplinas (mecánica, eléctrica, tuberías, sistemas enterrados y civil), y que finalmente todo tiene que coincidir.

Para referenciar los niveles del desplante de la cimentación se insertan trompos de madera en el suelo, esto facilita el uso de maquinaria, esta referencia se toma en cuenta del centro del tanque menos 10 cm de plantilla, el centro de la cimentación es la que tiene el nivel más elevado, de ahí se va desplantando los niveles más bajos de la cimentación.



Fig. 2.4 Inicio de la excavación para el desplante de la cimentación de los tanques.





Es conveniente trazar el área de la excavación con cal tomando en cuenta la *sobreexcavación*, la *sobrescavación* se considera tomando en cuenta el espacio que necesitan los obreros para que puedan trabajar libremente dependiendo también de la profundidad de la cimentación, en ICA Fluor en todas sus excavaciones (por seguridad) se les hace un talud cuando las condiciones del sitio lo permitan (más adelante se explica la inclinación necesaria del talud dependiendo del material que se está excavando), cuando no sea posible esto, entonces se colocan ademes para protección de los trabajadores en caso de que ocurran derrumbes.

Respecto a la profundidad de la excavación se considera 10 cm por debajo del desplante de la cimentación para la colocación de la plantilla. Además, antes del comienzo de los trabajos, es preciso conocer una serie de circunstancias que pueden incidir en la seguridad de los trabajadores como lo son:

- Características del terreno en relación a los trabajos que se van a desarrollar, tales como: talud natural, nivel freático, contenido de humedad, posibilidad de filtraciones, estratificaciones, alteraciones anteriores del terreno, etc.
- Proximidad de edificaciones y características de sus cimentaciones, así como posibles sobrecargas en las proximidades de las paredes de la excavación.
- Existencia de fuentes de vibraciones, (carreteras, fábricas, etc.).
- Existencia o proximidad a instalaciones y conducciones de agua, gas, electricidad y alcantarillado. Dada la naturaleza de estos trabajos, será imprescindible la existencia al frente de ellos de un técnico responsable.

2.3.2 Tipos de excavaciones.

Las excavaciones son unas de las primeras actividades que están siempre en construcción de casi de cualquier obra. Podemos hacer una clasificación de manera muy general para diferenciar los diferentes tipos de excavaciones:

- Excavaciones a cielo abierto.
- Excavaciones subterráneas.
- Excavaciones manuales.
- Excavaciones mecanizadas.
- Excavaciones especiales.
- Excavaciones subacuáticas.
- Dragados.





En este proyecto las excavaciones que se realizaron son a de cielo abierto, manuales, mecanizadas y el dragado, este último se considerara en la segunda etapa del proyecto, “construcción de los muelles de atraque y de amarre”.

2.3.3 Clasificación de los materiales de excavación.

Los materiales excavados durante la construcción se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Roca.
- Material común.
- Material no clasificado.
- Material inadecuado.
- Derrumbes.

2.3.4 Inicio de la excavación en el área de los tanques y recomendaciones de seguridad.

Es importante elegir la maquinaria idónea para obtener un rendimiento adecuado en precio y tiempo, estos son los dos factores que más inciden en la realización de cualquier obra.

Fundamentalmente las retroexcavadoras son las maquinas más utilizadas, sin embargo, las palas mecánicas, traillas, *bulldozer* etc., también tienen su aplicación en cada momento y circunstancia.

Antes de iniciar el proceso de excavación es necesario planearlo adecuadamente, para ello hay que tener en cuenta los siguientes criterios:

- El tamaño de los equipos debe ser proporcional a los espacios disponibles y las necesidades de producción.
- Los modelos de operación de los equipos deben ser tales que no se presenten interferencias entre las distintas unidades.
- El trabajo asignado a las diferentes máquinas debe ser compatible con sus características.
- Antes de iniciar una excavación deben evaluarse varias alternativas de ejecución.
- Es absolutamente necesario analizar previamente el uso potencial de los materiales excavados.





Para la excavación se utilizó; dos retroexcavadoras, una motoniveladora, un rodillo combinado y cuatro camiones tipo volteo. Se abren dos frentes de excavación, una retroexcavadora por cada frente que van excavando en sentido contrario una con respecto de la otra.

La retroexcavadora consta de un aguilón, un brazo y un cucharón, el brazo del cucharón va articulado en la punta del aguilón para proporcionar acción de palanca, esta ha sido ideada para que excave bajo la superficie (en la mayoría de los casos) combinando el efecto de excavación por tracción hacia dentro (propio de la draga de arrastre) con el del cucharón excavador accionado por piezas rígidas característico de las palas, permitiendo un trabajo más preciso.



Fig.2.5 Excavación, nivelación y mejoramiento de suelo.

Los materiales se clasifican de acuerdo a su dificultad de extracción y de carga tomando en cuenta lo siguiente:

- Dureza de los materiales.
- Granulometría a la extracción.
- Resistencia a la compresión simple.
- Clasificación visual y al tacto.
- Dificultad de extracción y carga.
- Topografía del terreno.
- Clima.
- Rendimiento medio de la maquinaria.





MATERIAL	INSTRUMENTOS Y/O EQUIPO DE EXCAVACIÓN.
TIPO I:	Pico, pala, cincel y marro manual o tractor con cuchilla.
TIPO II:	Pico, pala mecánica o tractor con cuchilla.
TIPO III:	Con máquina retroexcavadora.
TIPO III-A:	Explosivos y/o equipo neumático.

Tabla 2.4 Clasificación de los tipos de materiales en forma general.

2.3.5 Medidas de seguridad a tomar para las excavaciones.

En las excavaciones y en los trabajos que en ellas se realizan el riesgo principal se origina en los movimientos accidentales del terreno que provocan deslizamientos, desprendimientos y hundimiento, con el consiguiente sepultamiento de personas. Estos accidentes, suelen ser de cierta gravedad y relativamente frecuentes, dándose como causa admitida la fatalidad, cuando en la mayoría de los casos es falta de previsión o confianza excesiva.

Con este tema lo que se pretende es, aumentar el nivel de información y formación de los trabajadores del sector de la construcción, así como de aquellas personas que estén interesadas en materia de seguridad y salud, con el fin, de contribuir al descenso del número de accidentes laborales.

Para ello, el trabajo a realizar parte de un reconocimiento del estado en que se encuentran los terrenos sobre los que se trabaja y de las actuaciones previas que debemos realizar antes de comenzar los trabajos, señalando las medidas de seguridad necesarias, a fin de evitar o reducir los riesgos. Además, hay que indicar los criterios de planificación y diseño de las excavaciones a realizar considerando los distintos sistemas de entibación de tal manera que, ésta información sirva para elegir el método más apropiado, en función de las características y condicionantes de la obra.

Cuando se conozca de la existencia de sistemas enterrados es preciso antes de proceder a excavar, conocer la situación exacta de los servicios que afecten al terreno, con los datos aportados por los diferentes organismos marcándolos en el terreno, el sitio exacto donde están ubicadas, eligiendo un sistema que perdure hasta la realización de la excavación en esa zona, anotando la profundidad exacta a la que se encuentran éstas y protegiéndolas ante eventuales de sobrecargas producidas por la circulación de vehículos pesados.

La excavación se realiza mecánicamente hasta 1.00 metro antes de llegar a la conducción y a partir de entonces, la excavación debe ser manual o con perforadores neumáticos, picos, etc., hasta 0.50 m., a partir de esta distancia se utilizan medios completamente manuales.



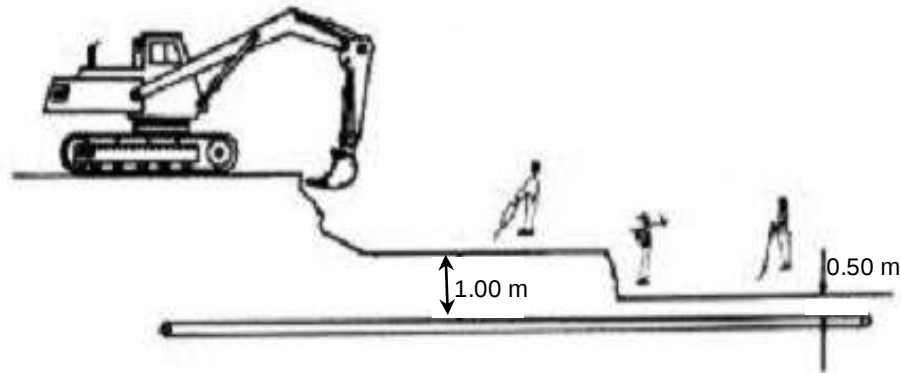


Fig.2.6 Niveles de seguridad.

Una vez localizada la canalización (en caso de que existan) se arriostra convenientemente para evitar que se rompa por su propio peso. La rotura de conducciones de agua, directamente o por descalce del terreno puede dar lugar a socavones, corrimientos y desprendimientos. Las de gas pueden producir explosiones y emanaciones tóxicas.

Los cables enterrados con corriente eléctrica generalmente sólo provocan un tipo de accidente, que es, la electrocución por el contacto directo a consecuencia de la perforación del aislamiento, la corriente eléctrica se conduce a través de la herramienta que se está usando para excavar (pala, martillo perforador, pico, etc.).

La perforación de un saneamiento o galería desconocida que podamos encontrar al excavar, puede ocasionar un accidente típico, originado por el hecho de que existan emanaciones de gases tóxicos, principalmente monóxido de carbono (CO) que, al descender los trabajadores sin las debidas protecciones, se intoxiquen. En este accidente, de producirse suele darse siempre más de una víctima, ya que generalmente al quedar inconsciente el primer trabajador siempre hay un segundo trabajador como mínimo que, precipitadamente y sin protección baja a rescatarle quedando también intoxicado.

Los riesgos que se producen en la perforación o rompimiento de una conducción de gas son principalmente:

- Intoxicación.
- Explosión.

La explosión de una conducción próxima a la excavación, también se puede originar porque al romper una conducción de agua, ésta nos produzca un socavón quedando al aire la tubería del gas, partiéndose la misma. Es conveniente en muchos casos, apuntalar las tuberías, o simplemente suspenderlas.





Cuando iniciamos una excavación, estamos rompiendo el equilibrio que existe entre un sistema de fuerzas o tensiones. Si realizamos la excavación en arena seca, los granos de las paredes se deslizan hacia el fondo y este desplazamiento se detiene cuando se consigue un cierto ángulo de talud natural, éste ángulo es independiente de la altura del talud. La arena es un suelo sin cohesión, si hacemos la misma operación en una arcilla podemos obtener una cierta profundidad con paredes casi verticales, en este caso podríamos ver que el ángulo de talud natural varía con la altura ya que la arcilla tiene mayor cohesión.

Entre una arena pura y una arcilla plástica existe una extensa gama de suelos, con diferentes coeficientes de fricción y cohesión. La experiencia, nos muestra que el suelo tiende siempre a restablecer este equilibrio que estamos rompiendo. En algunos casos, lo hace de inmediato, (caso de la arena) en otros, es más lento y puede durar horas, días, meses e incluso años.

Si conociéramos ese tiempo, podríamos realizar la excavación sin riesgo, pero el restablecimiento de este equilibrio depende de múltiples factores que sólo podemos obtener de un estudio exhaustivo como lo son:

- Ángulo de fricción interno.
- Granulometría.
- Consistencia.
- Humedad.
- Permeabilidad.
- Estratigrafía, buzamiento y fallas.
- Factores climatológicos, (aguas, lluvias, hielos, sequía).
- Vibraciones

Existen dos factores que intervienen en la estabilidad de las excavaciones:

1.- Profundidad crítica. Se llama profundidad crítica de excavación de un terreno, a la profundidad máxima que se puede excavar en pared vertical estable, sin ningún tipo de fortificación, como referencia podemos dar los siguientes datos:

Terreno	Profundidad crítica m.
Arena cohesiva	1.25
Arcillosos	1.50
Muy compactos, sin rocas y con martillos rompedores	1.80
Muy compactos, sin roca, con picos	2.00





Compactos, con maquinaria y sin obreros	3.00
---	------

Tabla 2.4 profundidades críticas.

Los factores que influyen en la estabilidad de los terrenos y que pueden afectar la profundidad crítica son los climatológicos y las sobrecargas.

Entre los primeros distinguimos a el hielo, ya que, en invierno el terreno es más compacto por las heladas, por lo que aparentemente se puede excavar a mayor profundidad en pared vertical, si hay una subida de temperatura, el hielo se vuelve a estado líquido disminuyendo el volumen, por lo que el terreno se hace más esponjoso, menos resistente y surge la posibilidad de derrumbamiento. Así mismo, en terrenos arcillosos el agua actúa como lubricante de la arcilla originando desplazamientos de masas más o menos compactas.

Otro factor climatológico es el agua de lluvia o la procedente de rupturas de conducciones, que pueden dar lugar a la inundación de las zonas bajas con el consiguiente peligro de diluir el terreno o socavar las paredes de la excavación. Si es necesario, se recurre a las bombas de achique.

Dentro del segundo grupo de factores modificativos de la profundidad crítica de excavación, se encuentran las sobrecargas, que a su vez pueden ser estáticas y dinámicas.

Las sobrecargas estáticas, pueden ser ocasionadas por diversas circunstancias y la forma de minimizar el riesgo de derrumbe es como a continuación se describe:

- Tierras acumuladas al borde de zanjas que deben ser colocadas a una distancia suficiente del borde de la excavación para no sobrecargar el terreno cercano a la excavación y que pueda ocasionar desprendimientos o corrimientos de tierras, adoptando como mínimo, una distancia igual o mayor a la mitad de la profundidad de la zanja, como regla general. En terrenos arenosos, ésta distancia será mayor o igual a la de la profundidad de la zanja.
- Los materiales y conducciones, para ser empleados como relleno producto de la excavación deben ser lo suficientemente apartados de los bordes para evitar derrumbamientos.
- Soportes en las líneas eléctricas aéreas, postes de teléfonos, etc.
- Pies derechos de andamios elevados en el suelo.
- Los muros y cimientos de obras de lindero serán convenientemente apuntalados.





- Las raíces de los árboles pueden originar zonas menos compactadas debido a los huecos que se originan provocando desprendimientos con posibilidad de derrumbamiento.

Las sobrecargas dinámicas, son producidas por la circulación de vehículos en movimiento por la proximidad de las obras a las carreteras, vías férreas, calles, así como las vibraciones ocasionadas el movimiento de la maquinaria propia en la obra. Por ello, se toman precauciones para la circulación de maquinaria al borde de la excavación, sobre todo en el caso de lluvia reciente, no debe estar personal trabajando debajo a su paso, ya que hay que considerar la heterogeneidad del terreno, puesto que una sobrecarga afecta la estabilidad parcial del talud.

Haciendo una clasificación general de los terrenos según su estabilidad tenemos que los suelos pueden ser:

- Estables, (rocosos, calizos, margas).
- Poco estables, (gravas, con arcilla, terreno de arrastre).
- Movedizos, (gravas sueltas y arenas).

En los terrenos rocosos, si no existen fisuras no suelen dar problemas, sin embargo, hay que tener precauciones con los estratos inclinados cuando su inclinación está orientada hacia el corte. La unión de los estratos de rocas sedimentarias conglomerados que puedan ser estables, (como en granitos o calizas) o de estabilidad reducida como sedimentarias, los bancos de gravas y arenas merece especial atención, puesto que éstos pueden producir deslizamientos si la inclinación es fuerte. Los estratos de arenas y gravas, si son compactos, están menos propensos a deslizamientos, pero se disgregan con facilidad con el tiempo.

Cuando su compacidad es pequeña pueden producir deslizamientos cayendo directamente o dejando huecos tras la entibación pudiendo provocar desmoronamientos totales del frente. Se debe desconfiar de los terrenos arcillosos, pues son extraordinariamente sensibles a la acción de la humedad.

Éstos y algunos terrenos de esquistos o calcáreos con restos orgánicos, (caparazones microscópicos), pueden plastificarse con el agua, presionando entonces con el peso propio y el de los estratos superiores sobre el corte. Pueden aparentar buena estabilidad a primera vista, pero la variación del grado de humedad, en condiciones muy secas produce contracciones y fisuras, que facilitan su rotura y deslizamiento. Los terrenos no naturales o de relleno, son peligrosos si no están suficientemente compactados ni unidos homogéneamente al terreno natural anterior al relleno.

2. - **Taludes**, el límite de la estabilidad de un terreno es dado por el ángulo del talud natural de suelo que se trate. Este ángulo, es el de máxima pendiente (ángulo con la horizontal) que el





plano de una pared excavada de cualquier altura puede mantener indefinidamente sin que el material tienda a deslizarse o desmoronarse.

	Excavaciones en terreno virgen o terraplenes homogéneos muy antiguos				Excavaciones en terrenos removido recientemente o terraplenes recientemente			
Naturaleza del terreno	TERRENOS				TERRENOS			
	Secos		Inmersos		Secos		Inmersos	
	Ángulo con la horizontal	Pendiente	Ángulo con la horizontal	Pendiente	Ángulo con la horizontal	Pendiente	Ángulo con la horizontal	Pendiente
Roca dura	80°	5/1	80°	5/1	---	---	---	---
Roca blanda o fisurada	55°	7/5	55°	7/5	---	---	---	---
Restos rocosos, pedregosos, derribos	45°	1/1	40°	4/5	45°	1/1	40°	4/5
Tierra fuerte (mezcla de arena y arcilla) mezclada con piedra y tierra vegetal	45°	1/1	30°	3/5	35°	7/10	30°	3/5
Grava, arena gruesa no arcillosa	35°	7/10	30°	3/5	35°	7/10	30°	3/5
Arena fina no arcillosa	30°	3/5	20°	1/3	30°	6/10	20°	1/3

Tabla 2.5 Ángulos de inclinación y pendientes de los taludes.

Para profundidades inferiores a 1.30 m. en terrenos coherentes y sin solicitud de viales o cimentaciones podrán realizarse cortes verticales sin entibar, en terrenos sueltos o que estén solicitados deberá llevarse a cabo una entibación adecuada. Para profundidades mayores el adecuado ataluzado de las paredes de excavación, constituye una de las medidas más eficaces frente al riesgo de desprendimiento de tierras. La *tabla 2.6 Inclinaciones y pendientes de los taludes que dependen de la naturaleza y contenido en agua del terreno*, sirve para determinar la altura máxima admisible en metros de taludes libres de solicitaciones, en función del tipo de terreno, del ángulo de inclinación de talud no mayor de 60° y de la resistencia a compresión simple del terreno.

La altura máxima admisible H máxima en cortes ataluzados del terreno, provisionales, con ángulo comprendido entre 60° y 90° (respecto a la horizontal), sin someter a una sobrecarga y sin entibar, podrá determinarse por medio de la *tabla 2.6 Inclinaciones y pendientes de los taludes que dependen de la naturaleza y contenido en agua del terreno* en función de la resistencia a compresión simple del terreno y del peso específico aparente de éste. Como medida de seguridad





en el trabajo contra el "venteo" o pequeño desprendimiento se emplearán bermas escalonadas con mesetas no menores de 0.65 m y contramesetas no mayores de 1,30 m.

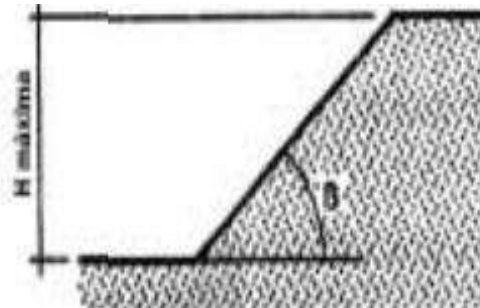


Fig. 2.7 Ángulo de inclinación del talud.

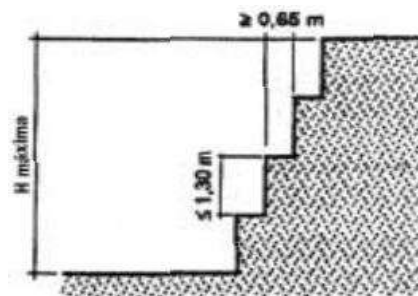


Fig. 2.8 Excavación escalonada.

		Resistencia a compresión simple R_u en kg/cm^2				
		0.250	0.375	0.500	0.625	+ 0.75
Arcilla y limos muy plásticos	30°	2.40	4.60	6.80	7.00	7.00
	45°	2.40	4.00	5.70	7.00	7.00
	60°	2.40	3.60	4.90	6.20	7.00
Arcillas y limos de plasticidad media	30°	2.40	4.90	7.00	7.00	7.00
	45°	2.40	4.10	5.90	6.30	7.00
	60°	2.40	3.60	4.90	6.30	7.00
Arcilla y limos poco plásticos, arcillas arenosas y arenas arcillosas	30°	4.50	7.00	7.00	7.00	7.00
	45°	3.20	4.40	7.00	7.00	7.00
	60°	2.50	3.90	5.30	6.80	7.00

Altura H máxima en metros

Tabla 2.6 Inclinaciones y pendientes de los taludes que dependen de la naturaleza y contenido en agua del terreno.





Resistencia a compresión simple R_u en kg/cm^2	Peso específico aparente g en g/cm^3				
	2.20	2.10	2.00	1.90	1.80
0.250	1.06	1.10	1.15	1.20	1.25
0.300	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
0.400	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10
0.500	2.10	2.20	2.30	2.45	2.60
0.600	2.60	2.70	2.80	2.95	3.10
0.700	3.00	3.15	3.30	3.50	3.70
0.800	3.40	3.60	3.80	4.00	4.20
0.900	3.90	4.50	4.70	4.95	4.70
1.000	4.30	4.50	4.70	4.95	5.20
1.100	4.70	4.95	5.20	5.20	5.20
+ 1.200	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20

Tabla. 2.7 Resistencias a la compresión.

En ICA Fluor todas las excavaciones a cielo abierto se realizan formando un talud de acuerdo con la *tabla 2.5 ángulos de inclinación y pendientes de los taludes*, cuando por cuestiones del terreno o por la cercanía de otras construcciones no sea posible conformarle el talud a la excavación, se le colocan ademes y se mantienen hasta que la excavación se rellene y se compacte. Se tendrá precaución en la operación de colocación de ademes por ser la más peligrosa, debido a los derrumbes rápidos del terreno y no se debe remover los ademes mientras haya operarios dentro de la excavación. Además, no deben permanecer dentro de la excavación cuando estén equipos trabajando en su interior o cerca de ella.

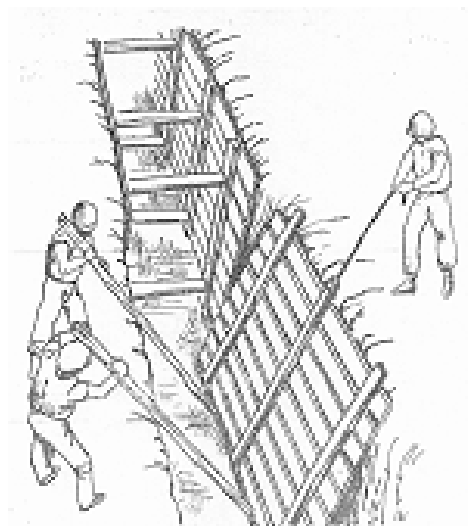


Fig. 2.9 Colocación de ademes para entibar las excavaciones.





El material producto de excavación, si es adecuado y aprobado por el laboratorio de materiales es usado para relleno y la compactación, si el material no es aprobado, este es retirado del sitio a un lugar autorizado por las autoridades municipales.

2.4 MÉTODO DE EJECUCIÓN DEL RELLENO Y COMPACTADO PARA MEJORAR EL SUELO.

2.4.1 Método de relleno.

Las actividades de relleno se hacen con material previamente autorizado por el laboratorio, con la finalidad de hacer un mejoramiento en las condiciones del suelo donde se desplanta la cimentación de cada tanque, el mejoramiento se realiza con material producto de excavación y con materiales de banco, dependiendo de los resultados de granulometría y cohesión realizados por el laboratorio de materiales. El material utilizado para el mejoramiento del suelo en el anillo de la parte exterior de la cimentación de los tanques, es una base hecha con una mezcla de grava-arena-arcilla colocado en capas de 15 cm de espesor cuando se compacte con ayuda de apisonadores de placa (bailarinas), y de 30 cm cuando se compacte con maquinaria pesada.

Se homogeniza el material a utilizar como relleno antes de tenderlo en la capa que le corresponde rellenar, se deja 50 mm por encima del espesor de la capa, para que la capa compactada final quede de 15 o 30 cm (dependiendo del equipo de compactación utilizado).

2.4.2 Método de compactación.

Se entiende por compactación a la aplicación mecánica de cierta energía, o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión de aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso volumétrico o específico.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecido procedimientos para llevar a cabo la compactación de los suelos. Los métodos de compactación de acuerdo a la forma de aplicación pueden clasificarse en:

- Compactación por impacto (Compactación dinámica).
- Compactación por carga estática.
- Compactación por amasado.
- Compactación por vibración.
- Compactación mixta.





La compactación por vibración es la que se utiliza para el mejoramiento del suelo en la cimentación de los tanques. Basándose en la utilización de una masa excéntrica que gira dentro de un rodillo liso, dicha masa produce una fuerza centrífuga que se suma al peso de la máquina, produciendo presión sobre el suelo.

El equipo utilizado es el compactador o rodillo liso combinado (vibrocompactador). Este equipo se utiliza cuando las características geométricas (largo y ancho) permiten su uso. En los casos donde la zanja o excavación no sea posible el uso de este equipo, entonces se utiliza la apisonadora de placa (conocidas como bailarinas) este equipo permite trabajar en áreas reducidas o restringidas.



Fig. 2.10 Relleno y compactación del suelo para su mejora.

2.5 MÉTODO PARA DETERMINAR EL GRADO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.

Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción lubricante del agua hasta que llega un momento en el que el peso volumétrico del material seco alcanza un valor máximo, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad.

Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de partículas y el mayor peso volumétrico o específico del material seco para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso volumétrico o peso específico seco máximo.





Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocupa el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose en consecuencia pesos volumétricos que van siendo menores a medida que el agua aumenta, como es el caso típico de suelos saturados.

El contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta se obtienen mayores pesos volumétricos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación tienen en general mayores pesos volumétricos y menores contenidos de agua que los suelos finos.

Después de la compactación de cada capa el personal de laboratorio verifica que la compactación tenga un 98 % (como mínimo), mediante pruebas *in situ*. El método utilizado en el proyecto es el del densímetro nuclear, este método es utilizado por su rapidez ya que, para las dimensiones del proyecto el número de pruebas a realizar son demasiadas que con otro método resultaría tardado en realizar todas las pruebas de compactación requeridas.

2.5.1 Método del densímetro nuclear.

Este método opera con el principio de que los suelos densos absorben más radiación que los suelos sueltos. El densímetro se coloca sobre el suelo a probar que, al conectar el aparato éste emite unos rayos Gamma de una fuente radiactiva los que penetran en el suelo y, según sea el número de huecos que existan, un número de rayos se reflejan y vuelven a la superficie, esta densidad se compara con la máxima Proctor y se obtiene la densidad relativa Proctor.

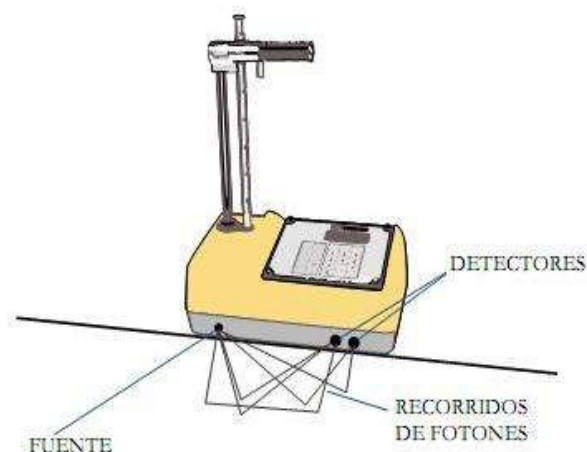


Fig. 2.11 Densímetro nuclear.





Existen dos modos para la medición de densidad en materiales de construcción, el modo de retrotransmisión y el modo de transmisión directa.

1.- Modo por retrotransmisión

El modo de retrotransmisión es rápido y no destructivo, la fuente de emisiones gamma y los detectores permanecen dentro del densímetro. El densímetro es colocado sobre la superficie del material a analizar, las emisiones gamma penetran el material evaluado, entonces; las emisiones que son recibidas por los detectores son cuantificadas. La retrotransmisión es usada principalmente en capas delgadas para superficies asfálticas o losas de concreto hidráulico.



Fig. 2.12 Densímetro nuclear a modo de retrotransmisión.

2.- Modo de transmisión directa

En este modo de operación, la fuente gamma se posiciona a una profundidad específica, dentro de la capa del material a evaluar mediante su inserción a través de un orificio realizado directamente en el suelo. Las emisiones gamma son transmitidas a través del material hacia los detectores dentro del densímetro. Este modo de operación minimiza la incertidumbre ocasionada por las superficies rugosas y la composición química del material evaluado, determinando una elevada exactitud en las mediciones. La transmisión directa es utilizada para la evaluación en capas con espesor de medio a grueso (capas mayores a 15 cm. de espesor), de suelos con agregados de medios a gruesos.



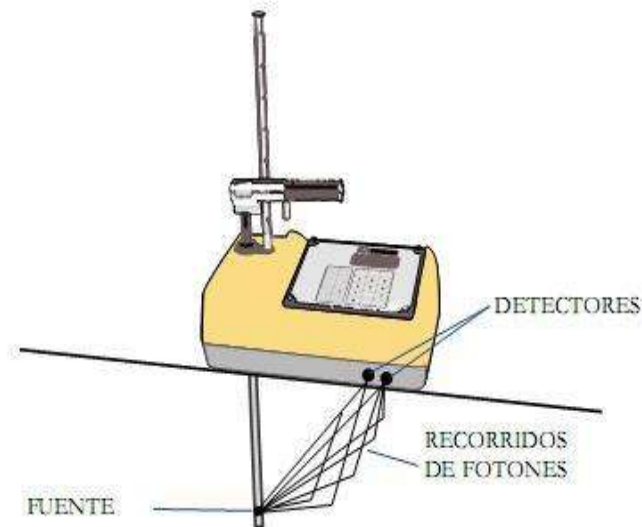


Fig. 2.3 Densímetro nuclear a modo de transmisión directa.

2.5.2 Número de determinaciones de control.

Un promedio basado en pocos ensayos es menos confiable que uno basado en un gran número de ellos, se requieren más mediciones para obtener un valor medio de mayor precisión, también se requieren más determinaciones cuando la diferencia entre los valores extremos de los datos se incrementa.

En todos los casos, la información es más confiable cuanto mayor es el número de muestras ensayadas, no obstante, el número de muestras que se toman está limitado por el costo y el tiempo que requieren los ensayos, por ende, optimizar el número de muestras y de ensayos es un objetivo deseable.

El número de determinaciones para el control, se efectúan tres a cada 100 m² por capa construida, alternando entre el borde izquierdo, el eje y borde derecho. Los niveles finales y coordenadas son verificados una vez más por el topógrafo de sitio para asegurarse de que las elevaciones de desplante y la ubicación de la cimentación sean los correctos.

2.6 EJECUCIÓN DE LA PLANTILLA DE CONCRETO.

La plantilla es la capa de concreto pobre la cual se coloca entre la cimentación y el suelo, es donde se desplanta la cimentación con el objetivo de evitar la contaminación del concreto y que el acero este en contacto con el suelo, la plantilla sirve también para poder garantizar el recubrimiento adecuado en el lecho inferior de la cimentación.





La plantilla de concreto se hace en dos etapas dividiendo el área del círculo de la cimentación de cada tanque por la mitad, el espesor de la plantilla es de 100 mm con una mezcla de concreto pobre prefabricado de resistencia $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$. El cemento que se utiliza para la elaboración del concreto para la plantilla es del tipo CPO-30 normal a 28 días, no bombeable para el perímetro de la cimentación exterior y bombeable en el centro de la losa de cimentación y el revenimiento será mínimo de 10 cm y máximo de 18 cm.

Se coloca una frontera comúnmente de polines de madera de 4" x 4" x 8 ft que se fija al suelo, la forma más sencilla de hacerlo es, clavando tramos de varilla de 3/8" al suelo en ambos lados de la madera, se considera también un sobre ancho de plantilla de unos 400 mm, con la finalidad de tener el suficiente espacio para colocar la cimbra y poder troquelarla adecuadamente.

Antes de colar la plantilla de concreto se verifica por el topógrafo del sitio, los niveles y las coordenadas de cada tanque, para confirmar la localización, nivelación y elevación según lo indicado en los planos para el desplante de la cimentación.

Una vez liberada y documentada la frontera para la plantilla por topografía, la supervisión de construcción y control de calidad se comienza a vaciar el concreto, para el vaciado y colocación del concreto de la plantilla no es necesario el uso de vibradores y el acabado bastará únicamente mediante el regleado, cuidando de no dejar oquedades o irregularidades en la superficie del concreto, tampoco es necesario aplicar algún sistema de curado.

Se podrá ir armando el acero de refuerzo y la colocación de cimbra para la cimentación inmediatamente después de que el concreto de la plantilla haya fraguado. La frontera de madera si ya no es requerida también podrá retirarse.

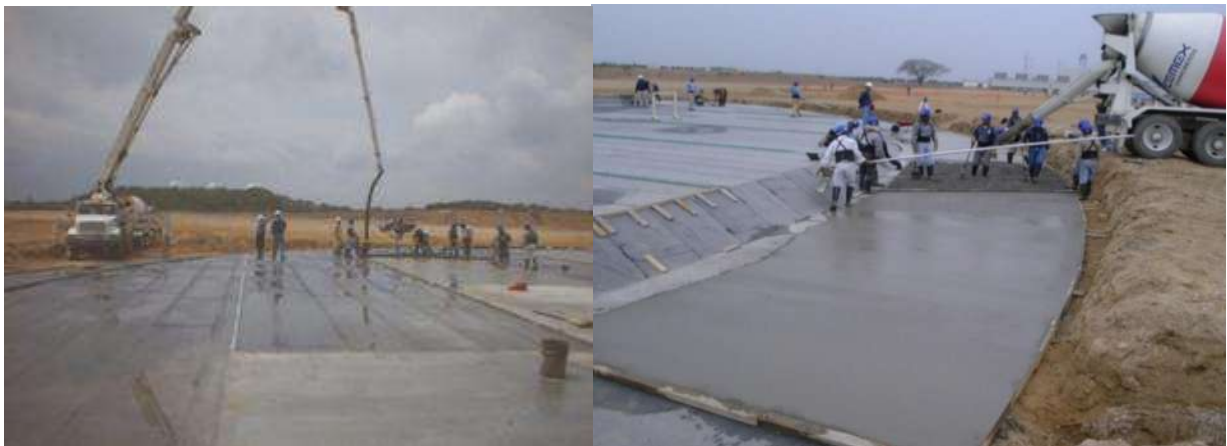


Fig. 2.14 Vaciado de concreto para la plantilla.



CAPÍTULO 3

Construcción De la cimentación Externa de T-1002 T- 1003

3.1 TRAZO PARA LA CIMENTACIÓN EXTERNA DE LOS TANQUES / 3.2 MATERIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD / 3.3 RESPONSABILIDADES / 3.4 HABILITADO Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO / 3.5 HABILITADO E INSTALACIÓN DE CIMBRA / 3.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PRESFUERZO EN “U” / 3.7 INSTALACIÓN DEL CONDUCTO CALEFACTOR / 3.8 INSPECCIÓN FINAL / 3.9 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO / 3.10 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DE EQUIPO / 3.11 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO





3 CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN EXTERNA DE LOS TANQUES T-1002 / T-1003

3.1 TRAZO PARA LA CIMENTACIÓN EXTERNA DE LOS TANQUES.

La construcción de la cimentación del tanque es una actividad especializada en este proyecto. La disposición general del arreglo y del equipo son requerida antes de la ejecución de desplante de la cimentación. También se hace una breve descripción de las actividades previstas para realizar cada vaciado de concreto (colado).

El trazo se hace directamente en la superficie de concreto de la plantilla, se traza el paño exterior de la zapata exterior del tanque en todo el perímetro, y el ancho del anillo de la cimentación externa. En esta etapa donde la construcción está en proceso no es necesario realizar documentación por parte de topografía, solamente el topógrafo lleva sus anotaciones en la libreta de tránsito, los registros oficiales solo se realizan cuando se tenga finalizado algún elemento o una entrega recepción entre disciplinas. Pero sí es necesario apoyar en todo momento a la obra civil, verificando y rectificando el trazo, elevaciones, dimensiones, espesores, alineación, ubicación, y niveles de cada elemento que se instale en la cimentación de los tanques.

Cada tanque cuenta con una cuadrilla de topografía de tiempo completo, y cada cuadrilla está equipada con una estación total marca *Leica* de la Serie TPS800. (descritas anteriormente en la sección 2.2 *Localización y construcción de mojoneras para la cimentación de los tanques T-1002 / T-1003*), integrada por un topógrafo y dos cadeneros.

3.2 MATERIALES Y SUS CARACTERISTICAS DE CALIDAD.

Los materiales utilizados en la construcción de los tanques deben contar con un certificado de calidad, análisis de pruebas de laboratorio según del material que se trate. Además, de apegarse estrictamente a las normas y estándares internacionales. Estos materiales son los mismos que se emplean para la construcción de la cimentación, muros, trabe circular y cúpula:

1. **Concreto.** El concreto utilizado y aprobado previamente por la gerencia de la constructora japonesa IHI, es concreto premezclado y suministrado por la concretera CEMEX, la cual debe presentar un análisis bacteriológico del agua que utiliza, pruebas granulométricas realizadas a los agregados y certificado de calidad del cemento.





a. El **agua** que se utiliza para la elaboración del concreto debe ser apta para el consumo humano, debe ser agua limpia y libre de impurezas como aceites, ácidos, residuos orgánicos y sobre todo libre de sustancias alcalinas.

En la construcción se tienen parámetros permisibles, en cuestión del agua que se utiliza para la elaboración del concreto se debe tener especial atención con las partículas disueltas, ya que son perjudiciales y que inciden en la calidad del concreto tales como las siguientes:

- El agua que contenga más de 2000 ppm (partes por millón), de sólidos disueltos puede afectar la resistencia del concreto.
- El agua que contenga carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio, puede reaccionar con el cemento acelerando el proceso de fraguado, y si el contenido es alto también disminuye la resistencia del concreto.
- Si el contenido de cloruros es alto, este puede producir corrosión en el acero de refuerzo, cables de tensionamiento del concreto presforzado y en los embebidos de acero.
- Se puede usar el agua que contenga menos de 1000 ppm de sulfato de sodio.
- El agua ácida, con un pH por arriba de 3, pueden crear problemas con el manejo.
- El agua que contiene algún tipo de hidrocarburos en concentraciones mayores al 2 %, pueden reducir la resistencia del concreto hasta en un 20%.
- Cuando este mezclada con agua de mar y la salinidad del agua sea superior del 3.5%, disminuye la resistencia del concreto en un 12 %, y si es superior al 5% la resistencia del concreto puede afectarse hasta en un 30%.

b. **Agregados pétreos.** De acuerdo a la norma N-CTM-2-02-002/02 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Los agregados pueden ser materiales pétreos naturales seleccionados, materiales sujetos a disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que al mezclarse con cemento y agua forman el concreto.

La clasificación de los agregados para la elaboración del concreto es:

• **Agregado fino.** Es arena natural seleccionado u obtenida mediante la trituración y cribado. Las partículas del tamaño deben pasar la malla N° 4 y retenidas en la malla N°200 (entre 4.75 milímetros y 75 micrómetros). Si el porcentaje que pasa la malla N°200 es mayor al 0.5 %, se





debe lavar la arena para eliminar el excedente de finos permisible para la elaboración de concreto de la terminal TLA de Altamira.

• **Agregado grueso.** Que pueden ser gravas de origen natural seleccionada u obtenida mediante la trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con un tamaño máximo de agregado (T.M.A.) de $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

c. **Cemento.** El cemento utilizado es un tipo CPP – 30 R RS, Cemento Portland Pozolánico clase 30 de resistencia inicial o temprana o resistencia mecánica a la compresión a tres días resistente a los sulfatos, basada en la norma mexicana NMX – C 414 – ONNCCE. Este tipo de cemento tiene excelente desempeño, alta resistencia, fraguado rápido y durabilidad, está especialmente diseñado para maximizar la durabilidad de la construcción sobre suelos salinos y es el mejor para obras expuestas a ambientes químicamente agresivos.

El diseño de la mezcla del concreto es de resistencia a la compresión de 35 MPa ($f_c=370$ km/cm²). El concreto es producido en la planta concretera primaria que tiene la capacidad de producir 74 m³/hr., ubicada a 3 kilómetros de la Terminal de regasificación y almacenamiento de GNL, y en la planta concretera de reserva ubicada sobre el Corredor Industrial de Cd. Madero, con la capacidad de producir concreto 88 m³/hr., y suministrado en camiones revolvedores de capacidad de 7 m³.

2. **Acero de refuerzo o varilla corrugada.** Las barras de acero normales del refuerzo con una fuerza característica especificada de $f_y = 420$ N/mm² de acuerdo con la norma ASTM 615 de grado 60, de 1 "y $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 12000 mm de longitud.

3. **Conducto del calentador.** El conducto del calentador es de tubo tipo conduit galvanizado de 1" de diámetro que se instala en un solo sentido, de este a oeste. La unión en cada tubo es mediante coples y se le aplica en la rosca cinta de sello o cinta tipo teflón.

4. **Tubería de presfuerzo en "U".** Los tubos de presfuerzo en "U" que se instalan y quedan embebidos en la cimentación externa de cada tanque. Se les coloca, a manera de refuerzo un espiral de varilla corrugada de $\frac{1}{2}$ " de diámetro que se insta antes de colocar la tubería en la posición adecuada. En el capítulo 7 se detallaría la forma de la instalación de tubería de presfuerzo y el proceso de postensado.

3.3 RESPONSABILIDADES.

Las responsabilidades del personal implicado en la construcción de los tanques T-1002 y T-1003, el nombramiento de puesto y su alcance dentro del proyecto se hace con la finalidad de un mayor control al ejecutar las actividades durante el proceso de construcción y es como sigue:





No.	Categoría	Responsabilidad
1	Encargado de sitio o gerente de sitio	Reporta al gestor de proyecto, es responsable de controlar y de administrar toda la construcción de los 2 tanques.
2	Superintendente de la construcción (civil)	Reportar al encargado de sitio o gerente de sitio, es responsable de la puesta en práctica total de los procedimientos constructivos, supervisión y control de la construcción en las actividades de la obra civil de los 2 tanques.
3	Superintendente del control de calidad	Reporta al encargado de sitio y es responsable de la puesta en práctica, sistema de gestión de calidad control de calidad, y del control total de la documentación para la acreditación de los certificados y la integración del dossier.
4	Supervisor del control de calidad del sitio civil	Reporta al superintendente del control de calidad, es responsable de la que se ejecuten correctamente las actividades de la obra civil. De verificar la calidad de los materiales y de su correcta instalación.
5	Sobrestante de acero de refuerzo	Reporta al encargado de la construcción (Civil), es responsable de todo el trabajo de acero del refuerzo.
6	Sobrestante de concreto	Reporta al encargado de la construcción (civil), es responsable de todo el trabajo concreto, así como del cimbrado, descimbrado y curado de concreto.
7	Supervisor seguridad, salud y medio ambiente	Reporta al encargado de la seguridad en el sitio, es responsable de todos los aspectos de la seguridad del tanque y deberá estar disponible en tiempo completo en las áreas de trabajo del tanque (uno por cada 50 operarios).

Tabla 3.1 Responsabilidades del personal técnico administrativo en sitio.

3.4 HABILITADO Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO.

El acero del refuerzo se habilita previamente en taller, se comienza con el habilitado de acero para el lecho inferior, posteriormente las varillas longitudinales, seguidas del lecho superior.

3.4.1 Recepción en obra y almacenaje.

El acero de refuerzo es aquel que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos o por temperatura, queda ahogado dentro de la masa del concreto, de aquí la importancia de que el acero llegue a obra en perfectas condiciones físicas, aunque existen varias formas de hacer uso de un acero cuando contenga oxidación, este contaminado con al algún hidrocarburo, etc., implica un sobre costo y retrasos en el programa de





ejecución de obra, es preferible revisar las condiciones antes de que se reciba, y hacer un adecuado almacenamiento:

El acero debe estar calzado en madera para evitar el contacto directo del acero con el suelo, ya que al estar en contacto con el suelo sufre una fuerte oxidación, como se mencionó anteriormente se podría limpiar con un cepillo o carda metálica si la oxidación no es tan severa, se presenta una oxidación más profunda se puede retirar esta con un ataque químico, pero reduce el diámetro de la sección.

Se cubre con un plástico para evitar oxidación por lluvia a simplemente para que no quede expuesto a la intemperie, se debe colocar libre de oxidación, sin grasa, quiebres, escamas, deformaciones e imperfecciones que afecten su uso. La presencia de escamas u oxidación no es causa de rechazo sólo sí, estas desaparecen al limpiar manualmente con un cepillo de alambre.

De acuerdo a la norma NMX-C-407-ONNCCE, y al ACI 318, no se permite enderezar o desdoblar varillas más de una vez, ya sea por corrección de armado o para su reutilización. Si por alguna circunstancia el acero de refuerzo a permanecido almacenado un tiempo considerable (o no se tiene certeza de su procedencia) se encuentra oxidado o deteriorado, se deben realizar una vez más las pruebas de laboratorio necesarias para determinar si el acero es apto para utilizarse o no.

El acero tiene algunas marcas de datos como las que se describen a continuación para su identificación:

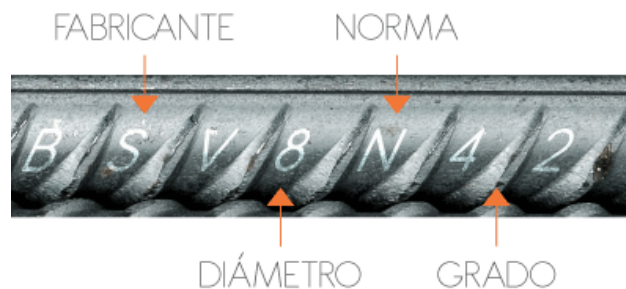


Fig.3.3 Marcas para identificar el acero corrugado.

3.4.2 Cortes del acero de refuerzo.

Los cortes se realizan con cortadora de varillas eléctrica, con cortadora de acero de disco de 24", cizallas o con segueta, pero nunca se realizan los cortes con algún equipo de oxicorte o de acetileno.





La cortadora eléctrica que se utiliza para habilitar más del 90 % del total de acero para el proyecto es una cortadora marca SIMA modelo CEL-30, cuyas características maximizan el rendimiento:

- El corte del acero se realiza manualmente pasado la barra por la abertura existente en entre las cuchillas.
- La cortadora dispone de un anillo para su elevación.
- Los mecanismos internos sujetos a esfuerzos y desgaste están tratados térmicamente lo que garantiza mayor duración.
- Las cuchillas de las mandíbulas de la cortadora son intercambiables, por ser rectangulares con cuatro caras útiles para realizar los cortes.
- Fácil de accionar para realizar los cortes por medio de un pedal.
- Fácil de instalar.
- Diseño para facilitar el traslado y poder cortar a pie de obra.

Fig.3.4
de mordazas.

Con éste se puede cortar de 5 varillas de de 3 varillas de 2 Varillas de facilidad de

1 1/4". Con esta cortadora se tiene un rendimiento de hasta 50 cortes por minuto, dependiendo de la destreza del operario.



Cortadora eléctrica

tipo de cortadoras, acero en paquetes 3/8" y 1/2", paquetes 5/8", paquetes de 3/4", y con gran diámetros de 1" y

3.4.3 Ganchos y dobleces.

Los ganchos y dobleces de acero se realizan en su mayoría con una dobladora eléctrica también de la marca SIMA, para el habilitado y armado de acero de refuerzo se realizan tomando en cuenta lo descrito en la norma mexicana NMX-B-294-1986 y NMX-C-407-ONNCCE-2001.





Fig. 3.5 Doblado de acero en la dobladora eléctrica.

- a) Los ganchos estándar para el refuerzo principal deben consistir de:
- Un doblado a 180° más una extensión del extremo libre de la varilla de $4d_v$, pero no menor de 6.5 cm (donde “ d_v ” es el diámetro de la varilla).
 - Un doblado a 90° más una extensión de $12d_v$ del extremo libre de la varilla.
- b) Los ganchos estándar para estribos y ganchos de amarre deben consistir de:
- Un doblado a 90° más una extensión de $6d_v$ del extremo libre de la varilla, para varillas del No. 5 y menores.
 - Un doblado a 90° más una extensión de $12d_v$ del extremo libre de la varilla, para varillas del No 6 al No. 8.
 - Un doblado a 135° más una extensión de $6d_v$ del extremo libre de la varilla, para varillas del No 8 y menores.
- c) Doblado.
- Todo el refuerzo debe doblarse en frío. Doblar en caliente requiere la supervisión de personal calificado para controlar el proceso y las varillas calentadas no deben enfriarse por medios artificiales.
 - Las varillas parcialmente ahogadas en concreto no se deben doblar, excepto cuando así se indique en los planos de diseño.
 - El diámetro del doblado medido en la cara interior de la varilla o de los estribos, no debe ser menor que el de los valores indicados en la *tabla 3.2 Diámetros mínimos de doblado*
 - El diámetro interior de los dobleces en malla soldada de alambre corrugado o liso, para estribos y anillos, no debe ser menor de $4d_v$, para acero corrugado mayor del D6 y $2d_v$ para los demás diámetros del acero. El doblado con un diámetro interior menor de $8d_v$, no debe estar a menos de $4d_v$ de la intersección soldada más cercana.





Para refuerzo principal	
# 3 al 8	6dv
#9, 10 y 18	8dv
# 14 y 18	10dv
Para estribos y ganchos de amarre	
# 3 al 5	4dv
# 6 al 8	6dv
dv es el diámetro nominal de la varilla	

Tabla 3.2 Diámetros mínimos de doblado.

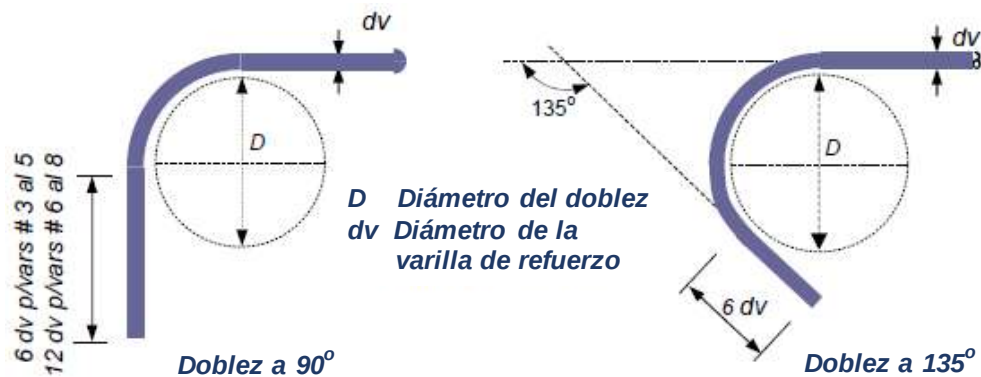
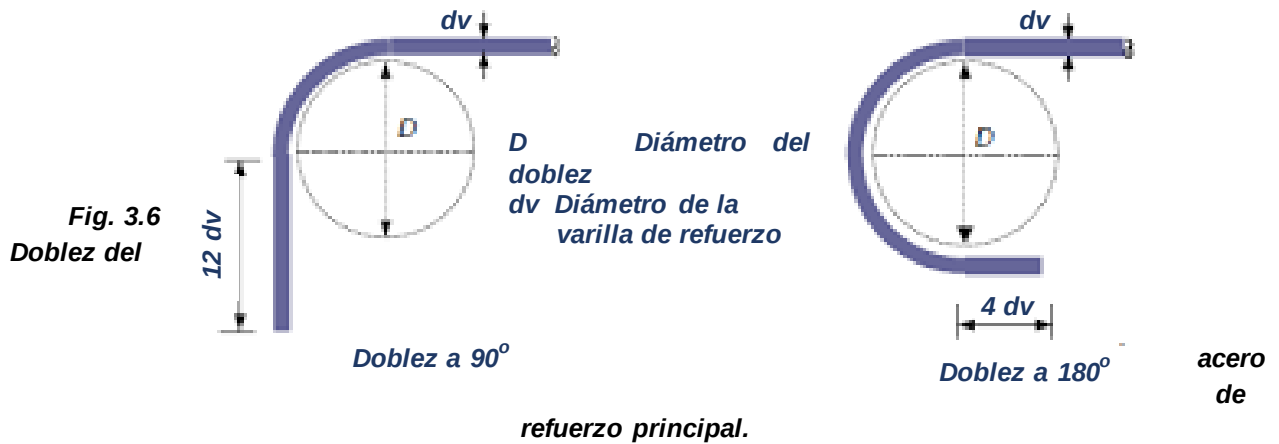


Fig. 3.7 Doblez del acero para estribos y ganchos de amarre.





Se dedica el tiempo suficiente para planear y ejecutar adecuadamente el habilitado de acero, ya que es indispensable respetar las longitudes de anclaje, los tipos, formas y grados de dobleces, con el menor desperdicio posible. Antes de cortar o doblar los tramos de 12 metros, se realizará el ejercicio de despiece, analizando las dimensiones de las barras para cada elemento estructural, considerando los traslapes, escuadras o ganchos.

En la elaboración de bastones a base de acero de refuerzo, el gancho del extremo será un doblez semicircular de 180° más una extensión mínima de 4 veces el diámetro de la varilla, pero no menor a 65 mm. La escuadra a base de acero de refuerzo será un doblez perpendicular (90°) al eje longitudinal de la varilla más una extensión 12 veces el diámetro de la varilla como mínimo y en el extremo libre. Para varillas o alambIÓN que funcionen como estribos, el doblez debe ser a 135° más una extensión mínima de 6 veces el diámetro de la varilla o alambIÓN, pero no menor de 65 mm.

3.4.4 Traslapes.

Todas las uniones de varillas se harán mediante traslapes con un empalme de 40 veces el diámetro de la varilla que se empalma como mínimo, excepto cuando se determine otra especificación en el proyecto. El proyecto especifica la longitud de traslape para los diferentes diámetros de acero corrugado en la *tabla 3.3 Longitud de traslapes*:



Fig. 3.8 Longitud del traslape Lt.

Número de varilla	Diámetro		Lt milímetros
	pulgadas	milímetros	
2.5	1/4	4.9	225.4
3	3/8	9.5	437.0
4	1/2	12.7	584.2
5	5/8	15.9	731.4
6	3/4	19.0	877.4
8	1	25.4	1168.4
10	1 1/4	31.8	1462.8

Tabla 3.3 Longitud de traslapes.





Además, se deben tomar en cuenta las indicaciones siguientes basadas en la norma mexicana NMX-C-407-ONNCCE, ACI 318.

- Es aceptable el traslape y amarre entre sí de las varillas del no. 2.5 al no. 10.
- Los traslapes no podrán hacerse entre varillas de distinto diámetro.
- No deben traslaparse varillas mayores del No 11.
- El número de traslapes no debe exceder el 50% en la misma sección.
- Los traslapes no deben coincidir con secciones de máximo esfuerzo, a menos que se tomen acciones necesarias avaladas por el proyectista como aumentar la longitud del traslape o especificar un refuerzo adicional.
- Deben evitarse los traslapes en las secciones de máximo esfuerzo de tensión. La longitud del traslape no debe ser menor que la indicada en los planos de diseño.
- La ubicación del traslape no debe excederse de 1/5 de claro de los apoyos principales de los elementos estructurales.
- Los traslapes de paquetes de varillas deben basarse en la longitud de traslape requerida para las varillas individuales, sin rebasar la cantidad de traslapes al 33 % en una misma sección, además de no traslapar paquetes enteros.
- Los traslapes con soldadura o dispositivos mecánicos deben desarrollar por lo menos un 125 % de la resistencia especificada a la fluencia f_y de las varillas. Estos traslapes deben realizarse como se indica en el ACI 439-3R-91 y en el AWS D1.4, para uniones mecánicas y uniones soldadas respectivamente, el número de traslapes no debe ser superior al 33 en una misma sección.
- La separación mínima entre traslapes no debe ser menos de dos veces la longitud de traslape L_t .

3.4.5 Colocación y armado.

Una vez que el trazo este marcado sobre la superficie de la plantilla y se tenga listo el habilitado de acero. Se inicia con el armado del lecho inferior, colocando las varillas que van el sentido transversal a cada 250 mm de separación en ambos sentidos, estas varillas al colocarse ya estarán habilitadas con los dobleces requeridos. Enseguida se tienden las varillas que van en





sentido transversal amarrando las barras considerando el traslape que indica en las especificaciones de proyecto de acuerdo a la *Tabla 3.3 Longitud de traslapes*, se marcan la separación de las varillas longitudinales en las varillas transversales y se van punteando, es decir, se amarra una y se deja sin amarrar 5, esto se hace para facilitar el armado posterior, ya que seguido a lo anterior, una cuadrilla vendrá realizando los amarres al 100 %.

En el otro sentido se realiza el mismo procedimiento, solo que esta vez se marcan la separación de las varillas transversales en las varillas longitudinales, igualmente primero se puntean para que enseguida otra cuadrilla venga terminando con los amarres, la idea es que una cuadrilla valla marcando la separación entre barras de acero de refuerzo y otra solo valla colocando en los espacios ya marcados previamente. Esta práctica ha dado excelentes resultados al momento de estar armando el acero de refuerzo.

Durante la colocación y armado de refuerzo de refuerzo se considera además el recubrimiento del acero de refuerzo de acuerdo con las tablas 3.4, 3.5 y 3.6, según sea el caso.

El recubrimiento del acero de refuerzo es la longitud medida desde el borde del elemento de concreto hacia la fibra más cercana del acero de refuerzo, y sirve para proteger al acero de los agentes corrosivos y del medio ambiente. Este recubrimiento mínimo debe cumplirse con forme a la norma del ACI 318, que indica o siguiente:

1. Recubrimiento mínimo de concreto al acero de refuerzo cuando es colado en sitio, para concretos no presreforzados.

Condición	Recubrimiento mínimo en mm.
Concreto colado en contacto con el suelo y permanente expuesto a el	75
Concreto expuesto al suelo o a la acción del clima:	
Varillas del N°. 6 al N°. 18	50
Varillas del N°. 5 y menores	40
a) Losas. Muros, nervaduras	
Varillas del N°. 14 y N°. 18	40
Varillas del N°. 11 Y menores	20
b) Vigas, columnas:	
Refuerzo principal, anillos estribos, espirales.	40
c) Cascarones y placas plegadas.	
Varillas del N°. 6 y mayores.	20
Varillas del N°. 5 y menores.	15

Tabla 3.4 Recubrimientos mínimos para el concreto no presforzado.





2. Recubrimiento mínimo al acero en concreto prefabricado (cuando éste es fabricado en condiciones de control en la planta.

Recubrimiento que debe tener el acero en concretos que están expuesto al contacto permanente con el agua de mar o que estén cerca de él, que estén expuestas algún medio donde pueda haber penetraciones de sales o que estén en contactos con mantos freáticos y otros imprevistos. El espesor del recubrimiento será de 75 mm como mínimo.

Condición	Recubrimiento mínimo en mm.
Concreto colado en contacto al suelo o a la acción del clima.	
a) Tableros para muros:	
Varillas del N°. 14 al N°. 18.	40
Varillas del N°. 11 y menores.	20
b) Otros elementos:	
Varillas del N°. 14 y N°. 18.	50
Varillas del N°. 6 al N°. 11.	40
Varillas del N°. 5 y menores.	30
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo.	
a) Losas, muros y nervaduras:	
Varillas de N°. 14 y N°18.	30
Varillas del N° 11 y menos.	15
b) Vigas columnas:	db pero no < 1.5 cm. y no > a 4 cm.
Refuerzo principal.	
c) Anillos, estribos, espirales.	10
d) Cascarones y placas plegadas:	
Varillas del N° 6 y mayores.	15
Varillas del N° 5 y menores.	10

Tabla 3.5 Recubrimiento mínimo para concretos precolados.

3. Recubrimientos mínimos al acero en concreto presforzado:

Condición	Recubrimiento mínimo en mm.
Concreto colado en contacto con el suelo y permanente expuesto a él	75
Concreto expuesto al suelo o a la acción del clima:	
Tableros para muros, losas y nervaduras:	25
Otros elementos	40
Concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el	





suelo:	
Losas muros y nervaduras.	20
Vigas, columnas:	
Refuerzo principal	40
Anillos, estribos. Espirales.	25
Cascarones y placas plegadas:	
Varillas del N°. 5 y menos	1
Otros tipos de refuerzo	db pero no < 2 cm.

Tabla 3.6 Recubrimientos mínimos al acero en concreto presforzado.

El recubrimiento mínimo en un paquete de varillas debe ser igual al del diámetro equivalente del paquete, pero no mayor de 50 mm., excepto para concreto colado contra el terreno y que permanecerá expuesto a él, en este caso el recubrimiento mínimo debe ser de 75 mm.

La forma de mantener el recubrimiento de acuerdo a las especificaciones anteriores es con el uso de separadores, estos pueden ser de dos formas:

Separadores de varilla a base de **bloques de concreto (pollos)**. Este tipo de separadores es fabricado de concreto, puede ser usado siempre y cuando se demuestre a través de pruebas de laboratorio que el concreto utilizado es de igual o de mejores características que el usado en la estructura y que cumpla con los requisitos físicos, químicos y mecánicos del concreto. Es decir, el tipo de cemento, diseño de mezcla, contenido de aire, revenimiento, temperatura, resistencia a la compresión, y todas las pruebas necesarias que garanticen la durabilidad, resistencia, funcionalidad y acabado específico como lo indica la norma del ACI-301. Cap. 1.6.3.2.

Los separadores de concreto tienen que tener la misma fuerza del elemento o estructura de cemento reforzado donde son utilizados. Pueden ser de forma cilíndricos o del cubo siempre y cuando sean sólidos, la superficie debe ser lo más plana posible debido a que, además de soportar cargas pesadas debe tener estabilidad contra el vuelco.

Los espaciadores de la forma cilíndrica sólida son fabricados con la ayuda de pedazos de tubería de PVC de 75 mm de diámetro y 75 mm de espesor o altura, para los lechos inferiores o en contacto directo contra terreno, de 50 mm de espesor o de altura en el lado externo de la losa o para los laterales. Si hubiera algún elemento que requiera un recubrimiento diferente, será mencionado en las especificaciones de proyecto o en una hoja de modificación de proyecto.

Los espaciadores son aprobados por el laboratorio de materiales, mediante pruebas destructivas para verificar la resistencia a la compresión del concreto, y análisis a los materiales antes de la fabricación de los separadores para garantizar la durabilidad, a fin de evitar que la





corrosión entre al acero de refuerzo por fallas en los separadores al no resistir la presión o el peso del armado de acero de refuerzo.

Estos requisitos son utilizados en todas las caras para asegurar el recubrimiento mínimo a todo el armado de acero de refuerzo.

Los bloques del espaciador hechos del cemento y de la arena son fabricados usando los mismos materiales que van a ser aplicables al concreto de toda la construcción de los tanques, colocándole un tramo de alambre recocido calibre 16 para poder sujetarlos al armado del acero de refuerzo, es el mismo que se utiliza para el armado de castillos, losas, en traslapes de acero de refuerzo, de mallas, entre otros. El alambre recocido es el aliado de la varilla en la construcción de castillos y otros ensambles básicos para toda obra.



Fig. 3.9 Separadores de concreto (pollos).

La relación agua cemento de la mezcla de concreto debe ser de 0.40. de acuerdo a las condiciones generales marcadas por el del ACI.

Separadores de plástico. Son separadores multifuncionales para ser utilizados en cimentaciones, entresijos, columnas etc. Fabricados y diseñados para soportar grandes cargas y garantizar la estabilidad del armado de acero de refuerzo con las siguientes características:

- Piezas fabricadas 100 % de polipropileno posindustrial.
- Fabricadas bajo proceso de inyección de plástico.
- Producto 100% impermeable e inerte, que no reacciona con el concreto y evitan fisuras.
- Están fabricadas bajo la norma del ACI 318 capítulo 7, ganchos estándar y diámetros mínimos de doblado.
- Carga máxima 450 kg/cm².
- Funcionamiento óptimo a temperaturas ente – 5° C a 55°C.
- Es importante que las silletas estén distribuidas máximo 600 a 900 mm de distancia traslapándolas, dependiendo del peso del armado de acero de refuerzo.





- Para calibres de varilla hasta 1 ½”.
- Excelente desempeño en el concreto y agregados gruesos.
- Superficie de contacto mínima, ideal para acabados aparentes.



Fig. 3.10 Silleta de plástico tipo H.

Una vez armando el lecho inferior se inicia con el armado de las varillas verticales, están van colocadas a cada 250 mm de separación, se colocan sobre la malla de acero armada ya con el doblez (habilitadas), con la escuadra o dobles hacia afuera del muro.

El habilitado se realiza considerando la longitud mínima de los traslape para la continuación del armado del muro de los tanques, además de considerar que el número de traslapes no debe rebasar el 50% en la misma sección. La manera en cómo se logra hacer éste arreglo es, colocando una varilla de una longitud más corta e irlas intercalando con varillas de una longitud más larga, con esto se garantiza que el número de traslapes en la misma sección no sea mayor al 50%.

En seguida se van colocando las varillas transversales del lecho superior dejando espacios (punteando el acero se amarra una varilla sí y se deja un espacio de cinco varillas sin amarrar), del mismo modo en como que se armó el acero del lecho inferior, se puntean y sobre estas se van colocando las varillas longitudinales, la separación del acero de refuerzo es de 250 mm en ambos sentidos, respetando longitud de traslapes y la cantidad de los mismos no deben rebasar el 50 % en la misma sección, los amarres se hacen al 100%, como lo indica la especificación del proyecto.





Fig. 3.11 Armado de acero para la cimentación externa del tanque.

3.5 HABILITADO E INSTALACIÓN DE CIMBRA.

La cimbra que se utiliza para la cimentación externa de los tanques en la cara exterior de la cimentación, es el sistema convencional de madera, troquelada también con madera. La sección de la cimentación externa es de 3100 mm de ancho y de 1200 mm de alto, con un detalle de 300 mm de alto por 800 mm de ancho para el inicio o arranque de los muros de concreto, sujetos con madera sobre la cimbra principal a cada 400 mm, además se coloca un chaflán de madera de pino de $\frac{3}{4}$ " de espesor en donde las esquinas del elemento queden expuestas, éste chaflán tiene dos finalidades, evitar las esquinas filosa minimizando despostillamientos al elemento de concreto causado por algún golpe accidental y como ayuda para señalar el nivel tope de concreto

Los paneles son habilitados con hojas de triplay de primera en una de las caras de la hoja, ya que el acabado es del tipo aparente, la longitud de cada panel es de 2440 mm x 1220 mm de alto y $\frac{5}{8}$ " de espesor, se colocan los refuerzos o "madrinas" de barrote de 2" x 4" de 1200 mm de alto a cada 400 mm de separación. Troquelando la cimbra en la parte inferior y superior con polines de 4" x 4", para soportar la carga ejercida por el empuje del concreto al ser vaciado.

Para conseguir la curvatura o redondez adecuada se les coloca a los paneles de madera cuatro varillas de acero de $\frac{3}{4}$ " y se van uniendo los paneles de madera entre sí para ir formando la circunferencia de la cimentación.

El lado interno de la cimentación exterior se forma usando, un acoplamiento metálico (sistema de la *Hola-costilla*) para evitar la preparación adicional de la junta de construcción. El material que se utiliza para colocar esta frontera es el metal desplegado. El metal desplegado es una malla metálica formada de una sola pieza, sin costura ni soldadura, que tiene una serie de aberturas de tamaño uniforme en forma de rombos o diamantes. El metal utilizado en la frontera del lado interior de la cimentación externa es el de tipo metal-red para cielo falso E6-22.



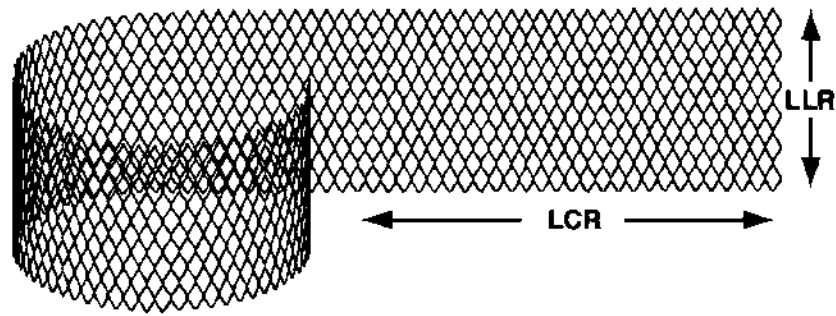


Fig. 3.12 Metal desplegado

La colocación del metal desplegado en el lado interno de la cimentación externa de los tanques es con la finalidad de ahorrar tiempo en la preparación de la junta constructiva, por ser una superficie relativamente grande y, ya que la preparación de una junta ordinaria implica varias actividades como:

- Escarificado de la junta.
- Limpieza y retiro de escombros producto de la escarificación.
- Humedecer la junta o aplicar algún producto para unir el concreto nuevo con el concreto antiguo.

Además de tener que esperar a que el concreto baje su temperatura para que se pueda retirar la cimbra e iniciar con el proceso de preparación de la junta de construcción, se tiene que considerar también la dificultad para la colocación y retiro de cimbra en el espacio reducido entre el acero de refuerzo.

3.5.1 Protección y cuidado de las Cimbras.

La cimbra debe protegerse del deterioro por estar a la intemperie, evitar contracciones y deformaciones en la superficie de contacto, que provocan superficies de concreto irregulares. Antes de colocar el concreto se debe aplicar un producto para lubricar la superficie de la cimbra y facilitar el descimbrado, la superficie de la cimbra debe estar limpia de basura, mortero y materiales extraños.

Las cimbras de acero deben limpiarse adecuadamente, cuando existan "*descascamientos*" en la superficie del acero de la cimbra, se mejora su condición limpiándola de los desechos, dejándola por un día aceitada al sol, frotando vigorosamente con parafina líquida en las áreas afectadas o aplicando una delgada capa de laca.





Debe preverse acceso al interior de las cimbras para su limpieza respectiva, colocación y vibración del concreto. En aquellos casos en que el fondo de la cimbra sea inaccesible, deben incluirse paneles de acceso a través de los cuales se pueda llevar a cabo la limpieza.

Revestimientos de Cimbras:

Los revestimientos de cimbra o selladores se aplican en forma de líquidos a la superficie de contacto (desmoldantes, existen con base agua o con base aceite), se aplica antes de colocar la cimbra para evitar la contaminación del acero, se aplica para:

- Alterar o mejorar la textura de la superficie de contacto.
- Mejorar la durabilidad de la superficie de contacto.
- Facilitar la separación del concreto durante el descimbrado.
- Sellar la superficie de contacto y evitar que entre la humedad.

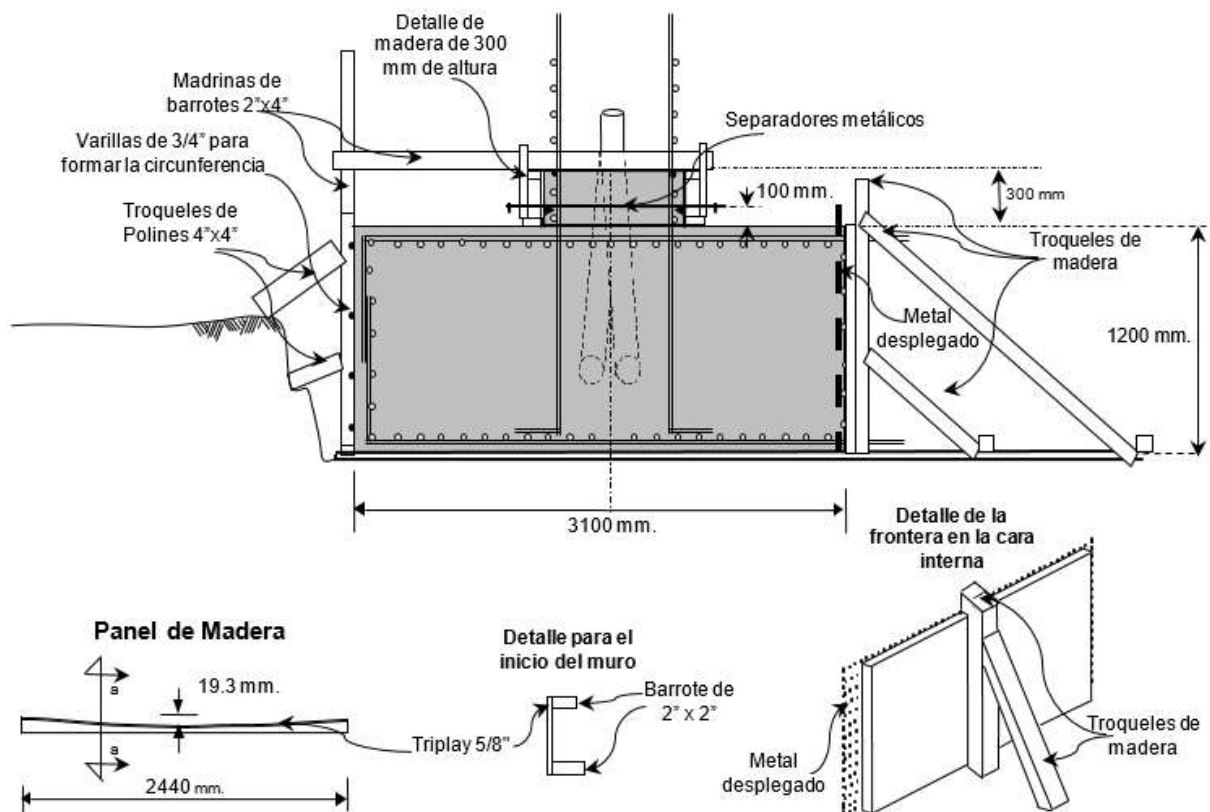


Fig. 3.14 Diagrama para la colocación de la cimbra.



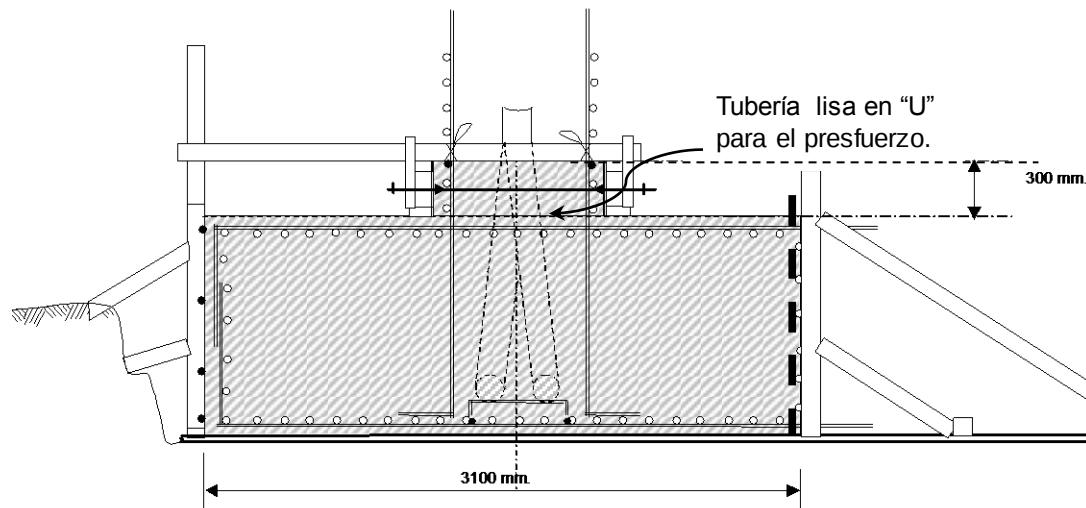


3.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DEPRESFUERZO EN “U”.

Los tubos de presfuerzo se arman en forma de “U” en la base, y se les coloca una espiral de acero de 3/8” para revestir la longitud total de la curva y la base de la tubería. Para el caso del presfuerzo en sentido vertical de los tanques se usa tubería delgada de lámina lisa galvanizada de 100 mm de diámetro calibre 24 para formar los ductos.

Se debe revisar cuidadosamente el interior de cada tubería cuidando que no tenga rupturas, que no esté golpeada o tenga aplastamientos en la sección del tubo, ya que pueden ocasionar taponamientos por la entrada de lechada al interior del ducto cuando se esté vaciando el concreto, si por algún motivo un conducto del presfuerzo se bloqueara con un tapón de concreto, resultaría complicado remover el tapón de concreto e impediría el paso de los cables de acero para del presfuerzo.

En las uniones de la tubería se hacen con coples de 105 mm y 200 mm de longitud cubiertos con envoltura thermocontractil. Se habilitan silletas de acero corrugado de 1/2” para soportar la tubería de presfuerzo vertical que se sujetan firmemente al acero de refuerzo:



Sección

Silleta de acero de 1/2”
para soporte de la
tubería lisa en “U”
para el presfuerzo.

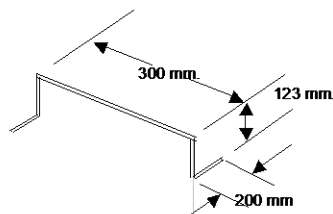




Fig. 3.14 Diagrama de la colocación de la tubería en "U" del presfuerzo.



Fig. 3.15 Arreglo y colocación del acero de refuerzo de la tubería de presfuerzo.

3.7 INSTALACIÓN DEL CINDUCTO CALEFACTOR.

El conducto calefactor como se dijo en la descripción de los materiales es un tubo tipo conduit galvanizado de 1" de diámetro, que se instala con el propósito de no permitir el paso del frío al subsuelo, esta tubería se instala en un solo sentido, que va de Este hacia el Oeste atravesando toda la circunferencia de la cimentación, se van uniendo cada tramo en sitio mediante coples y cinta teflón para que la unión selle herméticamente. Para garantizar la hermeticidad de las uniones al final de la instalación se realiza una prueba neumática para cerciorarse de la hermeticidad de los conductos.

Los conductos inferiores se colocan a 300 mm por arriba del nivel de desplante de la cimentación a cada 800 mm de separación, los conductos superiores se colocan a 200 mm debajo del nivel tope de concreto de la cimentación externa, dejando que sobresalgan 200 mm del concreto, para poder acoplar posteriormente el sistema de inyección de calor exterior.





Fig. 3.16 Arreglo de la tubería conduit calentador y conexiones para la prueba neumática.

3.8 INSPECCIÓN FINAL.

Una vez terminadas en su totalidad las actividades mencionadas anteriormente, se debe dar un repaso general, este repaso lo tienen realizar primeramente el topógrafo de sitio, para confirmar la ubicación correcta de todos los elementos instalados, revisa: niveles, espesores, anchos de elementos, colocación de la tubería de presfuerzo, redondez del arranque del muro de concreto, redondez de la cimentación, coordenadas y entregara al supervisor de calidad el reporte correspondiente indicando que todos los elementos están en su correcta ubicación.

El supervisor de calidad revisa la adecuada instalación, de todos los elementos, embebidos, que las conexiones estén correctamente, el acero este de acuerdo con las especificaciones del proyecto, separación de acero, diámetro, traslapes con la longitud adecuada, y que no falte de instalar ningún elemento. Por último, genera y recopilar la documentación con sus respectivas firmas de autorización que acredita que todo se encuentra en orden y de acuerdo a proyecto.

3.9 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO.

Después de la aprobación del supervisor del control de calidad y de que la orden de colado para el suministro de concreto se haya elaborado, se realiza la última limpieza general utilizando un chorro de aire con la ayuda de un compresor y se humedece el área del colado. El colado se realiza con de 2 frentes de trabajo, comenzando en un punto común y avanzando en la dirección opuesta al mismo tiempo, hasta que se complete el anillo. Ambos frentes van colocando el concreto siguiendo el mismo procedimiento para el vaciado y la colocación, cada frete cuenta con los mismos recursos, maquinaria, equipo, herramienta y fuerza de trabajo.

El procedimiento de colocación del concreto es usando dos bombas móviles y el punto de partida es en la zona Este (90°), después, ambos grupos avanzan simultáneamente en sentidos opuestos, uno hacia el lado norte y el otro hacia el del sur. El concreto se coloca en las capas de 200 mm a 300 mm y a una distancia de 2500 mm, y con los vibradores se va compactando y expulsando las burbujas de aire atrapadas en el concreto.

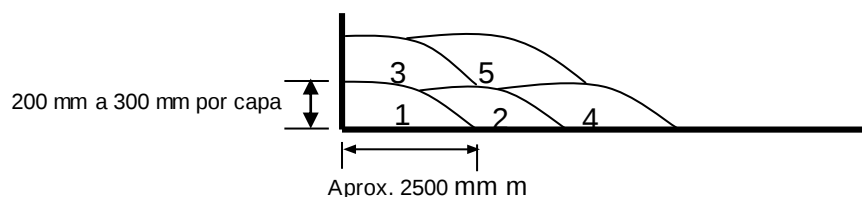


Fig. 3.17 Diagrama para la colocación del concreto.



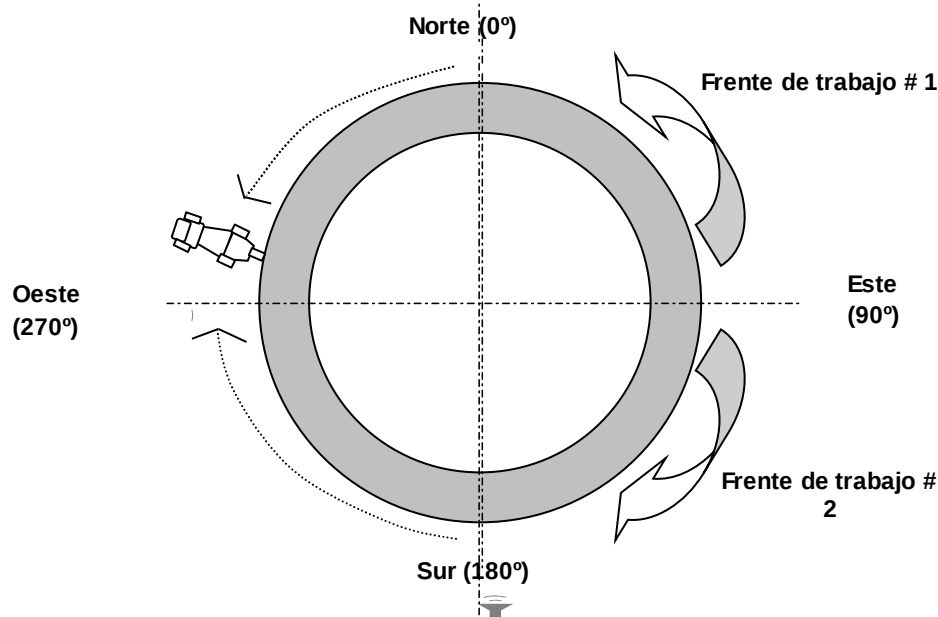


Fig. 3.17 Diagrama para la colocación del concreto.

Los supervisores de calidad y de obra civil, constantemente deben revisar el estado de la cimbra, cuidando que se no se presenten deformaciones a causa del empuje del concreto en los paneles de madera laterales, que la ubicación de la tubería de presfuerzo, la tubería de calefacción no se altere, que no fallen los acoples, y que se realice un vibrado de concreto adecuado.

3.9.1 Vibrado del concreto.

Todo el concreto debe ser compactado con un equipo de vibración tipo inmersión, el cual debe ser congruente con la consistencia de la mezcla; tamaño máximo del agregado y las dimensiones de la estructura. Su utilización tiene la finalidad de eliminar los vacíos en el concreto, así como ligar la capa de concreto superior con la subyacente. No se permite el uso de vibrador para desplazar el concreto sobre la superficie.

Con el vibrador se compacta el concreto sin dejar huecos, la penetración debe ser vertical y espaciada de 15 a 18 cm dependiendo del diámetro del vibrador a utilizar, penetrando en la capa inferior 10 cm y retirándolo lentamente. No se permite que el vibrador permanezca en un mismo lugar por más de 5 segundos. Debe de obtenerse un concreto denso y compacto, que presente una textura uniforme y una superficie con buena apariencia en sus caras visibles.

También se debe evitar el vibrado excesivo que pueda producir segregación y/o sangrado del concreto, así como el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo y/o la cimbra para evitar alteraciones en su posición o afectar al concreto que se encuentre en proceso avanzado de fraguado.





3.9.2 Poscolocación de concreto.

Se debe estar muy pendiente de que el suministro de concreto sea constante sin tener lapsos de tiempo mayores a 45 min para evitar la formación de juntas frías. Una vez que colado haya terminado se inicia con el acabado integrado a la superficie de éste, con llana metálica en la superficie donde del nivel de piso terminado (NPT) o nivel tope de concreto (NTC) este completo y, donde se continua con la colocación de concreto se prepara una junta de construcción.

El tratamiento que se le tiene que dar a la superficie de concreto es como mínimo dos pasadas con la llana, en la primera pasada es inmediatamente después de que el concreto quede colocado al nivel de proyecto, se espera a que el concreto comience a *sangrar* (comienza a perder humedad), para darle la segunda pasada con la llana metálica con el objetivo de cerrar grietas que van apareciendo en la superficie del concreto por la pérdida de humedad. Después de la segunda pasada con la llana metálica hay que continuar inspeccionando por si aparecen nuevas grietas e irlas cerrando antes que el termine el proceso de fraguado del concreto.

Después de terminar el vaciado y colocado el concreto, el topógrafo del sitio comprueba los niveles, coordenadas y ubicación de los embebidos instalados y trascurrida un par de horas dependiendo de las condiciones climatológicas, se le aplica una membrana de curado, esta debe ser base agua según la especificación de proyecto. Existe en el mercado al igual que el desmoldante un curacreto con base agua y uno con base aceite, pero por cuestiones medioambientales el curador de concreto base aceite no está autorizado para este proyecto.

En las áreas donde continua el colado de concreto se prepara la junta de construcción, este proceso es para ligar el concreto endurecido en el concreto fresco, el método que se emplea para disminuir el tiempo de preparación de la junta y cubrir toda el área es; el método de corte en verde, el cual consiste en dejar expuestos los agregados del concreto con la ayuda de cepillos de alambre, una vez que el concreto este firme como para soportar el peso de una persona, se comienza a tallar la superficie del concreto con el cepillo de alambre hasta que se visualice los agregados, se limpia y se retiran los excedentes del concreto suelto con un chorro de aire a presión.

Se continua con el proceso del curado, este se realiza utilizando el método por hidratación con agua, que consiste en colocar una costalera de rafia en toda la superficie a curar y constantemente se están humedeciendo hasta que la temperatura del concreto sea igual a la temperatura ambiente.

La manera de revisar el progreso de la disminución de temperatura del concreto, es dejando unos cables conectados a un sensor de temperatura llamados *Termopar*, este sensor se coloca





antes de vaciar el concreto y sólo quedan dos cables expuestos para después conectar un lector de temperatura.

Un **termopar** es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (*efecto Seebeck*), que es el efecto producido de la conversión de temperatura a un voltaje por la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado punto caliente o unión caliente o de medida y el otro de nominado punto frío o unión fría o de referencia.



Fig. 3.18 Dispositivo electrónico para medir la temperatura interna del concreto "termopar".

3.10 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.

La construcción de los tanques para el almacenamiento es una actividad especializada en este proyecto ya que son el corazón de la planta. La disposición general y arreglo del equipo es requerida antes de la ejecución de construcción de las cimentaciones. A fin de evitar interferencias o accidentes que, en términos prácticos se traducen a pérdidas de tiempo y por consiguiente perdidas económicas. Por tal motivo requiere un plan efectivo de uso de los recursos que cuenta el proyecto, tales como:

3.10.1 Información técnica.

Volumen de concreto.....	956 mts.3
Clasificación del colado	Masivo
Resistencia del concreto.....	Concreto MPa 35
Tipo de colado.	Bombeo
Temperatura del concreto.....	Temperatura controlada menor a 32° C.

3.10.2 fuerza de trabajo.

La fuerza de trabajo para cada frente de trabajo será aproximadamente:

Sobrestante.....	1
Oficial albañil (para colocar, vibrar y acabar)	10





Carpintero	1
Oficial fierro	1
Ayudante	8
Total (cada bomba)	21

Trabajo para asistir a la bomba:

Sobresrtante.....	2
Especialista eléctrico	1
Especialista del mecánico	1
Ayudante	1
Especialista del laboratorio	1
Total	8

Personal total para el primer cambio 28 personas

3.10.3 Suministro y abastecimiento de concreto.

El abastecimiento concreto se realiza usando ambas plantas concreteras destinadas para el proyecto de forma simultánea. Tomando como base el funcionamiento estimado de ambas plantas concreteras, cuya producción es de 84 m³/hora, (42 m³ por la planta), en vista del volumen necesario que es de 956 m³, y de una eficiencia del 90 %, el tiempo estimado para el colado es de aproximadamente 11Hrs.

Por lo tanto, el colado comienza a las 7:00 horas, para cubrirlo durante turno de día, usando apenas 1 hora de tiempo complementario.

Ambas plantas deben tener la cantidad de los materiales, suficientes para terminar el colado con una sola de ellas, en caso de falla importante en una de las plantas y que no pueda continuar en operación, para asegurar la producción completa de concreto para el colado programado cada planta debe almacena las cantidades de materiales siguientes:

Materiales:

Cemento	377	tonelada
Agua	35	m ³
Hielo	125	toneladas
¾ de la grava"	784	toneladas
Piedra caliza de la arena	1060	toneladas
Aditivo tipo D del <i>fluidizer</i>	5780	lts





Equipo a usar:

Planta de procesamiento de concreto.....	de 2.00(2 +1 repuesto)
Carros revolvedores de 7m3.....	15.00(repuesto 13 + 2)
Bomba móvil para concreto (50m3/h).....	3.00(2 + 1 repuesto)
Generador de Diésel.....	2.00(1 + 1 repuesto)
Compresor de aire (325 ft.3/min).....	2.00(1 + 1 repuesto)
Vibrador de alta frecuencia del diámetro del ½ y 2"...	6.00(repuesto 6 + 2)
Convertidor de alta frecuencia.....	3.00(repuesto 2 +1)
Vibrador neumático del diámetro del ½ 2".....	4.00(2 + 1 repuesto)
Vibrador neumático.....	2.00(diámetro de 1 ½"1 + 1 repuesto)
Luz <i>maxi light</i>	2.00(2 +1 repuesto)

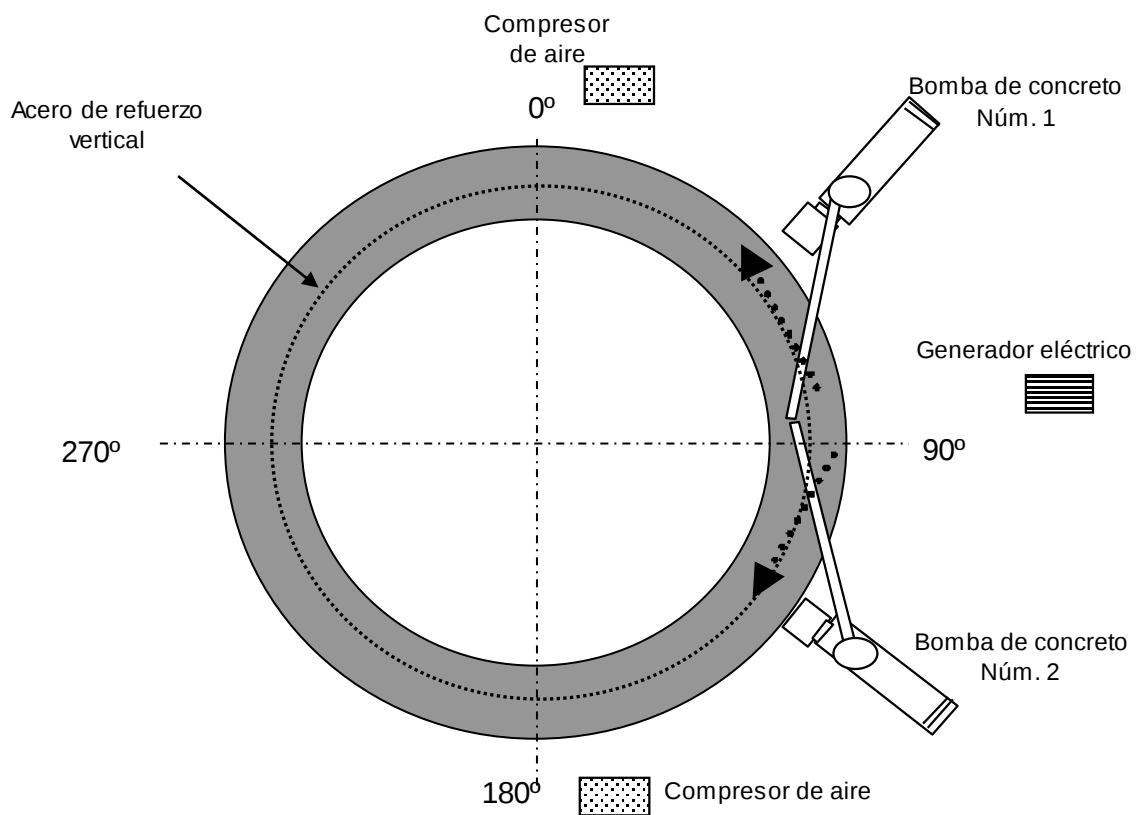


Fig. 3.19 Diagrama de la disposición de equipos.





3.10.4 Gestión de emergencias.

- a) Falla en alguna la planta concretera.

En caso de cualquier situación de emergencia que ocurra en una de las plantas concreteras, se disminuye la velocidad del colado el tiempo que sea necesario para mantener ambos frentes de colado frescos, se suministra el concreto con una sola planta hasta que se termine el colado o se corrija la falla de la planta averiada.

- b) Falla en la bomba de concreto.

En caso de falla en una de las bombas de concreto, la bomba de repuesto estará disponible para sustituirla, mientras que se atiende la falla de la bomba averiada.

- c) Falla en el equipo secundario menor o por un apagón.

En caso de cualquier falla que ocurra en algún equipo menor, entrara al sitio del colado un equipo de repuesto, para substituir el equipo averiado, el mecánico y el especialista eléctrico estarán disponibles todo el tiempo para atender este tipo de emergencias.

- d) Emergencia por cuestiones climatológicas.

En caso de lluvia durante el colado, se tiene una lona preparada para proteger el concreto, la velocidad de la colocación del concreto se disminuye para refrescar el tramo de avance mientras que pare de la llover. Si la lluvia se intensifica y no es posible terminar de colar, entonces se detentaría el colado y se comenzará de inmediato con la preparación de la junta fría. Esta decisión final para detener el vaciado de concreto es tomada por el encargado de sitio de IHI.

- e) Prevención del colado durante la noche.

Un sistema de iluminación apropiado proporciona la suficiente iluminación para asegurar una buena visibilidad durante el turno de noche, en caso que el tiempo del colado se prolongue, y también para apoyo de la gente que está programada para realizar el acabado a la superficie de concreto y que continúe con las actividades de curado. Este sistema de iluminación se activa con el apoyo de una planta generadora de electricidad móvil y 2 equipos portables de la *maxi-light* como repuestos. También, en caso que durante de turno de día surjan algunos problemas, se cuenta con una cuadrilla adicional de apoyo para terminar el colado.

Las condiciones de la seguridad son observadas durante todo el colado con el personal de seguridad industrial, personal médico y una ambulancia disponible.





3.11 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.

Las pruebas del concreto fresco se toman de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-156-ONNCCE-vigente "Industria de la construcción- Concreto fresco- Determinación del revenimiento, y a la norma mexicana NMX-C-161-ONNCCE-Vigente "Industria de la construcción- Concreto fresco- Muestreo, este método es validado con referencia de la norma del ACI 214.

3.11.1 Determinación del revenimiento del concreto fresco.

El *revenimiento* es la medida de la consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura. Éste ensaye es aplicable al concreto fresco industrializado (premezclado) o hecho en obra, con tamaño máximo nominal del agregado menor de 50 mm, donde se obtienen valores confiables de revenimiento en intervalos de 2 cm a 20 cm.

La prueba para determinar el revenimiento de concreto fresco se realiza en la planta concretera y en la obra a la llegada de cada camión revolvedor cuando se trate de un concreto premezclado. Se tomar la muestra una vez que se haya agregado toda el agua de mezclado y la que la mezcla sea completamente homogénea. Es decir, que deberá transcurrir 90 minutos como máximo desde la hora de salida de la planta o 300 revoluciones de la unidad revolvedora, lo primero que suceda, cuando se excedan lo anterior el concreto es desechado.

Después de haber obtenido la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla, procediendo inmediatamente a realizar el ensayo. Este ensayo no debe efectuarse en condiciones climáticas que puedan contaminar el concreto tales como: viento que contenga polvo, lluvia, etc.

Previamente a la toma de muestra para la aceptación o el rechazo de la descarga del concreto, se debe realizar un despunte de aproximadamente 10 litros (despunte significa que los primeros 10 litros de concreto que salen del camión revolvedor se desechan), se toma la muestra directamente del canalón sin interrumpir su flujo, se remezcla hasta homogenizar la muestra con el apoyo de una pala o cucharón y se proceder a determinar el revenimiento y a llenar los cilindros para el ensayo de los especímenes para determinar la resistencia a la compresión del concreto.

Herramienta para la determinación del revenimiento:

- Varilla de acero lisa, recta con punta de bala semiesférica de 16 mm $\pm$ 1.5 mm (5/8" aproximadamente) de diámetro y de aproximadamente 600 mm $\pm$ 30 mm de longitud.





• Molde en forma de cono trunco fabricado de metal o cualquier otro material no absorbente y no susceptible a alguna reacción con la pasta de cemento, debe de cumplir con las siguientes características:

a) El diámetro de la base inferior debe es de 200 mm, el diámetro de la base superior de 100 mm y una altura de 300 mm. La base y la parte superior deben de ser paralelas entre sí, formando un ángulo recto con el eje longitudinal del cono. Se permite una tolerancia en todas las dimensiones del equipo de ± 3 mm.

b) Debe de tener dos estribos en los que se apoyan los pies para inmovilizar el cono.

c) Debe contar con 2 asas para levantarlo.

d) Debe tener la superficie interior lisa, libre de protuberancias, remaches o abolladuras.



Fig. 3.20 Herramienta para la determinación del revenimiento del concreto fresco.

- Placa metálica.
- Cucharón.
- Carretilla.
- Flexómetro.
- Pala.
- Esponja y otro objeto para humedecer el equipo.

La cantidad de la muestra debe ser superior al volumen requerido para la realización de todas las pruebas y debe estar de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.

La manera de hacer esta prueba es como sigue:





1. Humedecer todos los elementos que van a estar en contacto con el concreto (cono truncado, cucharón, pala, carretilla, placa metálica, varilla lisa).
2. Se coloca la placa metálica en una superficie plana y sobre ella se coloca el cono con su diámetro mayor hacia abajo.
3. Se colocan los pies sobre los estribos del cono para inmovilizarlo.
4. Se llena el cono en tres capas de aproximadamente el mismo volumen, la primera capa con una altura aproximada de 7 cm, la segunda capa debe de llegar a una altura aproximada de 15 cm, y la tercera capa debe sobrepasar ligeramente el borde superior del cono. Cada capa se compacta con 25 penetraciones de la varilla lisa con punta de bala introduciéndola por su extremo semiesférico.

Las penetraciones comienzan cerca de la zona perimetral donde es necesario inclinar ligeramente la varilla, se hacen de 12 a 13 penetraciones cerca del perímetro interior del molde continuando a 25 penetraciones en forma de espiral hasta terminar en el centro.

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre aproximadamente 2 cm en la capa anterior. Si durante la compactación de la tercera capa, baja el nivel del concreto con respecto al nivel del borde superior del molde, en la penetración 10 o en la 20, no en ambas, se agrega más concreto para mantener el nivel por encima del borde del cono.

5. Después de terminar la compactación de la última capa, enrasar el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla, colocándola sobre el borde superior del cono y rodándola.

6. Sin quitar los pies de los estribos se debe limpiar la placa eliminando el concreto que se haya derramado por fuera del molde, tanto en la parte frontal como trasera, inmediatamente después levantar el cono verticalmente sin movimientos bruscos ni laterales, el tiempo para levantar el cono es de 5 segundos $\pm$ 2 segundos.

7. Medir el asentamiento del concreto fresco del centro desplazado a la parte inferior de la varilla, la cual previamente se colocó sobre el borde inferior del cono, el cono se invierte y se coloca sobre la placa. La prueba debe realizarse en un tiempo no mayor a 2.5 minutos.

8. Si alguna porción de concreto se desliza o cae hacia un lado la prueba se desecha y se efectúa otra con una nueva porción de la misma muestra.





9. Si dos pruebas consecutivas hechas en la misma muestra presentan fallas al caer parte del concreto a un lado, probablemente el concreto carece de la plasticidad y cohesión necesarias; en este caso no es aplicable la prueba de revenimiento.

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancias (mm)
Menor de 50	+/- 15
De 50 a 100	+/- 25
Mayor de 100	+/- 35

Tabla. 3.7 Tolerancias de revenimientos para concreto fresco.

Para confirmar lo anterior se recomienda tomar una nueva muestra de la misma entrega y se procede a realizar la prueba nuevamente.

- Se toma la precisión de un solo operador al efectuar el ensayo de revenimiento en 7 mm de la desviación estándar, así mismo dos determinaciones por un mismo operador no debe diferir en más de 20 mm que es el rango permitido entre dos resultados.

- La precisión entre varios operadores al efectuar el ensayo de revenimiento es de 12.5 mm de la desviación estándar, así mismo dos determinaciones obtenidas por diferentes operadores no debe diferir en más de 35 mm del rango máximo permitido entre dos resultados.

3.11.2 Toma de muestras de concreto fresco para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.

La muestra es una porción representativa de un material, en este caso se le llama muestra al conjunto de cilindros elaborados con el mismo concreto. Un espécimen es la parte representativa de un material que se emplea para determinar sus características, en este caso los especímenes de concreto son de forma cilíndrica, de tamaño estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto.

Se toman cuatro cilindros por cada 30 m³ de concreto suministrado, en el caso que sea un concreto con resistencia normal a 28 días, el primer espécimen se ensaya a los 7 días de madures del concreto, el segundo espécimen se ensaya a los 14 días, el tercer espécimen se ensaya a los 28 días y el cuarto espécimen es de testigo por si el resultado del ensayo a los 28 días no alcanza su resistencia de diseño de la mezcla, entonces se deja transcurrir 60 días para ensayar el espécimen de testigo. Si en este lapso de tiempo los resultados de resistencia a la compresión siguen estando por debajo del diseño de la mezcla, el elemento que corresponder se tendrá que demoler.





Si el concreto es de tipo de tipo RR (resistencia rápida) se toman una muestra para cinco cilindros por cada 30 m³ de concreto suministrado. El concreto que se emplea en la construcción de los tanques es del tipo RR a 3 días lo que indica que se toma una muestra para cinco especímenes, el primero espécimen se ensaya las 24 horas de madures del concreto, el segundo espécimen se ensaya a las 48 horas, el tercer espécimen se ensaya a los tres días o 72 horas, y dos especímenes sé que quedan como testigos por si los resultados del ensayo del espécimen los tres días no alcanza la resistencia de diseño de la mezcla.

Edad de prueba	Tolerancia permisible en horas
24 horas	± 0.5 h
2 días	±1 h
3 días	±1.5 h
7 días	±2 h
14 días	±6 h
28 días	± 12 h
60 días	± 24 h

Tabla. 3.8 Tolerancias en horas para ensayar los especímenes de concreto de acuerdo con su madurez.

Herramienta para el llenado de los cilindros:

- Recipiente impermeable no reactivo a los componentes del concreto, donde se pueda remezclar, con capacidad adecuada para contener el tamaño requerido de la muestra y no menor de 15 litros.
- Cucharón impermeable de capacidad y forma adecuada que evite perdida de material por sus costados.
- La cantidad de la muestra debe ser superior al volumen requerido para la realización de todas las pruebas y deberá estar de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.
- La muestra debe ser tomada en no más de 15 min con un plástico, una jerga húmeda o con una lona, se debe proteger la muestra de los rayos solares, el viento y otros factores que causen rápida evaporación o contaminación de la misma. De ser necesario se puede transportar la muestra a un lugar seguro, preferentemente sombreado en donde se puedan efectuar las pruebas.

El llenado de los moldes cilíndricos se realiza en sitio con la muestra de concreto fresco de acuerdo a los siguientes pasos:





- Antes del llenado los moldes se colocan en un lugar nivelado, libre de vibraciones o de otras perturbaciones; se les aplica previamente un desmoldante mineral, no se permite el uso de aceite quemado o diésel.
- Con el cucharón se toma una porción de concreto de la muestra representativa y se vierte dentro del molde hasta aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su capacidad, y con una varilla punta de bala se acomoda mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en el interior del concreto.
- Se toma otra porción y procediendo de la misma forma se vierte el concreto hasta aproximadamente $\frac{2}{3}$ de su capacidad, compactando nuevamente mediante 25 golpes de tal forma que la varilla de compactación penetre en la capa anterior aproximadamente unos 2 centímetros.
- Haciendo el mismo proceso se vierte la tercera capa de concreto hasta llenar el molde por encima del borde y se compacta mediante otros 25 golpes de la misma forma que en las otras dos capas, retirando finalmente el excedente de concreto enrazando el molde pasándola varilla punta de bala horizontalmente por borde superior del molde.
- Los cilindros se identifican con la fecha y hora del muestreo, nombre de la obra, lugar de muestreo, sitio del que se tomó la muestra y numero progresivo de la muestra con un marcador resistente al agua para su control.





CAPÍTULO 4

Procedimiento para la Construcción de La losa de Cimentación

**4.1 METODOLOGÍA PARA LA LOSA / 4.2 ACERO DE
REFUERZO / 4.3 COLOCACIÓN DE FRONTERA / 4.4
INSTALACIÓN DE CONDUCTO CALEFACTOR / 4.5 VACIADO,
COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO / 4.6
ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DE EQUIPO /
MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO**





4 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN

4.1 METODOLOGÍA PARA LA LOSA.

La construcción de la losa de cimentaciones es la continuación de la cimentación externa, las actividades de topografía en esta etapa de la construcción solo se enfocan a revisar los niveles la losa de cimentación, ya que las coordenadas quedan fijas desde la construcción de la cimentación externa de los tanques.

Las actividades para la construcción de la losa de cimentación central son más sencillas, siendo las principales del área civil; la colocación del acero de refuerzo, instalación de las fronteras con metal desplegado, los embebidos que son también la continuación de la tubería del ducto calefactor y el vaciado y colocación de concreto premezclado.

4.2 ACERO DE REFUERZO.

El habilitado y colocación de acero de refuerzo es una de las actividades principales en la construcción de la losa de cimentación. El habilitado de acero es considerablemente menor ya que solo se habilitan las silletas para sostener y mantener la separación entre del lecho superior y el lecho inferior del armado y los cortes para los ajustes en los extremos de la circunferencia, debido a que todo el armado del acero en ambos lechos y ambos sentidos de la losa de cimentación es con varilla recta, únicamente los extremos de la losa van colocados los ajustes que se traslapan con la continuación de la losa externa.

El acero utilizado para la losa de cimentación es de la misma calidad y características que las que se emplearon en la instalación para la cimentación externa del tanque de $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ de acuerdo con la norma del ASTM 615 de grado 60, de 1" de diámetro y 12000 mm de longitud. La separación del acero es de 2500 mm en ambos lechos y en ambos sentidos, los traslapes según la *tabla 3.3 la longitud L_t* correspondiente para la varilla del N°, 8 (1" de diámetro) es de 1168.4 mm y el número de traslapes no debe ser superior al 50 % en una misma sección.

Las silletas se habilitan con acero del N°. 4 (1/2" de diámetro), utilizando el mismo criterio del habilitado para los dobleces mencionados en la *tabla 3.2 Diámetros mínimos de doblado* su colocación es a cada 600 mm de separación, los amarres se hacen con alambre recocado calibre 16 y se realizan al 100 %.

El recubrimiento inferior de acuerdo a la *tabla 3.4 Recubrimientos mínimos para el concreto no presforzado*, el recubrimiento mínimo para el acero del lecho inferior es de 75 mm. Los bloques de concreto o separadores se colocan a cada 400 mm de separación, el recubrimiento del lecho





superior es de 50 mm que se verifica con apoyo de la cuadrilla de topografía mediante la colocación reglas metálicas.

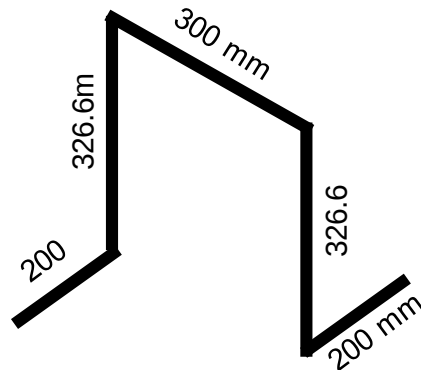


Fig. 4.1. Diseño de silletas de acero corrugado del Núm. 4 (1/2" de diámetro).



Fig. 4.2 Armado de acero de refuerzo.

4.3 COLOCACIÓN DE FRONTERA

Losa de cimentación se divide en tres grandes secciones: una sección central de 19400 mm de ancho, 120 mm de espesor y en los extremos de 600 mm de espesor en el centro y dos secciones laterales de formas de semicírculo con 26900 mm de ancho y 1200 mm de espesor en el perímetro del semicírculo y de 600 mm en el centro. Como se hizo en la colocación de la frontera del lado interior de la cimentación externa del tanque, se coloca metal desplegado de tipo metal-red para cielo falso E6-22, para evitar la preparación posterior de la junta de construcción.





La manera de resistir las cargas causadas por el empuje del concreto sobre la frontera es con varilla de 1" de diámetro colocadas verticalmente entre el armado de las dos parrillas a cada 600 mm de separación, apuntaladas con madera de polines 4"x4". Para lograr los niveles y espesores de la losa de cimentación se colocan unas reglas de acero tubular de 2"x2" a cada 2500 mm de separación entre reglas indicando el nivel tope de concreto (NTC) o nivel de piso terminado(NPT).

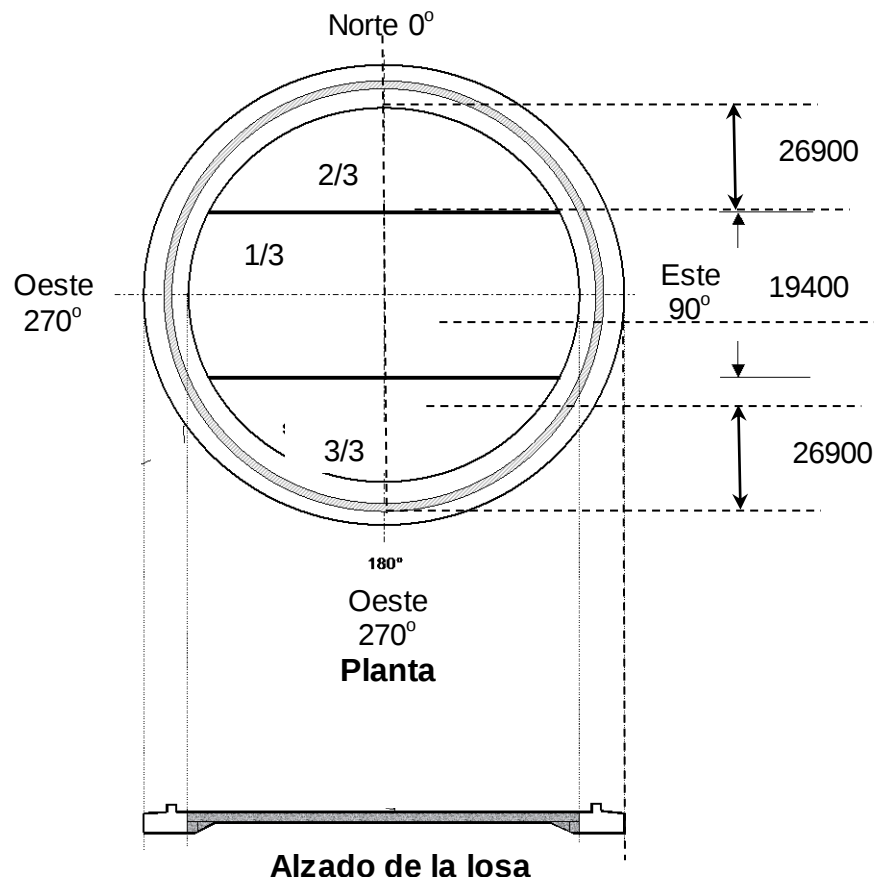


Fig. 4.3 División de la losa para la colocación de las fronteras.

4.4 INSTALACIÓN DEL CONDUCTO CALEFACTOR.

El conducto calefactor es la continuación de la tubería tipo conduit galvanizado de 1" de diámetro igual que en el caso del armado de acero de refuerzo, la instalación de la tubería conduit solo son tramos rectos unidos en sitio mediante coples y cinta teflón, la unión tiene que ser completamente hermética.





La tubería del ducto calefactor se instala sobre silletas habilitadas con acero de $\frac{1}{2}$ ", que se sujetan sobre la parrilla de acero corrugado del lecho inferior con alambre recosido calibre 16. Una vez instalado el conducto calefactor se realizan una prueba neumática para verificar la hermeticidad en las uniones de conducto.



Fig. 4.3 Pruebas neumáticas al conducto calefactor.

4.5 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DEL CONCRETO.

El concreto para la losa de cimentación es un concreto premezclado de resistencia a la compresión de 35 MPa. ($f'c = 370 \text{ kg/cm}^2$), el mismo utilizado en la cimentación externa del tanque, al igual que el tipo de cemento CPP – 30 R RS, basada en la norma mexicana NMX – C 414 – ONNCCE.

4.5.1 Procedimiento del colado.

El colado se realiza con un frente de trabajo comenzado en la zona Este (90°) avanzando hacia la dirección Oeste hasta completar la primera sección de la losa de 19400 mm de ancho (sección central).

Terminada la primera sección de la losa se continua con el segundo tercio de la losa de cimentación de 26900 mm de ancho, el concreto se coloca de igual manera que para la sección central comenzando por el lado Este en dirección al lado Oeste, y se realiza el mismo procedimiento para el tercer tercio de la losa hasta completar las tres secciones de la losa. El concreto es colocado en dos capas de 300 mm de espesor cada una para lograr el espesor de final de la losa que es de 600 mm.





4.5.2 Inspección final.

Antes de comienzo con la colocación del concreto, se revisarán los siguientes puntos:

- Colocación del acero de refuerzo: espaciamiento, amarres, diámetro, recubrimiento
- Topografía: niveles y espesores.
- Juntas constructivas: colocación correcta del metal desplegado.
- Conducto del calentador: colocación, ubicación y conexiones.
- Limpieza general
- Humedecer la junta y la superficie del colado.

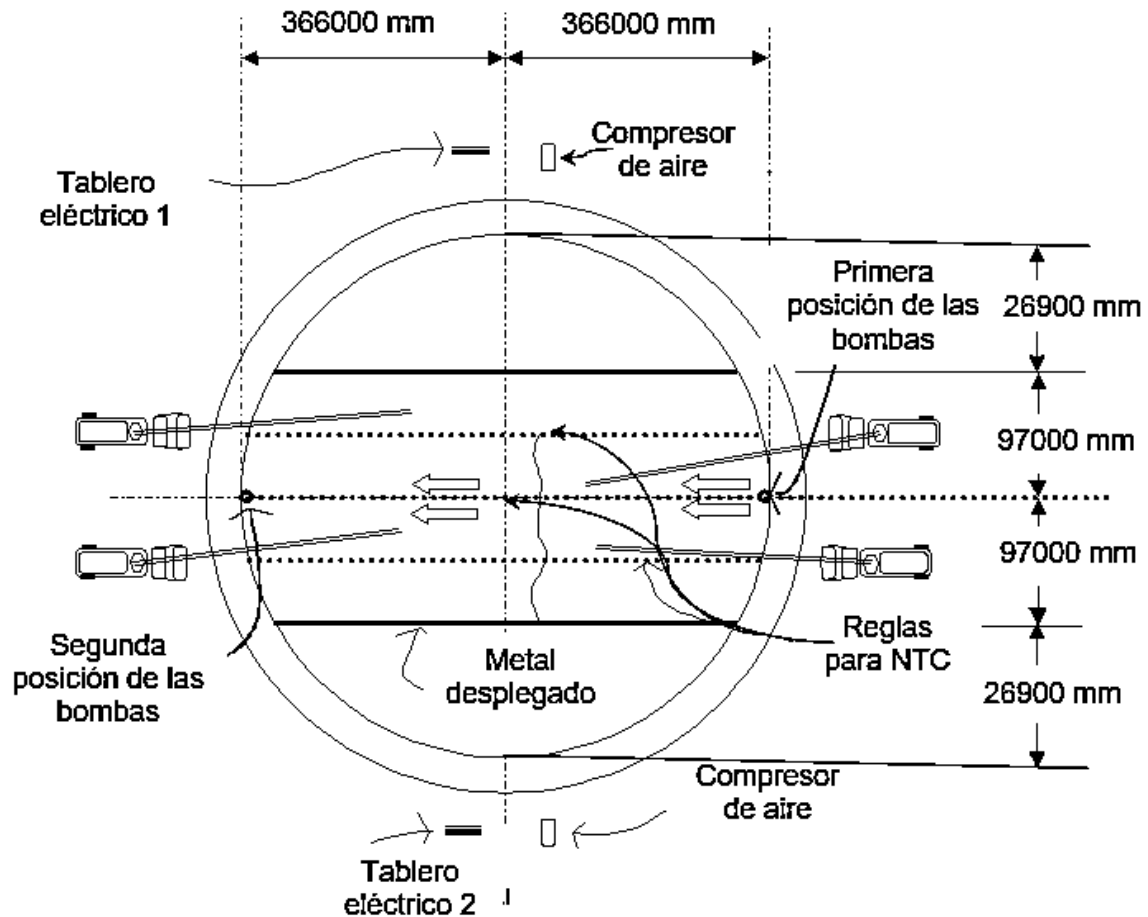


Fig. 4.4 Diagrama de secuencia para el colado de la losa de cimentación.





4.6 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.

Al igual que en el vaciado y colocación de concreto de la cimentación externa se requiere conocer el programa de suministro, arreglo general de equipo y fuerza de trabajo para evitar interferencias y por consiguiente retrasos a la hora de que se esté efectuando el colado, esta información para el suministro, vaciado y colocación del concreto es:

4.6.1 Información técnica

Volumen de concreto.....	2100 mts ³
Clasificación del colado.....	Masivo
Resistencia del concreto.....	Concreto MPa 35
Tipo de colado.	Bombeo
Temperatura	Temperatura controlada menor a 32° C.

4.6.2 fuerza de trabajo.

El colado se efectúa con un solo frente de trabajo y con tres cuadrillas de trabajo, cada cuadrilla está programada para trabajar durante 8 horas cada una de las cuadrillas. Para completar 24 horas por entre las tres cuadrillas y en caso de que se requiera una ampliación de tiempo para terminar, el primer grupo retornara para concluir el colado.

La fuerza de trabajo para cada turno es en la misma cantidad personas y con las mismas categorías o especialidades que en la losa externa de la sección 3.10.2 fuerza de trabajo del capítulo 3.

4.6.3 Suministro y abastecimiento de concreto.

Tomado como referencia el rendimiento de la producción de concreto de las dos plantas de concreto para el colado de la cimentación externa de los tanques, y en vista del volumen necesario de 2100 m³ para la losa de cimentación, el tiempo del colado estimado de aproximadamente 18 Horas, comenzando a las 7:00 horas.

Al igual que para el colado de la cimentación eterna, cada planta concretera deberá tener los materiales suficientes para que, en caso de una avería en una de las plantas, con una sola planta se pueda terminar el suministro de concreto, para la losa de cimentación cada planta debe tener las cantidades de materiales siguientes:

Materiales:

Cemento	850	toneladas
Agua	80	m ³





Hielo	250	toneladas
¾ de la grava”	1500	toneladas
Arena.....	2160	toneladas
Aditivo tipo D del <i>fluidizer</i>	5780	lts

Equipo a usar:

El equipo disponible para el colado de la losa de cimentación es en la misma cantidad y en las mismas condiciones que se emplearon para el colado de la losa de cimentación externa.

4.6.4 Vibrado y acomodo del concreto.

Realizar un correcto vibrado al concreto es sumamente importante ya que con este procedimiento se expulsan las burbujas de aire atrapadas en el concreto haciendo que las partículas de concreto estén más unidas. El procedimiento para el vibrado es el mismo aplicado para la cimentación externa en la sección 3.9.1 Vibrado del concreto del capítulo 3.



Fig. 4.5 Vaciado del concreto para la losa de cimentación.

4.6.5 Acabado de la superficie del concreto.

Concluido el colado se comienza con terminado o *acabado* de la superficie del concreto que para la losa de cimentación es con llana metálica, el tratamiento que se le tiene realizar a la superficie del concreto es como mínimo de dos pasadas con la llana, por el área extensa que tiene la losa y para poder cubrir rápidamente toda la superficie, se utiliza la flota de aluminio cuyo alcance con las extensiones tubulares, dimensiones de la flota, su poco peso y la facilidad de uso por el sistema integrado de *push & pull*, resulta sumamente fácil ir apenas detrás de donde se va acomodando el concreto.





Fig. 4.6 Uso de la flota de aluminio.

Como todo concreto que lleva integrado un acabado en la superficie, se le debe dar el tiempo necesario para la aplicación de este tratamiento. Por ese motivo es extremadamente importante estar pendientes de la variación de temperatura durante el proceso de fraguado del concreto y tomar en cuenta los factores externos que aceleran o retrasan este proceso, siendo los factores climatológicos los principales.

Como aportación personal basada a la experiencia a la superficie de cualquier concreto se le debe tratar con dos o más pasadas con la llana independientemente de la textura que se le quiera dar a la superficie. Ya que el concreto durante el proceso de fraguado pierde humedad y es aquí donde influye el tipo de clima donde se esté construyendo.

En climas cálidos la pérdida de humedad es mucho más rápida por lo que hay que apresurarse para integrar la textura en la superficie del concreto. Esta pérdida de humedad provoca que aparezcan grietas superficiales y la forma de eliminarlas es, con una segunda aplicación o pasada con la llana o más si es necesario, a fin de hacer que desaparezcan las grietas que se hacen por la contracción del concreto con la pérdida de humedad.

Después de acomodar el concreto es necesario esperar a que concreto comience a *sangrar* para darle la segunda pasada con la llana de acuerdo al tipo de textura de la superficie para ir cerrando las grietas que aparecen. Después de la segunda pasada con la llana hay que continuar inspeccionando por si aparecen nuevas grietas e irlas cerrando antes que el proceso de fraguado del concreto termine.

En climas donde la temperatura descienda bajo 0°C , el contenido de agua en la mezcla de concreto se congela formando un espacio ocupado por el agua congelada que provoca que el concreto se agriete. Si la temperatura esta por lo debajo de los 0°C es mejor no colar, y si es muy necesario colar con ésta condición de clima extremo, entonces se recomienda proteger el concreto con una lona y si el frio es muy severo se instalan calentadores para aumentar la temperatura, evitando con esto el agrietamiento del concreto por congelación de agua contenida en la mezcla.





4.6.6 Curado de la superficie de concreto.

Existen varios métodos de curado para el concreto dependiendo de la textura o acabado de la superficie, y de si continua o no con la construcción mediante las juntas constructivas que también se les da un tratamiento de curado, o si la superficie se le aplica pintura o solo será aparente. Dependiendo de lo anterior es como se elige el método adecuado para curar el concreto.

La elección del método de curado depende también de la disponibilidad de productos, practicidad, necesidades y de un análisis costobeneficio. A través del curado es como el concreto se mantienen con las condiciones de humedad y temperatura necesarias para que el concreto desarrolle las propiedades de resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad para las que ha sido diseñado.

En general, se utilizan varios métodos o técnicas que mantienen saturado el concreto evitando la perdida de humedad que se produce durante los primeros días desde el colado, reduciendo la evaporización superficial del agua en el concreto.

Los métodos más usuales para mantener saturado el concreto son:

- Mantener cimbrado los elementos de concreto, este método se puede realizar para cimentaciones, zapatas, dados, columnas, trabes y en superficies que posteriormente se aplicara pintura.
- Cubrir la superficie, este método es más común utilizarlo para losas, pisos y pavimentos, que se pueden cubrir utilizando arpillera húmeda o cubriéndolas con un polietileno u otro material no absorbente. Para éste método se debe tener especial cuidado ya que, si el concreto no está lo suficientemente endurecido se puede marcar la superficie al momento de cubrirla.
- El riego superficial, es aplicado por aspersión de forma permanente por 7 días como mínimo, para mantener saturado el concreto evitando el secado superficial. Cuando se trata de grandes superficies expuestas se puede ser un método económico, solo teniendo cuidado de que cuándo el concreto está demasiado fresco aplicarlo de una forma muy fina para evitar el deterioro de la superficie.
- El método de curado por inundación es mantener a una capa de agua sobre la superficie de concreto permanente sobre la superficie de concreto, este método es uno de los más antiguos y resulta más efectivo, el inconveniente que tiene este método es que solo se puede aplicar en superficies horizontales.





- El uso de un compuesto líquido que forma una membrana artificial. Estos los hay en base de agua o en base de aceite, no se recomienda utilizarlos en superficies donde se continua con la construcción, es decir en las juntas constructivas ni en superficies donde se aplicará pintura.
- Los selladores compuestos por lo general se aplican en concretos secos y su función es proteger el elemento de concreto del ingreso de humedad y otros agentes agresivos para el concreto.
- Curado acelerado a vapor es comúnmente utilizado para curar los elementos prefabricados y se aplica en cuatro etapas:
 1. La primera es el periodo de espera de fraguado que se mantiene el concreto en reposo por 2 a 5 horas.
 2. La segunda es el periodo de elevación de temperatura que consiste en aplicándole tratamiento térmico al elemento hasta alcanzar la temperatura de entre 65° a 80° C. el incremento de temperatura no debe rebasar a los 20° C/hora.
 3. La tercera etapa es darle el tratamiento donde la pieza permanece a temperatura sin variación durante 6 a 8 horas.
 4. La cuarta etapa es el descenso de temperatura gradual sin rebasar los 15° C/hora.
- El curado por carbonatación es un método utilizado para la producción de piezas pequeñas de concreto como los bloques, es basado en lograr que el hidróxido de calcio (Ca(OH)^2) combinado el dióxido de carbono (CO_2) en una cámara de curado que produce una pasta leve sobre la superficie de material cementante, este método no se utiliza en elementos de concreto reforzado por alcalinidad que produce la pasta dañando al acero.
- El método de curado seco es también utilizado para la producción de bloques, se logra bajar la temperatura es rápido en general se combina en cámaras de curado con el método de carbonatación con la baja de humedad rápidamente.

El método de curado para la losa de cimentación es el de aplicar una membrana líquida combinado con el método de cubrir la superficie con polietileno.





Fig. 4.7 Ejecución de curado del concreto.

4.6.7 Gestión de emergencias.

La gestión de las emergencias por fallas mecánicas y condiciones climatológicas son la mismas que se pueden presentar como en el colado de la cimentación externa de los tanques, y por consiguiente la misma manera de atender estas emergencias. Solamente a modo de recordatorio se mencionan cuáles posibles emergencias que pudieran surgir, y la forma de atenderlas es como anteriormente se explicó en la sección 3.10.4 *Gestión de emergencias del capítulo 3*.

- Falla en alguna planta concretera.
- Falla de bomba de concreto.
- Equipo secundario o apagón.
- Emergencia por cuestiones climatológicas.
- prevención del colado durante la noche.

4.7 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.

La prueba del concreto fresco de acuerdo de a la norma NMX-C-156-ONNCCE-vigente “Industria de la construcción- Concreto fresco- Determinación del revenimiento, NMX-C-161-ONNCCE-Vigente “Industria de la construcción- Concreto fresco- Muestreo. validando el método que hace referencia la ACI 214.

Se realiza con los mismos criterios para la toma de muestras para concreto fresco de la sección 3.11.1 *Determinación del revenimiento del concreto fresco del capítulo 3*. Así como en la sección 3.11.2 *Toma de muestras de concreto fresco para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto*.





CAPÍTULO 5

Procedimiento Para la construcción de Los muros de Concreto

5.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PARED / 5.2 ACTIVIDADES TOPOGRÁFICAS / 5.3 MATERIALES / 5.4 ACERO DE REFUERZO / 5.5 PLACAS EMBEBIDAS EN EL CONCRETO / 5.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ANCLAJES DE PRESFUERZO / 5.7 CIMBRA DE MUROS / 5.8 SECUENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MURO / 5.9 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CURADO DE LAS PAREDES DE LOS MUROS Y JUNTAS CONSTRUCTIVAS / 5.10 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.





5 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MURO DE CONCRETO

5.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCION DE PERED.

La construcción de los muros de concreto es donde se concentra toda la atención ya que es aquí donde sistemas especializados se integran, como lo es el sistema de cimbra trepante tipo UNISPAN, la colocación de ductos del presfuerzo, la colocación de las placas embebidas y sobre todo la redondez y plomeo de la cara interna de los tanques que deben ser perfectas, una falla en la cimbra provocaría que la cúpula se atasque al momento de izarla provocando un volteo.

Los muros se construyen con 10 anillos o niveles de concreto presforzado, armados con acero de refuerzo de 1" de diámetro, comienza en su base con espesor de 800 mm hasta el anillo N°. 8, a partir de anillo N°. 9 el espesor el muro es de 750 mm que sube constante al No.10, cada anillo tiene una altura de 3900 mm para una altura total de los muros de 39000 mm.

Cada nivel es colado en tres fases o tercios, a acepción del primer nivel que se divide en 4 secciones, en su interior se instalan tuberías para los ductos del presfuerzo y en los cuatro puntos cardinales se construyen los *butress o contrafuertes* para anclar los cables que forman cada tendón del presfuerzo. La tubería de presfuerzo se instala en sentido horizontal y en sentido vertical.

Para la construcción de los muros se utiliza un sistema de cimbra trepante la empresa chilena UNISPAN que se va instalando en cada nivel con el apoyo de tres grúas torre, ubicada a cada tercio de cada tanque.

En la parte superior se construye la viga circular para sostiene el *roof* o cúpula de acero de 480 ton, recubierto con acero de refuerzo y dos capas de concreto de 1500 mm de espesor por capa. Para el exterior se coloca una serie de placas embebidas que sirven de apoyo para la instalación de los soportes de la tubería de llenado y emisión de gas, así como para la instalación de las escaleras de servicio, por el interior también se colocan una serie de placas embebidas que son para sujetar uno de los tanques secundarios de acero.

5.2 ACTIVIDADES TOPOGRÁFICAS.

A partir de esta etapa de la construcción, cada cuadrilla de topografía permanece de tiempo completo, el objetivo es lograr a la perfección de la redondez y el plomeo de la cara interna del tanque, para lograrlo, se revisa constantemente la correcta ubicación de la cimbra, la tolerancia de





redondez y del plomeo es de apenas 2 mm por cada 5000 mm de altura debiendo corregirse en cada nivel.

Las placas embebidas en el concreto se colocan con apenas un milímetro de tolerancia de diferencia respecto a la cara interna del paño del muro, la ubicación de las *tromplacas* para el anclaje del presfuerzo se colocan sin tener diferencia en cuanto a la elevación correspondiente para el mismo ducto, la tubería horizontal se debe tener especial cuidado en una adecuada horizontalidad para evitar curvatura y zonas bajas ya que es aquí, donde se puede acumular basura, agua, o algún astro tipo de obstrucción para cuando se inserten los cables.

La importancia de ubicar correctamente cada nivel de la cimbra es porque, ésta es modulada y tiene que coincidir perfectamente los orificios para colocar los pernos de anclaje de la misma estructura de la cimbra.

No se puede vaciar el concreto premezclado si el topógrafo responsable no libera cada elemento y el reporte sea entregado firmado de autorización para poder integrarlo a la orden de colado.

5.3 MATERIALES.

Los principales materiales que se emplean en la construcción de los muros de los tanques son de la misma calidad a los descritos en la sección 3.2 *materiales y sus características de calidad*, además de que para la construcción de los muros se integran los siguientes materiales:

- Acero de refuerzo, de $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ de acuerdo con ASTM 615 de grado 60, de 1" de diámetro y 12000 mm de longitud para el muro del tanque.
- Acero de refuerzo, de $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ de acuerdo con ASTM 615 de grado 60, de 5/8" de diámetro habilitado en el taller para los *Butress* o contrafuerte.
- Acero de refuerzo para, separadores y soporte de tuberías N°. 4 (1/2" de diámetro), de $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ de acuerdo con ASTM 615 un grado 60.
- Concreto premezclado de resistencia a la compresión de 35 MPa ($f_c = 370 \text{ kg/cm}^2$).
- Tuberías para ductos del postensado con engargolado calibre 26 para conductos de líneas horizontales que cumple con la norma ASTM A-653 (acero galvanizado).
- Tubería para conductos de líneas verticales del postensado que cumple con la norma ASTM A-513 (acero Aceitado).





- Anclaje o *tromplacas* del tendón que cumple con las especificaciones de *Freyssinet intervalo de C postensioning* sistema 19C15.
- Placas de acero al carbón con aleación 9 % níquel de 200 mm x 200 mm, 200 mm x 300 mm, 200 mm x 390 mm, 400 mm x 400mm por $\frac{1}{2}$ " de espesor, con anclaje de varilla de $\frac{1}{2}$ ", de 150 mm de longitud.

5.4 ACERO DE REFUERZO.

Acero de refuerzo se corta y se habilita en el taller. Los cortes dobleces y traslapes, se realizan de acuerdo a las especificaciones del proyecto descritas en las secciones 3.4.2 *Cortes del acero de refuerzo*, 3.4.3 *Ganchos y dobleces* y 3.4.4 *Traslapes* del capítulo 3.

5.4.1 Colocación y armado del acero de refuerzo.

Cuando los trabajos de la preparación de la junta de construcción estén terminados, se inicia con la colocación y armado de acero de refuerzo, primero se colocan las barras en sentido vertical colocando las más cortas y se arman con las horizontales, una vez que estén firmes se colocan las varillas largas y se termina con el revestido de acero. La separación de las varillas es de 2500 mm en ambos sentidos, solo se va armando como altura máxima 12000 mm, que es la longitud de la varilla y como altura mínima es la altura del anillo 3900 mm más 1600 mm de la longitud del traslape.

El procedimiento anterior se realiza con la ayuda de dos grupos de personas, uno armando la capa externa de la pared y el otro grupo armando la capa de la pared interna. La separación entre el revestimiento de la pared interna y la externa se realiza al mismo tiempo para rigidizar el armado mediante las grapas de acero de refuerzo de $\frac{1}{2}$ " (varilla del N°. 4) con una separación de 600 mm en ambos sentidos (vertical y horizontal) y los amarres en el revestimiento de acero de refuerzo son al 100%.

Los bloques o separadores de concreto se colocan en el armado antes de cerrar los paneles de la cimbra a 1200 mm de separación entre los separadores, para que cuando se instale la cimbra ya estén en su posición garantizando con esto los 50 mm de recubrimiento.

Esta separación y ubicación de los bloques de concreto es mayor que en la del armado de acero de la cimentación, porque en la cimentación los separadores soportan todo el peso del acero y en el revestido de acero de los muros solo se utilizan para garantizar el recubrimiento mínimo requerido y un poco de presión por el empuje del acero contra la cimbra.

El recubrimiento para el armado de acero refuerzo se considera de acuerdo con las tablas 3.4 *Recubrimientos mínimos para el concreto no presforzado*, 3.5 *recubrimiento mínimo para*





concretos precolados y 3.6 Recubrimiento mínimo al acero en concreto presforzado del capítulo 3 según sea el caso.



Fig. 5.1 Armado de acero de refuerzo para los muros del tanque del primer nivel.

5.5 PLACAS EMBEBIDAS EN EL CONCRETO.

Una vez que se tenga listo el armado el acero de refuerzo se colocan los elementos que van embebidos, estos se fijan hasta que la cimbra este en su posición correcta, sujetándolos fuertemente contra la cimbra para garantizar de que no quede espacio entre la superficie de contacto de la cimbra y la superficie de la placa evitando con esto la entrada de lechada o pasta de concreto en medio de la placa y la cimbra.

Todas las placas que se instalan son habilitadas en el taller, se les coloca unas anclas de varilla lisa o redondo liso de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 150 de longitud. La placa es de acero al carbón con aleación 9 % níquel, para las medidas de: 200 x 200, 200 x 300, 200 x 390, 400 x 400. Todos los elementos que van embebidos en el concreto deben de estar libres de óxido, grasa, solventes u otro contaminante que afecte la adherencia del acero al concreto, además deben tener una protección anticorrosiva como puede ser un galvanizado por inmersión en caliente o una película del tipo de *Primer*.

Las placas de sección de 200 x 3900 mm se instalan horizontalmente a 300 mm por arriba del nivel tope de concreto de la losa de cimentación en todo el perímetro de la pared interna del tanque, unidas con soldadura con un biselado en V, el tipo de soldadura es con electrodos de 60-10 de $\frac{1}{8}$ " de base y se termina con soldadura 70-18 de $\frac{1}{8}$ ". Aplicando después de la soldadura un galvanizado en frio en cada unión de las placas.





En el sentido vertical se instalan placas de 200 x 3900 mm a cada 4000 mm unidas con soldadura como en el caso de la unión de las placas horizontales (60-10 y 70-18), las placas verticales son unidas a la placa perimetral horizontal en la base.



Fig. 5.2 Aplicación de soldadura para unir las placas en sentido horizontal y en sentido vertical.

5.6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA Y ANCLAJES DEL PRESFUERZO.

La tubería del postensado vertical y horizontal se instalan sobre grapas de acero de refuerzo de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, amarradas al revestido de acero de los muros. Los anclajes o *tromplacas* de los ductos del pretensado horizontal son apoyadas sobre cimbra de madera entre el armado de acero de refuerzo de los contrafuertes o *butress*, que después de postensado se aplicará un segundo vaciado de concreto para completar la sección.

Antes de verter concreto a cada sección de la pared, se realiza una inspección visual para comprobar que no existan daños a la tubería, estos daños son muy comunes que surjan durante la instalación de la propia tubería y por las demás actividades que se están ejecutando. También se realiza un lavado del interior de la tubería con un chorro de aire comprimido para comprobar que en el interior del ducto no existan obstrucciones.

5.6.1 Colocación de los ductos.

Los ductos se soportan rígidamente sobre grapas de acero de $\frac{1}{2}$ " de diámetro en intervalos no mayores a 1500 mm amarrados al acero de refuerzo del revestimiento de los muros, de tal manera que no se tengan desplazamiento durante la colocación del concreto. De ser necesario, se usan barras suplementarias para rigidizar la tubería del presfuerzo.





Las juntas entre secciones de los ductos se hacen mediante conexiones efectivas, las uniones no se deben realizar en donde resulten cambios de ángulo a fin de prevenir la entrada de pasta de cemento al vaciar el concreto.

Todos los orificios no intencionales en los ductos deben ser reparados antes de la colocación del concreto, las aberturas para inyección y ventilación de las *tromplacas* se protegen de la entrada de lechada o pasta de concreto para evitar taponamientos. En la instalación de la tubería horizontal se evita los puntos bajos, para prevenir la acumulación de agua o basura.



Fig. 5.1 Colocación de la tubería y tromplacas del presfuerzo.

5.7 CIMBRA DE LOS MUROS

La cimbra que se utiliza en la construcción de los muros de los tanques es un sistema de cimbra trepante metálica que, para este proyecto el proveedor del sistema es de la compañía chilena UNISPAN.

La forma de soportar las cargas producidas por el empuje del concreto contra la cimbra es mediante tensores metálicos internos y, básicamente, sobre paneles de 4000 mm de ancho por 3900 mm de altura. Este sistema se va levantando con la ayuda de las grúas torre que están ubicadas a cada tercio en cada tanque, las tres grúas de torre se instalan en la periferia de los tanques un ángulo de 120°, alcance de 40000 mm de longitud y capacidad de carga de 3000 kg. en el extremo más alejado de la base. Su instalación es a diferentes alturas para evitar





interferencias entre ellas. La estructura se van subiendo a los niveles consecutivos después del fraguado de cada nivel, anclándose por medio de pernos recuperables que se colocan previamente antes de cada vaciado de concreto.

Este sistema de cimbra está diseñado para armarse por módulos o paneles, y su diseño está basado en cálculos tomando en cuenta las cargas de la estructura, las cargas vivas y el empuje del concreto. Además, está equipado con barandales para que la gente transite y trabaje con seguridad, un nivel intermedio para revisar la instalación de la cimbra donde se encuentra el sistema que hace que abra y cierre los paneles, y una plataforma de trabajo en el nivel inferior que se incorpora a partir del tercer anillo para poder realizar reparaciones, aplicación de la membrana de curado líquido y aplicación de mortero seco en los huecos que quedan cuando los pernos de anclaje o conos metálicos recuperables son retirados.

Para que las personas puedan acceder entre las tres plataformas de trabajo, se colocan escaleras tipo marinas. para ascender y descender del sistema de la cimbra se instalan dos andamios con acceso a una de las plataformas de trabajo. Cada andamio dispone de una memoria de cálculo entregada por los proveedores que es comprobada por el ingeniero especialista en seguridad de ICA Fluor Daniel, IHI y de la gerencia de TLA Altamira.

5.7.1 Procedimiento de armado, montaje y operación del sistema de cimbra trepante.

Se comienza armando la estructura curva para 49 paneles de 4000 mm de ancho por 3900 mm de altura, para la cara exterior del muro, 4 paneles para los *butress* o contrafuertes de 5000 mm de ancho por 3900 mm de altura y tres tableros de ajuste. Para el muro de la cara interior del tanque se arman 53 paneles de 4000 mm de ancho por 3900 mm de altura y tres tableros de ajuste.

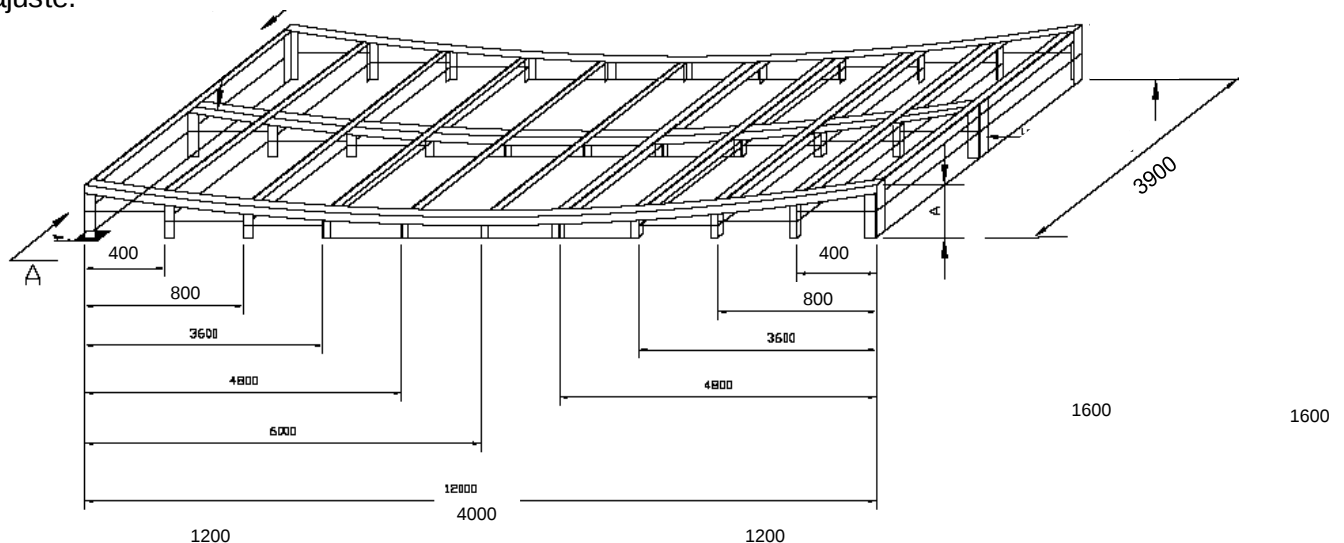


Fig. 5.2 Armado de la estructura curva para sujetar los tableros de la cimbra.





Sobre la estructura curva se van colocando los tableros metálicos unidos con unas cuñas tipo macho y cunas tipo hembra, los tableros son flexibles para dar la curvatura que se requiere, unidos a la armadura mediante grapas tipo B

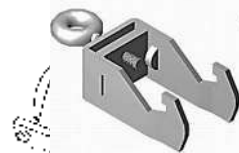
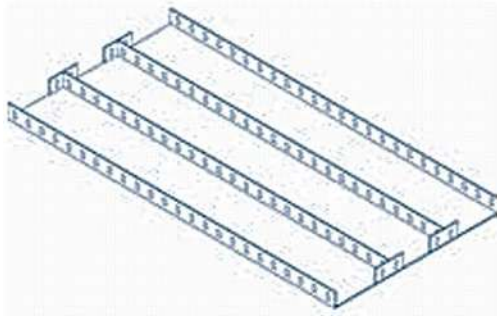


Fig. 5.3 Tablero flexible, cuñas tipo macho y hembra y grapas tipo B.

Se arman los paneles con la plataforma de trabajo y con el apoyo de las grúas torre se van colocando uno a uno, primero se coloca una cara del muro, para que se pueda atornillar a la cara colocada los separadores o tirantes metálicos que en sus extremos se les coloca un cono recuperable para que sirvan también como separadores, el plomeo de los penes se logra con los aplomadores que tienen la capacidad de jalar y empujar, los aplomadores únicamente se colocan por el interior del tanque:

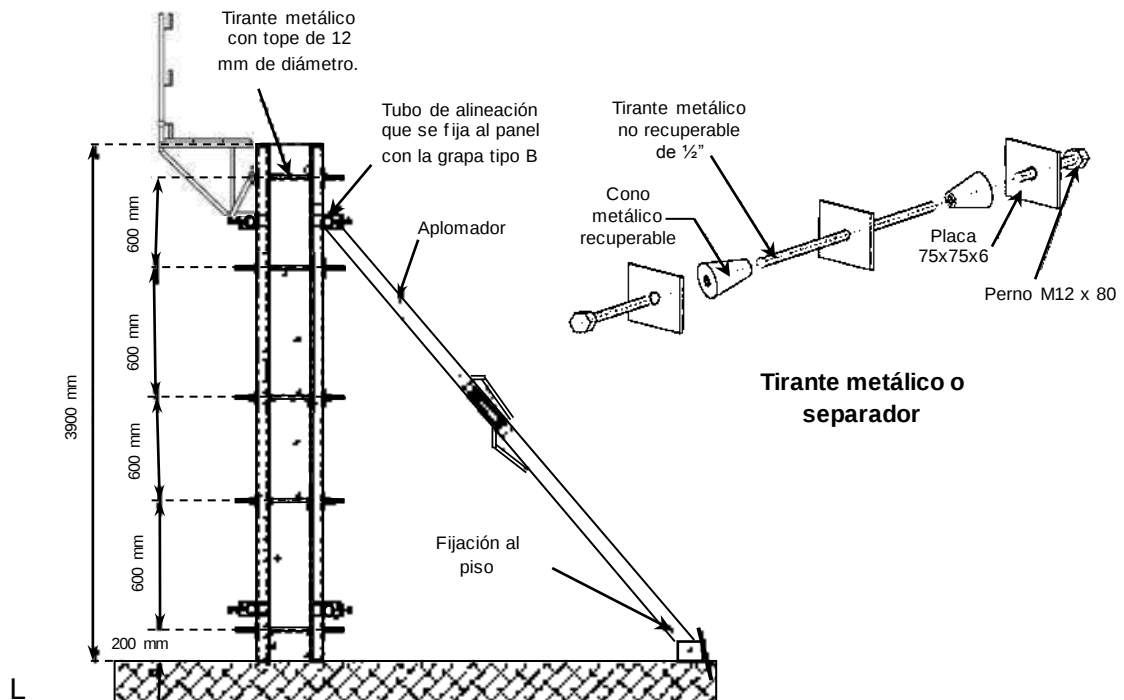


Fig. 5.4 diagrama de la colocación de la cimbra para el primer nivel.





Los conos metálicos sirven para sujetar la estructura en los siguientes niveles. Estos pernos soportarán el peso de la estructura, una vez que el concreto alcance su resistencia, se descimbra para subir al siguiente nivel sujetándose al muro con tornillos roscados de $\frac{3}{4}$ " de diámetro grado 5 a los conos que quedan embebidos en el concreto.

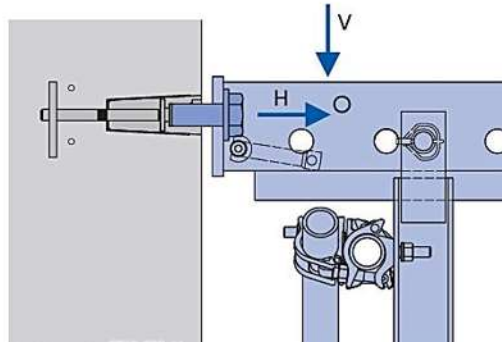


Fig. 5.5 Fijación de la estructura de la cimbra al muro de concreto.

La colocación de la cimbra para el segundo nivel se realiza retirando paneles del primer nivel con el apoyo de las grúas torre, se coloca la plataforma intermedia y sobre ella se colocan nuevamente los paneles de la cimbra.

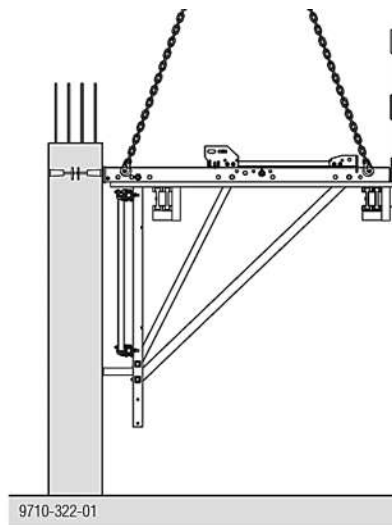


Fig. 5.6 Colocación de la plataforma intermedia de trabajo

Una vez sujeta la plataforma intermedia, sobre ella se colocan las vigas donde se monta el sistema móvil que hacen que se abran y cierren los paneles de la cimbra, para facilitar el cimbrado y descimbrado, se colocan los paneles metálicos al sistema móvil por medio de pernos roscados.



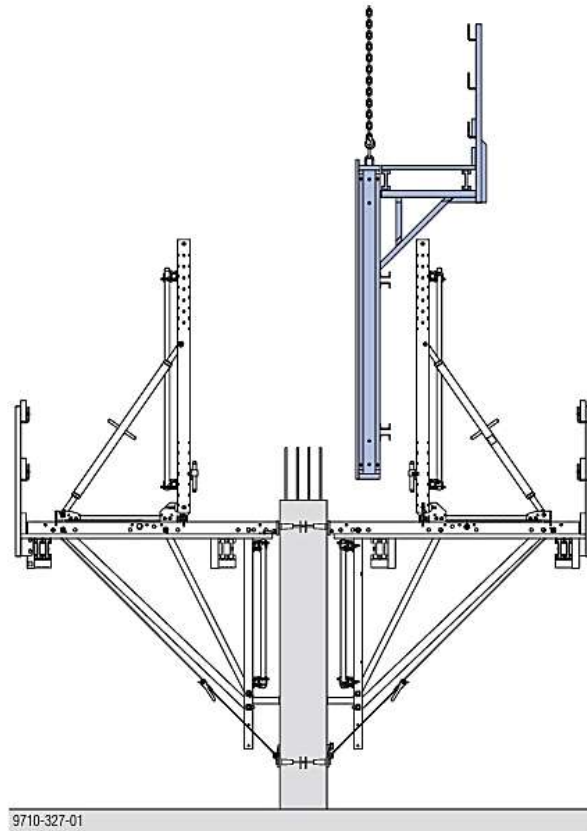


Fig. 5. Montaje del sistema móvil para abrir y cerrar los paneles de la cimbra

Este sistema permite que cuando los paneles esta abiertos se pueda trabajar en el armado de acero de refuerzo, la colocación de los ductos de postensado, colocación de los tirantes metálicos, para limpieza de la superficie metálica de contacto, que se debe de realizar después de cada colado, y la aplicación del desmoldante en la superficie de contacto de la cimbra.

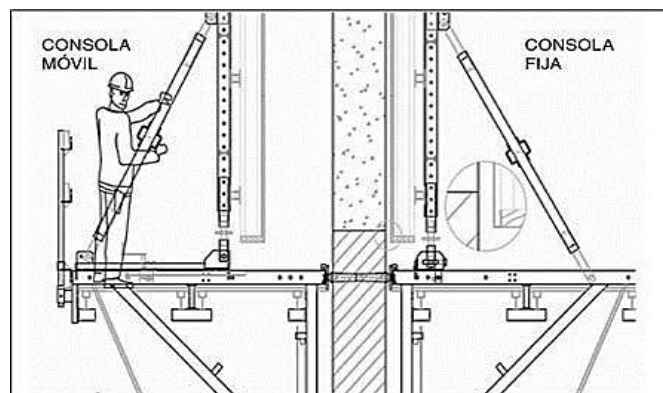


Fig. 5.6 Diagrama del funcionamiento de la cimbra.





Para el tercer nivel se acciona el sistema para que se separe el panel de la pared de concreto y con la ayuda de las grúas torres se levanta, mediante los pernos de anclaje como en la *Fig. 5.5 Fijación de la estructura de la cimbra al muro de concreto* y se coloca la plataforma inferior, esta última plataforma sirve para trabajar en el resanado de los huecos que deja los conos de anclaje metálicos con el método del mortero seco, para aplicar la membrana de curado al concreto e inspeccionar el muro sin que se afecte el avance la construcción de los tanques.

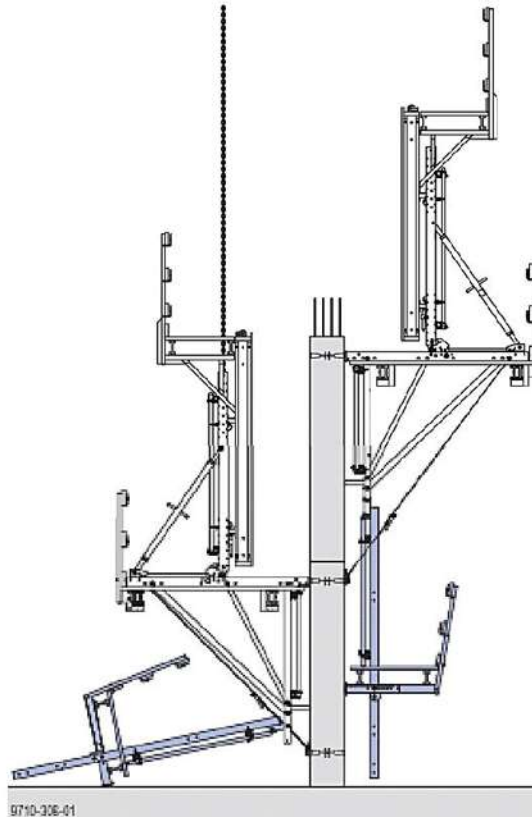


Fig. 5.7 Izaje de los paneles y colocación de la plataforma inferior de trabajo.

A partir del tercer nivel la estructura de la cimbra trepante está completa y la forma de acceso es mediante un una escalara de andamios, que se sujeta al tanque por medio de unos tubos que se les habilita una rosca de $\frac{3}{4}$ " en un extremo, se atornilla a los conos metálicos o pernos de anclaje. Estos tirantes de tubo se van colocando como la cimbra valla subiendo y por ende también el andamio. Se arman dos andamios por cada tanque uno al lado norte y otro a en el lado sur (0° y 180°). Para el acceso entre las tres plataformas de trabajo, se instalan unas escaleras tupo marinas ubicadas a cada 30000 mm, para acceder y descender de las escaleras se colocan trapas con bisagras para evitar huecos en las plataformas de trabajo. Todo lo anterior se realiza para los diez niveles o anillos y la trabe circular.



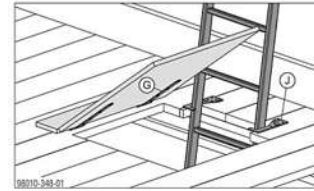
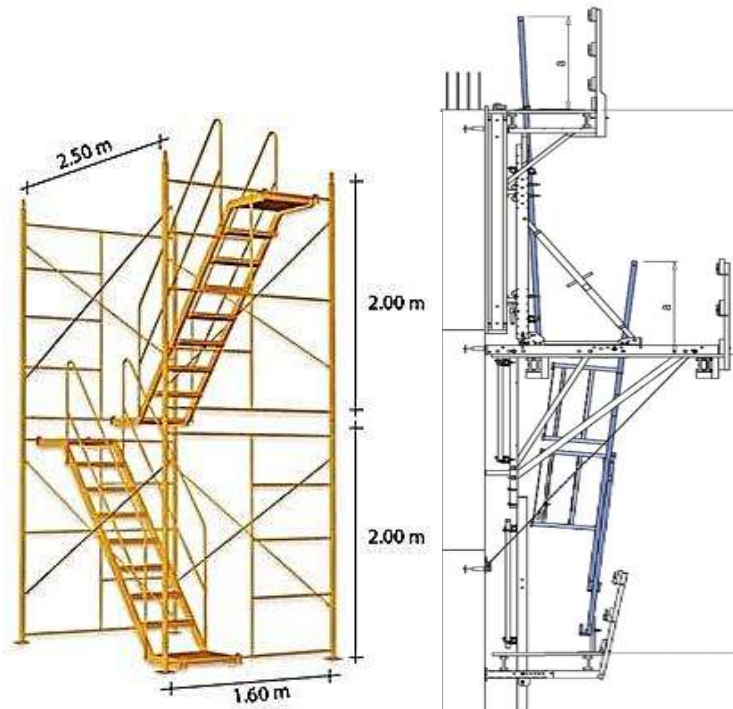


Fig. 5.8 Sistema de andamios para el ascenso y descenso del personal y colocación de las escaleras marinas para el acceso a las plataformas de trabajo.

5.8 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL MURO.

Cuando todas las anteriores actividades mencionadas se han completado (por cada nivel), se realiza un estudio o revisión general por el supervisor de calidad y el topógrafo de sitio, para confirmar que todos los elementos cumplan los requisitos procedimientos planos y especificaciones del proyecto.

5.8.1 Condiciones preliminares

Antes de comenzar cada evento de colado se hace una inspección en conjunto con el personal de control de calidad, construcción, topografía, IHI y TLA Altamira, atendiendo los puntos siguientes:

- Preparación conjunta, en la sección horizontal del muro que se realiza mediante la colocación metal desplegado troquelado contra el armado de acero de los muros.
- La junta de construcción horizontal que se prepara con el método de corte en verde dejando expuesto el agregado para que el concreto antiguo tenga adherencia con el concreto nuevo.





- Armado correcto del acero de refuerzo. Se verificar la calidad del acero de refuerzo, que cumpla con el recubrimiento, separación del acero, diámetro de la varilla, amarre, traslapes, que el acero no este contaminado ni presente oxidación y limpieza general.
- El cimbrado del muro debe cumplir con plomeo, alineamiento, troquelamiento, impermeabilidad y tersura. Se verifica la colocación y sujeción de elementos embebidos; localización y tratamiento de las juntas de construcción.
- El personal debe ser capacitado para usar el equipo disponible como vibrador, iluminación del área, si el colado es parcial o enteramente realizado en la noche; protecciones contra lluvia entre otras.
- Se debe tener en calidad de reserva un numero de vibradores equivalentes al 50% de los que se encuentren en uso, en buen estado y retirar del sitio de colado cualquier vibrador cuyo funcionamiento no sea satisfactorio.
- Instalación de cinta de esponja llamada *cola de rata* para el calafateo de los juntas de construcción.
- La Instalación de ductos y anclajes del presfuerzo que no tengan daños, aplastamientos, orificios, juntas despegadas y que estén sujetos con firmeza para evitar que se mueva de su sitio al momento del vaciado de concreto.
- Instalación de las placas embebidas que estén sujetas con firmeza contra la cimbra.
- Revisión de informes, no debe faltar el reporte de topografía, orden de collado, y certificados de calidad de los materiales.
- Limpieza general, se realiza con ayuda de un chorro de aire a presión.
- Mantener la junta de construcción horizontal y vertical húmedas al menos 2 horas antes de vaciar el concreto, no debe haber encharcamiento.

Todas estas actividades se llevan a cabo antes del vaciado de concreto y el supervisor de control de calidad se asegura de que todos puntos mencionados se han cumplido. El supervisor de calidad es el encargado de autorizar el vaciado de concreto, cuando todas las actividades anteriores se hayan completado satisfactoriamente.





5.8.2 Secuencia del colado.

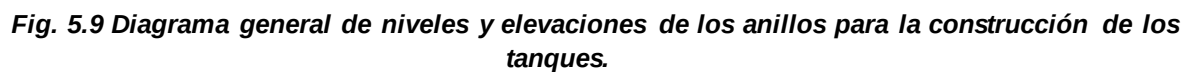
La construcción del muro se divide en 11 eventos, diez anillos de 3900 mm de altura y uno más de la trabe circular de 3440 mm de altura. En este capítulo solo se mencionará la secuencia para la construcción de los 10 anillos, la trabe circular se verá en el capítulo 6.

Las siguientes actividades se llevan a cabo para cada anillo. El uso de malla metálica es para dividir y la forma de preparar la junta constructiva vertical, se colocan según el arreglo para cada nivel, la idea es que no quede en el mismo sitio todas las juntas de construcción vertical si no que queden cuatrapeada.

Para nivel 1 el anillo se divide en cuatro secciones, del nivel 2 al nivel 8 se divide el anillo en secciones, cada sección se miden aproximadamente de 8000 a 6000 mm largo por 3900 mm de altura, para el nivel 9 y el 10 el espesor del muro es constante de 6000 mm de longitud y 3900 mm de altura, sus volúmenes son los siguientes y se dividen cada anillo cono sigue:

- Nivel 1, 882 m³; 220.50 m³ por sección para cada colado (Dividido 4secciones).
- Nivel 2, 852 m³; 213.00 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 3, 821 m³; 273.70 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 4, 790 m³; 263.40 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 5, 760 m³; 253.40 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 6, 745 m³; 248.40 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 7, 745 m³; 248.40 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Nivel 8, 745 m³; 248.40 m³ por sección para cada colado (Dividido 3 secciones).
- Para el nivel 9 y el nivel 10 el volumen de concreto es de 745 m³; 248.40 m³ por cada sección (dividido en 3 secciones). Para los niveles 10, 11 y la trabe circular se utilizan dos bombas, una con alcance de 48 mts y la otra con un alcance de 55 mts.







La colocación de concreto se realiza con el apoyo de dos bombas para concreto de 36 a 38 mts de alcance situadas la mitad de la sección a colar. El concreto se coloca con una manguera flexible de 6" de diámetro conectada a la pluma de cada bomba. El extremo de la tubería se mantendrá alrededor de 200 mm elevada sobre la superficie del concreto que se va colocando a fin de evitar que se le produzca un tapón la manguera ocasionando un colapso de la misma. La caída libre del concreto al ser vaciado no debe exceder de 1200 mm para evitar la segregación de concreto.

El concreto se debe acomodar en capas es de 300 a 400 mm una distancia entre los puntos de vaciado no mayor de 2500 metros del nivel 1 al nivel 8 la colocación de concreto se hace con dos bombas de alcance 36 a 38 metros.

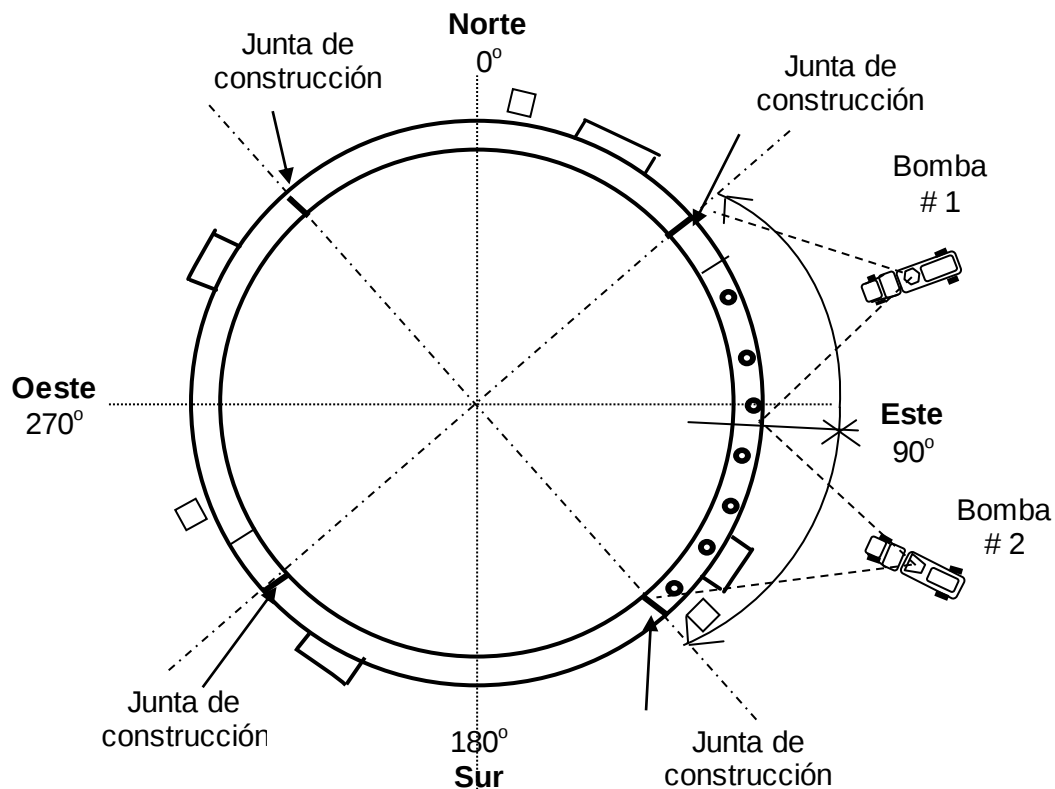


Fig. 5.10 Diagrama para la secuencia de los colados en el primer nivel.



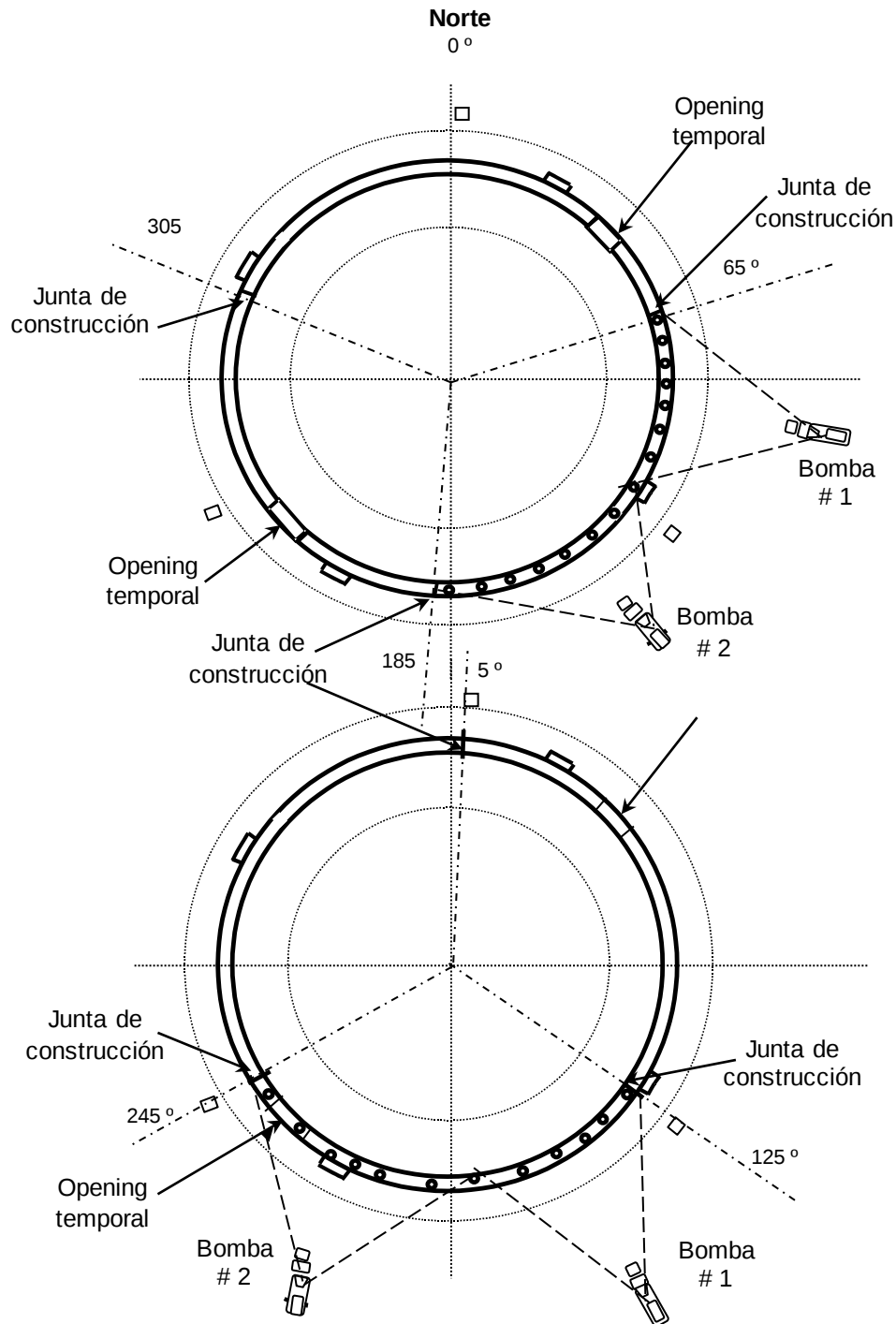


Fig. 5.11 Diagrama para la secuencia de los colados del nivel 2 al nivel 8 intercalándolos.



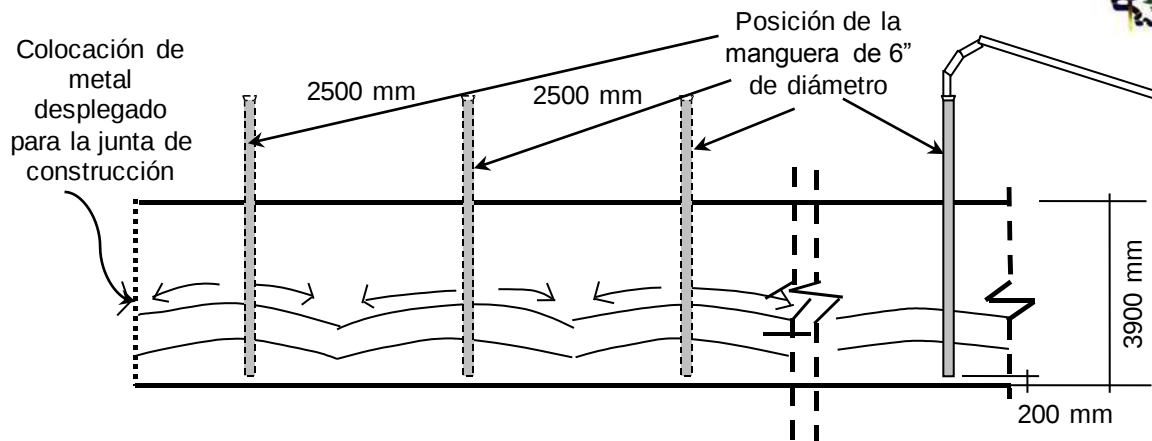


Fig. 5.12 Diagrama el vaciado de concreto para la construcción de los muros de los tanques.

El procedimiento para realizar el vaciado de concreto es básicamente igual para todos los niveles o anillos, se utilizan dos bombas móviles para cada sección y una tercera bomba en espera por si alguna de las bombas sufre una avería.

Se considera iniciar los colados a las 7:00 horas con una dación de 5 horas para el vaciado de concreto más tres horas para la preparación de la junta horizontal mediante el método de corte en verde y la colocación de rafia húmeda para el curado de del concreto, por cada bomba se considera la siguiente cantidad de personal y sus categorías:

Sobrestante.....	1
Albañil (para la colocación y el acabado)	3
Albañil (para la vibración)	6
Oficial fierrero.....	2
Ayudante.....	12
Total, de personal para cada bomba	24

Fuerza de trabajo para ayudar a los dos frentes:

Especialista Eléctrico.....	2
Especialista en mecánica.....	2
Ayudante.....	2
Total.....	6

Total, de mano de obra para cada sección de muro 54 personas.





5.8.3 Suministro de concreto.

El suministro del concreto se basa con el mismo criterio y procedimiento que se emplearon en los colado de la cimentación externa y la losa de cimentación, teniendo en cuenta el volumen necesario de concreto de entre 248.40 m³ y 220.50 m³ y una eficiencia del 90 %, el tiempo de suministro de concreto se calcula en de 5 Horas.

También el horario se calcula teniendo en cuenta la velocidad de vaciado, para evitar cualquier falla en la cimbra, **la velocidad de vaciado no rebasará más de 1.0 m³/minuto, el superintendente de ICA Fluor a cargo del colado es responsable de que esta velocidad de vaciado se respete.**

Siguiendo también el criterio de que ambas plantas deben tener el material suficiente para completar con una sola planta el suministro de concreto, en caso de que una de ellas tenga alguna falla importante, cada planta debe almacenar los materiales y cantidades siguientes:

Materiales:

Cemento.....	850	toneladas.
Agua.....	80	m ³ .
Hielo.....	250	toneladas.
¾ de la grava”	1500	toneladas.
Piedra caliza de la arena.....	2160	toneladas.
Aditivo tipo D del fluidizer.....	5780	lts.

Equipo a utilizar:

Planta de concreto.	2.00 (principal).
Camiones revolvedores (7m ³).	9.00 (2 de repuesto).
Bomba para concreto de 36 a 38 mts.	3.00 (1 de reserva) para niveles 1 a 8.
Bomba para concreto.	2.00 (1 L: 55m +1 L: 48m).
Diésel Generador.	2.00 (1 de reserva).
Portable (compresor de 325 ft.3/min).	1.00.
2 ½ " de diámetro de alta frecuencia de vibración.	6.00 (2 de repuesto).
Luz Maxi light.	2.00 (repuesto).





5.9 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CURADO DE LAS PAREDES DE LOS MUROS Y JUNTAS CONSTRUCTIVAS.

5.9.1 Preparación de junta de construcción.

La junta de construcción horizontal de los muros se prepara utilizando el método de corte verde, este procedimiento es el que se explicó en la sección 3.9.2 *Poscolocación de concreto* del capítulo 3.

Las juntas verticales como se ha visto se emplea metal desplegado evita la preparación de la junta con algún método de escarificado después del cada colado, solamente se espera a que el concreto halla fraguado para retiran los puntales y elementos que sirven para sostener la carga del empuje del concreto.

En ambas juntas de construcción tanto vertical como horizontal antes de verter el concreto nuevo se le aplica humedad al menos por 2 horas antes de vaciar el concreto, se recomienda también antes de cada colado vaciar una lechada de agua cemento con la relación no mayor a 0.48.

5.9.2 Opening temporales.

Para el primer nivel o primer anillo de concreto se dejan dos secciones abiertas para posteriormente poder ingresar a realizar todas las actividades subsecuentes llamados *opening Temporales*. Cuando se esté colocando la cimbra para el segundo nivel es entonces cuando con ayuda de un sistema total de obra falsa se instala el fondo del muro para el segundo nivel de los *opening*.



Fig. 5.13 Obra falsa para los opening temporales.





5.9.3 Curado de las juntas y de los muros.

El curado de las juntas se realiza con la colocación tela arpillera húmeda en toda la zona donde se realizó el corte en verde durante tres días como mínimo. De acuerdo al método de curado cubriendo la superficie, descrita de la sección 4.6.6 *Curado de la superficie de concreto* del capítulo 4.

En las juntas verticales con la ayuda del metal desplegado no es necesario realiza el escarificado de la junta para dejar el agregado expuesto, pero si es necesario humedece la junta por lo menos tres días posteriores al vaciado del concreto.

En los muros que están en contacto con la cimbra metálica se curan con la aplicación de una membrana de curador de concreto líquido descrita en la sección 4.6.6 *Curado de la superficie de concreto* del capítulo 4, la aplicación es inmediatamente después del descimbrado y después del resanado de los huecos que dejan los conos de los tirantes metálicos de la cimbra.

El descimbrado se realiza cuando el concreto alcance el 75 % de su resistencia como mínimo, y que la mediación del calor interno de los termo pares de una lectura de 15°C como máximo, de acuerdo a lo descrito en 3.9.2 *Poscolocación de concreto* del capítulo 3.

5.9.4 Gestión de emergencias.

La gestión de las emergencias por fallas mecánicas y condiciones climatológicas son la mismas que se pueden presentar en todos los colados, y por consiguiente la misma manera de atender estas emergencias. Solamente a modo de recordatorio se mencionarán cuáles son las posibles emergencias que pudieran surgir y la forma de atenderlas es como anteriormente se explicó en la sección 3.10.4 *Gestión de emergencias*.

- Falla en alguna planta concretera.
- Falla de bomba de concreto.
- Equipo secundario o apagón.
- Emergencia por cuestiones climatológicas.
- Prevención del colado durante la noche.

5.10 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.

La prueba del concreto fresco de acuerdo de a la norma NMX-C-156-ONNCCE-vigente "Industria de la construcción- Concreto fresco- Determinación del revenimiento, NMX-C-161-ONNCCE-Vigente "Industria de la construcción- Concreto fresco- Muestreo. validando el método que hace referencia la ACI 214.





Se realiza con los mismos criterios para la toma de muestras para concreto fresco de la sección 3.11.1 *Determinación del revenimiento del concreto fresco* del capítulo 3. Así como en la sección 3.11.2 *Toma de muestras de concreto fresco para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto*. También del capítulo 3.





CAPÍTULO 6

Procedimiento para La construcción De la trabe Circular

6.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TRABE CIRCULAR / 6.2 SOPORTES EMBEBIDOS DE ACERO / 6.3 ACERO DE REFUERZO / 6.4 COLOCACIÓN DE CIMBRA / 6.5 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSTCOLOCACIÓN DE CONCRETO / 6.6 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DE EQUIPO / 6.7 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO





6 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TRABE CIRCULAR

6.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TRABE CIRCULAR.

La construcción de la trabe circular es el refuerzo para soportar el peso de la cúpula de acero más el peso de la losa de concreto que reviste la cúpula, es por esto que la sección de la trabe es de 1350 mm de ancho y 3440 mm de alto. En la trabe van embebidas las *tromplacas* del presfuerzo vertical de los tanques.

También se instala dos placas en el perímetro de la trabe, una en sentido vertical y la otra placa circular inclinada que sigue la forma la cúpula de acero, sostenidas por dos vigas de acero que se sueldan a placas embebidas en el concreto en el nivel superior del anillo N°. 10 de 200 x 200 mm de sección por ½" de espesor.

La trabe circular se construye dividiéndola en tres niveles, como se fueran tres anillos, este procedimiento se realiza debido a la cantidad de elementos embebidos y la forma de la placa inclinada que impide que el colado de la trabe sea en uno solo.

6.2 SOPORTES EMBEBIDOS DE ACERO.

Al colar el anillo N°.10, elevación + 53993, se colocan unas placas embebidas en el concreto de 200 mm x 200 mm de ½" de espesor, habilitadas con cuatro anclas de acero liso o redondo Liso de ½" de diámetro con una longitud de 180 mm.

El acero de las placas es de acuerdo a la norma de ASTM (NOM-B-254). La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero es de aproximadamente cuatro veces mayor que la del acero estructural básico ASTM A36.

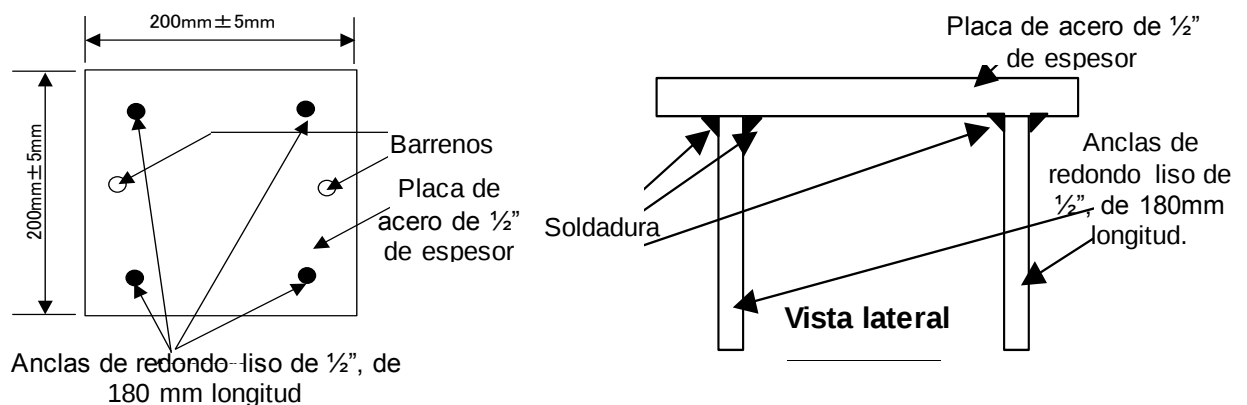


Fig. 6.1 Detalle de las placas embebidas para el soporte de la placa de la trabe.



Technical drawing showing the connection between a vertical I-beam (I 160x102x6.6/10.3) and a horizontal H-beam (H 300x150x6/10).

The vertical I-beam has a total height of 2448 mm, with sections of 290 mm, 2038 mm, and 1698 mm. The horizontal H-beam has a depth of 300 mm.

The connection is shown in two views: a side elevation and a top-down view.

Labels and dimensions:

- I 160x102x6.6/10.3**: Vertical I-beam.
- H 300x150x6/10**: Horizontal H-beam.
- Viga de la cúpula**: Horizontal beam of the dome.
- Ensamble de la placa vertical**: Vertical plate assembly.
- Paño del muro de concreto del lado interior**: Inner concrete wall panel.
- Detalle de la placa embebida**: Detail of the embedded plate.

Dimensions and annotations include:

- 250, 300, 71, 10, 150, 200, 1000, 100, 150, 200, 1000, 100, 150, 200, 1000, 100, 150, 200.
- Angles: 30°, 45°, 60°, 75°, 90°.
- Section lines: A-A, B-B, C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H, I-I, J-J, K-K, L-L, M-M, N-N, O-O, P-P, Q-Q, R-R, S-S, T-T, U-U, V-V, W-W, X-X, Y-Y, Z-Z.



Del otro extremo de la viga **H**, se le hace una muesca de 150 mm x 50mm, a 200 mm de un extremo, para colocar un tirante de cable metálico de 5/8" de diámetro para soportar la carga debido al empuje del concreto.

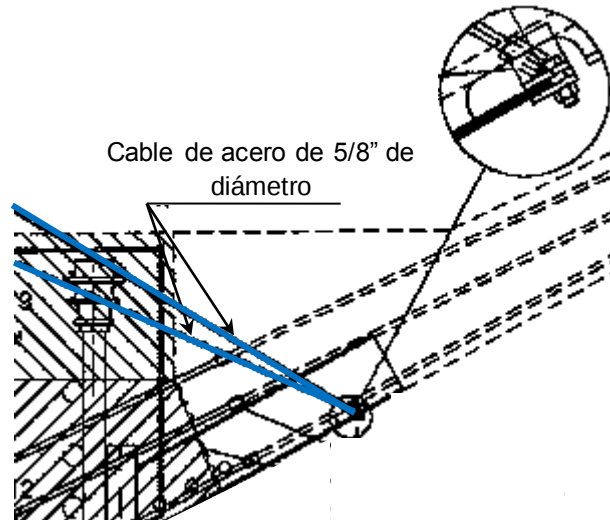


Fig. 6.3 Detalle de sujeción del tirante de cable de acero de 3/8\"

La placa inclinada de 1" de espesor por 1000 mm de ancho se suelda a la viga tipo **H**, con la finalidad de emparejarse con la placa de la cúpula al momento que se realice el izaje.

Como se dijo anteriormente la construcción de la trabe circular se realiza dividiendo la altura de la trabe en tres niveles. La primera capa es de 1300 mm medido a partir del NTC del anillo N°. 10, a partir de este nivel se instala la placa de 1" de espesor el perímetro de la cara interna del tanque.



Fig. 6.4 Habilitado y colocación de los soportes y placas de la viga circular.





6.3 ACERO DE REFUERZO.

El armado del acero se realiza como si continuara el mismo espesor de 7500 mm del muro, es decir, que no se realizan bayonetas al acero (dobles al acero para ampliar la sección). Lo que se realiza es un habilitado de acero de 1" en "U", con el ancho de la trabe y la altura de la misma menos el recubrimiento y se arma con la misma separación que el revestido de los muros en ambos sentidos (2500 mm).



Fig. 6.5 Colocación y Armado de acero de refuerzo en la viga circular.

Se habilita tres juegos de varillas de 1" de diámetro que se arman desde la base de la trabe que pasan por encima de las placas y de las vigas de acero. Estas varillas son para continuar posteriormente con el revestido de la cúpula.

Las tres varillas apenas si sobresalen como máximo 300 mm de la trabe circular, por cuestiones de maniobrabilidad de la placa perimetral inclinada que ocasiona que no sea posible dejar las varillas que sobresalgan con la longitud de traslape necesaria, como esa longitud es demasiado corta y no cumple lo indicado en la *tabla 3.3 Longitud de traslapes*, se realiza una unión mecánica con un cople roscado tipo hembra, por lo que se tiene que maquilar con una rosca en un extremo de la varilla antes de ser habilitada y colocada.



Fig. 6.5 Cono metálico y maquinado de un extremo de la varilla para los acoples mecánico.





6.4 COLOCACIÓN DE CIMBRA.

La cimbra utilizada en la trabe circular el mismo sistema trepante empleado en el cimbrado de los muros, solo que para la trabe circular se hacen algunas adecuaciones para que funcione como se requiere.

Se sube al nivel como normalmente se hace para continuar con el cimbrado del muro, se coloca uno perno de anclaje adicional a 100 mm por debajo del nivel el concreto de la primera fase del colado de la trabe. Este perno de anclaje adicional es para colocar un detalle el espacio que queda entre de la placa vertical y el muro de concreto, por lo que se requiere perforar o barrenar un orificio en los tableros de los paneles para colocar el perno.

A la estructura del lado interno, después del primer colado de la trabe, se le desmonta los paneles de la cimbra y el sistema móvil para el cimbrado y descimbrado, quedando únicamente la plataforma intermedia que es utilizada para trabajar como apoyo en la soldadura de las placas y de las vigas embebidas de la trabe, las placas soldadas en el perímetro interno del tanque sirven también como cimbra, colocando solo un detalle de madera en la unión de la placa vertical y del muro de concreto.

Del lado externo, se abre el sistema de la cimbra para darle el espesor de 1350 mm la trabe. El fondo de la trabe se cimbra con el sistema tradicional con madera, la forma de hacerlo es habilitando tableros con triplay y barrotes considerando la redondez del tanque y del ancho complementario de la trabe.

Los paneles para cimbrar el fondo de la trabe son apoyados sobre una estructura de metal sujeta a los pernos de anclaje de los conos metálicos, y nivelado por medio de gatos niveladores como los que se utilizan para el armado en las obras falsas.

Lo que hace necesario barrenar la plataforma intermedia de trajo para introducir en los orificios los soportes metálicos y sobre ellos los gatos niveladores para calzar el fondo de la trabe.

Los separadores y tirantes metálicos con los conos metálicos recuperable se habilitan con una longitud 1350 mm medido del cono a cono metálico, para plomear la cimbra y dar el espesor adecuado.

En el diagrama siguiente muestra a detalle las modificaciones hechas a la cimbra, y las fases de los colados, así como el arreglo de los embebidos y la forma de sujeción de las placas y vigas embebidas.



PROCESO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES CRIOGÉNICOS T-1002
Y T-1003 PARA EL ALMACENAMIENTO DEL GAS NATURAL LÍCUADO (GNL),
EN EL PUERTO DE ALTAMIRA, TAMAULIPAS

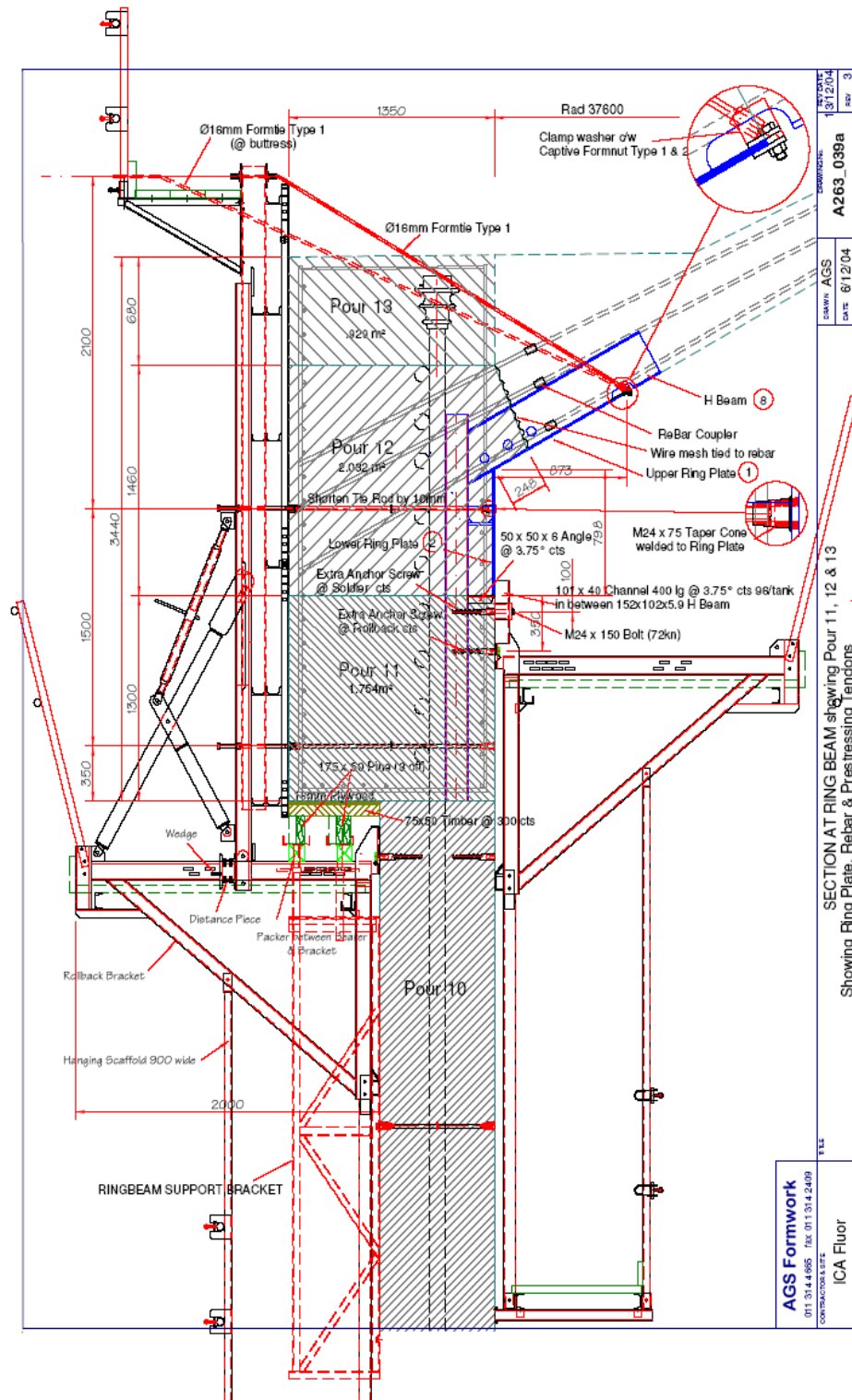


Fig. 6.6 Diagrama de la modificación del sistema de cimbra para la construcción de la trabe circular de los tanques.





Los tableros el fondo de la trabe circular se habilitan de 2440 mm y 650 mm de ancho calculando la redondez de la trabe como se explica a continuación:

Segmento circular, es el área de un círculo que es "cortado" del resto de círculo por una secante (cuerda).

En la imagen:

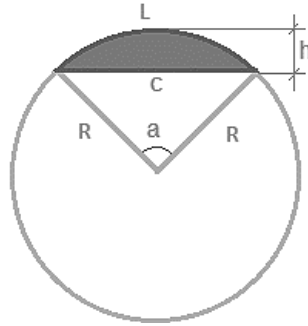
L - longitud del arco

h - altura

c - cuerda

R - radio

α - ángulo



$$A = \frac{1}{2} R^2 (\alpha - \sin \alpha)$$

Longitud del arco: $L = \alpha R$

Longitud de la cuerda: $h = R \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$

Altura del segmento: $c = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$

Calcular el ángulo del segmento utilizando la siguiente fórmula:

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{c}{2R}$$

$$\alpha = 2 \arcsin (2440 / (2(36600)) = 3.8^\circ$$

$$h = 36600 (1 - \cos (3.8 / 2)) = 20.12 \text{ mm}$$

Una vez que el concreto del primer colado halla fraguado, se prepara la junta constructiva con la colocación del metal desplegado para el segundo colado como se ha realizado en las juntas verticales de construcción. El tercer colado de la trabe se aplica la misma metodología sin descimbrar la pared externa, colocando el metal desplegado para la frontera del lado interno.

Terminada la construcción de la trabe circular se retira la estructura de la cimbra de la pared interna, después de que los huecos de los anclajes metálicos cónicos se hallan reparado con el método del mortero y del curado del concreto.





6.5 VACIADO, COLOCACIÓN Y POSCOLOCACIÓN DE CONCRETO.

El concreto para la trabe circular es del mismo tipo de premezclado que se ha utilizado para la construcción del tanque de resistencia de 35 MPa. ($f_c = 370 \text{ kg/cm}^2$), cemento CPP – 30 R RS, basada en la norma mexicana NMX – C 414 – ONNCCE. Así como también los agregados.

6.5.1 Procedimiento del colado.

El colado se realiza comenzado con un 1 frente de trabajo, en este nivel el alcance de las bombas está al límite, lo que resulta necesario que se tengan que estar moviendo de posición para vaciar el concreto:

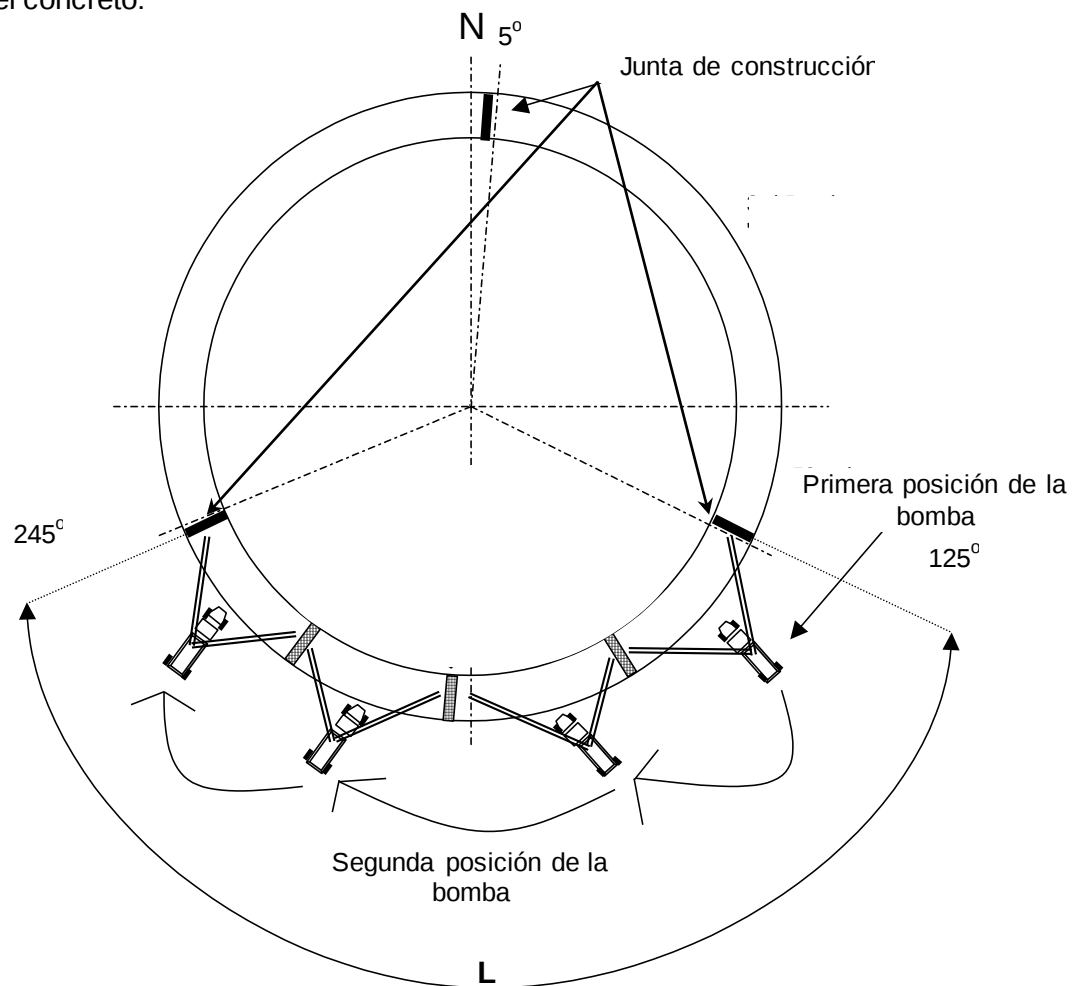


Fig. 6.7 Movimiento de las bombas para la colocación concreto en la trabe circular





6.5.2 Inspección final.

Antes de comienzo con la colocación del concreto, se revisan los siguientes puntos o un *check list*:

- Colocación del acero de refuerzo: espaciamiento, amarres, diámetro, recubrimiento.
- Topografía: niveles, ubicaciones y espesores.
- Juntas constructivas: colocación correcta del metal desplegado y preparación de corte en verde con el agregado expuesto.
- Limpieza general.
- Humedecer la junta y la superficie donde se colocará el concreto.
- Equipo y la herramienta que resten en condiciones óptimas de operación.

6.6 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.

6.6.1 Información técnica.

Para el primer nivel del cada tercio de la trabe circular:

Volumen de concreto.....	148 m ³ .
Clasificación del colado	Semimasivo.
Resistencia del concreto.....	Concreto MPa 35.
Tipo de colado.....	Bombeado.
Temperatura	Temperatura controlada menor a 32° C.

Para el segundo nivel del cada tercio de la trabe circular:

Volumen de concreto.....	168 m ³ .
Clasificación del colado	Semimasivo.
Resistencia del concreto	Concreto MPa 35.
Tipo de colado.....	Bombeado.
Temperatura	Temperatura controlada menor a 32° C.

Para el tercer nivel del cada tercio de la trabe circular:

Volumen de concreto.....	80 m ³ .
Clasificación del colado	Semimasivo.
Resistencia del concreto.....	Concreto MPa 35.
Tipo de colado.	Bombeado.
Temperatura	Temperatura controlada menor a 32° C.





6.6.2 fuerza de trabajo

Se trabaja con dos frentes de trabajo, uno por cada bomba, la cantidad de personal y sus categorías son las mismas utilizadas en los colados de los muros:

La fuerza de trabajo para cada frente de trabajo es aproximadamente:

Total, de personal para cada bomba 24

La fuerza de trabajo para ayudar a los dos frentes y asistir a al equipo mecánico:

Total..... 6

Total, de mano de obra para cada sección de muro 54 personas.

6.6.3 Suministro y abastecimiento de concreto.

El suministro del concreto es basado con el mismo criterio y procedimiento que para los que se utilizaron el colado de los muros, teniendo en cuenta el volumen necesario de entre 148 m³ y 80 m³, y una eficiencia del 90 %, el tiempo de suministro de concreto se considera de 5 Horas.

Se utiliza una sola planta para los colados de la trabe. Sin embargo, la segunda planta será de apoyo por si surge una falla importante en la planta primaria. Esto significa que las dos plantas deben tener los materiales suficientes que se requieren para cada colado:

Materiales:

Cemento.....	400	toneladas.
Agua.....	40	m ³ .
Hielo.....	125	toneladas.
¾ de la grava”	150	toneladas.
Piedra caliza de la arena.....	1100	toneladas.
Aditivo tipo D del <i>fluidizer</i>	2500	lts.

Equipo a usar:

Planta de concreto.	1.00 (1 reserva).
Los camiones de mezcla (7m ³).	9.00 (2 de repuesto).
Bomba para concreto.	2.00 (1 L: 55m +1 L: 48m).
Diésel Generador.	2.00 (1 de reserva).
Portable (compresor de 325 ft.3/min).	1.00.





2 ½ " de diámetro de alta frecuencia de vibración. 6.00 (2 de repuesto).
Luz Maxi light. 2.00 (1 repuesto).

6.6.4 Acabado y curado

Los supervisores de calidad y de obra civil revisan durante el vaciado y colocación de concreto que se cumpla lo siguiente:

- Que se realice un vibrado de concreto adecuado como el descrito en la sección 3.9.1 *vibrado del concreto* del capítulo 3.
- De que el suministro de concreto sea constante sin tener lapsos de tiempo no mayores a 45 min, para evitar la junta fría.
- La preparación de las juntas constructivas, se realiza un corte en verde con cepillo le alambre.
- El curado es colocando de tela de arpillera húmeda, durante dos días.

Después de terminar con el vaciado y la colocación del concreto del tercer nivel se revisa por el topógrafo del sitio que haya quedado de acuerdo con las elevaciones proyectadas y se inicia con el acabado integrado a la superficie del concreto con llana metálica, el tratamiento a seguir como se describió en la sección 4.6.5 *acabado de la superficie del concreto* del capítulo 4.



Fig. Sistema de curado con tela de arpillera húmeda.

Trascurridas un par de horas y dependiendo de las condiciones climatológicas, se la aplica una membrana de curado siguiendo el procedimiento descrito en la sección 4.6.6 *curado de la*





superficie de concreto mediante el método del uso de una membrana artificial de un compuesto líquido del capítulo 4.

6.6.5 Gestión de emergencias.

La gestión de las emergencias por fallas mecánicas y condiciones climatológicas son la mismas que se pueden presentar en todos los colados, y por consiguiente la misma manera de atenderlas según lo descrito en la sección 3.10.4 *Gestión de emergencias* del capítulo 3. Solamente a modo de recordatorio se mencionan.

- Falla en alguna planta concretera.
- Falla de bomba de concreto.
- Equipo secundario o apagón.
- Emergencia por cuestiones climatológicas.
- prevención del colado durante la noche.

6.7 MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.

La prueba del concreto fresco de acuerdo de a la norma NMX-C-156-ONNCCE-vigente “Industria de la construcción- Concreto fresco- Determinación del revenimiento, NMX-C-161-ONNCCE-Vigente “Industria de la construcción- Concreto fresco- Muestreo. validando el método que hace referencia la ACI 214.

Se realiza con los mismos criterios para la toma de muestras para concreto fresco de la sección 3.11.1 *Determinación del revenimiento del concreto fresco* del capítulo 3. Así como en la sección 3.11.2 *Toma de muestras de concreto fresco para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto*.





CAPÍTULO 7

Construcción De Tanques de Acero T-1002 / T-1003

7.1 CONSTRUCCIÓN DEL FONDO SECUNDARIO DEL TANQUE / 7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE SECUNDARIO DE ACERO / 7.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE INTERIOR DE ACERO / 7.4 AISLAMIENTO TÉRMICO DEL TANQUE.





7 CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ACERO T-1002/ T -1003

7.1 CONSTRUCCIÓN DEL FONDO SECUNDARIO DEL TANQUE.

Sobre la losa de cimentación se construye el fondo del tanque secundario, aunque este fondo solo es para contener derrames en caso de fuga es construido de acero con aleación a 9 % níquel, las placas se van colocando directamente sobre el concreto de la losa de cimentación del tanque.

El fondo secundario se realiza inmediatamente después de que la temperatura del concreto baje a la de ambiente, esto se verifica por medio de los *termopares* embebidos en el corazón de la cimentación verificando diariamente el descenso de la temperatura en el concreto, como se explica en la sección 3.9.2 *poscolocación de concreto* del capítulo 3.



Fig. 7.1 Armado del fondo secundario con placas de acero de $\frac{3}{4}$ \"

Las placas del fondo secundario tienen un espesor de $\frac{3}{4}$ \", menor que en las utilizadas para la cúpula y en los muros de acero del interior y del tanque secundario. Estas placas tienen un arreglo para su colocación que va del centro del tanque hacia los muros de concreto, con la finalidad de que los ajustes queden en el perímetro del muro interno de concreto.

En la fabricación del fondo secundario del tanque se le aplica soldadura primaria en las uniones de cada placa, con electrodos de soldadura 60-10 de $\frac{1}{8}$ \", y el resto del cordón con electrodos de soldadura 70-18 de $\frac{1}{8}$ \", todas las placas están previamente biseladas en V en todo el perímetro de la placa y a cada cordón de soldadura se les realiza 3 pruebas para asegurar que la soldadura está correctamente aplicada:





- Inspección visual.
- Radiografiado.
- Prueba de líquidos penetrantes.

A continuación, se muestra a detalle por medio de una gráfica los nombres de los componentes que integran el biselado en V:

- 1.- Abertura raíz.
- 2.- Cara de la raíz.
- 3.- Cara de la ranura.
- 4.- Ángulo del bisel.
- 5.- Ángulo de la ranura.
- 6.- Tamaño de la soldadura, de la ranura indicando el símbolo de soldar.
- 7.- espesor de la plancha.

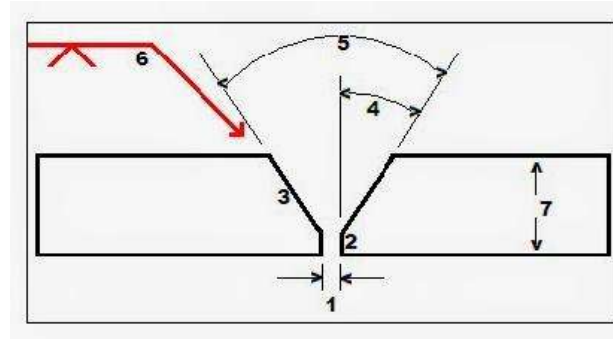


Fig. 7.2 Identificación de los componentes y nombres de un biselado en V.

7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE SECUNDARIO DE ACERO.

Los tanques están contruidos por el exterior de concreto postensado de espesor en la base del muro de 800 mm y en la parte media a la superior de 750 mm, en el interior se construye un tanque secundario de placas de acero con aleación de 9 % Níquel de 1 ½" de espesor que se unen al muro de la cara interna del tanque de concreto con soldadura directa, y un tanque interno construido con placas de las mismas características al tanque secundario que se une por medio de separadores metálicos al tanque secundario.

Se comienza primeramente con la construcción de la pared secundaria uniendo las placas del primer anillo con la base del fondo metálico secundario y a las placas embebidas en el muro de concreto. Estos embebidos son colocados con una capa de galvanizado por inmersión en caliente para evitar la oxidación mientras se termina el proceso de construcción del tanque de concreto que se retira al momento que se vayan soldando las placas de acero.

La soldadura que se aplica es la misma que se ha estado utilizando para la unión de acero, primario o fondo con electrodos de soldadura 60 – 10 y el resto con electrodos de soldadura 70 – 18 de 1/8".

El segundo anillo se suelda al primero colocando las placas de forma contrapeada, y así sucesivamente los demás niveles o anillos hasta llegar a la parte superior de le tanque. En la parte





superior se suelda el ajuste a la pared metálica que se colocó en la trabe circular. En este proceso solo los niveles de cada anillo son verificados topográficamente, ya que las placas son suministradas con un ancho, alto y curvatura conforme a los planos de proyecto.

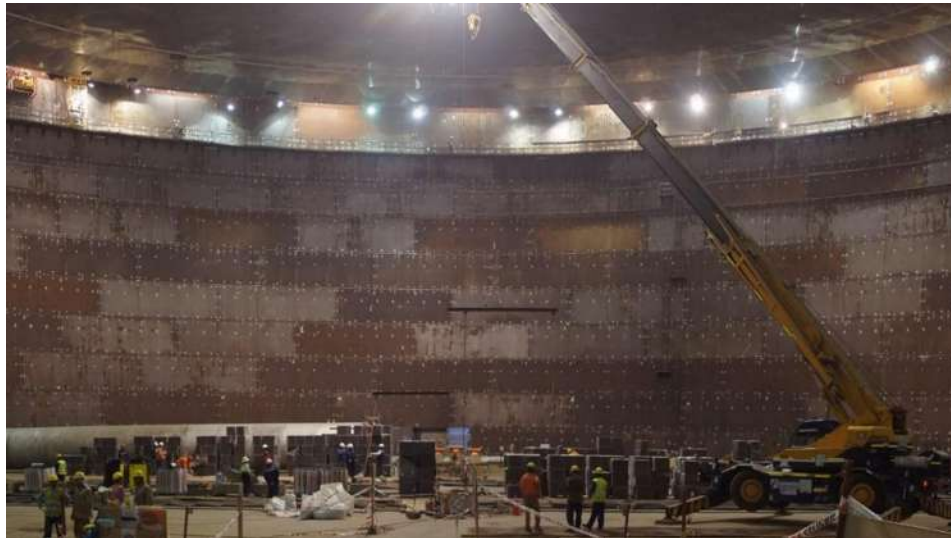


Fig. 7.3 Construcción del muro secundario de acero con aleación al 9 % níquel (Ni).

7.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PARED DEL TANQUE INTERIOR DE ACERO.

Una vez concluido con las paredes del tanque secundario se inicia con la construcción del tanque interno. En esta ocasión se inicia punteando únicamente el primer anillo al fondo secundario, y se termina de soldar hasta que topográficamente se revisa su redondez, la altura del primer anillo es de 200 mm. Este primer anillo tiene la finalidad la facilidad y manipular mejor las placas, ya que como son más ligeras, se les puede dar una correcta ubicación ayudando también en la rigidez para los niveles subsecuentes.

Ya que se halla verificado la ubicación y redondez del tanque interno, se procese a completar con la soldadura, igualmente aplicando el fondo con electrodos de soldadura 60-10 y se complementa con la soldadura 70-18, y se continua con los anillos superiores colocan las placas de forma cuatrapeada, en esta etapa cada anillo o nivel antes de continuar con el próximo se verifica topográficamente la redondez, plomeo y elevaciones y no se podrá continuar si no es documentado los resultados de las lecturas topográficas, además de las pruebas que se tiene que realizar a todas las soldaduras.

En lo sucesivo se entenderá que la aplicación de soldadura se realiza como fondo los electrodos de la soldadura 60-10 de 1/8", y el complemento con electrodos de soldadura 70 -18 de





1/8", y al hacer referencia de pruebas a la soldadura se entiende son: inspección visual, radiografías y la prueba de líquidos penetrantes.

Se continua con este procedimiento únicamente hasta la elevación donde se encuentra la membrana de aluminio que cuelga de la cúpula de acero, en esta etapa también se colocan las tuberías internas de suministro y emisión del gas natural licuado GNL.



Fig. 7.4 Construcción de tanque interno y colocación de tuberías de suministro y emisión de GNL.

La unión de las placas del tanque interno es con soldadura, en la unión de la placa se realiza un biselado en X y se le realizan las pruebas de soldadura

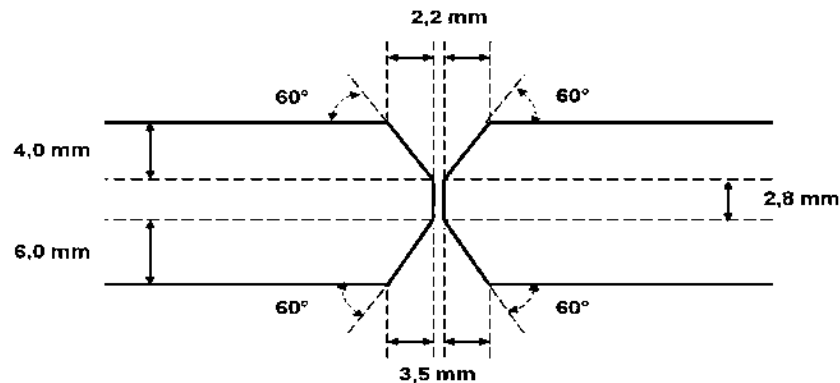


Fig. 7.5 Armado del fondo secundario con placas de acero de 3/4".





7.4 AISLAMIENTO TERMICO DEL TANQUE.

El aislamiento térmico del tanque se hace de diferente manera para el suelo, para las paredes y para el techo, referente al aislamiento de suelo, este se realiza en varias capas con diferentes materiales con propiedades aislantes.

7.4.1 Aislamiento del suelo.

El aislamiento del suelo comienza directamente sobre el fondo metálico del tanque secundario del tanque que se colocó sobre la losa de cimentación de concreto. Los materiales utilizados son betún (membrana de impermeabilizante), arena sílica y *foam glass*, repitiendo este proceso en dos capas intercalando cada capa de material en el mismo orden antes mencionado:

- 1 La membrada de impermeabilizante asfáltica se aplica directamente sobre la superficie metálica del fondo secundarios del tanque sin aplicar calor, se va desenvolviendo sobre la superficie.



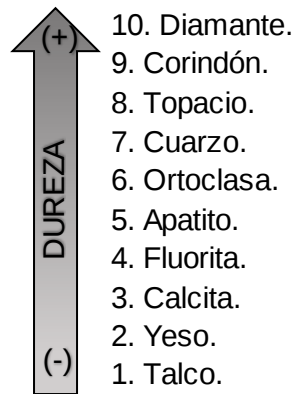
Fig. 7.6 Aplicación de membrada asfáltica.

- 2 Enseguida se aplica una capa de 100 mm de arena sílica completamente seca que se confina con un vibrocompactador de placa manual. Se utiliza la arena sílica por su uniforme clasificado (malla 20-40) y agregado duro cuya dureza mínima de 7.0 o más en la escala de dureza de *Mohs*. Consistente en su forma uniforme del grano y las distribuciones de tamaño de partícula que ofrece una excelente colocación, compactación y propiedades mecánicas. La arena sílica forma estructuras Mono cristalinas de alta resistencia a la abrasión de excesivo tráfico para aplicaciones de desgaste y proporciona estabilidad cuando se utiliza en sistemas de pisos *Autogard* y/o *Pedagard*.





La escala de Mohs ordena la dureza de diez minerales en función de su capacidad de ser rayados o para rayar, los de mayor dureza rayan a los de menor dureza, esta escala esta ordena de forma ascendente situando en el número 1 al más blando y al número 10 al más duro:



Descripción	Resultados
Sílica tipo genérico	Cuarzo
Forma	Grados redondos
Contenido de humedad	< 0.1 %
Peso específico	2.63 gr/cm ³
Densidad aparente	92 a 95 lb/ft ³
Densidad a granel	Compactado 98 a 100 kg/m ³
Embalaje	Típica
Los resultados anteriores ser evalúan y son valores típicos. Los lotes individuales pueden variar hasta el 10 % desde el valor típico.	

Tabla 7.1 Datos técnicos de la arena sílica.

La tercera capa es formada por bloques de *FOAM GLASS*. Debido a las excepcionales cualidades físico-químicas de este material, combinadas con los materiales anteriores dan grandes resultados de aislamientos constantes y seguros. Además de estar disponibles para cualquier tipo de parámetro, ya sea horizontal o vertical, y pueden ser utilizados tanto en exteriores como en interiores.

Para el aislamiento del suelo de los tanques de almacenamiento de la recalificadora TLA Altamira se aplica horizontalmente y en el interior del tanque. Este material tiene propiedades aislantes por su fabricación que utiliza vidrio reciclado, principalmente se reutiliza el vidrio de los





parabrisas de los coches de aquí que también se le conoce como aislante térmico de vidrio celular o espuma de vidrio celular.

Las propiedades del aislante térmico *FOAM GLASS*, se debe a la composición y a la estructura del vidrio celular que está formada por millones de celdas de vidrio cerradas herméticamente, de esta manera cada celda contiene su propio volumen de gas aislante. Las placas son rígidas, ligeras, incombustibles. Imputrescibles. Impermeables al agua, al vapor y al gas en general y presentan una resistencia elevada a la compresión, lo que da lugar a la conductividad térmica que se mantiene de forma permanente.

También ofrece estabilidad dimensional, resistencia a los ácidos comunes, a los roedores y a los insectos además de que permite una manipulación fácil para ser trabajado ya que con gran facilidad se puede hacer cortes muy precisos.

Otra de las cualidades de este material es que es ecológico en todas sus fases tanto de producción uso y reciclaje. Es inerte y ofrece propiedades térmicas constantes durante toda la vida de la edificación.

En resumen, las cualidades principales del aislante térmico *FOAM GLASS* o espuma de vidrio celular son:

- Es hermético, impermeable al vapor de agua y al gas.
- Respeta al medio ambiente.
- Impermeable e imputrescible.
- Fácil de cortar.
- Resistencia a los ácidos corrientes.
- Resistencia total a los insectos y roedores.
- Resistencia a la compresión.
- Incombustible y
- Estabilidad dimensional.



Fig. 7.7 Bloque de Espuma de vidrio celular FOAM GLASS.





Terminando cada una de las dos capas alternadas de los materiales de aislamiento, se construye el fondo de tanque interno con placa de 1", con las mismas características del acero con aleación al 9% níquel.



Fig. 7.8 Colocación del aislante en el piso.

7.4.2 Construcción del fondo del tanque.

Al igual que en el caso de la fabricación del fondo secundario, las uniones entre las placas de 1 ½", del fondo del tanque es mediante la aplicación de soldadura, sin embargo, para el fondo se aplica la soldadura con un arreglo entre las placas en forma de traslape al ras.



Fig. 7.9 Soldadura traslapada al ras.

7.4.3 Aislamiento del techo.

El techo del tanque esta es fabricado con láminas de aluminio que cuelgan de la cúpula de acero con tirantes de cables de acero inoxidable de 3/8" de diámetro. El techo suspendido está diseñado para soportar cargas permanentes, temporales y fuerzas puntuales de 1.5 KN en cualquier punto. En su diseño se toma encuentra también los diferentes orificios tanto para las tuberías y detectores como para mantener una presión entre el tanque interior y exterior.





Fig. 7.10 Techo de láminas de aluminio suspendido.

Sobre las membranas de aluminio del techo suspendido se colocan varias capas de fibra de vidrio, la fibra de vidrio es suministrada en rollos y se va cortando en tiras del tamaño que se requieran detallando en el área donde se colocan las boquillas y los tirantes que sostienen el techo de lámina.

Se coloca la primera capa de fibra de vidrio sobre las láminas de aluminio, pegadas con una resina epóxica que, por seguridad, al momento que se está aplicando no se debe estar cerca de cualquier actividad o fuente que produzca chispa o calor, como pueden ser trabajos de soldadura, cortes, etc., ya que esta resina es altamente inflamable.

Como las condiciones para la colocación de las capas de fibra de vidrio y la aplicación de la resina epóxica es en un espacio confinado, el personal que esté realizando esta actividad solo tiene permitido que trabaje en lapsos de tiempo no mayores a 45 min tomando descansos entre este intervalo de tiempo para hidratarse y respirar aire en el exterior del tanque. Además, el personal debe estar equipado con trajes *taiber*, guantes de hule y máscaras que tengan filtros de carbono adicionales a su EPP básico (equipo de protección personal).

Las instalaciones que se deben colocar, desde el ingreso para colocar la fibra de vidrio es, principalmente la iluminación y los extractores para minimizar el riesgo de respirar las partículas que estén suspendidas en el aire.

La forma de pegar cada capa de fibra de vidrio es aplicando la resina epóxica con brocha y colocar la siguiente capa de fibra de vidrio presionando con firmeza las dos piezas hasta que la resina se fije completamente, el tiempo que se debe esperar es de aproximadamente unos 10 min





para que las capas queden unidas. Sucesivamente se van pegando cada una de las capas que se requieran hasta tener un espesor de 70 mm.

7.4.4 Aislamiento de la pared.

El espacio vacío entre los dos tanques, interno y secundario de acero se rellena con *perlita expandida*, La perlita expandida cumple con la norma ASTM C – 349 referente a:

- La conductividad térmica no sea superior a 0°C .
- La densidad ha de estar comprendida entre 50 y 65 kg/m^3 .
- La humedad máxima admisible en peso es del 0.5%.

La perlita es un mineral de origen volcánico que contiene agua molecular con la propiedad de expandirse al exponerse a altas temperaturas, adquiriendo gran capacidad aislante. En estado expandido la perlita tiene una densidad aproximada entre $30\text{-}150\text{ kg/m}^3$ y en estado no expandido (crudo) cerca 1100 kg/m^3 .

El proceso de fabricación de la perlita es a través un choque térmico a una temperatura aproximadamente de 900°C expandiendo el material hasta 20 veces el volumen original, donde el producto resultante es de un color blanco brillante debido a la reflectividad de las burbujas atrapadas.

En la cubierta suspendida se dispondrá de una tolva de reserva de perlita para cuando exista una contracción en el tanque interior, el espacio vacío que dejaría es rellenado con esta reserva que se ha diseñado, el volumen total de la reserva de perlita en la tolva es de 800 m^3 .

Para darnos una idea grafica de cómo está compuesto un tanque de almacenamiento de gas natural líquido y como funciona para mantener el gas en un estado líquido a una temperatura de entre -161°C y -172°C , se muestra el siguiente diagrama:



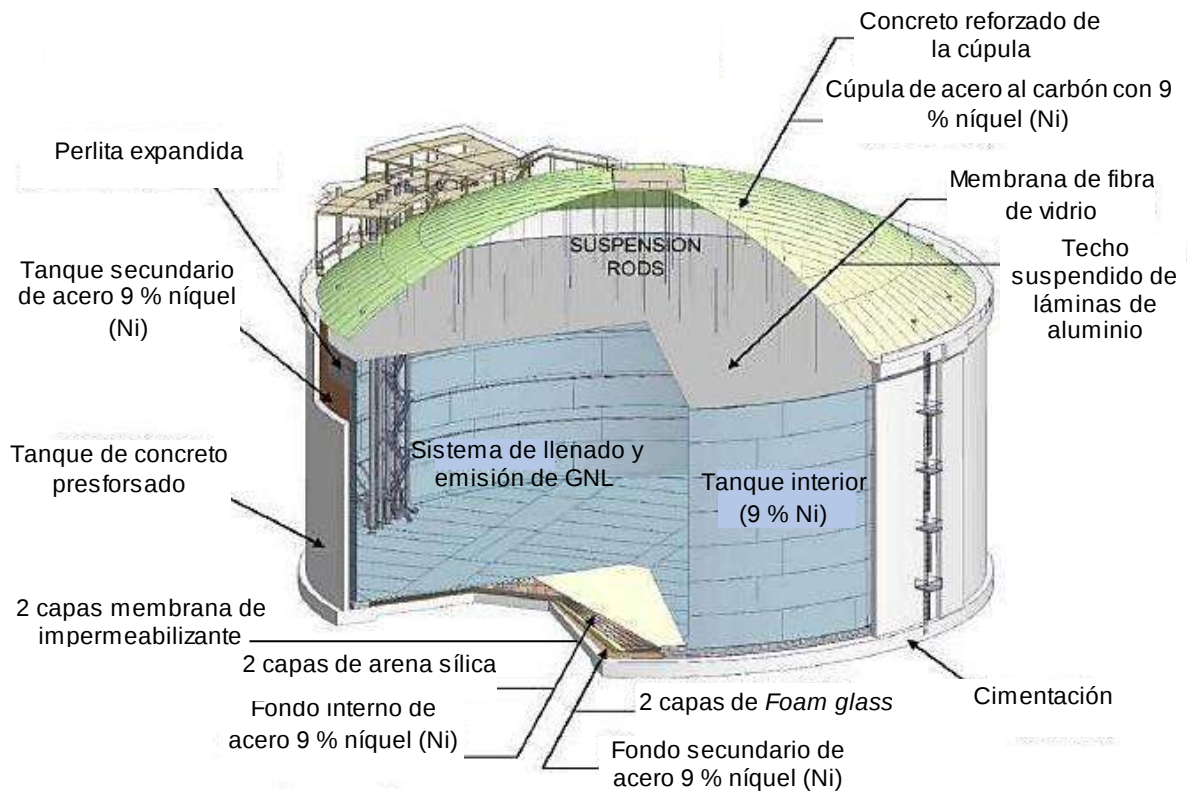


Fig.7.11 Diagrama general de los tanques de almacenamiento de gas natural líquido LNG.



CAPÍTULO 8

Procedimiento para El presforzado del concreto En trabe circular y muros

8.1 HISTORIA DEL PRESFUERZO / 8.2 FUNCIONAMIENTO
DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO / 8.3
NOCIONES DE ESFUERZOS / 8.4 PRINCIPIOS DE
CONCRETO PRESFORZADO / 8.5 MATERIALES Y SUS
CARACTERÍSTICAS / 8.6 DUCTOS Y ANCLAJES / 8.7
PROCEDIMIENTO PARA EL INSERTADO DE CABLES / 8.8
PROCEDIMIENTO PARA EL TENSADO DE CLAVES / 8.9
ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE LECHADA / 8.10
PROCEDIMIENTO PARA EL INYECTADO DE LECHADA

8 PROCEDIMIENTO PARA EL PRESFORZADO DEL CONCRETO EN TRABE CIRCULAR Y MUROS





8.1 HISTORIA DEL PRESFUERZO.

En el año de 1907 por primera vez se utiliza el termino presfuerzo por el **Ing. Eugenio Freyssinet**. quien aplicó un esfuerzo a la estructura en forma de arco para poder descimbrar un puente sobre el Río Allier en Francia.

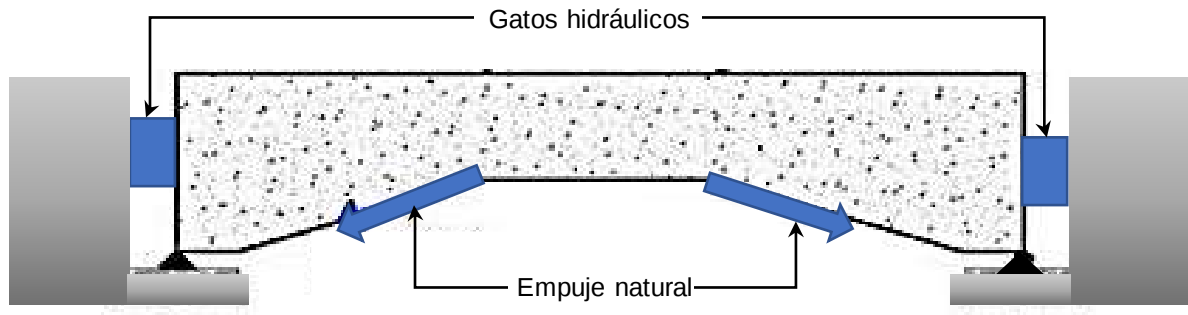


Fig.8.1 Diagrama de esfuerzos en un puente de arco.

Algunos gatos sirvieron para compensar el empuje natural del arco y poder así descimbrar la estructura, en esa época todavía no se trataba de aplicar esfuerzo por medio de los cables de acero. Es 20 años más tarde que el **Ing. Eugenio Freyssinet** colocó patentes con sistemas de cables (el 2 de octubre del 1928). La palabra presfuerzo apareció en una revista científica en 1933 (*revista francesa Science et Industrie*).

El aporte del **Ing. Eugenio Freyssinet** fue entender y dominar un fenómeno natural de distribución de esfuerzos dentro de los materiales, como lo explicaba el **Ing. Eugenio Freyssinet**, el presfuerzo ha estado desde siempre presente en la naturaleza.

El hombre que aprieta fuertemente una pila de libros para desplazarlos de un entrepaño a otro, aplica una fuerza de presfuerzo. La forma natural de las cuevas en forma de arco, redistribuyen los esfuerzos en compresión en el material, etc.

Y es en el concreto donde se ha desarrollado una verdadera ciencia, cuya base es la organización y clasificación de esfuerzos internos de las estructuras.

8.2 COMPARACIÓN ENTRE EL FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO.





Si suponemos una estructura de concreto armado (CA), el acero que se encuentra en la parte inferior de la viga es para resistir los esfuerzos de tracción que genera el peso propio o sobre carga aplicada a la estructura.

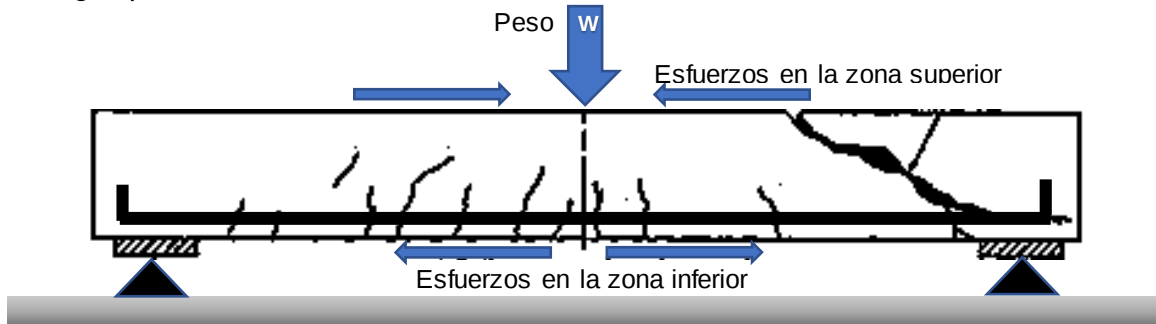


Fig.8.1 Diagrama de esfuerzos en un puente de arco.

El concreto presforzado es fundamentalmente distinto, en las zonas de tracción o de tensión se va aplicar artificialmente un esfuerzo de compresión superior a los esfuerzos naturales de tracción, de tal manera que una vez en servicio la estructura quedara en toda una sección comprimida. En este caso, se da en la parte inferior de la viga un esfuerzo de compresión por medio de un cable tensado llamado **acero activo**.

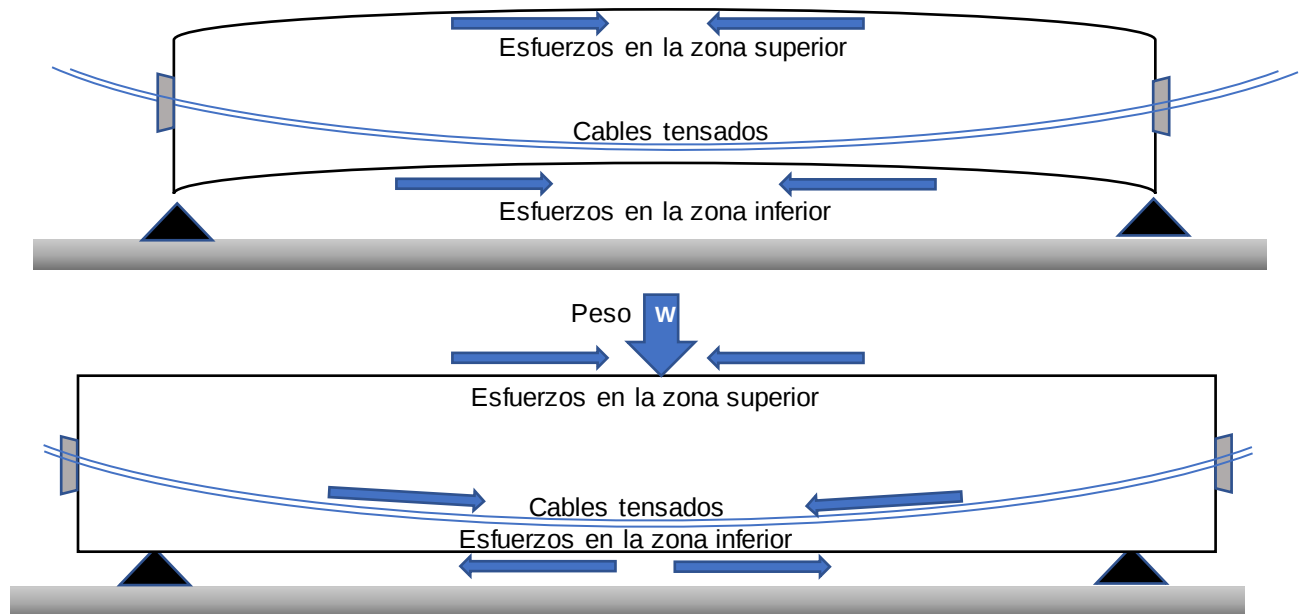


Fig. 8.2 Las fuerzas que actúan comprimiendo la zona inferior.

8.3 NOCIONES DE ESFUERZOS.





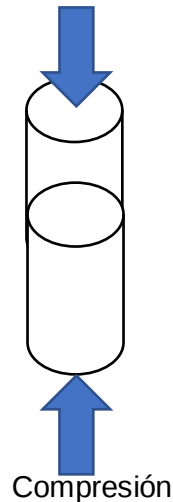
Cuando un material cualquiera está sometido a una fuerza de compresión o de tensión dirigida perpendicularmente a su sección (A = área), se descompone esta fuerza en esfuerzos por unidad de áreas:

$$\text{Fuerza} / \text{Área} = \text{Esfuerzo} / \text{Área}$$

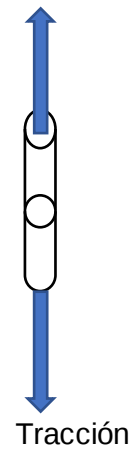
Para designar estos esfuerzos por unidad de área, se usa la letra (σ), así la fórmula se escribe:

$$\sigma = F / A$$

Donde F = fuerza
 A = Área



Compresión



Tracción

f' = fuerza de compresión de σ'

f = fuerza de Tracción de σ

8.4 LOS PRINCIPIOS DEL CONCRETO PRESFORADO.

Partiendo de que el:

- El concreto es un material económico.
- El concreto resiste los esfuerzos de compresión.
- El concreto no resiste esfuerzos de tracción.
- Cuando se carga una viga se descompone la fuerza (carga) en esfuerzos de tracción y compresión.

Se deduce, lógicamente el principio del concreto presforzado que es: **Aplicar una fuerza de compresión antes y en donde se desarrollan esfuerzos de tracción debido a la repartición de una fuerza exterior.**





De acuerdo con el Instituto Americano del Concreto (ACI), el concreto presforzado es aquel en el cual han sido aplicados esfuerzos internos de tal magnitud y distribución, que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado.

Básicamente consiste en inducir esfuerzos de compresión en las zonas del concreto que van a trabajar en tensión y con ello lograr que, bajo condiciones normales de operación, se eliminen o se reduzcan los esfuerzos de tensión en el concreto y como resultado, no se produzcan agrietamientos. La compresión se induce estirando el acero con que se refuerza la sección de concreto y haciéndolo reaccionar contra la masa de concreto para evitar que el presfuerzo inicial se pierda, se emplea refuerzo de muy alta resistencia para para este proceso.

El objetivo de la aplicación de la técnica del presforzado radica en aprovechar al concreto como un material estructural en elementos que trabajan a flexión, ya que el concreto es un material resistente a la compresión, pero débil a la tensión.

Existen dos métodos para inducir presfuerzos:

- El **pretensado**: los cables se tensan antes de la colocación del concreto.
- El **postensado**: los cables se tensan después de que el concreto ya ha adquirido cierta resistencia.

Sin embargo, en ambos casos, el acero es pretensado y el concreto resultará precomprimido, antes de que actúen las cargas de servicio.

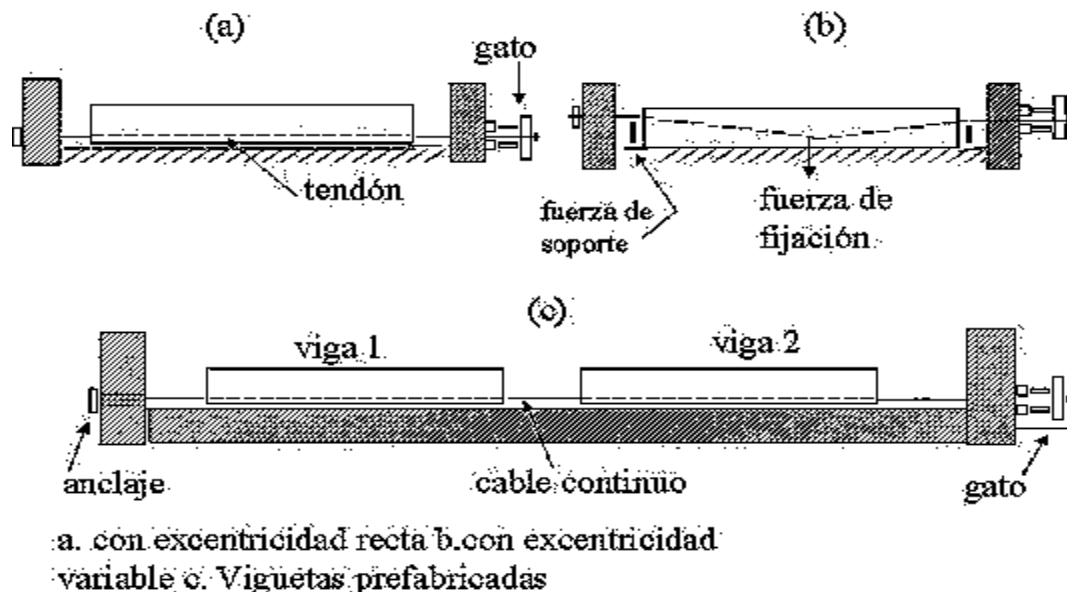


Fig. 8.3 Diagrama del proceso de pretensado en vigas.





Viga pretensada, en este procedimiento se tensan los cables entre dos bloques macizos, después se cuela el concreto encima de los cables y cuando el concreto tiene la resistencia requerida se cortan los cables en los espacios libres y por la adherencia del cable al concreto se transmite la fuerza de compresión a las piezas.

Viga postensada. El principio de este procedimiento consiste en la colocación dentro de las armaduras pasivas ductos que posteriormente al endurecer el concreto permite insertar cables de acero de alta resistencia. Cuando el concreto tenga una resistencia suficiente se tensan los cables por medio de gatos hidráulicos apoyados sobre una placa metálica.

Para conservar la tensión y poder recuperar los gatos se detienen los cables en sus extremidades por medio de anclajes. Por el principio de acción y reacción, la tensión de los cables se transmite en un esfuerzo de compresión a la pieza de concreto.

El postensado permite muchas más combinaciones que otros sistemas:

- Permite ensamblar piezas prefabricadas.
- Desmontar presfuerzos de construcción.
- Tener un trazo más adecuado.
- Colocarse como presfuerzo exterior.

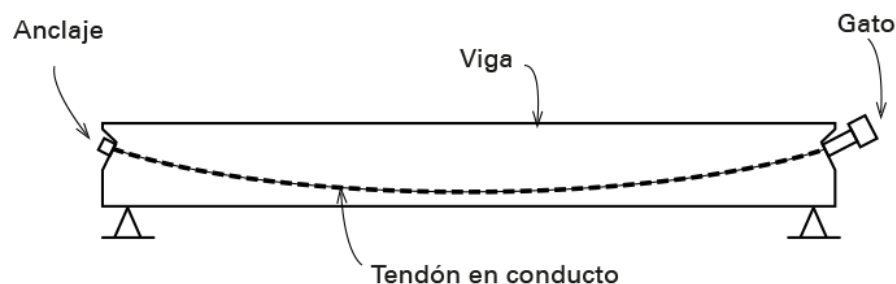


Fig. 8.4 Diagrama del proceso de postensado en vigas.

8.5 MATERIALES Y SUS CARACTERISTICAS.

8.5.1 Principios de postensado.

Los cables están contruidos de acero especial que tiene muy buena capacidad y características de resistencia y elasticidad. Se colocan los cables dentro de las construcciones por:

- Ducto de lámina.
- Tubos metálicos de paredes delgadas.
- Tubos de polietileno





Posteriormente, los cables se protegen contra la corrosión por medio de una inyección de un producto que pueden ser:

- Lechada de cemento.
- Cera especial de protección.

La conservación de la fuerza de tensión se asegura por los anclajes en las extremidades.

8.5.2 Distintos tipos de cables.

- Se llama hilo, al cable de acero redondo y liso de 5 mm de diámetro, hasta 12 mm.
- Se llama barra, cuando es de acero de diámetro superior a 12 mm.
- Se llama torón cuando está construido de hilos torcidos y de un hilo central recto (generalmente 6 en periferie y uno central).

La denominación de los cables:

- Momohilo, diámetro de 5 mm a 12 mm un solo hilo de diámetro 5 se denomina 1/5.
- Monotorón, generalmente de diámetro 12.4 mm (13mm nominal), o 15.2 mm. (15mm nominal) 1T13 o 1T15.
- Multihilo, se escribe el número de hilos que lo constituyen con sus diámetros nominales: 12 hilos diámetro 7 se escribe 12/7.
- Multitorón, identificado como a los multihilos, solo que se designa el diámetro con letra T-12, para los torones de 13 mm se escribe 12T13.

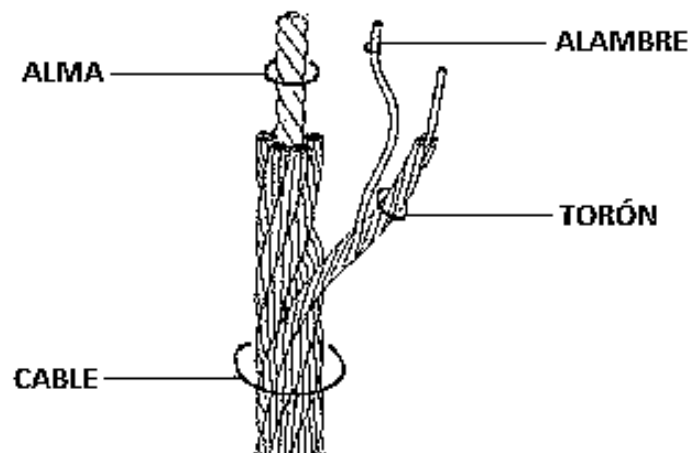


Fig. 8.5 Diagrama de la descripción de un cable de acero.





Los cables del presfuerzo están compuestos por:

- Hilos redondos y lisos de 5, 7, 8, 10 y 12 mm.
- Hilos redondos corrugados de diámetro 3.4.5.6.7. mm.
- Hilos no redondos corrugados, área 40 y 50 mm².
- Torones compuestos de 3 hilos de diámetros 5.2 mm.
- Torones compuestos de 7 hilos de diámetro 9.3, 11, 12.4, 13.2, 15.2 mm.

Los torones que utiliza la empresa *freyssinet* para el fresfuerzo, son:

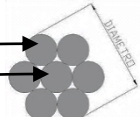
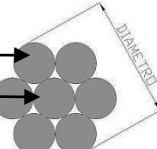
- Composición de un *torón* T13:
6 hilos de diámetro de 4.1 mm.  Diámetro de 12.4 mm
1 hilo de diámetro 4.25 mm recto.
- Composición de un *torón* T15:
6 hilos de diámetro de 5 mm.  Diámetro de 15.2 mm
1 hilo de diámetro 5.2 mm recto.

Fig. 8.6 Diámetros de los torones T13 y T15

Según el mismo principio, todos los cables están tensados por medio de gatos hidráulicos y transmiten al concreto un esfuerzo de compresión.

Las barras no se usan en grupos, siempre están aisladas, se escribe con la letra B más su diámetro, 1 barra de diámetro 32 se escribe B 32.

8.5.3 Características mecánicas de los aceros de presfuerzo.

Los cables de siete alambres sin revestimiento deben cumplir con lo especificado en la norma AASHTO M-203, NTC 2010 o ASTM A-416. Los hilos o torones que entran en la composición de cable, son de acero a alto límite elástico, son aceros laminados o en trefilados y la resistencia a ruptura es medido en kgf/mm².

Hilo redondo liso	140 hasta 180
Hilo redondo corrugado	137 hasta 197
Hilo no redondo corrugado	150 hasta 170





Torón	165 hasta 198
-------	------------------

Tabla 8.1 Resistencias a la ruptura sometidos a tensión.

8.5.4 Ductos.

Los ductos utilizados para proveer las cavidades en el concreto para la colocación de cables del postensado pueden ser formados ya sea por núcleos removibles o por ductos rígidos o semirrígidos que se funden dentro del concreto. Los ductos formados por núcleos removibles no deben tener reducciones que tiendan a cerrar el paso de lechada, los ductos formados que quedan embebidos no deben permitir el paso de lechada para evitar taponamientos, deben ser capaces de transferir los esfuerzos de contacto y conservar su forma bajo el peso del concreto, manteniendo el alineamiento sin pandeos visibles durante la colocación del concreto.

Los ductos son tubos que permiten el libre paso de los cables después del colado y pueden ser de tres tipos:

1. **Ducto de lámina,** Los ductos laminados son de metal, a menos que se apruebe otro material diferente que no reaccione con el concreto. Son de metal ferroso galvanizado y fabricados con uniones soldadas o trabadas. Los ductos rígidos tienen paredes interiores suaves capaces de curvarse hasta los límites requeridos sin sufrir achatamiento. Los ductos semirrígidos son corrugados y el espesor mínimo de pared debe ser calibre veintiséis (26) para ductos de diámetros menores o iguales a sesenta y siete milímetros (67 mm) o calibre veinticuatro (24) para diámetros mayores. Cuando los tendones son prensamblados con dichos ductos, el espesor de pared del ducto no debe ser inferior al calibre treinta y uno (31).

En los tanques de la terminal TLA Altamira, es del tipo de una lámina delgada engargolada en forma de espiral, es este tipo de ductos se utilizan para el postensado horizontal en tramos de 5200 mm de 100 mm de diámetro y calibre 24 galvanizado.

2. **Ducto de plástico de polietileno negro.** Como alternativa a ductos metálicos, los ductos para tendones transversales en placas de piso y en otros sitios mostrados en los planos o aprobados por el diseñador, podrán ser de polietileno de alta densidad, de acuerdo a la norma ASTM D-3350. Los ductos de polietileno no se pueden usar cuando el radio de curvatura del tendón sea inferior a nueve metros (9 m).





Los ductos semirrígidos de polietileno que se usen completamente embebidos en concreto deben ser corrugados, con un espesor mínimo de material de un milímetro y tres décimas, más menos tres décimas de milímetro ($1.3 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$). Tales ductos deben tener una cubierta exterior blanca, o ser de material blanco con estabilizadores ultravioletas incorporados. Los ductos rígidos de polietileno para uso donde el tendón no esté embebido en concreto deben ser de tubería rígida fabricada según las normas ASTM D 2447, ASTM F 714, ASTM D 2239, o ASTM D 30 para aplicaciones externas, estos ductos deben tener una relación diámetro/espesor de pared de veintiuno o menor (≤ 21). Para aplicaciones donde los ductos de polietileno estén expuestos a la luz solar o ultravioleta, debe incorporarse un compuesto negro de carbón a la resina de polietileno del ducto para proveer resistencia a la degradación por luz ultravioleta, de acuerdo con la norma ASTM D 1248.

3. **Tubo de acero de pared delgada**, generalmente desviadores o casos especiales, en los tanques de la terminal TLA Altamira es este tipo de ductos se utilizan en las instalaciones en “U” y verticales.

8.6 DUCTOS Y ANCLAJES.

8.6.1 Unión de los ductos-ducto y ductos-anclajes.

1. **Unión ducto-ducto.** Las uniones permiten dar la continuidad a tramos de ductos de longitudes estándar (5200 mm) para lograr la longitud deseada. Estas uniones se hacen por medio de un cople. El cople es un tramo de ducto de diámetro superior al ducto corriente y que se atornilla para asegurar una continuidad mecánica y la longitud mínima del cople es de 200 mm.

Diámetro del ducto 100 mm-----diámetro de cople 105 mm

Los acoples y transiciones de ductos formados por láminas deben ser de metal ferroso o polietileno a prueba de entrada de lechada y poseer la suficiente resistencia para prevenir distorsión o desplazamiento de los ductos durante la colocación del concreto. Todos los ductos de los ensambles de anclaje deben proveerse de tubos u otras conexiones apropiadas en cada extremo del ducto para la inyección de lechada posterior al presfuerzo. Las conexiones a ductos deben hacerse con sujetadores metálicos o plásticos.

Además, se asegura la continuidad y la impermeabilización por medio de una cinta aislante recubrimiento ambos extremos y sobre este un tramo de conducto thermocontráctil.



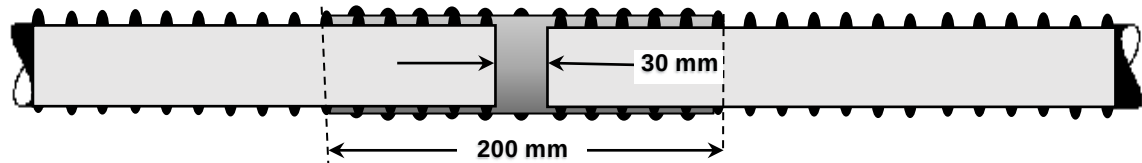


Fig. 8.6 Diagrama para el acoplamiento de tuberías de presfuerzo.

2. **Unión ducto-anclaje.** La unión ducto-anclaje debe asegurar las mismas funciones de continuidad y de impermeabilización, pero además tiene que respetar la geometría de salida de los cables.

Un punto importante al realizar esta unión es respetar la coaxialidad de salida, es decir, que debe alinear el eje del ducto con el eje del anclaje ya que si, esta regla no se cumple se corre el riesgo de romper los cables al tensarlos.

$\varnothing A$ = Diámetro de la base.
C = Ancho del anclaje.
B = Espesor de la base.
D = Longitud del anclaje.

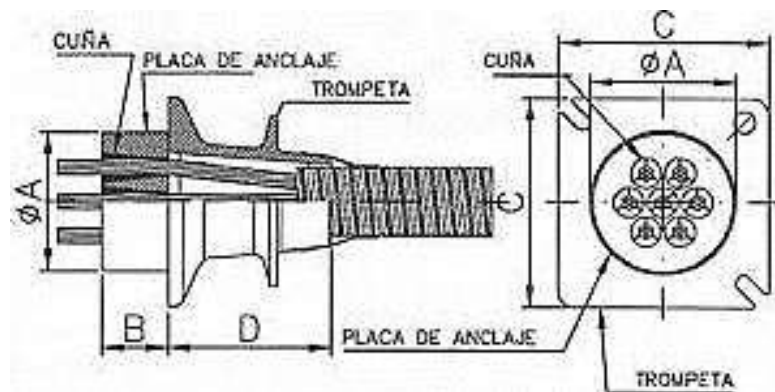


Fig. 8.6 Detalle de la unión ducto-anclaje.

La pieza donde se realiza el anclaje en los extremos del ducto y donde se coloca el gato para hacer el tensado de torones se llama **Trompeta o Tromplaca**, esta se instala de tal forma que queda toda la *tromplaca* embebida en el concreto, teniendo cuidado de proteger los orificios para evitar la entrada de lechada al momento de vaciar concreto, ya que pueden ocasionar un tapón de concreto que será difícil de remover.

La unión del ducto con la trompeta o *tromplaca*. es semejante a la unión que se realiza en los tramos rectos de tubo, en el extremo del ducto se le coloca cinta y se introduce por dentro de la *tromplaca* o *trompeta* hasta llegar al tope y se coloca sobre la unión un tramo de conducto *thermocontractil*.





La *tromplaca* tiene integrada un ducto para el respiradero y a su vez la inyección de lechada. El respiradero permite expulsar el aire o agua de los ductos durante la inyección de la lechada para proteger de la corrosión al cable o torón.

8.6.2 Anclajes.

Los anclajes sirven para mantener por acuíñamiento la fuerza de tensión de los cables y transmitir al concreto la fuerza de tensión de los cables, cuya fuerza por reacción introduce una compresión en el concreto.

Existen varios tipos de anclajes que se clasifican en tres categorías:

- Anclaje de concreto: contruidos por un cono hembra y un macho, el cable es retenido por efecto de la cuña que aprieta el cable el contra el cono hembra.
- Anclaje metálico: es una perforación cónica de un block metálico entre una cuña metálica constituida de tres partes, el cable pasa en el centro de dicha cuña que aprieta el cable con un esfuerzo radial.
- Anclajes de tuercas: se usan solamente para barras, las barras tienen cuerda a todo lo largo o esta roscado solamente en sus extremidades.

Sea cual sea el tipo de anclaje, es necesario el uso de una placa de apoyo para repartir la fuerza en una mayor área del concreto.

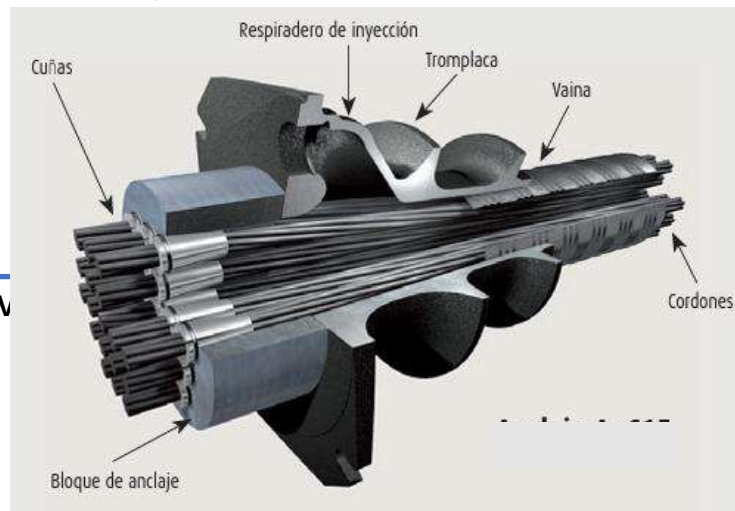
También se clasifican por tipo de función:

- Anclaje activo. Este anclaje es del lado que se va a colocar el gato para tensar los torones.
- Anclaje pasivo. Este anclaje puede ser de dos tipos:
 - A) Anclaje auto bloqueado.
 - B) Anclaje fijo: que puede ser de cable *botoneados*, manchones, por adherencia y de $\frac{1}{2}$ caña.

En la terminal TLA Altamira se utiliza un anclaje pasivo-pasivo es decir se colocan dos gatos en cada extremo con una placa de anclaje o bloque de anclaje de la gama C. Que consiste en disertar los torones por los orificios del bloque de anclaje y colocar las cuñas que, con la presión ejercida con el gato hidráulico produce un esfuerzo radial que fija definitivamente a los torones después de apoyarse sobre las placas



UNIV



LGO

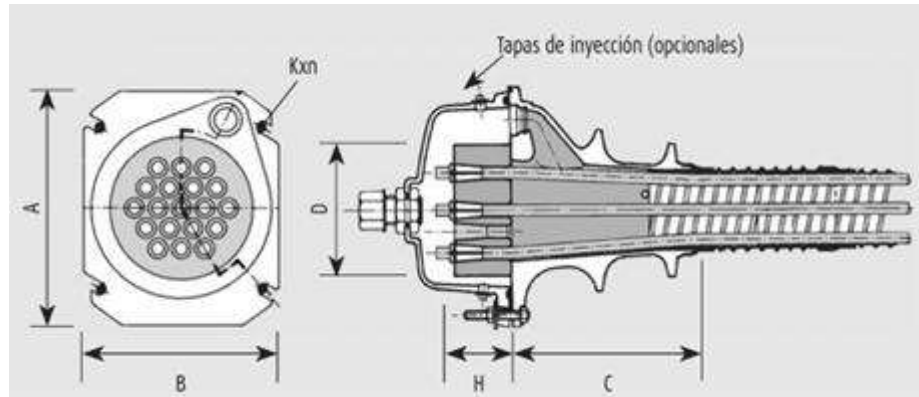


Fig. 8.7 Anclaje tipo AnC-15.

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)
2	2	1	1	6
40	00	65	50	5

Fig. 8.8
anclaje tipo AnC-15.

Dimensiones del

8.7 PROCEDIMIENTO PARA EL INSERTADO DE CABLES.

Se pueden insertar los cables antes del colado o después del colado. En lo personal es más favorables insertar los cables antes de colar, lo que permite un mejor alineamiento y se evita problemas como aplastamiento de ductos, deformaciones por desplazamiento de ducto, debido al empuje del concreto, etc. Sin embargo, para la construcción de los tanques de la planta LNG Altamira se realiza el insertado de los cables después del colado.

Después del colado de los muros y los *butress* o contrafuertes y antes de insertar los cables del postensado, se revisan y limpian los ductos uno por uno con el método que se le conoce con el nombre de “*ratoneo*”, con la introducción de una “*rata neumática*” dentro de los conductos.

Si se encontrara una obstrucción severa en cualquier punto, la solución para resolver esta situación debe ser propuesta por el departamento de ingeniería de ICA Fluor Daniel y aprobada por la ingeniería de IHI y la gerencia de TLA Altamira.





Fig. 8.9 Rata neumática.

El **ratonear** o **ratoneo**, consiste en introducir una rata neumática dentro del ducto vacío, se introduce por *tromplaca* o anclaje de una extremidad amarrada a una cuerda y se inyecta aire comprimido, la rata es propulsada por el empuje del aire hasta que salga por el otro extremo, se engancha la rata neumática al cable del malacate y se jala por medio de la cuerda que se va enrollando en el malacate.

8.7.1 Equipo y accesorios para la inserción de cables.

Descripción	Cantidad
Maquina insertadora eléctrica de dos velocidades para <i>torón</i> de 15 ton.	1 pieza
Maquina inyectora de mortero ZBE 100 marca <i>Freyssinet</i> .	1 pieza
Bomba de reinyección de mortero P2001 marca <i>Freyssinet</i> .	1 pieza
Devanadora neumática.	2 pieza
Tablero eléctrico.	1 pieza
Porta bobina.	2 pieza
Guías para bases de insertado.	6 pieza
Malacates de 5 Ton. Con accesorios	2 pieza
Grúa tipo titán capacidad para 15 Toneladas.	1 grúa
Montacargas capacidad para 5 Toneladas.	1 Montacargas

Tabla. 8.2 Equipo y accesorios para la inserción de los cables.

8.7.2 inserción de cables.

Al iniciar cualquier proceso, se verifica el funcionamiento de cada uno de los equipos a utilizar haciendo una prueba de trabajo. Se debe tener en sitio todos los equipos, accesorios y materiales a utilizar y se verifica que se cuente con energía eléctrica en el lugar, si no es así, se debe tener un generador eléctrico con la suficiente capacidad para trabajar con varios equipos o herramientas eléctricas al mismo tiempo.

Antes de iniciar con el insertado de los torones dentro de los ductos se inyecta un chorro de aire a presión para desalojar posibles humedades que pudieran afectar al acero del postensado, así como el retiro de objetos ligeros que pudiera haber dentro del ducto. Este procedimiento se realiza previo al insertado de los torones, aunque se haya realizado el *ratoneo*.





Las *tromplacas* deben de estar libres totalmente de residuos de concreto, óxido y otro contaminante, los platos de anclaje y las cuñas de anclaje son resguardados en su paquete de fábrica hasta el momento de ser utilizadas.

Como primer paso se coloca en la posición de la bobina de cable (Torón), sobre la devanadora ya en posición de insertado, procurando que sea este lo más cercano al equipo de inserción y no forzar demasiado el equipo debido al peso debido al jalón del torón de la devanadora a la insertadora. Una vez que esté el cable en posición se le coloca una punta de bala al torón que le sirve como guía durante la inserción, posteriormente se enfila a la máquina insertadora y a la entrada de la *tromplaca*.

Realizado lo anterior se inicia con el insertado por medio del mecanismo de control del equipo, se inspecciona visualmente todo el proceso de inserción para evitar que el cable tenga dobleces y/o torceduras, cuando esto suceda se detendrá el proceso y se corrige la posición del cable para poder reiniciar con la inserción. Esto se realiza hasta que el cable sobresalga por el otro extremo a una distancia de 1500 mm, ya que esté todo el torón dentro se corta igualmente a 1500 mm. Los cortes se realizan con disco para corte de acero nunca con equipo de oxicorte o de acetileno.

Es de suma importancia que todos los cables insertados sean de una sola pieza, no se pueden tener cables empatados. Todo este procedimiento se realiza con cada uno de los 18 torones que lleva insertado cada ducto formando así los **tendones**.

8.8 PROCEDIMIENTO PARA EL TENSADO DE CABLES.

Esta operación consiste en tensar los cables y bloquearlos en su anclaje de tal manera que conserve su tensión. Primeramente, se revisan el estado de los equipos para que estén en óptimas condiciones, los equipos principales son la bomba y el gato hidráulico.

En la estructura se revisa lo siguiente:

- Identificación de los cables.
- Las longitudes extras de cuerdas y número de cuerdas.
- Revisar antes de colocar que esté libre de oxidación, el bloque de anclaje (los agujeros), y las cuñas (la superficie cónica exterior e interior)
- Se verifica que la *tromplaca* esté libre de óxido y/o escurrimientos de concreto, si es así, se deberá retirar.





Todo concreto que exista en la cuerda y que pueda obstruir el anclaje apropiado de las cuñas tiene que ser retirado cuidadosamente con un cepillo de alambre y posteriormente se aplica una capa de aceite soluble.

8.8.1 Equipo y accesorios para el tensado de cables.

Gato hidráulico modelo. C500 <i>Freyssinet</i>	2 pzas.
Bomba hidráulica	2 pzas.
Andamio estructural	2 pzas.

8.8.2 Tensado de cables.

Una vez terminada con la inserción de los torones se inicia a la colocación del bloque de anclaje y las cuñas. Primeramente, se coloca el plato de anclaje o bloque de anclaje en la *tromplaca* y a su vez cada uno de los torones debidamente acomodados hasta llegar a su posición.



Fig. 8.10 Colocación de plato de anclaje con sus cuñas.

Se empujan las cuñas en cada uno de los torones hasta que se aseguren al bloque de anclaje, colocando las mandíbulas por ambos lados del anclaje u golpeando con un tubo de diámetro un poco mayor al grueso del *torón*.

En seguida se colocan los tubos guía en cada uno de los torones y posteriormente el gato hasta quedar en su posición definitiva y se inicia con el tensado de los torones, en este caso no hay anclaje pasivo o anclaje muerto, significa que de los dos extremos se coloca un gato



hidráulico para tensar por ambos lados de los cables hasta llegar a la presión y elongación indicada. *Tabla 8.3 Tensión de torones y erogaciones.*

Una vez que se llagan a las presiones y elongaciones indicadas, se presionan las mandíbulas hasta el punto en que se encuentran los gatos y poder retirarlas. Terminada la actividad de tensionado se realiza la inspección de calidad para verificar el alargamiento indicado y que todo se encuentre dentro de las especificaciones para posteriormente cortar los torones dejando únicamente unas puntas de 20 mm de longitud.

Se colocan los tubos de inyección dentro de la preparación de la *tromplaca*, para el recolado de los *Buttress* con concreto hidráulico o en su caso se pueden colocar los tapones individuales. Y se inicia con la inyección del mortero compuesto por una mezcla cuya dosificación es la indicada por el laboratorio y aprobada por la gerencia de IHI y TLA Altamira.



Fig. 8.10 Tensado de los cables de los tendones.

ETAPA	ORDEN POR N°. DE TENDON	FUERZA APLICADA	ELONGACION ESTIMADA
Primera	Horizontales 61, 63, 65,67	1,230 N/mm ²	310 mm
Segunda	Horizontales 68,66,64,62	1,230 N/mm ²	310 mm
Tercera	Verticales 10 al 26 Y 34 al 3	1,320 N/mm ²	305 mm
Cuarta	Horizontales 29,31,33,35,37,39,41,43,45,47,49,51, 53,55,57,5,9	1,280- 1,310 N/mm ²	320-330 mm
Quinta	Horizontales 60,58,56,54,52,50 48,46,44,42,40,38 36,34,32,30	1,280 - 1,310 N/mm ²	320-330 mm
Sexta	Verticales 4 al 8 y 28 al 32	1,310 N/mm ²	300 mm





Séptima	Horizontales 1,3,5,7,9,11,13,15 17,19,21,23,25,27	1,200 - 1,290 N/mm ²	300-320 mm
Octava	Horizontales 2,4,6,8,10,12,14 16,18,20,22,24,26	1,200 - 1,290 N/mm ²	300-320 mm

Tabla 8.3 Tensión de torones y erogaciones.

8.9 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE LECHADA.

8.9.1 Materiales para la elaboración de la lechada.

Los cables de presfuerzo son muy sensibles a la acción de la corrosión, el hecho de estar tensados algunos componentes del acero de cristalizan y favorecen al desarrollo de grietas debido a las reacciones químicas. por eso, es indispensable poner mucha atención en la operación de la inyección de la lechada.

El procedimiento de elaboración de la mezcla de la lechada en obra y ensayos de laboratorio, así como para la inyección de los ductos de presfuerzo es propuesta por la empresa *Freyssinet*, utilizando para la elaboración de la mezcla de la lechada los materiales siguientes:

Aditivo POZZOLITH® 360R, es aditivo reductor de agua y retardante del fraguado del concreto, se recomienda cuando se requiere de fraguado lento del concreto (por ejemplo, en clima cálido). Este aditivo mejora los concretos bombeados, lanzando (mezclas húmedas), al colocado en forma convencional. También mejora el concreto normal, reforzando, pretensado, ligero y de peso normal. Se puede usar el concreto arquitectónico, blanco y de color.

Se puede usar en combinación con aditivos *incluidores* de aire, siempre que éstos satisfagan las especificaciones AASHTO, ASTM y CRD. Cuando se desee concreto con aire incluido, se recomienda el uso de aditivos *incluidores* de aire BASF. En estos casos, cada aditivo debe dosificarse por separado dentro de la mezcladora.

Es un aditivo líquido listo para usarse que aumenta el tiempo de fraguado facilitando las operaciones de colado y acabado del concreto. Excede los requerimientos de la norma ASTM C-494, específicamente en:

- Mayor resistencia a la compresión y a la flexión.
- Menor contenido de agua para una trabajabilidad determinada.
- Mayor resistencia al daño producido por ciclos de congelamiento y deshielo.
- Características retardantes del fraguado.





La dosificación es de entre 220 a 550 ml por cada 100 kg de cemento. Se agrega simultáneamente con el agua de mezcla, nunca se añade directamente al cemento o a los agregados secos. Retarda el fraguado del concreto entre 1 y 2 ½ horas respecto del tiempo de fraguado de un concreto sin aditivo.

Aditivo MasterRheobuild 1000, es un aditivo superplastificante reductor de agua de alta actividad de alto rango, indicado para los sectores del concreto prefabricado, obra civil y hormigón para túneles (hormigón proyectado y hormigonado de túneles). Por sus características, permite la confección de hormigones líquidos partiendo de consistencias secas sin la necesidad de adicionar más agua de amasado y sin provocar retrasos de fraguado, ofreciendo elevadas resistencias iniciales sin pérdida de resistencias finales. Especialmente diseñado para:

- Concreto prefabricado de todo tipo (armado, pretensado y postensado).
- Concreto para obra civil de elevadas prestaciones.
- Concreto proyectado.
- Concreto de túneles.

La dosificación MasterRheobuild 1000 utilizada es de 0.65% a 1.6% respecto al peso del material cementicio, dependiendo de la aplicación y el incremento deseado en resistencia y asentamiento. Este rango es aplicable a la mayoría de las mezclas de concretos confeccionados con materiales típicos.

Cemento tipo CPO 30R, el Cemento Portland Ordinario con una resistencia temprana a los tres días de 200 kg/cm², que cumple con la norma mexicana **NMX-C414.ONNCCE**.

Agua con que se elabora la lechada y el hielo debe ser apta para el consumo humano, libre de impurezas materia orgánica o cualquier otro agente que pueda afectar con la calidad de la lechada, como las características descritas en la sección 3.2 *Materiales y sus características de calidad para el agua* del capítulo 3. El hielo es suministrado en barras y para su elaboración el agua debe ser de las mismas características para la elaboración de la lechada.

8.9.2 Equipo para la elaboración de la lechada.

El equipo necesario para la elaboración de la lechada y la inyección de los ductos es como a continuación de enlistan, cabe mencionar que independiente a este equipo también se considera los equipos necesarios para el izaje de los materiales o productos al sitio donde se realiza el inyectado:

- Depósito de agua con la capacidad de mantener el agua fría entre 6°C y 12°C.
- Termómetro.





- Tubo mezclador.
- Set de accesorios y conexiones.
- Equipo de seguridad adecuado.
- Probetas graduadas de 500 ml cada una.
- Turbo mezcladora.

Equipo para pruebas:

- Cono de MARSH.
- Cronometro
- Recipiente graduado de 1 litro.
- Una probeta graduada de 100 ml.
- Una probeta graduada de 500 ml.
- 12 moldes de cubos metálicos de 50 x 50 x 50 mm.
- Cubeta de plástico de 19 lts.
- tanque recipiente para almacenar la lechada.

8.9.3 Proceso de elaboración de la lechada.

El tanque de enfriamiento del agua debe contar con un medidor de flujo, el cual sirve para dosificar la cantidad de agua a la mezcla. Vaciar el agua fría en el tubo mezclador dejando una porción de unos 250 ml para lavar las probetas a fin de aprovechar al máximo la cantidad de aditivo, se agrega el aditivo *MasterRheobuild 1000* cuando se halla vaciado dos terceras partes de agua al mezclador.

Se considera que, una vez iniciado el proceso de la elaboración de la mezcla de la lechada, se sigue el proceso lo suficientemente rápido para lograr mantener la temperatura, si fuera necesario enfriar más el agua se puede hacer sin ningún problema, pero lo que no se debe nunca es colocarle directamente el hielo a la mezcla, ya que si un pedazo de hielo no se deshace este puede ocasionar un hueco en el interior de la mezcla y además al deshacerse el hielo se convierte en un estado líquido y la relación agua-cemento se pierde.

Se mezcla el agua con el *MasterRheobuild 1000* por un periodo de 30 segundos, antes de agregarle el cemento, se debe incorporar gradualmente a la mezcladora para evitar grumos y lograr una mejor homogenización. El cemento se va agregando en un periodo de entre 45 a 50 segundos, y se incorpora a la mezcla el Aditivo *POZZOLITH® 360R*. El agua pendiente por incorporar que se usa para lavar las probetas con los aditivos.





Una vez incorporado el cemento se mezcla por un periodo de 30 a 40 segundos más para lograr una perfecta homogenización, la mezcla terminada se vacía en un contenedor de doble pared el cual sirve para mantener la temperatura no mayor a 30°C hasta la terminación de su colocación.

La dosificación de la mezcla de la lechada es como sigue:

- Agua..... 35 litros.
- Cemento CPO 30R..... 100 kg.
- POZZOLITH® 360R..... 220 a 550 ml.
- MasterRheobuild 1000..... 0.65% a 1.65%

8.10 PROCEDIMIENTO PARA EL INYECTADO DE LECHADA.

8.10.1 Preliminares.

El resultado de la inyección, depende esencialmente de la fluidez y estabilidad de la lechada. Para que la lechada pueda rellenar correctamente un ducto es necesario que se tenga suficiente fluidez. Además, para que la lechada proteja bien los cables de acero es necesario que tenga poca sedimentación.

Estas dos características están íntimamente ligadas, es imposible de aceptar una buena fluidez si no está acompañada de un valor de sedimentación reducido. La fluidez es el parámetro fundamental que caracteriza el poder de inyección de la lechada esta evaluada por el tiempo de paso 1 litro de lechada a través de un cono normalizado llamado Cono Marsh. El método del cono Marsh, consiste en un cono invertido con una salida de diámetro de 10 mm para que por esta salga la lechada de agua cemento.



Fig. 8.1 Cono Marsh.





Antes de iniciar la prueba de fluidez, es muy importante limpiar el cono antes de cada medida con agua para humedecer las paredes del cono, se obstruye con el dedo la salida del cono, se rellena el cono de la lechada hasta 15 mm del borde superior del cono, y cronometra el tiempo para rellenar 1 recipiente de 1 litro, este tiempo debe ser entre 14 y 25 segundos para considerar una buena fluidez.

La sedimentación caracteriza la estabilidad de la lechada, la cantidad de agua que resulta de la sedimentación de una lechada mantenida en reposo durante 3 horas debe ser inferior o igual a 2% del volumen de la lechada, esta agua tiene que ser reabsorbida totalmente después de 24 horas. Además, la relación agua/cemento no debe exceder de 0.40 por lechada sin aditivo, y 0.38 por una lechada con aditivo. Estas pruebas se realizan con anterioridad para tener bien definida la proporción correcta para la elaboración de la mezcla de la lechada.

8.10.2 Equipo.

- Bomba de inyección Mod. P2001.
- Depósito de agua fría.
- Tanque de almacenamiento de doble fondo.
- Mangueras y accesorios de conexión.
- Tubería de AC de 2" de diámetro y seccionada en tramos de un 1, 2. 3 mts de longitud.

8.10.3 Inyectado de lechada a los ductos.

Primeramente, se coloca el equipo de inyección en la posición más adecuada procurando que este lo más cerca de donde se inyecta la mezcla de la lechada, se coloca la manguera de 1" de diámetro de alta presión desde el equipo de bombeo hasta el ducto donde que se le inyecta la mezcla.

La manguera se conecta a los ductos de inyección de las *tromplacas*, las válvulas de entrada y salida junto con la manguera de inyección, así como al equipo y sus herrajes. Cuando ya se encuentre listo el quipo, es decir colocado y conectado, se inicia con la elaboración de la lechada la cantidad necesaria de un tubo solamente más un 2 % de desperdicio.

Para hacer un litro de lechada se requiere 5 kg de cemento, el porcentaje de pérdida de cemento es de 15% aproximadamente, un consumo teórico lo podemos ver en la tabla siguiente:

Tipo de cable	Diámetro del ducto mm.	Volumen teórico ml.	Cantidades teóricas de cemento kg/ml.
---------------	------------------------	---------------------	---------------------------------------





12 / 5	32	0.57	0.885
12 / 7	39	0.75	1.125
12 T 13	63	1.98	2.125
12 T 15	75	2.75	4.125
18 T 13	100	3.15	4.725

Tabla 8.4 Rendimientos de lechada.

Una vez terminada la elaboración de la lechada, con la ayuda de las grúas torre se traslada al tanque de doble pared hasta la plataforma donde se encuentra el equipo de inyección. Durante el proceso de inyección se debe cuidar las conexiones de las mangueras, así como la temperatura de la lechada, la cual se tiene que monitorear frecuentemente para asegurarse que no rebase los 30 °C.

Se coloca a una persona del otro dado del ducto equipado con un equipo de radio de intercomunicación, el cual verifica y notifica cuando la mezcla comience a fluir constante por el lado opuesto de donde se está inyectando la lechada. En ese momento se detendrá la inyección en el ducto y se realiza el siguiente proceso:

1. En los ductos horizontales se cierra la válvula de salida y se inicia de nuevo para dar la presión de 4 bar, una vez llegada a la presión se cierra la válvula de entrada y se retira la manguera al ducto siguiente, transcurridas 12 horas se retira las válvulas de entrada y de salida.
2. Para la tubería vertical se coloca un depósito para recibir el sangrado, el cual se llena al 80% de su capacidad para verificar el llenado del ducto total se deja transcurrir un lapso de 10 min. Se continúa con el reinyectado hasta llenar en su totalidad el ducto. Después de doce horas se retira el depósito de sangrado.

Una vez terminado el proceso de inyección de lechada, se sellan todos los huecos con mortero seco de acuerdo al procedimiento de reparación de muros. Los extremos de ventilaciones y drenajes deberán removerse hasta veinticinco milímetros (25 mm) por debajo de la superficie del concreto después de terminar la inyección, todos los orificios se rellenan con mortero seco.





CAPÍTULO 9

Construcción Y elevación de la Cúpula

**9.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CÚPULA DE ACERO / 9.2
PREPARACIÓN PRELAZAJE DE LA CÚPULA / 9.3 IZAJE DE LA
CÚPULA DE ACERO CON INYECCIÓN DE AIRE/ 9.4
COLOCACIÓN DE PERNOS DE SUJECIÓN EN LA CÚPULA
METÁLICA / 9.5 CONECTORES MECÁNICOS Y ARMADO DE
ACERO DE REFUERZO / 9.6 VACIADO Y COLOCACIÓN DE
CONCRETO / 9.7 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL
EQUIPO / 9.8 ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO**





9 CONSTRUCCIÓN Y ELEVACIÓN DE LA CÚPULA

9.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CÚPULA DE ACERO.

La cúpula de cada tanque está formada por 27 secciones metálicas ensamblados con vigas tipo H 300x 150x6/10 y placas metálicas de 1 ½ "de espesor de acero con aleación a 9 % níquel, con un peso total de 480 ton. Se construye un techo de aluminio que cuelga de la cúpula mediante tirantes de acero de 3/8 "de diámetro, y sobre ella una membrana de fibra de vidrio que actúa como aislante.



Fig. 9.1 Fabricación de las secciones metálicas para la cúpula.

Cuando el tanque exterior de concreto llegue al tercer nivel se van colocando cada uno de los 27 sectores prefabricados en el exterior de los tanques, apoyados en el primer nivel o anillo sobre soportes metálicos que se colocaron alrededor del tanque y de una estructura en el centro del tanque, la colocación es alternado lados opuestos y unidas en el centro mediante un anillo de tipo H 300x 150x6/10 para equilibrar el peso.



Fig. 9.2 Colocación de soportes perimetrales y central para sostener la cúpula.





Todas las uniones se realizan con soldadura 60-10 de 1/8" y soldadura 70-18 de 1/8", y realiza 3 tipos de pruebas a la soldadura: Inspección visual, radiografiado y prueba de líquidos penetrantes.

El proceso de ensamblado de la cúpula se realiza al mismo tiempo que se va construyendo el resto de los niveles o anillos de concreto, incluyendo la construcción de la trabe circular en el último anillo donde están las vigas y placas de acero embebidas para unir la cúpula una vez que se realice el izaje.

Cuando la cúpula de acero está terminada se instalan las boquillas de entradas y salidas del gas, y todos los sistemas de medición para su posterior conexión a las diferentes terminales de rebombeo o de proceso y se colocan también los tirantes metálicos de cable de acero de 3/8" para sostener el techo de aluminio.

9.2 TRABAJOS DE PREPARACIÓN PREIZAJE.

En la parte superior de la trabe circular del tanque de concreto se colocan unos caballetes de acero al rededor del tanque anclados a unos pernos embebidos al concreto. Estos caballetes están equipados con unas poleas y un malacate para colgar los cables de acero de 1/2" de diámetro que sirven como guía al momento de izar la cúpula y controlar al máximo la estabilidad de la cúpula.

En uno de los *opening* provisionales se colocan dos placas de acero de 1 1/2" de espesor soldadas a las placas embebidas en el concreto que se colocaron en la etapa de construcción los muros de concreto, estas dos placas se sueldan una por el interior del tanque y la otro por el dado externo del tanque, a cada placa se le instala una puerta también fabricada de acero de espesor de 1", esta puerta está equipada con unos empaque y se fabrican semejando las puertas tipo *estancas Watertight* con la finalidad de que cierre herméticamente.

La finalidad de la colocación de estas dos puertas es para poder ingresar a supervisar al interior del tanque cuando se esté izando la cúpula y evitar perdida de presión por escape de aire al exterior. Solo se podrá abrir una sola puerta a la vez mientras dure el proceso de izado de la cúpula y esté completamente soldada a la parte superior. Cabe mencionar que solo una puerta podrá ser abierta a la vez y nunca las dos puertas al mismo tiempo.

En otro *opening* provisional se instalan tres grandes ventiladores que son los que inyectan el aire al interior del tanque para izar la cúpula, al igual que en el primer *opening* provisional, se cierra herméticamente y se instala a cada ventilador una válvula de seguridad que conecta por medio de un ducto de tubería los ventiladores y el tanque, también se colocan instalaciones provisionales de control a un lado de los ventiladores.





Unas horas antes de que inicie el izado de la cúpula se coloca una cinta metálica flexible de 10" de ancho en la unión de la pared del tanque de concreto y el perímetro de la cúpula, para evitar fuga de aire y por consiguiente una pérdida de presión, pero que al mismo tiempo permita el deslizamiento de la cúpula al ir subiendo.

9.3 IZAJE DE LA CÚPULA DE ACERO CON INYECCIÓN DE AIRE.

En este proceso es donde se ven reflejados la gran parte de los esfuerzos realizados y los resultados del estricto control de calidad en cada etapa de construcción de los muros, ya que como se ha mencionado cualquier falla en el molde de la cimbra, en cuanto a la redondez y primero de la pared interna del tanque, ocasiona un bloqueo de la cúpula al ir subiendo cuando se esté izando provocando incluso, no solo que se atore la cúpula si no que sufra un vuelco, que resultaría costoso y muy complicado reacomodar nuevamente la dirección de la cúpula

El proceso de elevación de la cúpula se realiza inyectando aire con dos de los tres ventiladores instalados al interior del tanque. El tercer ventilador solo es respaldo por precaución para entrar en funcionamiento si alguno de los otros dos ventiladores sufriera una avería, el cual suple al ventilador averiado mientras el personal técnico lo repare, en sitio el personal técnico, eléctricos y mecánicos están disponibles por tiempo completo para hacerse cargo rápidamente de alguna eventualidad hasta que se libere el aire dentro del tanque.

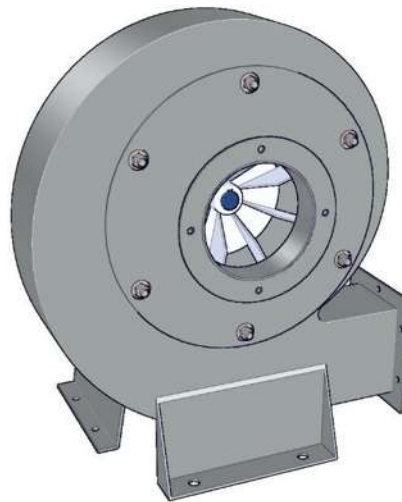


Fig. 9.3 Ventiladores que inyectan a una presión superior a las 480 toneladas el aire al interior del tanque.





Cada ventilador está conectado a una válvula independiente que se cierra automáticamente cuando uno de los ventiladores deje de inyectar aire al interior del tanque por falla mecánica, eléctrica o alguna otra causa, con este sistema automatizado se evita que el aire se regrese y por consiguiente se produzca una pérdida de presión y el proceso de izaje de la cúpula.

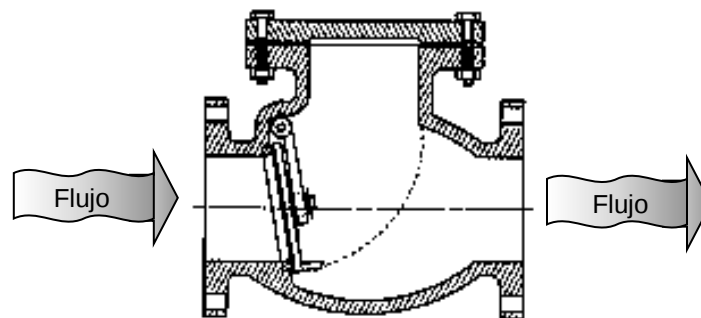


Fig. 9.4 Diagrama de una válvula de retención.

Con solo dos ventiladores que inyectan el aire al interior del tanque se mantienen una presión superior al peso de la cúpula de 480 Ton. Esta operación dura aproximadamente 4 horas desde que comiencen los ventiladores a inyectar el aire hasta que la cúpula llega a la parte superior del tanque y hace contacto con las vigas y la placa circular de acero embebidas de la trabe circular.

Una vez que la cúpula haga contacto con la parte superior del tanque, las cuadrillas de soldadores comienzan a trabajar para aplicar la soldadura y unir las vigas metálicas con las placas con la cúpula, en este proceso se trabaja las 24 horas de tal modo que, son organizadas tres cuadrillas de soldadores para trabajar turnos de 8 horas cada cuadrilla hasta completar de soldar todo el perímetro de la cúpula.

Durante todo este tiempo que dure el proceso de soldadura se mantiene uno de los tres ventiladores trabajando únicamente para controlar y mantener la presión en el interior del tanque, los otros dos ventiladores permanecen apagados y con las válvulas respectivas cerradas.

Solo hasta que se termine de soldar y de realizar las inspecciones visuales, radiografiado de las soldaduras y de más pruebas, se deja escapar el aire liberando poco a poco la presión para posteriormente retirar las instalaciones provisionales, ventiladores y las placas de los *openig* provisionales.





Fig. 9.5 Aplicación de soldadura de la cúpula en la parte superior del tanque.

9.4 COLOCACIÓN DE PERNOS DE SUJECIÓN EN LA CÚPULA METÁLICA.

Una vez que la cúpula metálica está terminada se le colocan unos pernos de sujeción a la a la placa de 1 ½". Estos pernos de sujeción se instalan a cada 500 mm de separación de ½" de diámetro con cabeza en un extremo para que el concreto quede sujeto a la cúpula metálica.

La unión de los pernos de sujeción con de la cúpula metálica se hace por medio de una soldadura de puntos de resistencia. Solo en esta etapa la soldadura es diferente a como se ha estado realizando por razón de sencillez y de rapidez.

También se sueldan las boquillas para la conexión de las tuberías para el suministro de gas al tanque y la emisión para su regasificación en los vaporizadores y poder distribuir el gas a las empresas y hogares. Las boquillas se sueldan con la soldadura que se ha estado aplicando para todo el proceso (60-10 y 70-18).



Fig. 9.6 Aplicación de soldadura de punto de resistencia.

Éste es el sistema de soldadura que se emplea con mayor frecuencia tanto en fabricación como en reparación debido a las ventajas que posee frente a otros sistemas de unión, La soldadura por puntos de resistencia se basa en el procedimiento más antiguo que se conoce





como la soldadura por forja. Se lleva a cabo aprovechando la propiedad de unión que presentan algunos metales al final de su fase sólida y cuando se aplica sobre ellos una presión. Para ejecutarla, se eleva el material a temperaturas próximas a la de fusión mediante un calentamiento uniendo las dos piezas mediante presión:

- Siempre que su ejecución se lleve a cabo de la manera correcta se obtienen soldaduras de buena calidad y uniformes que presentan una zona fundida homogénea, sin huecos, rechupados o grietas.
- Su manejo es sencillo, ya que la mayoría de los equipos utilizados hoy en día, tanto en fabricación como en reparación, son automáticos. Por esta razón, la calidad final ya no depende tanto de la destreza del operario, sino de la regulación de los parámetros de la máquina de acuerdo con el tipo de trabajo que se desea realizar.
- Ausencia de deformaciones y cambios en la estructura del material, debido a que la aplicación de calor es mínima y se lleva a cabo de forma muy localizada en la zona de contacto de los electrodos.
- Las superficies que se obtienen son relativamente suaves, libres de fusión superficial o huellas profundas, que hacen innecesario un repaso posterior como operación de acabado.
- No requiere material de aportación, lo cual reduce costos.
- El desmontaje de piezas unidas por puntos de resistencia es sencillo. Haciendo uso de las herramientas específicas para esta función, se realiza de forma rápida y lo que es aún más importante, sin causar desperfectos en las piezas adyacentes.
- Es un sistema que permite restaurar la protección anticorrosiva antes de ejecutar la soldadura mediante la aplicación de imprimaciones soldantes apropiadas. Intensidad de la corriente-tiempo de soldadura.

La cantidad de calor necesario para elevar las chapas a estado pastoso depende directamente de la intensidad de la corriente eléctrica y de su tiempo de paso para generar una determinada cantidad de calor, debido a esto, se debe regular adecuadamente estas dos variables (corriente eléctrica y tiempo de aplicación).

Por una parte se puede disminuir el tiempo de soldadura aumentando la intensidad, lo que se conoce como soldadura rápida, o bien se puede optar por una disminución de la intensidad acompañada de un aumento del tiempo de soldadura, denominada soldadura lenta.





9.4.1 Resistencia eléctrica de la unión.

La resistencia que oponen las chapas a unir al paso de la corriente no es un parámetro de soldadura que pueda ser regulado en el equipo, sino que depende de la naturaleza del metal.

Es un factor que se debe tener en cuenta, ya que la resistencia influye directamente en la cantidad de calor generada durante la soldadura. La resistencia que opone un material al paso de la de la corriente es inversamente proporcional a su conductividad eléctrica, dependiendo fundamentalmente de su composición y de su tratamiento, así como de su acabado y limpieza. Por lo tanto, a mayor conductividad eléctrica, menor resistencia al paso de la corriente.

9.5 CONECTORES MECÁNICOS Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO.

Uno de los conceptos que se deben asumir en el diseño de estructuras de concreto es el considerar que el acero de refuerzo debe resistir cualquier tensión que pueda estar presente en la estructura, considerando, además, que el acero de refuerzo presenta esa resistencia a la tensión en toda la extensión de la estructura, sin embargo, existe la limitante de que las varilla de refuerzo solo se fabrican en longitudes de hasta 12 m, la longitud de traslapes correspondiente para la varilla de 1" (Nº. 8) los 300 mm que sobresalen del concreto de la trabe circular no es ni la mínima longitud de traslape según las especificaciones $L_t = 1168.4$ mm de la *Tabla 3.3 Longitud de traslapes* de la sección 3.4.4 *Traslapes* explicado en el capítulo 3, para la continuación del revestido de la cúpula.

Lo que implica forzosamente para varillas de 25.4 mm de diámetro (No. 8) en adelante, unir las de alguna forma y alcanzar las longitudes requeridas. Uno de los métodos más utilizados es soldar las uniones, método inaceptable metalúrgicamente para la varilla que se produce en México bajo la norma CC-407 (ASTM A615). La AWS D1.4M no permite la soldadura de dicha varilla de refuerzo.

El uso de conectores mecánicos en las barras de refuerzo, especialmente en estructuras resistentes contra sismos, presenta grandes ventajas económicas, prácticas y, principalmente, de seguridad, sobre las uniones soldadas.

Hay en el mercado una gran variedad de sistemas de conectores mecánicos, por ejemplo, de cuerda recta o paralela, de cuerda cónica, de manga de presión, de manga atornillada, etc. Sin embargo, los de cuerda recta son los que presentan mejor comportamiento mecánico y facilidad de instalación. Para que un sistema barraconector sea confiable, especialmente en zonas sísmicas, debe cumplir con normas que indica el REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL D. F. en NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS: secciones PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO y PARA DISEÑO POR SISMO, las indicadas por la AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 318 CAPÍTULO 21 ESTRUCTURAS SISMO





RESISTENTES, así como los ensayos establecidos en la norma del ACI 439 STANDARD SPECIFICATION for REINFORCEMENT CONNECTIONS for SEISMIC DESIGNS UTILIZING ENERGY DISSIPATION CRITERIA.

Los resultados de ensayos hechos a los sistemas de primera generación han alcanzado tal nivel de confiabilidad que uniones **varilla roscada-conector-varilla roscada** han dado resultados muy cercanos a los que se obtienen en una varilla sin unión, los ensayos se hicieron en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, bajo la norma ACI 439.

9.5.1 Conectores de primera generación.

La fabricación de estos conectores de primera generación consiste en maquinar la barra de refuerzo sobre el perímetro exterior del núcleo, con el fin de dejar un cilindro completamente recto y concéntrico o axial a la barra, después se hace la cuerda por arranque de metal con cortadores especiales. La única ventaja que tiene este sistema es su fabricación simple, siendo sus desventajas:

- Debido a la falta de uniformidad en la redondez del núcleo, se obtiene un cilindro imperfecto, con un diámetro menor al diámetro nominal de la barra de refuerzo, dando como resultado un esfuerzo a la tensión muchas veces menor al 1.5 f_y especificado para conectores tipo II.
- Dificultad al armado del sistema, debido por un lado al corte de cuerda por arranque de acero que deja una superficie rugosa y por otro a la amplia variación del diámetro mayor y/o menor de la cuerda que deja el continuo y rápido desgaste de las herramientas de corte.
- Tendencia al barrimiento de cuerdas, por una parte, provocada por las microgrietas generadas en los cantos y en la raíz de las cuerdas por el arranque de metal, por un lado la falta de cilindridad de la cuerda y por otro por la falta de ajuste entre la cuerda de la barra y la cuerda del acoplamiento (cople) cuando se ensamblan un mínimo con un máximo.

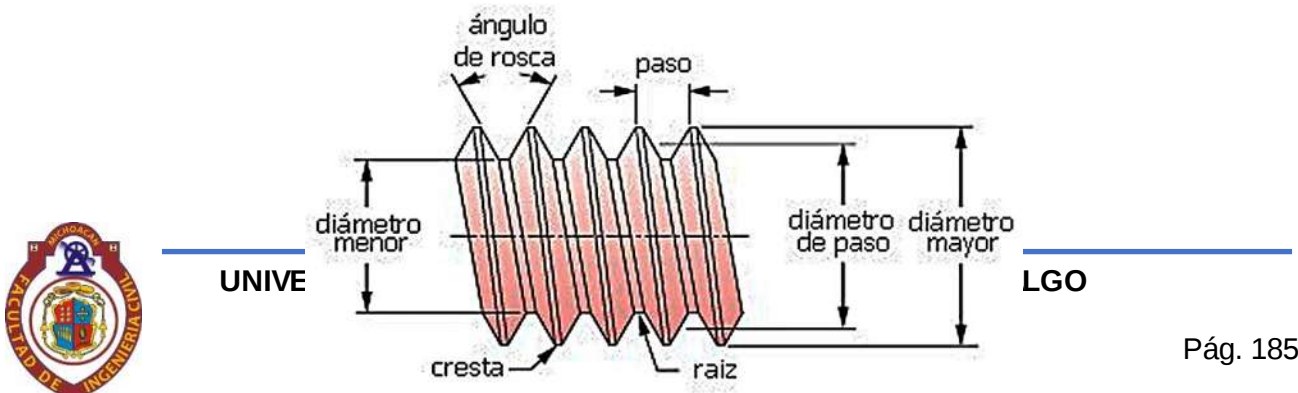




Fig. 9.7 Partes de la cuerda

Veamos en detalle cada una de las desventajas mencionadas, la finalidad de ver a detalle las desventajas de este tipo de conectores mecánicos es, prever a la hora de hacer el maquilado a las varillas y evitar fallas posteriores en las uniones mecánicas:

1.- Con el objetivo de tener un cilindro completamente recto para el posterior corte de cuerda de medida comercial o estándar, se maquila o pela la varilla para eliminar las corrugaciones y costilla de la misma. Como se mencionó antes, debido a la falta de redondez y menor diámetro del núcleo, la cuerda queda incompleta en algunas partes, con crestas unas veces completas y otras incompletas, quedando, en consecuencia, con un diámetro fuera de especificación. El diámetro menor de la cuerda queda menor al diámetro nominal de la varilla y por lo tanto, el área obtenida será menor al área nominal. El esfuerzo de ruptura se calcula de acuerdo al área transversal o nominal de la varilla y con el área real que se obtiene nos dará un esfuerzo de ruptura menor, algunas veces, al 1.25 fy requerido para conectores tipo I y muchas veces menor para el 1.5 fy requerido para los conectores tipo II.

2.- La fabricación de la cuerda se hace generalmente por arranque de metal, con unas herramientas de corte conocidas como *dados de tarraja* y otras como *peines*. Generalmente los *dados de tarraja* hacen cuerdas de medida nominal y no pueden ser ajustada, por lo que no se usan para fabricación masiva. El uso de peines montados en cabezales especiales los hace más versátiles en cuanto a los ajustes de los diámetros de las cuerdas, sin embargo, mantener el diámetro y la superficie de la cuerda dentro de especificaciones requiere de un constante afilado de los peines, de un constante ajuste de posición y de un constante ajuste de diámetro.

Hacia la etapa final del afilado el diámetro menor de la cuerda se va agrandando, el diámetro mayor se va deformando y la superficie de los cantos de las cuerdas se va haciendo cada vez más ásperos. Durante un turno de fabricación se obtendrá una gran variación de medidas por esta causa y al hacer el armado en campo se notará que unos coples entran muy justos y otros muy flojos. Esta última condición también conlleva a obtener baja resistencia al esfuerzo, debido a que solo una pequeña superficie de la cuerda de la varilla hace contacto con una pequeña superficie de la cuerda del cople. Al ser sometido este ensamble a un esfuerzo de tensión provoca un barrimiento de cuerdas, no llegándose nunca a una resistencia a la ruptura medible. Este defecto también puede ser provocado por grietas generadas en la raíz de las cuerdas debido al desafileado de las herramientas de corte.



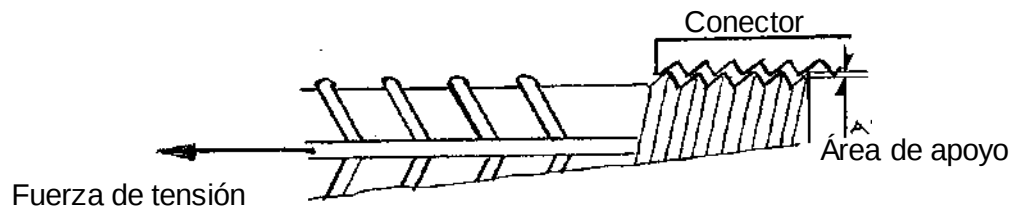


Fig. 9.8 Ensamble de varilla roscada-conector que provoca barrido de cuerdas.

Las desventajas mencionadas, además representan un grave riesgo para la rigidez de una estructura, tanto para cargas propias de la construcción como para la resistencia a vientos y para sismos. Los riesgos son similares a los que puede provocar una unión por soldadura de varilla de la clase CC-407 (ASTM A-615).

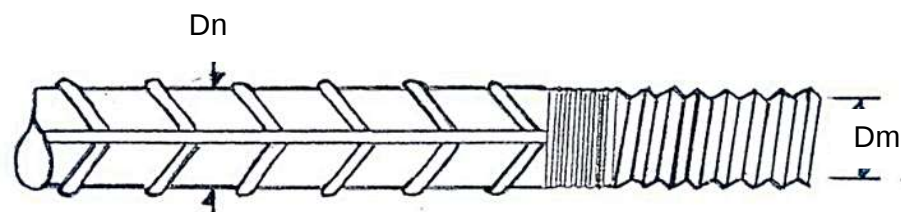


Fig. 9.9 Varilla de Dn mayor que Dm refuerzo con cuerda sobre núcleo cilindrado (Primera generación).

Se hicieron probetas de este tipo de conexión y se sometieron a pruebas de esfuerzo para determinar su resistencia a la ruptura, los resultados de los ensayos que se efectuaron en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, y que consistieron únicamente en pruebas monotónicas, se muestran en las tablas siguientes: Determinación de los diámetros de las varillas con cuerda antes de la prueba de esfuerzo: *Tabla 9.1 Determinación de los diámetros de las varillas con cuerda antes de la prueba de esfuerzo y la*





Varilla número	Diámetro Dn (mm)	Diámetro Dm (mm)	Diferencia (mm)
V-8-1	23.7	22.1	1.6
V-8-2	23.7	22.0	1.7
V-8-3	23.5	22.0	1.5
V-8-4	23.1	21.7	1.4
V-8-5	23.1	21.8	1.3
V-8-6	23.3	21.7	1.6

Tabla 9.1 Determinación de los diámetros de las varillas con cuerda antes de la prueba de esfuerzo.

Se puede observar que los diámetros de los núcleos presentan ovalamientos de hasta 0.5 mm, lo que puede representar una variación de hasta 29.4 MPa (300 kg/cm²) en la prueba de esfuerzo, que puede fácilmente resultar en un valor final fuera de norma. Además, esos ovalamientos generan cuerdas también ovaladas, que puede resultar que el ensamble se barra como se indicó anteriormente.

Ensayos monotónicos:

Identificación	Carga máxima	Esfuerzo máximo f máx.	Fluencia fy	Módulo de elasticidad	Deformación máxima
	Kg	MPa (kg/cm ²)	MPa (kg/cm ²)	MPa (kg/cm ²)	%
Varilla sola	40752	788 (8038)	408 (4411)	191230 (1950000)	13.4
V-8-1	33999	657 (6706)	405 (4130)	168675 (1720000)	4.6
V-8-2	34709	671 (6846)	410 (4186)	170636 (1740000)	4.8
V-8-3	30698	593 (6055)	335 (3427)	166714 (1700000)	3.5
V-8-4	31205	603 (6155)	348 (3555)	165733 (1690000)	4.8
V-8-5	30698	593 (6055)	410 (4186)	168675 (1720000)	5.7
V-8-6	30399	588 (5996)	322 (3292)	144158 (1470000)	4.2

Tabla 9.2 Resultados de los ensayos de resistencia a la tensión en sistema de conector de primera generación con varilla de 25.4 mm.

Se puede observar que solo el 33% cumple con el esfuerzo máximo mayor a 617.82 MPa (6300 kg/cm²) para cumplir con el requisito de los conectores del tipo II y el 66.6% no cumple con





el mismo tipo II, se puede considerar que este tipo de conector no es confiable completamente para ser incluidos en cualquier posición de la estructura, sin embargo para el revestido en la cúpula es suficiente ya que el esfuerzo máximo lo reciben la estructura formada las vigas tipo H 300x 150x6/10 de la cúpula metálica.

Cabe señalar que la carga que soporta cada cuerda atornillada es como sigue:

Primera cuerda	50% de la carga	(Es la cuerda junto a la varilla sin cilindrar)
Segunda cuerda	25% de la carga	(La cuerda que sigue a la anterior)
Tercera cuerda	13% de la carga	
De la cuarta hasta la última cuerda	12% de la carga.	

Por lo que es muy importante que los coples se atornillen cuatro cuerdas como mínimo.

9.5.2 Habilitado y armado de acero de refuerzo.

Una vez que se tenga listo el maquilado de las varillas de acuerdo al proceso descrito anteriormente y los pernos de sujeción del concreto colocados, se comienza el armado del acero de refuerzo con varillas de 1" (Nº. 8) de diámetro como sigue:

1. Se rosca los conectores mecánicos y se van uniendo las varillas por medio de los coples roscados. Para facilitar el acople mecánico, primero se coloca el cople a las varillas rectas que se van a unir a las varillas que sobre salen del concreto de la trabe circular, los armados de las varillas se colocan del extremo hacia el centro de la cúpula.



Fig. 9.10 Colocación de los conectores mecánicos.





2. El acero circular es también de 1" (N°. 8) que se va armando con forme a la circunferencia de la cúpula a cada 2500 mm de separación, la longitud del traslape es de acuerdo a las Tablas 3.3 *Longitud de traslapes de la sección* 3.4.4 *Traslapes explicado* en el capítulo 3, vistas anteriormente (longitud de traslape LT para las varillas de 1" de 1168.4 mm). Los amarres se hacen al 100 %. Al comenzar en el perímetro no hace falta habilitar el acero ya que se puede colocar con una relativa facilidad para darle la redondez necesaria, con forme el habilitado se acerca al centro de la cúpula si es necesario habilitar el acero con la curvatura requerida.



Fig. 9.11 Armado de acero en para revestir la cúpula del tanque.

3. En el centro de la cúpula se instala una boquilla de 42" de diámetro que sirve como base para colocar un extractor mientras se esté trabajando en la soldadura interior del tanque y en la colocación de la capa de fibra de vidrio del techo de aluminio suspendido. Para reforzar el hueco de la boquilla se colocan 4 varillas de refuerzo de 1" de diámetro y de 2000 mm de longitud a cada lado de los ejes de la boquilla, para contrarrestar los esfuerzos internos por contracción del concreto, el refuerzo se va alternando para los tres lechos del acero.



Fig. 9.12 Refuerzo de acero en el centro de la cúpula.





4. Se instalan también los disparos de varillas de $\frac{1}{2}$ " de diámetro (N°. 4). Para la construcción de los dados de la estructura que soporta la tubería de llenado y emisión del LNG.

9.6 VACIADO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO.

El concreto utilizado en la construcción de la cúpula es de las mismas características del utilizado para la construcción de todo el tanque resistencia a la compresión 35 MPa ($f'c = 370$ kg/cm²), tipo de cemento CPC 40 RS, T.M.A $\frac{3}{4}$ ". Para el colado de la cúpula el alcance de las bombas móviles ya no es suficiente para el vaciado de concreto, lo que se opta por utilizar tres bachas de capacidad de 0.75 m³ cada una que son subidas con la ayuda de las grúas torre al sitio de colado.



Fig. 9.13 Colado de la cúpula con bacha.

El vaciado y la colocación de concreto se realiza en dos capas de 200 mm cada una y dividiendo en tres secciones con tres frentes de trabajo (un frete por cada grúa). La primera sección es a 1200 mm a partir del ancho de la trabe hacia el centro de la cúpula, la segunda es a 100 mm y se realiza el mismo día que para la primera sección, se coloca metal despagado para facilitar y evitar pérdida de tiempo en la preparación de la junta de construcción, la tercera sección es el resto de la primera capa de concreto y se realiza al siguiente día.

Para la unión del concreto antiguo con el concreto nuevo se realiza un corte en verde dejando el agregado expuesto, a diferencia de los cortes en verde que se hacía con cepillos de alambre en los muros, y como aquí la superficie es mayor y se empleando unas hidrolavadoras tipo *karcher*, que con la presión del agua de las hidrolavadoras remueve los finos de la superficie





del concreto en la etapa inicial de endurecimiento del concreto, quedando así el agregado expuesto para la unión del concreto nuevo.



Fig. 9.14 Preparación del corte en verde en el concreto

9.7 ARREGLO GENERAL Y DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.

La disposición general y arreglo del equipo es requerida antes de la ejecución del colado para la cúpula. A fin de evitar demora por interferencia en los equipos y maquinarias. También es necesario los datos técnicos del colado y la distribución del personal con sus actividades o categorías.

9.7.1 Información técnica

Volumen de concreto.....	956 m ³ .
Clasificación del colado.....	Masivo.
Resistencia del concreto.....	Concreto MPa 35.
Tipo de colado.	Directo (bacha).
Temperatura.....	Temperatura controlada menor a 32° C.

9.7.2 fuerza de trabajo

La fuerza de trabajo para cada frente de trabajo será aproximadamente:

Sobrestante.....	1
Oficial albañil (para colocar, vibrar y acabar)	10
Carpintero.....	1
Oficial fierro.....	1





Ayudante.....	8
Total (cada bacha)	21
Trabajo total para cada frente de trabajo	21 personas

9.7.3 Suministro y abastecimiento de concreto.

El abastecimiento de concreto se realiza con una sola planta concretera, tomando como base el funcionamiento estimado por la planta, el volumen necesario de 90 m³ y de una eficacia de 90 %, el tiempo del colado se estima en aproximadamente 8 Horas. Por lo tanto, el colado comenzará a las 7:00 horas para cubrirlo durante turno de día usando apenas 1 hora de tiempo complementario.

La planta debe tener los materiales suficientes para terminar el colado, en caso de que se presente una falla importante y que no pueda continuar en operación, entrara en funcionamiento la planta ubicada en Cd, Madero para asegurar que el colado se termine. Cada planta debe tener el material suficiente almacenado para terminar el suministro de concreto.

Materiales:

Cemento.....	150	toneladas.
Agua.....	16	m ³ .
Hielo.....	.65	toneladas.
¾ de la grava”	390	toneladas.
Piedra caliza de la arena.....	550	toneladas.
Aditivo tipo D del <i>fluidizer</i>	2500	lts.

Equipo a usar:

Planta de concreto.	1.00 (1 reserva).
Camiones revolvedores (7m ³).	7.00 (2 de repuesto).
Grúa torre con bacha de 0.75 m3 de capacidad	3.00.
Diésel Generador.	2.00 (1 de reserva).
Portable (compresor de 325 ft.3/min).	1.00.
2 ½ " de diámetro de alta frecuencia de vibración.	6.00 (2 de repuesto).
Luz <i>Maxi light</i> .	2.00 (1 repuesto).





9.8 ACABADO Y CURADO DEL CONCRETO.

9.8.1 Acabado en la superficie final del concreto.

La superficie de la losa de la cúpula lleva un acabado aparente integral con llana de metal, primeramente, se terminará a regla dando la curvatura de la cúpula, esta curvatura se le da colocando reglas “maestras” con el nivel, inclinación y curvatura requerida. Se debe tener cuidado de vibrar de concreto adecuadamente como lo descrito en la sección 3.9.1 *vibrado del concreto* del capítulo 3, y un acabado aparente integral en la superficie de concreto con llana metálica, el tratamiento a seguir es el que se describió en la sección 4.6.5 *acabado de la superficie del concreto* del capítulo 4.

Por ningún motivo se permite espolvorear cemento en la superficie del concreto en la fase final del fraguado, si aparecieran grietas en la superficie se debe hacer una revisión para ver el motivo del agrietamiento, dependiendo de la profundidad de la grieta se procederá a la reparación, las grietas pueden ser de dos tipos:

- Grietas superficiales: se podrá utilizar algún producto reparador de grietas, no está permitido borrar las grietas con una simple lechada agua-cemento.
- Grietas estructurales: si la grieta es por falla estructural y es más profunda se tendrá que inyectar producto epóxico sellador de grietas.

9.8.2 Curado del concreto.

Una vez completado el acabado de la superficie de concreto se da inicio al curado de concreto (aproximadamente 2 horas) de acuerdo al ACI 308, en el área donde posteriormente se continua la construcción de los soportes de la estructura para la tubería, únicamente se mantendrá húmeda la junta hasta que se reciba el concreto nuevo y se terminen de construir las bases o dados de los soportes para la tubería.

El curado de concreto se realiza siguiendo el procedimiento descrito en la sección 4.6.6 *curado de la superficie de concreto* mediante el método del uso de una membrana artificial de un compuesto líquido.

9.8.3 Terminación de obra civil.

La construcción de la obra civil de los tanques T-1002 y T-1003, se da por terminada cuando los dados para los soportes están totalmente contruidos, los huecos del postensado verticales rellenos, los *butress* o contrafuertes del potenziado horizontal recolados y con la transferencia de entrega recepción a la obra metal mecánica, tuberías y a la obra eléctrica,





9.8.4 Terminación y entrega de la obra.

La terminación del proyecto se puede decir que se ha terminado satisfactoriamente con la llegada del primer buque metalero, indicativo de que la planta está en óptimas condiciones para el almacenamiento de LNG y su posterior regasificación para la distribución y consumo en las industrias y hogares.



*Fig. 9.15 Llegada y descarga del primer buque metalero “GRASILIS”,
a la terminal de almacenamiento TLA Altamira.*



CONCLUSIONES

Ayudar a satisfacer la demanda creciente de energía en el mundo y a limitar las emisiones de CO₂ suministrando gas natural, que es más limpio al quemarse. Proporciona electricidad, calor y frío a industrias, hogares y lugares de trabajo y puede ser un buen compañero de fuentes de energías renovables, como la eólica y la solar. El gas natural también se puede usar como combustible de menor contenido de carbono para barcos, camiones, autobuses y trenes.

La demanda global de gas natural podría incrementarse en un 50% para el 2040, según la Agencia Internacional de la Energía.

El gas natural es un hidrocarburo fácil de explorar para encontrarlo y explotarlo ya se en tierra y en el mar, en la actualidad equivale a más de la mitad de otros hidrocarburos en cuanto a producción.

En México se está aumentando la participación en el mercado de gas natural, como un equipo dedicado a la creación y desarrollo de dicho mercado, actualmente se cuenta con gran capacidad en diversos ductos del país que se distinguen por la seguridad en el suministro, toda vez que, gracias a la filial *Shell Energy North America (SENA)*, se puede acceder a volúmenes provenientes del Este y Oeste de Estados Unidos, y apoyando el desarrollo indirecto de la construcción de infraestructura a través de contratos de capacidad que atiendan las necesidades de suministro de los consumidores.

Ventajas del gas natural

Como ya se ha mencionado el gas natural es el hidrocarburo fósil más limpio al quemarse, ya que produce aproximadamente la mitad del bióxido de carbono (CO₂) y genera solamente la décima parte de los contaminantes del aire que emite el carbón cuando se quema para generar electricidad.

Existe en abundancia. Si se mantuviese el consumo en los niveles actuales habría suficientes recursos de gas económicamente explotables para unos 230 años.

Es versátil. Una central eléctrica alimentada con gas se puede poner en marcha y parar mucho más rápidamente que una planta alimentada con carbón. Gracias a esta flexibilidad, el gas natural es un buen compañero de fuentes de energías renovables como la energía solar y la eólica, que solamente están disponibles cuando brilla el sol y sopla el viento.





El gas natural es enfriado a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, para convertirlo en líquido y reducir su volumen 600 veces, de manera que resulta más fácil y económico transportarlo hasta cualquier lugar del mundo donde se requiera energía. Una vez en su destino se almacena y se vuelve a convertir el GNL al estado gaseoso para su distribución. Actualmente, se abastecen de Gas Natural Licuado a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y a otras empresas privadas y a los hogares, siendo principalmente para el uso en las termoeléctricas o centrales de ciclo combinado.

El gas es un hidrocarburo abundante y accesible que tiene el menor impacto en el medio ambiente, de cara a los retos que el plantea tiene en el futuro del sector energético.



Fig. 10.1 Vista panorámica de la terminal TLA Altamira y las centrales de ciclo combinado en Altamira Tamaulipas.



Fig. 10.2 Vista de la terminal TLA Altamira y el canal de navegación del puerto de Altamira Tamaulipas.





REFERENCIAS

- Method statement for outer tank foundation construction.
- Method statement for outer tank ring beam construction.
- Method statement for outer tank wall construction.
- Method statement for RC block.
- Method statement for Site grading.
- Method statement for Soil Improvement work.
- Norma N-CTM-2-02-002/02 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- ASTM 615 C (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM C36 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM (NOM-B-254). (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM D-3350 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM D 2447 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM F 714 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM D 2239 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM D 30 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM D 1248 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- ASTM C-494 (American Society of Testing Materials) Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- AASHTO y CRD American Association of State Highway and Transportation Officials.
- CC-407 (ASTM A615). La AWS D1.4M.
- Norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE.
- Norma mexicana NMX-C-407-ONNCCE.
- ACI 214 (American Concrete Institute).
- ACI 308 (American Concrete Institute).
- ACI 301 (American Concrete Institute) Capitulo. 1.6.3.2
- ACI 318 (American Concrete Institute).
- ACI 318 (American Concrete Institute) Capitulo 21 ESTRUCTURAS SISMO RESISTENTES
- ACI 439 STANDARD SPECIFICATIONS for REINFORCEMENT CONNECTIONS for SEISMIC DESIGNS UTILIZING ENERGY DISSIPATION CRITERIA.
- Norma NMX-C-156-ONNCCE-vigente "Industria de la construcción-Concreto fresco-revenimiento.





- Norma NMX-C-161-ONNCCE-vigente “Industria de la construcción-Concreto fresco-Muestreo.
- REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL D. F.
- NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS: secciones PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.
- www.unispan.com.mx
- www.freyssinet.com

