EMPRESA DEPARTAMENTAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE LA GUAJIRA – ESEPGUA S.A. E.S.P

NIT. 901557295-5

CONSULTOR

INGENIERÍA E INTERVENTORÍA NACIONAL INALTER S.A.S

NIT. 901155267-3

CONTRATO 016 DE 2020

OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL ACUEDUCTO DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.

FASE III

INFORME 9: ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS DE ACUEDUCTO
ANEXO PATOLOGIA ESTRUCTURAL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ELEVADO PTAP AAA



MUNICIPIO DE MANAURE
DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA
FEBRERO DE 2023

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN ACTUAL	FECHA	NATURALEZA DEL CAMBIO
00	02 de Febrero de 2023	Versión inicial

REVISÓ

JOSÉ CARLOS VERGARA MENDOZA
MP No. 13202-096488 BLV
Director de Consultoría
INALTER SAS

APROBÓ

JOSE ALBERTO BARROS CADENA
Director de la Interventoría
R/L UNIÓN TEMPORAL JOSBARC
INGENIERÍA 2023

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN ..... **VI**

OBJETIVOS ..... **VIII**

ALCANCE ..... **IX**

1 PATOLOGIA TANQUE DE ALMACENAMIENTO ELEVADO PTAP AAA S.A. E.S.P. **10**

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE OBJETO DE ESTUDIO **11**

1.1.1 Características de los Materiales Empleados 12

1.2 EVALUACIÓN DE CARGAS **12**

1.2.1 Carga Muerta 12
1.2.2 Carga Viva 13
1.2.3 Consideraciones Generales de Diseño 13

1.3 MODELACIÓN ESTRUCTURAL **13**

1.4 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN NSR-10 ..... **14**

1.4.1 Parámetros para el Diseño de la Cimentación 14

1.5 MODELO MATEMATICO DE LA ESTRUCTURA **15**

1.5.1 Análisis Sísmico 15
1.5.2 Chequeo Art. A.4.2.1 NSR-10 16
1.5.3 Masa de Diseño y Cortante en la Base 17
1.5.4 Ajuste del Cortante Dinámico 19

1.6 DERIVAS **20**

1.7 VERIFICACIÓN DE DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES **22**

1.7.1 Resistencia Mínima del Concreto a la Compresión 22
1.7.2 Refuerzo de Retracción y Temperatura 22
1.7.3 Espesor del Muro 23
1.7.4 Resistencia al Cortante 24
1.7.5 Refuerzo Requerido por Análisis 25
1.7.6 Análisis de Cimentación 27

1.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **30**

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Masa Total Edificación. 17
Tabla 1.2 Desplazamientos Evaluados. 21
Tabla 1.3 Distribución de Refuerzo en la Estructura Objeto de Estudio. 23
Tabla 1.4 Cumplimiento Fuerzas Sísmicas Capitulo C.23. 30

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Ubicación de Estructura, Latitud, Longitud (11.779117°; -72.436982°). 11
Figura 1.2 Aspecto de la Estructura en Estudio. 12
Figura 1.3 Esquema Espectro de Aceleración. 14
Figura 1.4 Modelo Tridimensional de Estructura para Análisis. 15
Figura 1.5 Espectro de Aceleraciones – Manaure, La Guajira. 16
Figura 1.6 Valores de Periodo y Participación de Masa en Análisis Modal. 17
Figura 1.7 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico. 18
Figura 1.8 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico Estático. 18
Figura 1.9 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico Dinámico. 19
Figura 1.10 Tabla C.23-C.7.12.2.1, Norma NSR – 10. 23
Figura 1.11 Refuerzo Vertical Requerido en Muros Superiores (cm^2). 25
Figura 1.12 Refuerzo Horizontal Requerido en Muros Superiores (cm^2/m). 25
Figura 1.13 Refuerzo Vertical Requerido en Muros Inferiores (cm^2) 26
Figura 1.14 Refuerzo Horizontal Requerido en Muros Inferiores (cm^2/m). 26
Figura 1.15 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D). 27
Figura 1.16 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+L). 28
Figura 1.17 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+ 0.75L+ 0.5SX). 28
Figura 1.18 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+ 0.75L+ 0.5SY). 29

ANEXOS

Anexo 1 Levantamiento Campo
Anexo 2 Patología
Anexo 3 Planos

INTRODUCCIÓN

La **EMPRESA DEPARTAMENTAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE LA GUAJIRA – ESEPGUA S.A. E.S.P**, identificado con NIT. 901557295-5, Representada Legalmente por su Gerente General la señora **ANDREINA SUSANNA GARCÍA PINTO,** identificado con Cédula de Ciudadanía 63.537.224 de Bucaramanga, consciente de las necesidades insatisfechas en las comunidades aferentes a su competencia y en su esfuerzo por implementar y ofrecer condiciones aptas de saneamiento básico y agua potable para su municipio, ha optado por celebrar el **CONTRATO DE CONSULTORÍA 016 DE 2020,** cuyo objeto es **"OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL ACUEDUCTO DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA."** el cual fue adjudicado por medio del **CONCURSO DE MÉRITOS ABIERTO CMA-AT-APSB-010-2020,** a la firma **INGENIERÍA E INTERVENTORÍA NACIONAL – INALTER S.A.S.,** identificado con NIT. 901.155.267-3, Representada Legalmente por la Ingeniera **SANDRA JEANNETTE FORERO SIMIJACA**, identificada con Cedula de Ciudadanía 52.431.559 de Bogotá D.C., Esta decisión estuvo soportada en las condiciones técnico – económicas presentadas, cuyos lineamientos fueron los idóneamente solicitados por el ente encargado para encomendar tales fines.

Por su parte la firma **INGENIERÍA E INTERVENTORÍA NACIONAL – INALTER S.A.S.,** responsable de sus compromisos y técnicamente capacitada para adelantar los propósitos trazados, ha desarrollado sus labores tendientes a cumplir con las obligaciones planteados y pactados por medio del **CONTRATO DE CONSULTORÍA 016 DE 2020.** En ese mismo orden, se ha decidido como parte del correcto desarrollo de las actividades, estructurar el presente Informe.

En términos generales, según lo establece el **DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA,** y en especial en los Alcances y Requerimientos Técnicos, el proyecto se enmarca en las fases detalladas a continuación:

- Fase I Diagnóstico de los Sistemas de Acueducto y Alcantarillado Sanitario-Pluvial

  - Informe 1 Información básica de los sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario pluvial.
  - Informe 2 Estudios complementarios.
  - Informe 3 Estudios sistemas de acueducto.
  - Informe 4 Estudios sistemas de alcantarillado.

- Fase II Pre Factibilidad y Análisis de Alternativas para Garantizar la Prestación de los Servicios de Suministro de Agua Potable y el Adecuado Manejo y Disposición de Aguas Residuales y Lluvias en el Municipio de Manaure.

  - Informe 5 Diseños definitivos del sistema de tratamiento de agua potable.
  - Informe 6 Diseño definitivos del sistema de tratamiento de aguas residuales.
  - Informe 7 Pre factibilidad y análisis de alternativas para garantizar la prestación del servicio de acueducto y suministro de agua potable.
  - Informe 8 Pre factibilidad y análisis de alternativas para garantizar la prestación adecuada del servicio de alcantarillado y el manejo y disposición de aguas residuales y lluvias.

- **Fase III Estudios y Diseños Definitivos de las Alternativas Seleccionadas para Garantizar el Adecuado Suministro de Agua Potable y Manejo y Disposición de Aguas Residuales y Lluvias en el Casco Urbano de Manaure.**

- **Informe 9 Estudios y diseños definitivos de las alternativas para garantizar la prestación del servicio de acueducto y suministro de agua potable.**
- Informe 10 Estudios y diseños definitivos de las alternativas para garantizar la prestación adecuada del servicio de alcantarillado y el manejo y disposición de aguas residuales y lluvias.

- Fase IV Formulación y Estructuración de Proyectos Para Garantizar el Adecuado Suministro de Agua Potable y Manejo y Disposición De Aguas Residuales y Lluvias en el Casco Urbano de Manaure.

  - Informe 11 Formulación y estructuración de proyectos para garantizar el adecuado servicio de acueducto, de alcantarillado y el manejo y disposición de aguas residuales y lluvias.
  - Informe 12 Informe final con sus anexos.

El presente documento presenta el **Anexo de Patología Estructural del Informe No 9 Estudios y Diseños Definitivos de las Alternativas Seleccionadas de Acueducto** para el municipio de Manaure, Departamento de La Guajira.

OBJETIVOS

Presentar el diseño definitivo de las obras proyectadas de la alternativa seleccionada para la implementación del Sistema de Acueducto, así como el Sistema de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Manaure, Departamento de La Guajira, en conformidad con los términos y condiciones establecidos en el presente contrato, cuyo objeto es **CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLANES MAESTROS DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA**.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar las combinaciones de carga que permitan evidenciar el estado actual del tanque de almacenamiento.

- Realizar análisis sísmico, masa de diseño y cortantes en conjunto del ajuste del cortante dinámico con sus derivas para la verificación del diseño de la estructura.

- Identificar la vulnerabilidad sísmica de la estructura de almacenamiento de agua potable en el municipio de Manaure.

ALCANCE

El alcance del presente informe es la EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, PATOLOGÍA Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD, DEL TANQUE ELEVADO DE 250 M3 DE CAPACIDAD, CON ESTRUCTURA CILÍNDRICA DE SOPORTE DE 22 M DE ALTURA, POR 6.8 M DE DIÁMETRO, EN EL MUNICIPIO DE MANAURE, LA GUAJIRA, para dar cumplimiento al CONTRATO DE CONSULTORÍA DE 2020, cuyo objeto es "CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLANES MAESTROS DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE MANAURE, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.

1 PATOLOGIA TANQUE DE ALMACENAMIENTO ELEVADO PTAP AAA S.A. E.S.P.

El presente documento está conformado por ocho (8) capítulos cuyo contenido se resume a continuación:

1. Descripción General de Objeto de Estudio: Se presenta una descripción general del tanque de Almacenamiento Elevado Cilíndrico ubicado en la PTAP AAA S.A. E.S.P.

2. Evaluación de Cargas: Se presentan las cargas vivas y muertas a utilizar en la modelación de estructuras.

3. Modelación Estructural: Se determina la fuerza sísmica se calculó inicial de la fuerza horizontal equivalente acorde a los requisitos del capítulo A.4 de la NSR10.

4. Combinaciones de Carga según NSR-10: Se presenta a manera de resumen las combinaciones de carga según NSR-10 en conjunto de los parámetros para el diseño de la cimentación.

5. Modelo Matemático de la Estructura: El presente capítulo presenta el análisis sísmico, chequeo Art. A.4.2.1 NSR-10, Masa de Diseño y Cortante en la Base, finalmente, ajuste del cortante dinámico de la estructura.

6. Derivas: En el presente numeral se evalúan los desplazamientos generados por las cargas laterales generadas en el análisis y se determinara a criterio del diseñador si la estructura puede llegar a verse afectada o no.

7. Verificación de Diseño de Elementos Estructurales: Se realiza el cálculo para determinar la resistencia mínima del concreto a la compresión, refuerzo de retracción y Temperatura, Espesor del Muro, Resistencia al Cortante, Refuerzo requerido por Análisis, finalmente, Análisis de Cimentación.

8. Conclusiones y Recomendaciones: Este capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones del diagnóstico realizado por el grupo consultor para el desarrollo del proyecto.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE OBJETO DE ESTUDIO

La estructura cuenta con sistema estructural de muros de carga, definido por la norma NSR-10 como "un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales." Los muros son en concreto reforzado de 20.0 cm. de espesor.

Se trata de un tanque de almacenamiento que cuenta con una altura total de 28.46 metros, en los cuales solo 5.56 metros pertenecen a la zona de almacenamiento, el restante es el sistema estructural de apoyo. Según el levantamiento de la estructura, el almacenamiento del tanque es de 250.0 m^3.

El tanque ubicado en el municipio de Manaure, departamento de La Guajira, cuenta con una losa maciza de concreto de 30.0 cm. de espesor en la zona de soporte y en cubierta una losa maciza de 15.0 cm. de espesor. A continuación, se puede observar la ubicación de la estructura en estudio.



Figura 1.1 Ubicación de Estructura, Latitud, Longitud (11.779117°; -72.436982°).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

La estructura se apoya en un sistema de cimentación superficial, zapata corrida de 90.0 cm. de espesor y 1.30 metros de ancho.

Con el fin de conocer las condiciones analíticas de la estructura, se evaluará si está cumple con los requisitos planteados por la norma NSR-10, específicamente en los títulos A, B y C.



Figura 1.2 Aspecto de la Estructura en Estudio.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Las siguientes son las especificaciones encontradas en la inspección de campo y ensayos de laboratorio de los materiales empleados en la estructura.

CONCRETO: El concreto registra una resistencia a la compresión a los 28 días, f´c, promedio de 20.9 Mpa (2991 psi)., Resultado obtenido de los ensayos de laboratorio de los núcleos obtenidos de la estructura y de ensayos no destructivos realizados al concreto.

ACERO DE REFUERZO: El acero de refuerzo longitudinal utilizado tiene un límite de fluencia, fy, igual a 420 MPa.

La evaluación de la carga lateral (carga sísmica) se realizó con el método de la fuerza horizontal equivalente (NSR-10 - A.4)

1.2 EVALUACIÓN DE CARGAS

En el presente numeral se realiza la evaluación de cargas vivas y muertas en la estructura objeto de estudio.

1.2.1 CARGA MUERTA

Se toma como carga muerta el peso propio de la estructura del tanque.

1.2.2 CARGA VIVA

Las cargas vivas son enlistadas en seguida:

- Carga de agua sobre losa de apoyo 4.77 Ton/m^2.
- Carga triangular generada por el agua sobre los muros 4.77 Ton/m^2.

1.2.3 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Las consideraciones generales de diseño se enlistan en seguida:

- **Zona de riesgo sísmico**: Intermedio.
- **Análisis Sísmico**: Fuerza horizontal equivalente**.**
- **Coeficiente de aceleración Aa**: 0.10.
- **Coeficiente de velocidad Av** : 0.15.
- **Perfil de suelo**: D.
- **Coeficiente de importancia I**: 1.5 (Grupo de uso IV).
- **Capacidad disipación de energía**: moderado (DMO).
- **Coeficiente de disipación de energía básico Ro**: 2.0 (Estructuras tipo péndulo invertido).
- **Coeficiente de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura Φa**:1.0; **en planta Φp**:1.0 y por **redundancia Φr**: 1.
- **Coeficiente de disipación de energía R: Φa x Φp x Φr**:1.0 **Ro:** 2.00.
- Se consideran cargas verticales (carga viva y carga muerta).
- Para el cálculo de la cimentación requerida, se asume una capacidad portante del suelo de 7.40 Ton/m^2.

1.3 MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Se procede a calcular La fuerza sísmica por FHE para introducir este valor al modelo estructural.

Para determinar la fuerza sísmica se calculó inicialmente la Fuerza Horizontal Equivalente de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4 de la norma sismo resistente, se consideró una torsión accidental del 5%.

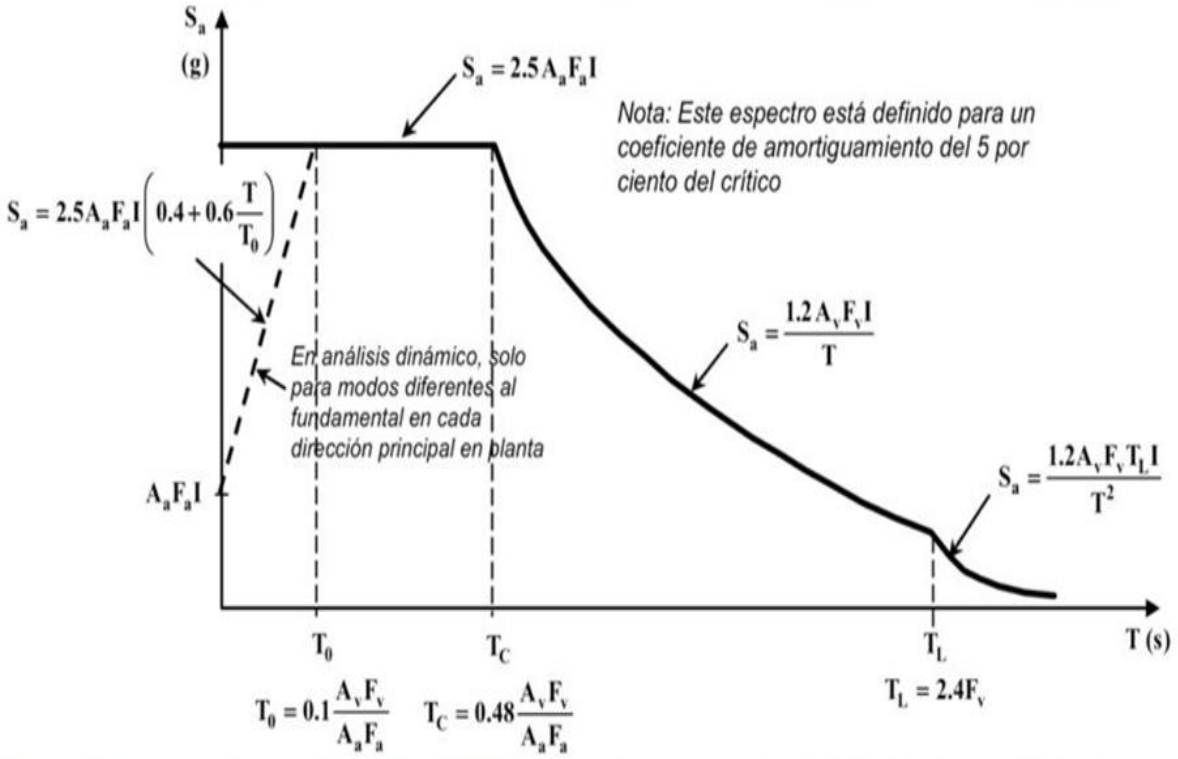


Figura 1.3 Esquema Espectro de Aceleración.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.4 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN NSR-10

Las estructuras de concreto, sus componentes y su cimentación deben diseñarse de tal manera que sus resistencias de diseño excedan los efectos de las cargas mayoradas de acuerdo con las siguientes combinaciones:

- 1.4D
- 1.2D+1.6L
- 1.2D+1.6L+O.5W
- 1.2D+1.0W+1.0L
- 1.2D+1.0L+1.0E
- 0.9D+1.0W
- 0.9D+1.0E

1.4.1 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Los parámetros de diseño tenidos en cuenta para el tanque de almacenamiento elevado cilíndrico de la PTAP AAA S.A. E.S.P, se enlistan en seguida:

- Esfuerzo admisible del suelo =7.40 t/m^2.
- Factor de seguridad para el diseño de la cimentación =1.5
- Profundidad de desplante para cimentación =1.90m.

1.5 MODELO MATEMATICO DE LA ESTRUCTURA

Con el programa Etabs, se evalúan las solicitaciones con las secciones asignadas. El modelo matemático estructural se hace con respecto al levantamiento geométrico estructural de la construcción actual.

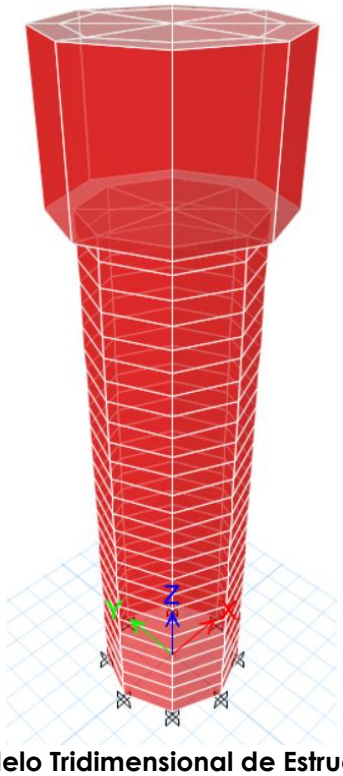


Figura 1.4 Modelo Tridimensional de Estructura para Análisis.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.5.1 ANÁLISIS SÍSMICO

A continuación, se observa el espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción g en el tanque de almacenamiento elevado:

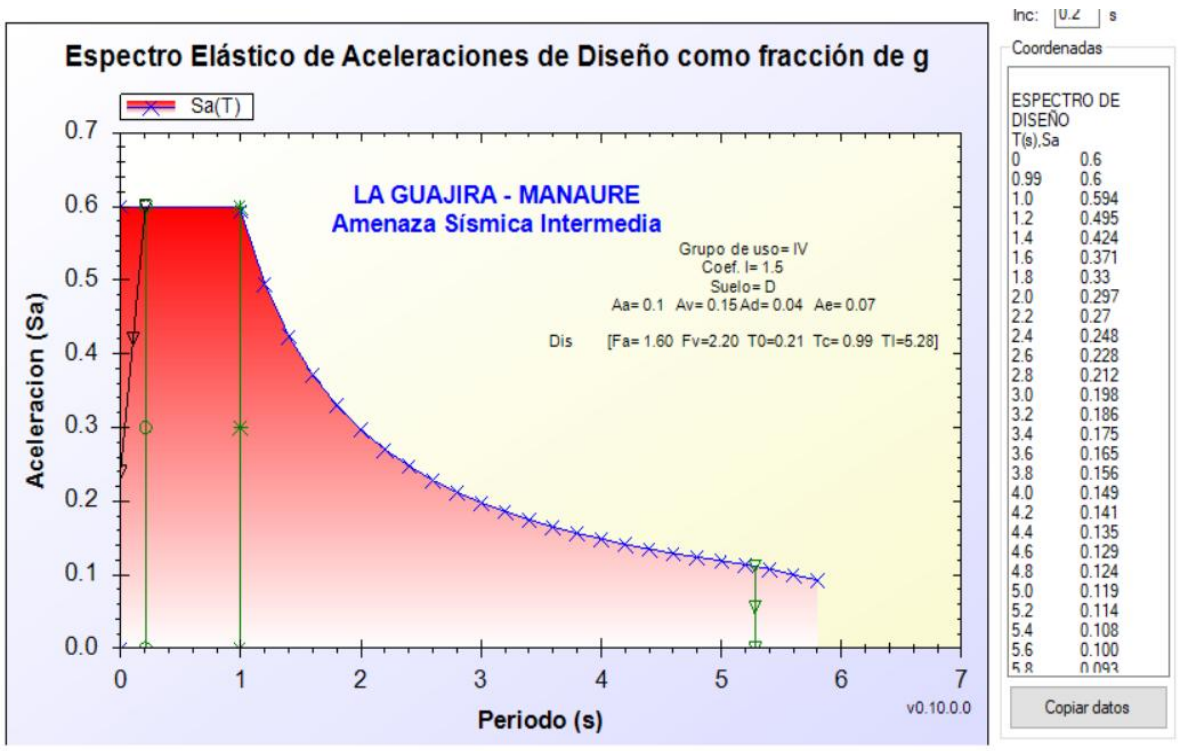


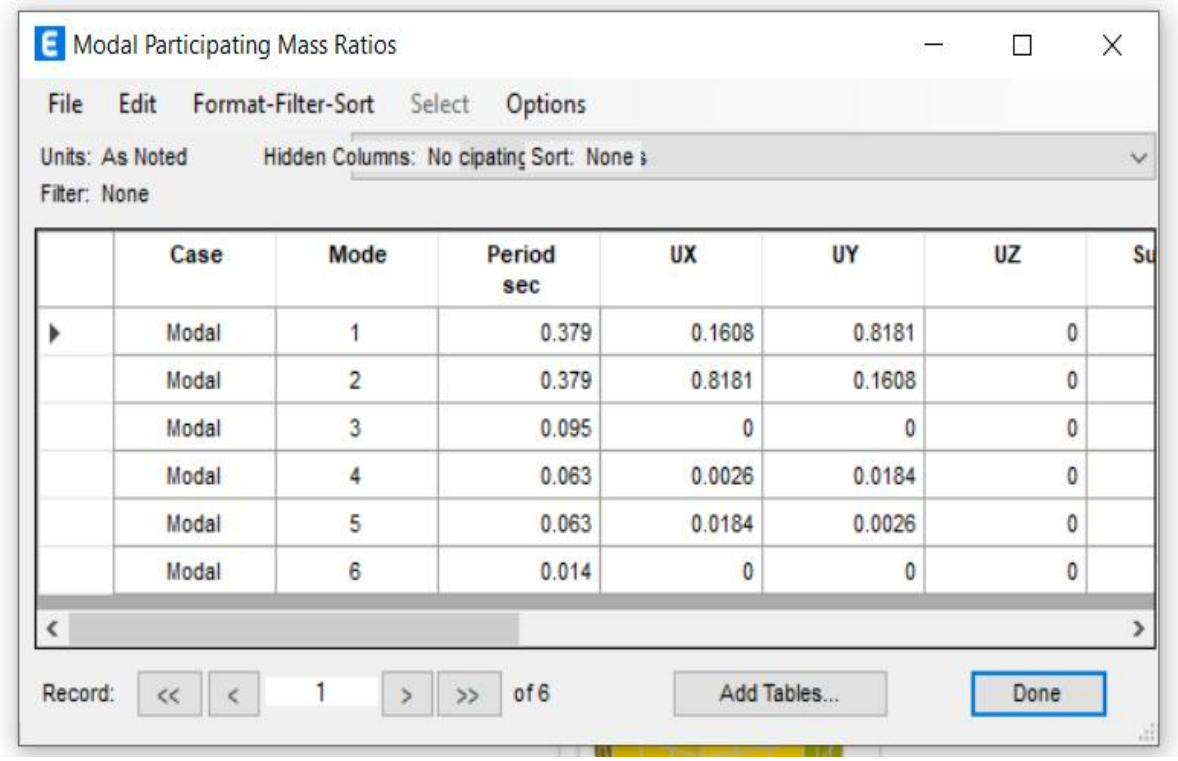
Figura 1.5 Espectro de Aceleraciones – Manaure, La Guajira.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.5.2 CHEQUEO ART. A.4.2.1 NSR-10

Según el artículo mencionado, el valor del periodo fundamental no puede exceder el valor de CuTa determinado según A.4.2.1 de la norma NSR-10.

Ta=0.049*〖28.46〗^0.75=0.603
Cu=1.75-(1.2*Av*Fv)=1.75-(1.2*0.15*2.20)=1.354
CuTa=1.354*0.603=0.816
T=0.379
T<Cu*Ta; **CUMPLE**

En seguida se observan los valores de periodo y participación de masa obtenidos en el análisis modal.



	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Su
▶	Modal	1	0.379	0.1608	0.8181	0	
	Modal	2	0.379	0.8181	0.1608	0	
	Modal	3	0.095	0	0	0	
	Modal	4	0.063	0.0026	0.0184	0	
	Modal	5	0.063	0.0184	0.0026	0	
	Modal	6	0.014	0	0	0	

Figura 1.6 Valores de Periodo y Participación de Masa en Análisis Modal.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.5.3 MASA DE DISEÑO Y CORTANTE EN LA BASE

La masa total de la edificación (peso sísmico) se obtiene del resultado dado por el software de diseño.

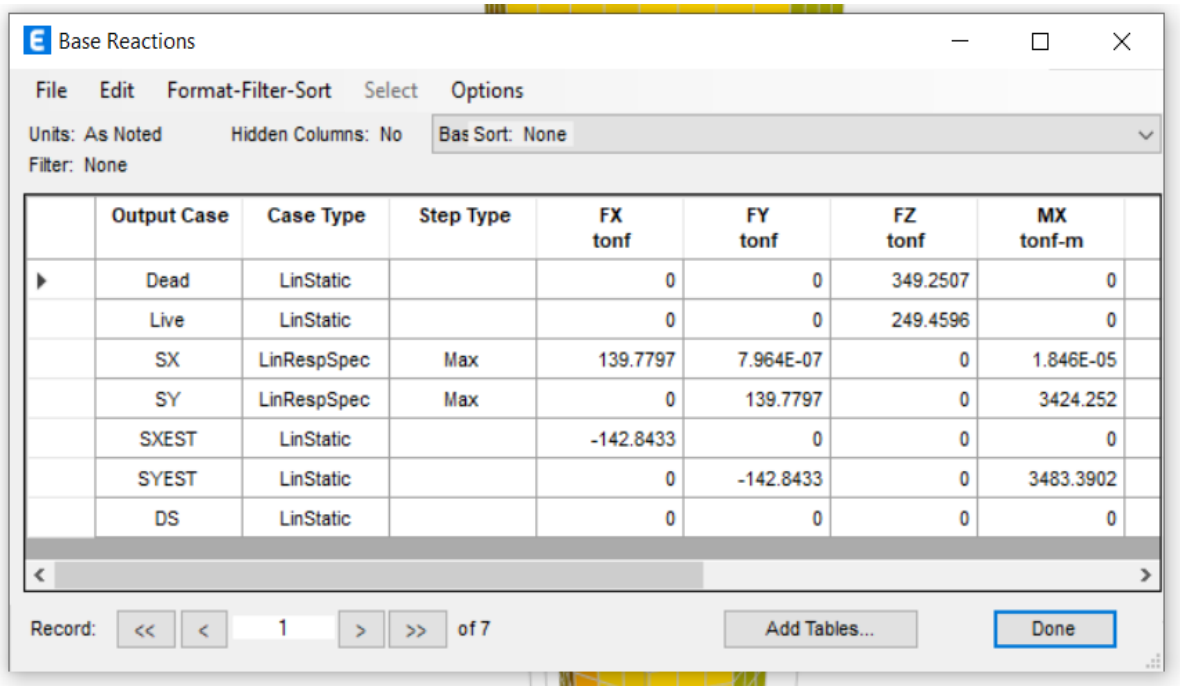
$$Vs=Sa*W$$

En seguida se observan sus valores:

W (Ton)	Sa	Vs
349.25 Ton	0.60	209.55 Ton

Tabla 1.1 Masa Total Edificación.
Fuente. Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

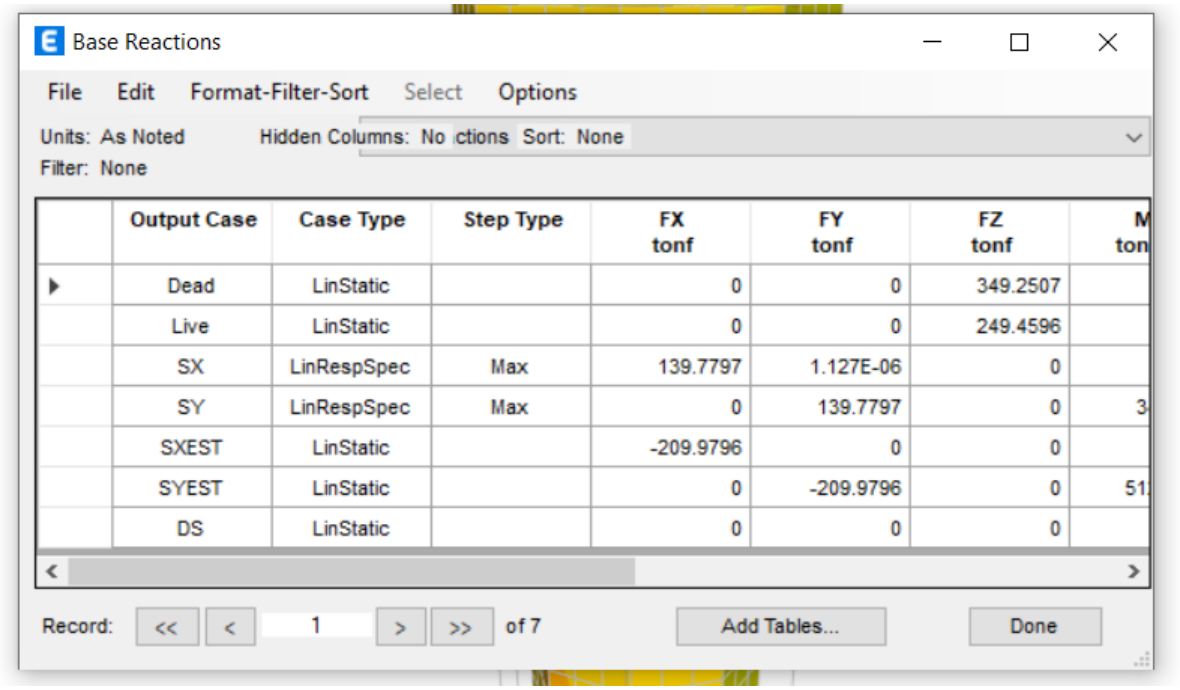
Se obtienen los siguientes valores de reacciones en la base y cortante sísmico:



	Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m
▶	Dead	LinStatic		0	0	349.2507	0
	Live	LinStatic		0	0	249.4596	0
	SX	LinRespSpec	Max	139.7797	7.964E-07	0	1.846E-05
	SY	LinRespSpec	Max	0	139.7797	0	3424.252
	SXEST	LinStatic		-142.8433	0	0	0
	SYEST	LinStatic		0	-142.8433	0	3483.3902
	DS	LinStatic		0	0	0	0

Figura 1.7 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

El valor de cortante en la base se aproxima a lo calculado por el software de diseño en SXEST y SYEST, en un 68% por lo que se procede a corregir dicho valor de cortante estático aumentando el coeficiente en un 47%, obteniendo lo siguiente:



	Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	M ton
▶	Dead	LinStatic		0	0	349.2507	
	Live	LinStatic		0	0	249.4596	
	SX	LinRespSpec	Max	139.7797	1.127E-06	0	
	SY	LinRespSpec	Max	0	139.7797	0	3
	SXEST	LinStatic		-209.9796	0	0	
	SYEST	LinStatic		0	-209.9796	0	51
	DS	LinStatic		0	0	0	

Figura 1.8 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico Estático.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

Dicho valor de cortante estático se ajusta a lo determinado por la norma.

1.5.4 AJUSTE DEL CORTANTE DINÁMICO

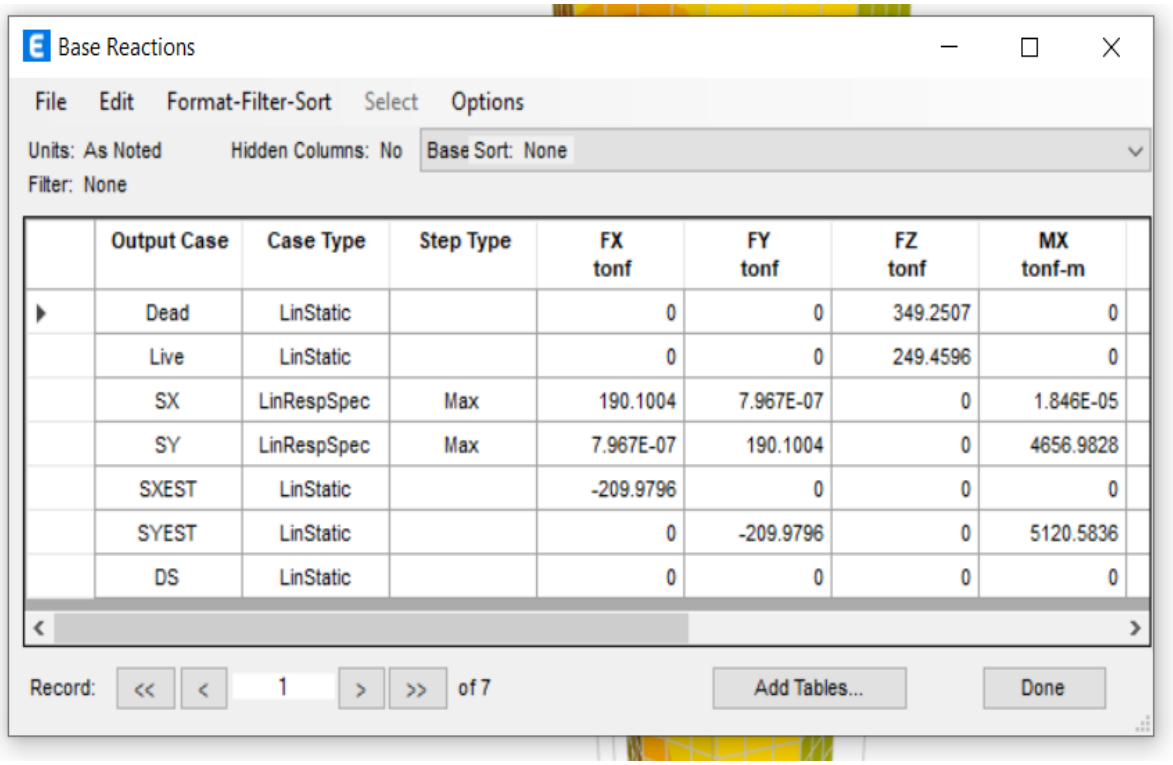
De acuerdo con lo establecido en la NSR-10, se realiza el ajuste de cortante dinámico de la base, ajustándolo a un 90% del cortante en la base del análisis estático para estructuras irregulares.

Cortante Estático=209.9766 Ton
Ajuste 90%= 188.97 Ton

De la imagen anterior, obtenemos que los cortantes dinámicos en x es 139.77 Ton y en Y es de 139.77 Ton. Ambos valores no cumplen la condición de ser mayor al 90% del cortante estático (188.97 Ton), por lo que se presenta factor de modificación.

$$FC\text{-}SX=\frac{188.97}{139.77}=1.36$$

$$FC\text{-}SY=\frac{188.97}{139.77}=1.36$$



	Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m
▶	Dead	LinStatic		0	0	349.2507	0
	Live	LinStatic		0	0	249.4596	0
	SX	LinRespSpec	Max	190.1004	7.967E-07	0	1.846E-05
	SY	LinRespSpec	Max	7.967E-07	190.1004	0	4656.9828
	SXEST	LinStatic		-209.9796	0	0	0
	SYEST	LinStatic		0	-209.9796	0	5120.5836
	DS	LinStatic		0	0	0	0

Figura 1.9 Valores de Reacciones en la Base y Cortante Sísmico Dinámico.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

Aplicados los factores de modificación, el valor del cortante dinámico en la base se ajusta a lo descrito por la norma.

1.6 DERIVAS

Según el art. A-1.4.1 de la norma NSR-10, "Los requisitos para la deriva presentados en el Capítulo A.6, no son aplicables directamente a estructuras especiales diferentes de las cubiertas por el Reglamento en su alcance. Los límites de la deriva deben ser establecidos por el diseñador tomando en cuenta el peligro que represente para la vida la falla de elementos estructurales y no estructurales, como consecuencia de los desplazamientos que sufre la estructura al verse afectada por los movimientos sísmicos de diseño."

En ese sentido se evalúan los desplazamientos generados por las cargas laterales generadas en el análisis y se determinara a criterio del diseñador si la estructura puede llegar a verse afectada o no.

TABLE: STORY DRIFTS									
STORY	OUTPUT CASE	CASE TYPE	STEP TYPE	DIRECTION	DRIFT	LABEL	X	Y	Z
							M	M	M
N+28.46	SX	LinRespSpec	Max	X	0.179%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	SY	LinRespSpec	Max	Y	0.179%	208	-4.3	0	28.46
N+28.46	SXEST	LinStatic		X	0.195%	206	0	4.3	28.46
N+28.46	SYEST	LinStatic		Y	0.195%	204	4.3	0	28.46
N+28.46	DES 1.0D+1.0SX	Combination	Max	X	0.179%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 1.0D+1.0SX	Combination	Min	X	0.179%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 1.0D+1.0SY	Combination	Max	Y	0.179%	204	4.3	0	28.46
N+28.46	DES 1.0D+1.0SY	Combination	Min	Y	0.179%	208	-4.3	0	28.46
N+28.46	DES 1.0D+0.75L+0.75SX	Combination	Max	X	0.134%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 1.0D+0.75L+0.75SX	Combination	Min	X	0.134%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 1.0D+0.75L+0.75SY	Combination	Max	Y	0.134%	208	-4.3	0	28.46
N+28.46	DES 1.0D+0.75L+0.75SY	Combination	Min	Y	0.134%	204	4.3	0	28.46
N+28.46	DES 0.6D+1.0SX	Combination	Max	X	0.179%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 0.6D+1.0SX	Combination	Min	X	0.179%	210	0	-4.3	28.46
N+28.46	DES 0.6D+1.0SY	Combination	Max	Y	0.179%	204	4.3	0	28.46
N+28.46	DES 0.6D+1.0SY	Combination	Min	Y	0.179%	208	-4.3	0	28.46
N+22.90	SX	LinRespSpec	Max	X	0.114%	198	0	3.3	22.9
N+22.90	SY	LinRespSpec	Max	Y	0.114%	200	3.3	0	22.9
N+22.90	SXEST	LinStatic		X	0.126%	198	0	3.3	22.9
N+22.90	SYEST	LinStatic		Y	0.126%	200	3.3	0	22.9
N+22.90	DES 1.0D+1.0SX	Combination	Max	X	0.114%	198	0	3.3	22.9
N+22.90	DES 1.0D+1.0SX	Combination	Min	X	0.114%	202	0	-3.3	22.9
N+22.90	DES 1.0D+1.0SY	Combination	Max	Y	0.114%	197	-3.3	0	22.9
N+22.90	DES 1.0D+1.0SY	Combination	Min	Y	0.114%	200	3.3	0	22.9
N+22.90	DES 1.0D+0.75L+0.75SX	Combination	Max	X	0.086%	198	0	3.3	22.9
N+22.90	DES 1.0D+0.75L+0.75SX	Combination	Min	X	0.086%	202	0	-3.3	22.9
N+22.90	DES 1.0D+0.75L+0.75SY	Combination	Max	Y	0.086%	197	-3.3	0	22.9
N+22.90	DES 1.0D+0.75L+0.75SY	Combination	Min	Y	0.086%	200	3.3	0	22.9
N+22.90	DES 0.6D+1.0SX	Combination	Max	X	0.114%	198	0	3.3	22.9
N+22.90	DES 0.6D+1.0SX	Combination	Min	X	0.114%	202	0	-3.3	22.9
N+22.90	DES 0.6D+1.0SY	Combination	Max	Y	0.114%	197	-3.3	0	22.9
N+22.90	DES 0.6D+1.0SY	Combination	Min	Y	0.114%	200	3.3	0	22.9

Tabla 1.2 Desplazamientos Evaluados.

Fuente. Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

Se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en la dirección x con una deriva de 0.195%, lo que significa que la estructura no se ve afectada por los movimientos generados por las cargas sísmicas.

1.7 VERIFICACIÓN DE DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Siguiendo los lineamientos de la norma NSR-10, la verificación del diseño estructural del tanque elevado se hace teniendo en cuenta lo mencionado en el capítulo C-23 del reglamento.

Dicho capitulo "cubre lo concerniente a tanques y compartimentos estancos tales como piscinas y albercas que hacen parte del equipamento de edificaciones".

1.7.1 RESISTENCIA MÍNIMA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN

Según lo mencionado en el art. C.23-C.1.1.1, la resistencia mínima especificada del concreto a la compresión f'c no debe ser menor de 28 MPa. Según los resultados obtenidos de la extracción de núcleos para la obtención de la resistencia mediante ensayos de compresión simple, la resistencia promedio de los elementos fue de 20.9 MPa por lo tanto, dicha resistencia no cumple con la resistencia mínima requerida.

Cabe resaltar que, si la estructura pueda verse afectada por erosión por abrasión, la resistencia mínima a la compresión debe ser igual a 35 MPa, como se indica en el art. C.23-C.4.8.3

1.7.2 REFUERZO DE RETRACCIÓN Y TEMPERATURA

En elementos expuestos a condiciones ambientales o que deban ser impermeables incluyendo losas y muros, el área de refuerzo de retracción y temperatura debe cumplir, como mínimo, las cuantías de área de refuerzo sobre la sección bruta dadas en la Tabla C.23-C.7.12.2.1.

TABLA C.23-C.7.12.2.1 — CUANTÍAS MÍNIMAS DE RETRACCIÓN DE FRAGUADO Y VARIACIÓN DE TEMPERATURA

Distancia entre juntas para compensar movimientos†	Cuantías mínimas de refuerzo de retracción de fraguado y variación de temperatura	
	f_y = 240 MPa	f_y = 420 MPa
menos de 6 m	0.0030	0.0030
6 a menos de 9 m	0.0040	0.0030
9 a menos 12 m	0.0050	0.0040
12 m o más	0.0060*	0.0050*

†La distancia es entre juntas de expansión y juntas de contracción de profundidad total. Cuando se trate de juntas de contracción de profundidad parcial las cuantías mínimas se deben determinar multiplicando la distancia real entre juntas de contracción de profundidad parcial por 1.5.

*Corresponde a la cuantía máxima a emplear cuando no se proveen juntas para compensar movimientos.

Figura 1.10 Tabla C.23-C.7.12.2.1, Norma NSR – 10.
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

La cuantía de refuerzo mínimo debe ser igual a 0.0030.

$$As=0.0030*20\ cm*100\ cm=6.0\ cm^2$$

Por otra parte, en el art. C.23-C.7.12.2.2 menciona que "El refuerzo de retracción y temperatura no se debe espaciar a más de 300 mm y el tamaño mínimo de barra debe ser N° 4 (1/2") ó 12M (12 mm).".

Según levantamiento realizado a la estructura, la distribución del refuerzo es la siguiente:

REFUERZO	DIÁMETRO DE BARRA	SEPARACIÓN DE BARRA	CUANTÍA	CUMPLE
Refuerzo Horizontal	#4 (1/2")	C/ 20 cm	0.00645	SI
Refuerzo Vertical	#4 (1/2")	C/ 45 cm	0.00258	NO

Tabla 1.3 Distribución de Refuerzo en la Estructura Objeto de Estudio.
Fuente. Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

Se aprecia que la distribución del refuerzo de los muros de la estructura cumple con el diámetro mínimo de barra de refuerzo, no cumple con la separación entre barras en el sentido vertical y no cumple con cuantía mínima en dicho sentido.

1.7.3 ESPESOR DEL MURO

Según lo mencionado en C.23-C.14.6.2 "El espesor mínimo de muros convencionales de concreto reforzado construidos en sitio que estén en contacto con líquidos y tengan más de 3 m de altura debe ser 300 mm.".

Según el levantamiento realizado a la estructura, el espesor de los muros del tanque es de 200 mm. Los muros en contacto con líquido y los muros de soporte cuentan con más de 3.0 metros de altura. Por lo tanto, el espesor de muros existente no cumple con lo requerido por la norma.

1.7.4 RESISTENCIA AL CORTANTE

Según lo anunciado en C.23-C.11.1 el diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en ØVn≥Vu, donde Vu es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y Vn es la resistencia nominal al cortante mediante las siguientes ecuaciones:

$$Vn=Vc+\frac{Vs}{Sd}$$

$$Vc=0.17*\lambda*\sqrt{f'c}*bw*d$$

$$Vs=\frac{Av*Fyt*d}{s}\leq 0.66*\sqrt{f'c}*bw*d$$

$$Sd=1.0$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores, procedemos a calcular la resistencia a cortante de la sección de muros del tanque, basándonos en las capacidades de los materiales y el levantamiento estructural realizado. Los muros analizados en el modelo fueron discretizados con el fin de igualar el comportamiento analítico con el existente en obra.

Los cálculos a continuación corresponden a una sección de muro discretizado, el cual presenta un área de 2.05 m2 y cuenta con una longitud en X de 2.33 m y de altura Z 0.88 m.

$$Vs=\frac{24*129\ mm^2*420\ MPa*2280\ mm}{200\ mm}=14823648\ N\leq 0.66*\sqrt{20.9\ MPa}*200\ mm*2280\ mm=1375884.32\ N$$

$$Vs=1375884.32\ N$$

$$Vc=0.17*0.85*\sqrt{20.9\ MPa}*200\ mm*2280\ mm=301235.28\ N$$

$$Vn=301235.28+\frac{1375884.32\ N}{1.0}=1677119.6\ N=171.02\ Ton$$

$$ØVn=0.6*171.02\ Ton=102.61\ Ton$$

Para la evaluación del cortante se realiza la reducción del sismo de diseño por el coeficiente de reducción de energía R, definido como 2.0.

De la tabla de "fuerzas de diseño de muros" obtenemos el valor de cortante máximo presente en el diseño de muros superiores igual a 9.2382 Ton generada por la combinación de carga (ELU 1.2D+1.0L-1.0SX-0.3SY).

De la misma forma obtenemos el valor de cortante máximo en los muros inferiores igual a 26.3804 Ton generada por la combinación de carga (ELU 0.9D-1.0SY-0.3SX).

Se observa que los esfuerzos de cortantes Vu actuantes en los muros no son superiores a ØVn, cumpliendo con lo anunciado en C.23-C.11.1 de la norma NSR-10.

1.7.5 REFUERZO REQUERIDO POR ANÁLISIS

Por otra parte, se verifica el área de acero de refuerzo requerido por el análisis estructural con el fin de conocer si el área de acero de refuerzo puesto en obra cumple con lo requerido.

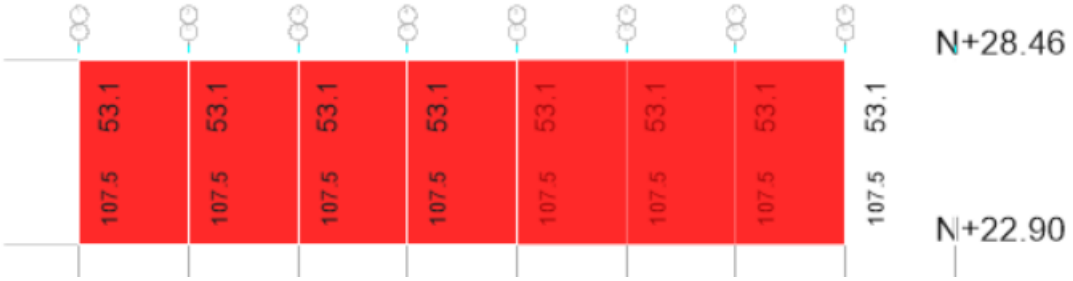


Figura 1.11 Refuerzo Vertical Requerido en Muros Superiores (cm²).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

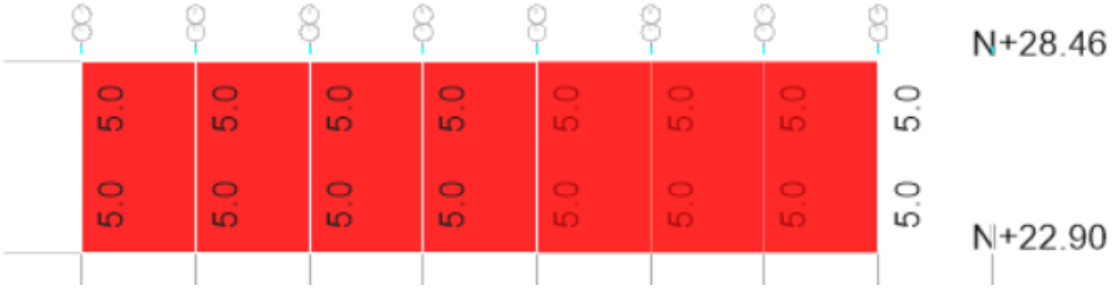


Figura 1.12 Refuerzo Horizontal Requerido en Muros Superiores (cm²/m).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

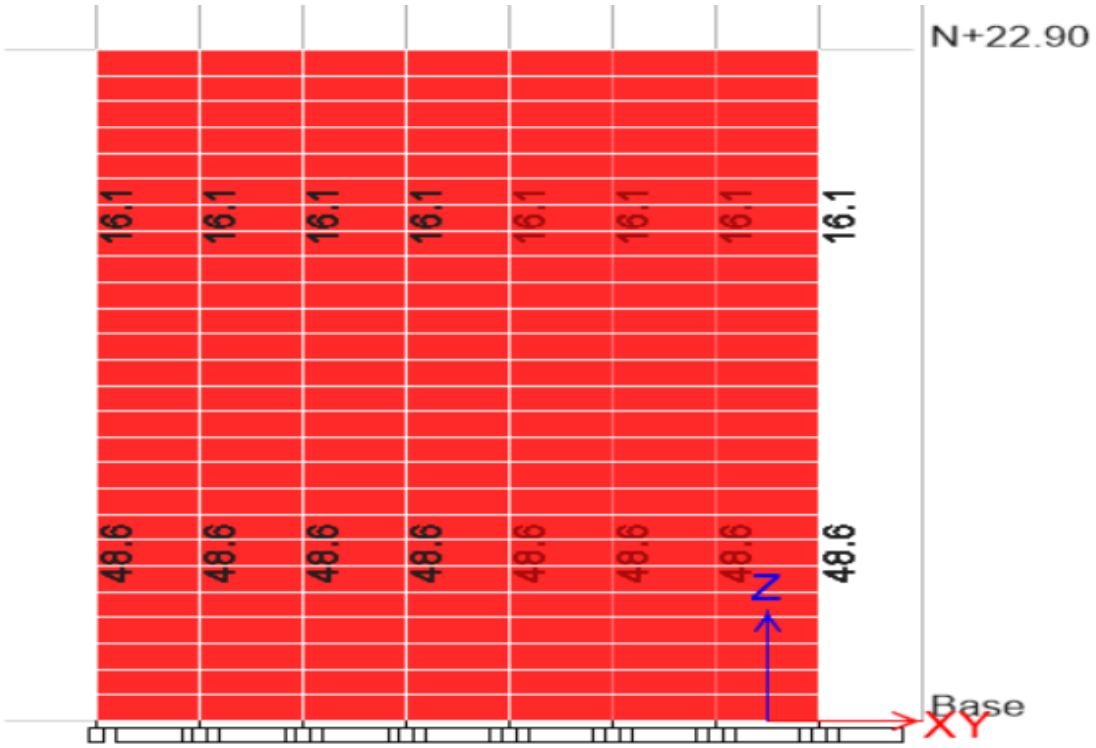


Figura 1.13 Refuerzo Vertical Requerido en Muros Inferiores (cm²).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

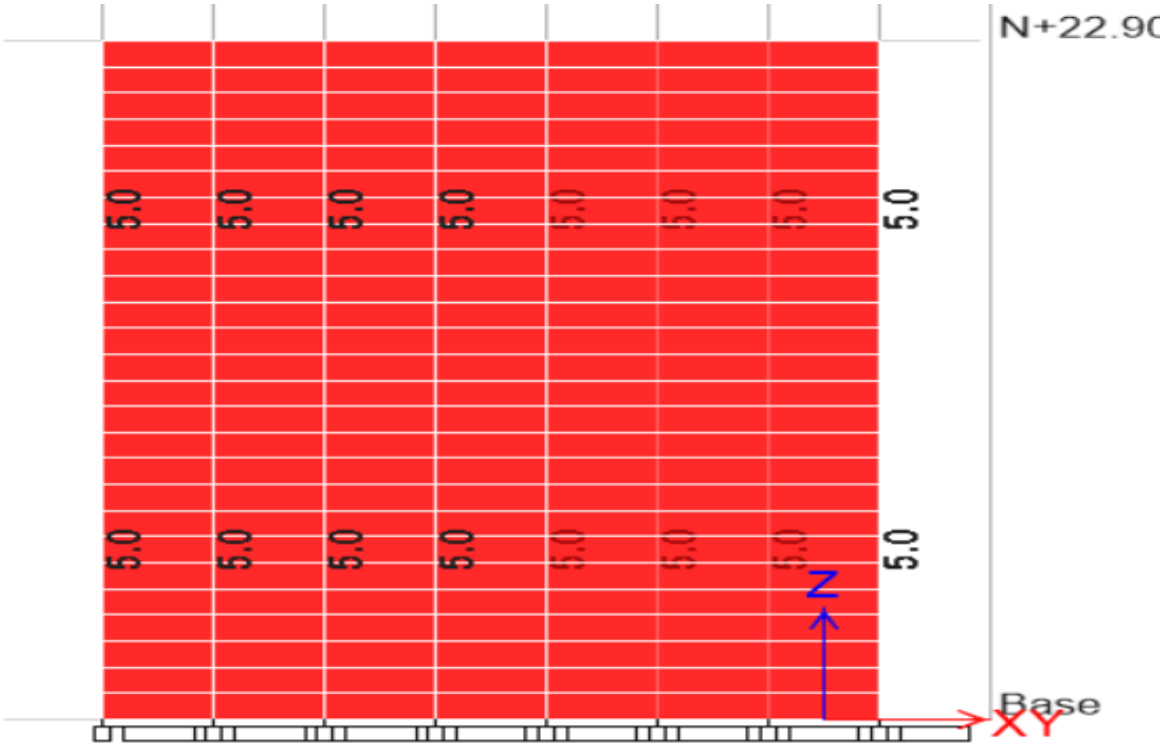


Figura 1.14 Refuerzo Horizontal Requerido en Muros Inferiores (cm²/m).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

El área de acero requerido verticalmente por el análisis estructural para los muros superiores es de 107.5 cm^2 y para los muros inferiores es igual a 48.60 cm^2. De igual manera se solicita una distribución de acero igual a 5 cm^2/m para el acero transversal en todos los muros.

Del levantamiento estructural obtenemos un área de acero vertical igual a 15.48 cm^2 y horizontal igual a 129 cm^2. Claramente el acero vertical es insuficiente ante la solicitud de refuerzo requerida por el análisis.

1.7.6 ANÁLISIS DE CIMENTACIÓN

La comprobación de la cimentación se realizó en el programa de análisis estructural SAFE, donde se exportaron las cargas de diseño de la estructura y se modelo una losa de cimentación con las dimensiones mostradas en el levantamiento estructural, donde se verifico exclusivamente la capacidad portante de la losa de cimentación, que los esfuerzos actuantes en la losa no superaran la capacidad promedio del terreno igual a 7.40 Ton/m2, donde obtuvimos lo siguiente:

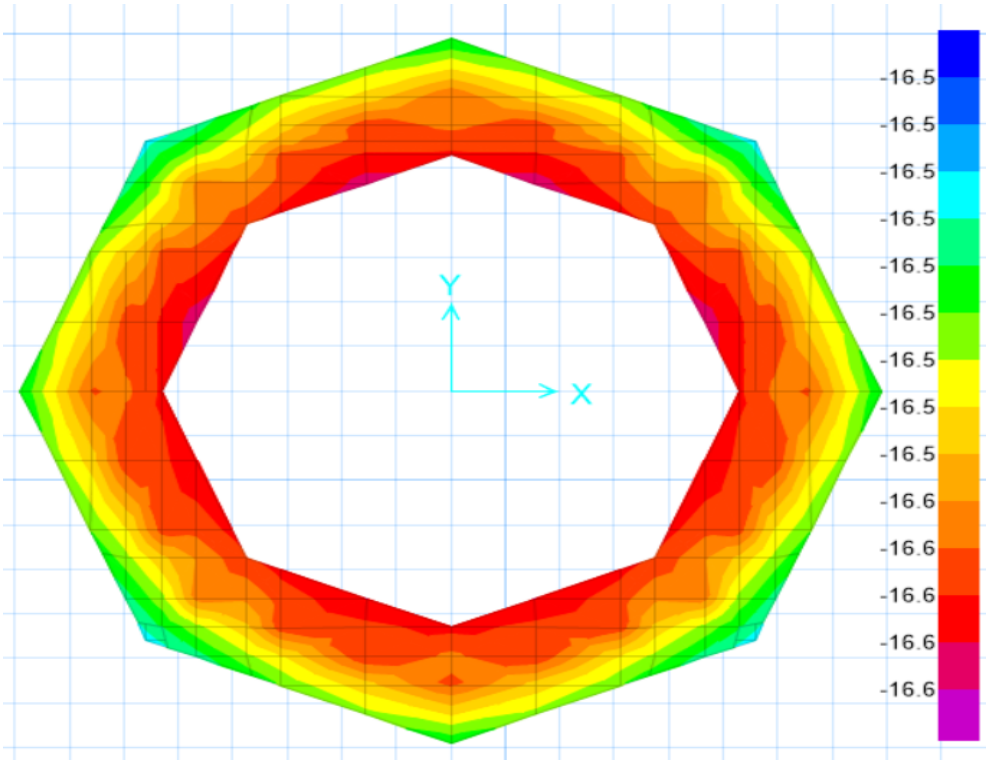


Figura 1.15 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

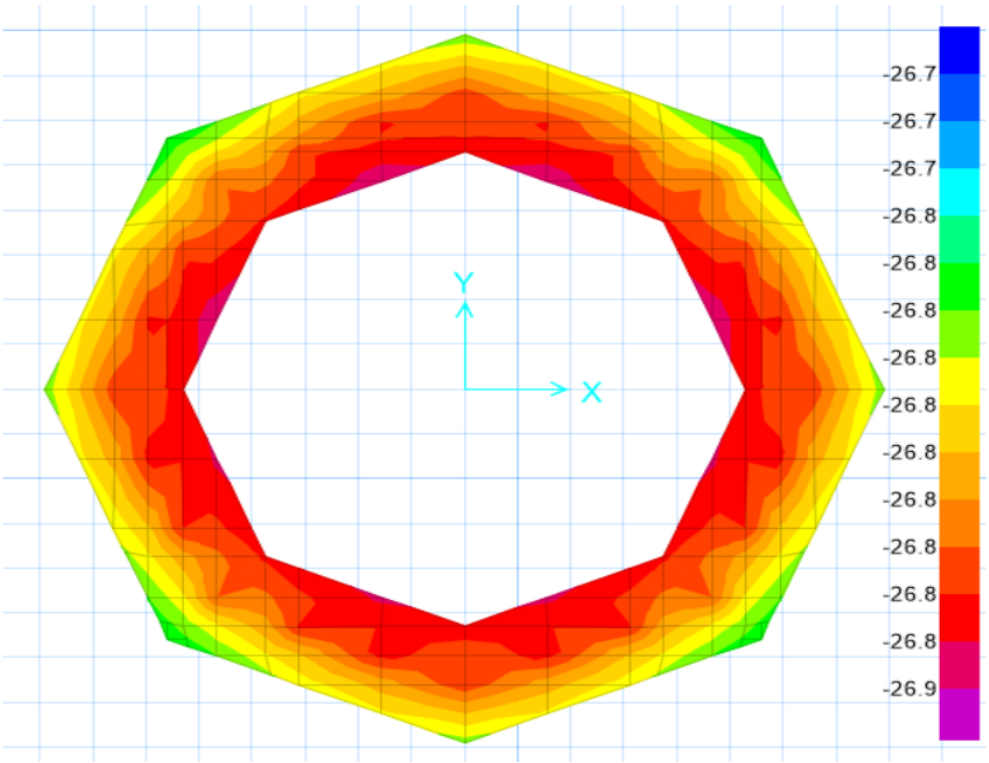


Figura 1.16 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+L).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

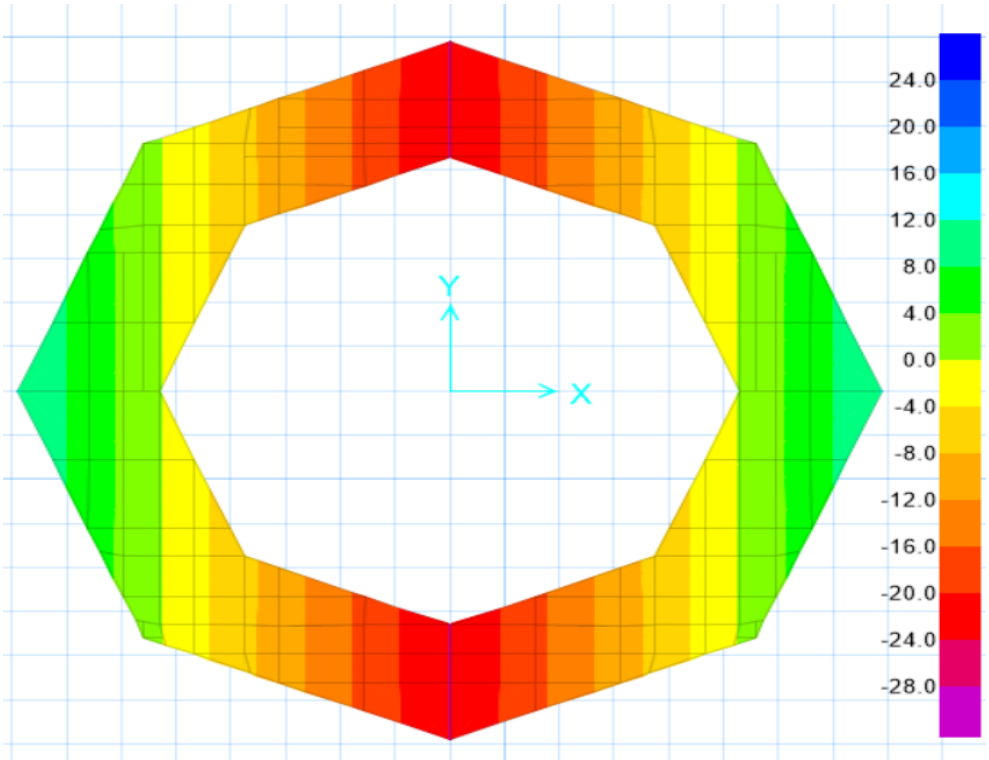


Figura 1.17 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+ 0.75L+ 0.5SX).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

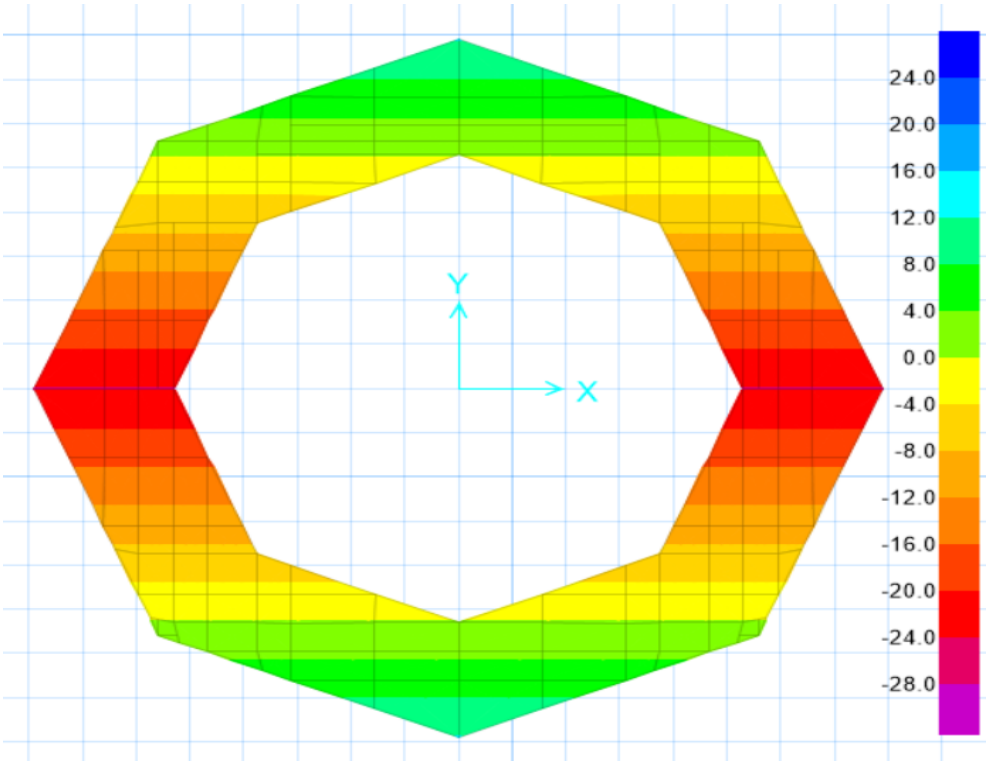


Figura 1.18 Diagrama de Presiones sobre Cimentación (D+ 0.75L+ 0.5SY).
Fuente: Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

1.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al analizar los resultados obtenidos del modelo estructural respecto a los requerimientos técnicos implementados por la norma NSR-10, vemos que la estructura en estudio **NO CUMPLE** en cuanto a disposición de materiales con los que fue construido y con distribución de acero de refuerzo existente.

A pesar de que el comportamiento de la estructura ante las fuerzas sísmicas de diseño es aceptable, no se cumple con los alcances requeridos en el capítulo C.23 de la norma resumidos a continuación.

CAPITULO C.23 NSR-10		REQUERIDO	EXISTENTE	CRITERIO
Resistencia mínima a la compresión		28 Mpa	20.9 Mpa	**NO CUMPLE**
Refuerzo de retracción y temperatura	Refuerzo Vertical	0.003	0.00258	**NO CUMPLE**
	Refuerzo Horizontal	0.003	0.00645	**SI CUMPLE**
	diámetro mínimo de barra de refuerzo	#4	#4	**SI CUMPLE**
	Separación Ref. Vertical	30 cm	45 cm	**NO CUMPLE**
	Separación Ref. horizontal	30 cm	20 cm	**SI CUMPLE**
Espesor mínimo de muro		30 cm	20 cm	**NO CUMPLE**
Resistencia cortante		26.3804 Ton	102.61 Ton	**SI CUMPLE**

Tabla 1.4 Cumplimiento Fuerzas Sísmicas Capitulo C.23.

Fuente. Ingeniería e Interventoría Nacional INALTER S.A.S., 2023

Por otra parte, se observa que la cimentación existente es **INSUFICIENTE** ante las cargas de servicio consideradas por la norma. Se presenta presiones en el terreno superiores a la admisible.

Según el informe de trabajo de campo para el estudio de patología, el **100%** de la estructura se encuentra **CARBONATADA** en al menos **3 cm** de espesor desde la intemperie, lo que se traduce en **afectación del concreto**. También se presentan **fallas constructivas**, **fallas por mantenimiento** y **fallas por materiales** que son descritas en dicho informe mencionado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe considerar poner en pausa la puesta en marcha o servicio de la estructura, ya que esta no cumple con los requerimientos descritos en la norma NSR-10 y podría ser perjudicial su funcionamiento.