

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-
ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE UN RESERVORIO ELEVADO TIPO
APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN**

PRESENTADO POR:

Bach. SUAREZ RIVAS, KENY WILSON

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas tecnologías y procesos

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

HUANCAYO – PERÚ

2022

CONTRATAPA

ING. CARLOS GERARDO FLORES ESPINOZA

ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por su apoyo incondicional en los momento más difíciles, brindándome fortaleza y perseverancia para poder finalizar esta investigación con buenos resultados.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al MSc. Jorge Santiago López Yarango, por su apoyo y comprensión en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Juan Miguel Piscoya Calderón, por brindarme sus conocimientos para poder elaborar esta investigación.

A mi familia, en especial a mi madre, por su preocupación y su apoyo durante todo el proceso de mi formación profesional.

A todos mis amigos y colegas, que me incitaron y apoyaron a terminar este trabajo de investigación.

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

DR. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE

MG. HENRY GUSTAVO PAUTRAT EGOAVIL

ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA

ING. ALCIDES LUIS FABIAN BRAÑEZ

MG. MIGUEL ANGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE

CONTRATAPA	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
CAPITULO I.....	21
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	21
1.1 Planteamiento del Problema	21
1.2 Formulación y Sistematización del Problema.....	23
1.2.1 Problema General	23
1.2.2 Problemas Específicos.....	23
1.3 Justificación	24
1.3.1 Práctica	24
1.3.2 Científica	24
1.3.3 Metodológica.....	24
1.4 Delimitaciones	24
1.4.1 Espacial	24
1.4.2 Temporal	25
1.4.3 Económica.....	25
1.5 Limitaciones.....	25
1.6 Objetivos.....	25
1.6.1 Objetivo General	25

1.6.2	Objetivos Específicos	26
CAPITULO II.....		27
MARCO TEÓRICO		27
2.1	Antecedentes	27
2.2	Marco Conceptual.....	30
2.2.1	Interacción suelo-estructura	30
2.2.2	Modelo de interacción suelo-estructura	31
2.2.2.1	Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov	33
2.2.2.2	Modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87	36
2.2.2.3	Modelo dinámico A.E. Sargsian	39
2.2.2.4	Modelo dinámico N.G. Shariya	40
2.2.3	Comportamiento sísmico de reservorios	42
2.2.4	Determinación de la Aceleración pseudo espectral para los reservorios	43
2.2.5	Normas para el análisis sísmico para reservorios.....	44
2.2.5.1	Norma técnica – E.030 “Diseño Sismorresistente”	44
2.2.5.2	Norma norteamericana – ACI 350.3-06	47
2.2.6	Combinaciones de carga – RNE E.060, 2009	51
2.3	Definición de términos.....	52
2.4	Hipótesis	53
2.4.1	Hipótesis General	53
2.4.2	Hipótesis Específicas.....	53
2.5	Variables	54
2.5.1	Definición conceptual de la variable	54
2.5.2	Definición operacional de la variable.....	54
2.5.3	Operacionalización de las Variables	56
CAPITULO III		58
METODOLOGÍA.....		58

3.1	Método de investigación	58
3.2	Tipo de la investigación	58
3.3	Nivel de la investigación.....	58
3.4	Diseño de la investigación	58
3.5	Población y muestra.....	59
3.5.1	Población.....	59
3.5.2	Muestra.....	59
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	59
3.7	Procesamiento de la información.....	60
3.8	Técnicas y análisis de datos	60
CAPITULO IV		61
RESULTADOS		61
4.1	Presentación de los resultados de la investigación	61
CAPITULO V		84
DISCUSION DE RESULTADOS.....		84
5.1	Discusión de los resultados de la investigación.....	84
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES		95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		96
ANEXOS		99
Anexo 01: Matriz de antecedentes internacionales.....		99
Anexo 02: Matriz de antecedentes nacionales.....		102
Anexo 03: Matriz de consistencia.....		106
Anexo 04: Configuración estructural del reservorio elevado de 25 m3		109
Anexo 05: Cálculo de las características hidrodinámicas.....		112
Anexo 06: Cálculo del espectro de diseño.....		117

Anexo 07:	Cálculo de coeficientes de rigidez y amortiguamiento con los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura.	120
Anexo 08:	Procedimiento de modelamiento en programa SAP 2000.	132
Anexo 09:	Estudio de suelos para la investigación, incluye copias legalizadas de los certificados de calibración (mantenimiento) de los equipos utilizados en los ensayos de suelos.	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores del coeficiente C_0 cuando $\rho_0 = 0.20 \text{ kg/cm}^2$	35
Tabla 2.	Coeficiente λ y χ determinados en función de la relación del lado mayor y el lado menor	42
Tabla 3.	Factor de zona Z	45
Tabla 4.	Clasificación de los perfiles de suelo.....	46
Tabla 5.	Factor de suelo “S”	46
Tabla 6.	Períodos “TP” y “TL”	46
Tabla 7.	Factor de modificación de respuesta “R”.....	48
Tabla 8.	Operacionalización de las Variables	56
Tabla 9.	Resultados de los Periodos de vibración.....	61
Tabla 10.	Resultados de la Cortante basal	61
Tabla 11.	Resultados de esfuerzo máximo de Fuerza anular F_{11} en muro	64
Tabla 12.	Resultados de esfuerzo máximo de Momento flector M_{11} en muro	66
Tabla 13.	Resultados de esfuerzo máximo de Momento flector M_{22} en muro	68
Tabla 14.	Resultados de esfuerzo máximo de Fuerza cortante V_{23} en muro	70
Tabla 15.	Resultados de esfuerzos máximos de Momento flector M_{11} y Fuerza cortante V_{23} en losa de fondo	72
Tabla 16.	Resultados de esfuerzos máximos de Momento flector M_{11} y Fuerza cortante V_{13} en techo	74
Tabla 17.	Resultados de esfuerzos máximos de Fuerza axial, Cortante y Momento flector en columnas	78
Tabla 18.	Resultados de esfuerzos máximos de Cortante y Momento flector en vigas	80
Tabla 19.	Resumen resultados de esfuerzos máximos en muro, losa de fondo y techo del reservorio	80
Tabla 20.	Resumen resultados de esfuerzos máximos en columnas y vigas de la estructura de soporte	81
Tabla 21.	Resultados de desplazamiento lateral máximo del reservorio	83
Tabla 22.	Variación porcentual de los periodos de vibración con respecto al modelo empotrado	84
Tabla 23.	Variación porcentual de la Cortante basal con respecto al modelo empotrado	85

Tabla 24.	Variación porcentual de los esfuerzos resultantes maximos en muro, losa de fondo y techo del reservorio con respecto al modelo empotrado	86
Tabla 25.	Variación porcentual de los esfuerzos resultantes maximos en columnas y vigas de la estructura de soporte con respecto al modelo empotrado	87
Tabla 26.	Variación porcentual del desplazamiento lateral máximo con respecto al modelo empotrado	89
Tabla 27.	Rango de valores del módulo de elasticidad.....	123
Tabla 28.	Rango de valores del módulo de elasticidad.....	123
Tabla 29.	Resumen de las características de las masas de la platea.....	126
Tabla 30.	Resumen de los coeficiente de rigidez para los modelos dinámicos	131
Tabla 31.	Resumen de las características de amortiguamiento para los modelos dinámicos	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Delimitación espacial de los centros poblados en el distrito de Iparía	25
Figura 2.	Ilustración esquemática de un análisis directo de la interacción suelo-estructura utilizando modelado continuo por elementos finitos	31
Figura 3.	Esquema de interacción suelo - platea de cimentación.....	32
Figura 4.	Modelo hidrodinámico para reservorios elevados	43
Figura 5.	Zonas sísmicas	45
Figura 6.	Fuerza anular F11 en muro - Modelo Empotrado.....	62
Figura 7.	Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Barkan	62
Figura 8.	Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa	63
Figura 9.	Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Sargsian.....	63
Figura 10.	Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Shariya	63
Figura 11.	Momento flector M11 en muro - Modelo Empotrado	64
Figura 12.	Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Barkan.....	64
Figura 13.	Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa.....	65
Figura 14.	Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Sargsian	65
Figura 15.	Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Shariya.....	65
Figura 16.	Momento flector M22 en muro - Modelo Empotrado	66
Figura 17.	Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Barkan.....	66
Figura 18.	Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa.....	67
Figura 19.	Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Sargsian	67
Figura 20.	Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Shariya.....	67
Figura 21.	Cortante V23 en muro - Modelo Empotrado	68
Figura 22.	Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Barkan	68
Figura 23.	Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa.....	69
Figura 24.	Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Sargsian	69
Figura 25.	Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Shariya.....	69
Figura 26.	Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo Empotrado.....	70
Figura 27.	Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Barkan	70
Figura 28.	Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Norma Rusa	71

Figura 29.	Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Sargsian.....	71
Figura 30.	Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Shariya	71
Figura 31.	Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo Empotrado	72
Figura 32.	Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Barkan	72
Figura 33.	Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Norma Rusa.....	73
Figura 34.	Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Sargsian	73
Figura 35.	Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Shariya	73
Figura 36.	Fuerza Axial en columnas - Modelo Empotrado	74
Figura 37.	Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Barkan	75
Figura 38.	Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Norma Rusa.....	75
Figura 39.	Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Sargsian	75
Figura 40.	Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Shariya.....	76
Figura 41.	Cortante y Momento flector en columnas - Modelo Empotrado	76
Figura 42.	Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Barkan	76
Figura 43.	Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Norma Rusa.....	77
Figura 44.	Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Sargsian	77
Figura 45.	Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Shariya.....	77
Figura 46.	Cortante y Momento flector en vigas - Modelo Empotrado	78
Figura 47.	Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Barkan	79
Figura 48.	Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Norma Rusa.....	79
Figura 49.	Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Sargsian	79
Figura 50.	Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Shariya.....	80
Figura 51.	Desplazamiento lateral máximo - Modelo Empotrado	81
Figura 52.	Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Barkan	82
Figura 53.	Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Norma Rusa.....	82
Figura 54.	Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Sargsian	82
Figura 55.	Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Shariya.....	83

Figura 56.	Vista en elevación de la configuración estructural del reservorio elevado 25m ³	110
Figura 57.	Vista en planta de la configuración estructural del reservorio elevado de 25m ³	111
Figura 58.	Espectro de diseño para el reservorio de 25 m ³	119
Figura 59.	Creación de nuevo modelo.....	133
Figura 60.	Información de la cuadrícula	134
Figura 61.	Información de las ordenadas en las cuadrículas de los tres ejes	135
Figura 62.	Creación del material concreto 210 kg/cm ²	136
Figura 63.	Creación del material concreto 280 kg/cm ²	137
Figura 64.	Creación del material rígido.....	137
Figura 65.	Creación de columna de 0.60 m x 0.60 m.....	138
Figura 66.	Creación de viga de 0.60 m x 0.60 m	138
Figura 67.	Creación de sección de muro de 0.20 m de espesor	139
Figura 68.	Creación de sección de losa de fondo de 0.20 m de espesor	139
Figura 69.	Creación de sección de techo de 0.15 m de espesor	140
Figura 70.	Creación de sección de platea de 0.60 m de espesor	140
Figura 71.	Asignación de empotramiento en la base del modelo.....	141
Figura 72.	Discretización de áreas	142
Figura 73.	Modelo de reservorio elevado con base empotrada en SAP 2000.....	143
Figura 74.	Modelo de reservorio elevado sobre platea de cimentación en SAP 2000	144
Figura 75.	Creación de uniones rígidas	145
Figura 76.	Creación de padrones de carga	145
Figura 77.	Espectro de diseño para el análisis sísmico	146
Figura 78.	Creación de padrón de presión hidráulica para los nodos.....	146
Figura 79.	Asignación del padrón presión hidráulica en las paredes	147
Figura 80.	Asignación de la presión del agua en las paredes	148
Figura 81.	Asignación de la presión del agua en losa de fondo	149
Figura 82.	Vista de la presión del agua en las paredes y losa de fondo	149
Figura 83.	Asignación de la sobrecarga en techo	150
Figura 84.	Vista de la sobrecarga en el techo.....	150
Figura 85.	Asignación de la masa impulsiva.....	151
Figura 86.	Vista de la asignación de la masa impulsiva en el modelo	151
Figura 87.	Creación del resorte para la masa convectiva	152

Figura 88.	Propiedades del resorte	152
Figura 89.	Definición de la rigidez del resorte	153
Figura 90.	Asignación de la masa convectiva	154
Figura 91.	Vista de la asignación del resorte y la masa convectiva en el modelo	154
Figura 92.	Asignación del coeficiente de masa efectiva en muros	155
Figura 93.	Definición de casos de carga.....	155
Figura 94.	Definición de caso de carga para sismo en “X”	156
Figura 95.	Asignación de número de modos de vibración	156
Figura 96.	Combinaciones de carga	157
Figura 97.	Asignación de fuente de masa.....	157
Figura 98.	Asignación de masas en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan	158
Figura 99.	Vista de las masas en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan	158
Figura 100.	Asignación de masas en el centroide de la platea para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya	159
Figura 101.	Vista de las masas en el centroide de la platea para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya	159
Figura 102.	Asignación de los coeficientes de rigidez en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan	160
Figura 103.	Vista de los resortes en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan	160
Figura 104.	Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centroide de la platea del modelo dinámico Norma Rusa.....	161
Figura 105.	Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centroide de la platea del modelo dinámico Sargsian	161
Figura 106.	Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centroide de la platea del modelo dinámico Shariya	162
Figura 107.	Vista del soporte resorte-amortiguador en el centroide de la platea para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya	162

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como problema: ¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación?, el objetivo fue: Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, y la hipótesis fue: Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación. La investigación fue de tipo aplicada, nivel correlacional y diseño experimental. La población fueron 11 reservorios elevados, ubicados en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, y la muestra fue un reservorio elevado de 25 m³.

Se concluye que existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del reservorio elevado.

Palabras claves: Reservorio elevado; Interacción suelo-estructura; Periodo de vibración; Esfuerzos; Desplazamiento.

ABSTRACT

The present investigation had as a problem: What is the relationship that influences the soil-structure interaction in the structural behavior of an elevated reservoir of structural breached system type on foundation plate?, the objective was: To determine the relationship that influences the soil-structure interaction in the structural behavior of an elevated reservoir of structural breached system type on foundation plate, and the hypothesis was: There is a significant relationship that influences the soil-structure interaction in the structural behavior of an elevated reservoir of structural breached system type on foundation plate. The research was of applied type, correlational level and experimental design. The population was 11 elevated reservoirs, located in the populated centers, of the Iparía district, of the Coronel Portillo province, Ucayali department, and the sample was a 25 m³ elevated reservoir.

It is concluded that there is a significant relationship that influences the soil-structure interaction in the structural behavior of an elevated reservoir.

Keywords: Elevated reservoir; Soil-structure interaction; Vibration period; Displacement; Strength.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, se desarrolló con la finalidad de determinar la relación que influye la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, esto debido a que cuando el suelo de fundación es flexible, el comportamiento estructural de estas estructuras difiere del análisis convencional, en donde se considera la base empotrada. Y además, así poder brindar una metodología de uso para los proyectistas, que requieran incorporar la Interacción Suelo-Estructura, en su análisis de este tipo de reservorios.

Aplicando modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, se podrá determinar los efectos que produce la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, por lo cual permitirá a los proyectistas escoger el modelo más adecuado al momento de realizar un análisis estructural.

Cabe indicar, que en el análisis estructural del presente trabajo, se tomará en cuenta la interacción fluido-estructura, apoyándonos de la norma Norteamericana ACI 350.03 “Seismic Desing of Liquid-Containing Concrete Structures”, que consideran parámetros para el análisis de este tipo de estructuras contenedoras de líquido, además nos apoyaremos en la norma E.030 de diseño sismorresistente en lo que sea aplicable.

Para el entendimiento de la presente investigación, la tesis se encuentra dividido mediante capítulos, explicándose cada capítulo de una manera enmarcada y concreta en relación al tema de investigación.

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, la justificación, las delimitaciones, limitaciones y los objetivos de la investigación.

En el capítulo II, se redacta los antecedentes (internacionales y nacionales), el marco conceptual, la definición de términos, el planteamiento de las hipótesis y la identificación de variables de la investigación.

En el capítulo III, se redacta la metodología aplicada, describiéndose el método, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información y técnicas de análisis de datos de la investigación.

En el capítulo IV, se plasma los resultados obtenidos del análisis sísmico de dinámico aplicado al reservorio elevado, considerando el modelo empotrado y los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura.

En el capítulo V, se da la discusión de los resultados obtenidos, comparando los resultados de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura con respecto al modelo empotrado, y así poder formular las respectivas conclusiones y recomendaciones a la investigación desarrollada, y finalmente redactar las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la investigación.

En la parte final de la investigación, se anexan documentación complementaria que sirvió para el desarrollo de la investigación.

Bach. Keny Wilson Suarez Rivas

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, cuando se requiere efectuar un análisis estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, se busca obtener resultados los más próximos posibles a la realidad, pero el análisis se complica, al tener esta estructura sobre un suelo blando, por lo que, el método convencional de cálculo, difieren para arrojar valores más reales, debido a que este método, considera a la estructura como un modelo perfectamente empotrado en la base, este planteamiento puede ser aplicable, cuando el suelo es rígido, pero cuando el suelo es flexible, los resultados distan del comportamiento real de estructura, por lo que se requiere de un análisis integro, que considere al suelo y la estructura como un sistema, este análisis se denomina “Interacción Suelo-Estructura”, todo esto nos incita a conocer cómo influye la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento estructural de este tipo de estructura, y así poder, obtener resultados más acordes a la realidad.

La Interacción Suelo-Estructura, en el modelamiento estructural, se representa y depende de los modelos de Interacción Suelo-Estructura. Para efectuar un modelo matemático de Interacción Suelo-Estructura, se conoce dos métodos más generales, el primero es el método de “Análisis Directo”, que emplea, el modelo continuo por elementos finitos, para poder representar tanto el suelo, la conexión suelo-estructura y la propia estructura, este método es poco usado en la práctica, debido a su complejidad desde un punto computacional. Como segundo está el método de “Subestructura”, que emplea resortes y amortiguamientos en el modelamiento, siendo este último de uso más práctico.

De acuerdo a lo indicado, bajo el enfoque del método de “Subestructura”, encontramos los “Modelos Dinámicos de Interacción Suelo-Estructura”, tales como los modelos dinámicos de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya”, que están siendo muy aplicados en todo el mundo por los ingenieros, puesto que en el desarrollo de sus investigaciones, incluyeron los efectos del sismo, dando como resultado modelos matemáticos más

precisos. Otro aspecto a considerar sobre estos modelos dinámicos, es que específicamente relacionan la interacción suelo, platea y superestructura, logrando poder ser utilizados con más eficacia, en esta presente investigación, que considera en el análisis un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación.

En el mundo, no hay muchas investigaciones publicadas, relacionadas a cómo influye la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación. Sin embargo se encontraron dos investigaciones relacionado a este tipo de estructuras, la primera es de Tejaswini y Sridhar (2016) en su investigación denominada “Comparative study on behavior of elevated water tank with soil structure interaction subjected to seismic load using SAP 2000”, en la Universidad “Nagarjuna College of Engineering and Technology”; Bangalore, Karnataka, India, manifiesta que los desplazamientos laterales de los tanques de agua evaluados, se incrementaban en suelos blandos. Segundo tenemos la investigación de Moreno Reyna (2015) en su tesis denominada “Análisis Sísmico de Depósitos Elevados y Estudio sobre la Interacción Suelo-Estructura”, en la Universidad de Sevilla; Sevilla, España, manifiesta que los resultados de los modelos estudiados, variaban de acuerdo a la tipología de estos.

En Latinoamérica, no se encontró investigaciones publicadas, que estén relacionados precisamente con el problema, de cómo influye la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación.

En el Perú, tampoco existen investigaciones, que precisen el comportamiento estructural, que pueda tener un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, a causa de la influencia de la Interacción Suelo-Estructura, y menos alguna metodología para el análisis de este tipo de estructuras. Por lo cual, se requiere conocer cómo influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación.

1.2 Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?

1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?
- b) ¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?
- c) ¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?
- d) ¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?

1.3 Justificación

1.3.1 Práctica

La presente investigación, ayudara a resolver, la relación que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, al aplicar modelos dinámicos de interacción suelo-estructura en el modelamiento, permitiendo a los proyectistas comprender, reforzar sus conocimientos y poder escoger el modelo más adecuado al realizar un análisis estructural de este tipo de estructuras, en el cual se considera la interacción suelo-estructura.

1.3.2 Científica

En el desarrollo de este trabajo; los procedimientos de cálculo y resultados obtenidos en la investigación, beneficiaran a estudiantes y profesionales de ingeniería civil, ampliando sus conocimientos científicos en el análisis estructural de reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación.

1.3.3 Metodológica

La presente investigación, aportara una metodología de uso para los proyectistas, en el análisis estructural de reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación, esto porque es importante mejorar los procedimientos y métodos de cálculo de este tipo estructuras al considerar la interacción suelo-estructura, y así poder simular el comportamiento de la estructura, en lo más real posible.

1.4 Delimitaciones

1.4.1 Espacial

La presente investigación está comprendida en los centros poblados del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.



Figura 1. Delimitación espacial de los centros poblados en el distrito de Iparía

Fuente: Banco de información distrital - INEI (2021).

1.4.2 Temporal

La investigación se realizará en el año 2021.

1.4.3 Económica

La presente investigación será auto financiada, tanto en el asesoramiento de la investigación y gastos administrativos.

1.5 Limitaciones

Las limitaciones de la investigación, fueron las pocas investigaciones relacionado con el tema de interacción suelo-estructura en reservorios elevados, esto debido a que el problema de investigación es contemporáneo.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.
- b) Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.
- c) Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.
- d) Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Este ítem se describe los antecedentes internacionales y nacionales, además con la finalidad de uniformizar todos los antecedentes y cada uno de ellos, se presentan matriz de antecedentes en los Anexo 01 y 02.

Internacionales

Isidoro Coyolt (2016) en su tesis denominada “Interacción Dinámica Suelo-Estructura”, para optar el grado de Maestro en Ingeniería, en la Universidad Nacional Autónoma de México; México, D.F., México, tuvo como objetivo presentar la teoría de Viscoelásticidad de los suelos, describir los conceptos de dinámica estructural con el propósito de identificar la problemática de los edificios que estén no cimentados sobre una base infinitamente rígida, y mostrar el procedimiento de análisis sísmico para la elaboración de espectros de diseño sísmico cuando se considere el análisis dinámico modal y la interacción dinámica suelo-estructura. La metodología que empleo estuvo basada en la aplicación del método del apéndice A del RCDF-NTCDS-2004, que viene hacer normas técnicas complementarias para diseño por sismo en México, donde se presentan ecuaciones usadas en los análisis de interacción dinámica suelo-estructura. Las conclusiones responden a que un depósito de suelo blando amplifica periodos mayores que un depósito de suelo rígido, y la interacción dinámica suelo-estructura está formada por interacción inercial e interacción cinemática.

Tejaswini M. y Sridhar (2016) en su investigación denominada “Comparative study on behavior of elevated water tank with soil structure interaction subjected to seismic load using SAP 2000”, en la Universidad “Nagarjuna College of Engineering and Technology”; Bangalore, Karnataka, India, tuvo como objetivo analizar el comportamiento de depósito elevados de agua con diferente altura y forma sometido a carga sísmica y condiciones del suelo. La metodología estuvo basada en evaluar el comportamiento del tanque de agua elevado en condiciones diferentes como de forma del tanque; cuadrada, rectangular y circular, en diferentes tipos de suelo y zonas sísmicas. Se concluye que para los diferentes casos evaluados de los tanques de agua

elevado, la estructura es más rígida en suelos duros, presentando un mayor desplazamiento lateral en suelos blandos.

Moreno Reyna (2015) en su tesis denominada “Análisis Sísmico de Depósitos Elevados y Estudio sobre la Interacción Suelo-Estructura”, para optar el grado de Ingeniero Industrial, en la Universidad de Sevilla; Sevilla, España, tuvo como objetivo el análisis sísmico de depósitos elevados, para ello se caracterizó la estructura dinámicamente para varias excitaciones y se analizó su comportamiento. La metodología estuvo basada en la aplicación de los modelos propuestos por Housner y Haroun, además se evaluaron los depósitos de manera dinámica cuando se produce excitación por ondas de incidentes, y también considerando la interacción suelo-estructura. Se concluye que en los modelos estudiados, los resultados varían de acuerdo a su tipología de estos, presentando diferente rigidez.

Nacionales

Cusimayta Gonzales y Velarde Salazar (2019) en su tesis denominada “Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en fuerzas internas y deformaciones de una muestra de reservorios elevados tipo INTZE de volúmenes de 800m³, 1000m³ y 1500m³ sobre placas circulares de cimentación”, para optar el grado de Ingeniero Civil, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú, tuvo como objetivo determinar la variación de fuerzas internas, desplazamientos lateral por fuerza sísmica y del periodo fundamental que se generan al aplicar la ISE en reservorios elevados tipo INTZE de tres diferentes volúmenes, cimentados en diferentes tipos de suelos y ubicados en la zona de más peligro sísmico del Perú. En su metodología, fue de tipo teórica, de nivel correlacional, de diseño experimental, tuvo como población reservorios elevados tipo INTZE de volúmenes 800m³, 1000m³ y 1500m³ ubicados en diferentes tipos de suelos en la zona de mayor peligro sísmico del Perú, y como muestra considero 216 reservorios elevados. Las conclusiones responden a que en los modelos con ISE, la tendencia de los periodos se amplifica y los desplazamientos laterales se incrementan cuando el suelo es más flexible, por el contrario la cortante basal y el momento de volteo se reducen.

Coral Carrera y Fernández Arana (2018) en su tesis denominada “Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m³”, para optar el grado de Ingeniero Civil, en la Universidad Peruana de Ciencias

Aplicadas; Lima, Perú, tuvo como objetivo realizar el análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m³ para el almacenamiento de agua. Su metodología estuvo basada en efectuar un análisis estructural; sísmico estático y dinámico, además del diseño estructural de un tanque elevado de gran capacidad. Las conclusiones responden a que en análisis estructural se cumplió con el 90% Cortante basal estática < Cortante basal dinámica cumpliendo de esa forma con lo establecido por la norma E 030, además indica que en la norma E 030 no contempla el factor de reducción sísmica para este tipo estructuras, por lo cual uso los factores de reducción de la norma ACI 350, donde estos factores son R=2 para la componente impulsiva y R=1 para la componente convectiva.

Garay Chávez (2017) en su tesis denominada “Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en el Comportamiento Sísmico de un Edificio de 7 Niveles del Proyecto “Multifamiliar los Balcones del Valle” Barrio Columbo-Cajamarca”, para optar el grado de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional de Cajamarca; Cajamarca, Perú, tuvo como objetivo determinar la influencia que tiene la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento sísmico de una edificación, mediante los resultados de esfuerzos, periodos de vibración y desplazamientos laterales. En su metodología, nos define que fue de tipo de investigación no experimental transversal, el método que utilizo fue descriptivo, su población de estudio estuvo constituido por todas las edificaciones a construirse dentro del área de influencia correspondiente al sector del barrio Columbo-districto, provincia y departamento de Cajamarca, tuvo como muestra 18 lotes del área de influencia en mención. Las conclusiones responden que, los modelos donde se consideró la interacción suelo-estructura respecto al modelo empotrado, se incrementó los periodos de vibración y desplazamiento máximos, y a nivel de esfuerzos hubo una reducción.

Rivera Feijoo (1984) en su tesis denominada “Análisis sísmico de reservorios elevados con estructura cilíndrica de soporte”, para optar el grado de Magister en Ciencias “Mención Estructuras”, en la Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú, tuvo como objetivo simplificar el análisis hidrodinámico de los reservorios elevados, para lograrlo propuso una metodología simplificada para efectuar el análisis estructural, su población fueron 360 reservorios que engloba en sus características geométricas a la mayor parte de reservorios elevados de concreto armado existentes en el Perú. Las conclusiones responden a que el método estático

simplificado propuesto en este trabajo de investigación, da valores para fuerzas cortantes y momentos flectores, entre 4% y 17% superiores a los obtenidos mediante análisis dinámico, encontrando una buena concordancia entre ambos.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Interacción suelo-estructura

Definición

Interacción suelo-estructura puede definirse como una respuesta dinámica entre la estructura y el suelo, como resultado de la deformabilidad del suelo ante la excitación sísmica, la interacción modifica las propiedades dinámicas, como es el periodo de vibración, frecuencia y formas modales relevantes que tendría la estructura supuesta con base indeformable (suelo rígido), así como las características del movimiento del suelo en el entorno de la cimentación (Corona Carlos y Avilés Lopez, 2004).

Los efectos de la interacción suelo-estructura, involucran dos mecanismos, que son la interacción cinemática e interacción inercial. Para entender la interacción cinemática, primero se debe conocer que significa el término "campo libre", se le conoce como el movimiento del suelo, libre de la presencia de cualquier estructura, es decir sin la estructura a nivel de la cimentación. Entonces se denomina interacción cinemática, cuando el movimiento que experimenta la estructura a nivel de la cimentación no coincide con el movimiento del terreno de "campo libre", esto debido a la rigidez de la cimentación que restringe las ondas sísmicas en comparación con la del terreno. Por otro lado, la estructura transmite fuerzas inercial al suelo que induce a generar cortantes basales, momentos de volteo, esfuerzos y desplazamiento del suelo, a este fenómeno se denomina interacción inercial (Dixitkumar B., 2016).

La interacción suelo-estructura, representan la diferencia del comportamiento dinámico de la estructura cimentada en suelo blando y en suelo firme. Se debe tomar en cuenta dos factores principales para explicar la diferencia en el comportamiento sísmico de la misma estructura colocado en suelo firme y en suelo blando. El primero de estos aspectos es que las estructuras cimentadas en una base

flexible tienen más grados de libertad y por ende, dinámicamente tiene diferente respuesta que las estructuras en una base rígida. El segundo aspecto es que una parte de la energía vibracional de una estructura colocado sobre una base flexible se disipará en el medio de soporte (cimentación), esto debido a la amortiguación en el material de base, originando reducir los esfuerzos en la estructura. Por lo tanto el comportamiento dinámico de la estructura dependerá de las características estructurales de la propia estructura y de las propiedades del suelo de fundación (Veletsos y Meek, 1974).

2.2.2 Modelo de interacción suelo-estructura

Para realizar un modelo matemático que represente la interacción suelo-estructura, existen dos enfoques más generales, el primero es el análisis directo, que emplea el método de elementos finitos y el segundo es el método de subestructura, que utiliza resortes y amortiguadores.

En el **análisis directo** como se muestra esquemáticamente en la Figura 2, el suelo es a menudo representado como un continuo de elementos finitos junto con la cimentación y elementos estructurales, que transmiten límites en los límites de la malla del suelo, y en elementos de interfaz en los bordes de la cimentación (NIST, 2012).

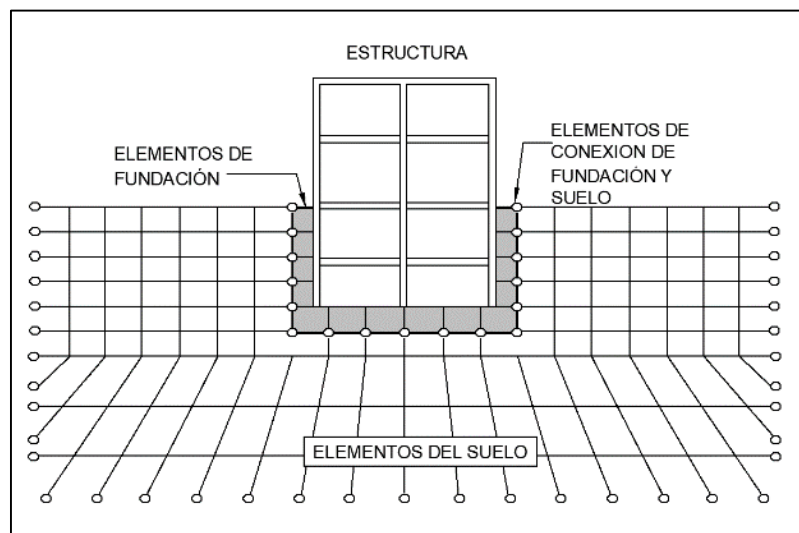


Figura 2. Ilustración esquemática de un análisis directo de la interacción suelo-estructura utilizando modelado continuo por elementos finitos

Fuente: NIST (2012).

El uso del **análisis directo** para resolver los problemas de la interacción suelo-estructura, es difícil desde un punto de vista computacional, especialmente cuando el sistema es geoméricamente complejo, por lo cual rara vez se utiliza en la práctica (NIST, 2012).

El **método de subestructura**, considera que la cimentación de la estructura está conectada mediante resortes y amortiguadores, que representan la rigidez y la amortiguación en la cimentación del suelo interfaz (NIST, 2012). En la Figura 3 se muestra un esquema representativo mediante este método.

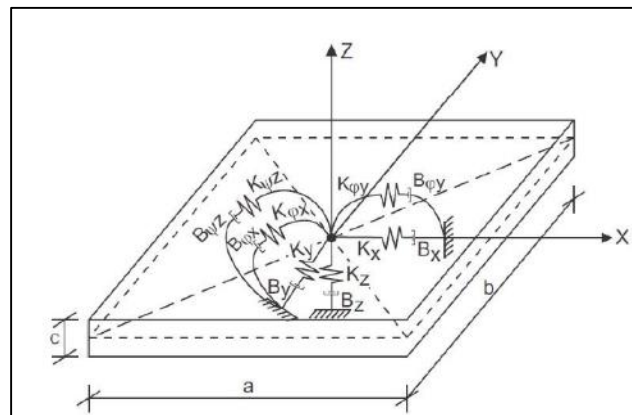


Figura 3. Esquema de interacción suelo - placa de cimentación

Fuente: Villarreal Castro (2017).

Villarreal Castro (2017) muestra que en la Figura 3, los valores de los coeficientes de rigidez quedarían definidos de la siguiente manera:

K_z = coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme (T/m).

K_x, K_y = coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme (T/m).

$K_{\phi x}, K_{\phi y}$ = coeficientes de rigidez de compresión elástica no uniforme (T.m)

$K_{\psi z}$ = coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme (T.m)

Villarreal Castro (2017) nos dice que en la Figura 3 se puede analizar la posibilidad de considerar el amortiguamiento, de esta forma las características de amortiguamiento quedarían descritas de la siguiente manera:

B_z = amortiguamiento vertical (T.s/m).

B_x, B_y = amortiguamientos horizontales (T.s/m).

$B_{\varphi x}, B_{\varphi y}$ = amortiguamientos horizontal-rotacionales (T.s.m).

$B_{\psi z}$ = amortiguamiento rotacional alrededor del eje vertical (T.s.m).

Para nuestra presente investigación por tratarse de reservorios elevados tipo aporticado sobre **plata de cimentación**, utilizaremos modelos dinámicos relacionados al enfoque de subestructura, que consideran la interacción suelo-plata-superestructura, los cuales son los modelos de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya”, que poseen una amplia aplicación y se pueden emplearse en diferentes software de análisis estructural como el programa SAP 2000.

A continuación, se describirán los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura que utilizaremos en esta investigación.

2.2.2.1 Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

Villarreal Castro (2017) afirma que debido a los resultados de varios estudios experimentales para conseguir coeficientes de rigidez de las estructuras de cimentación, el investigador ruso, D.D. Barkan, propuso en el año 1984 la utilización de las expresiones siguientes:

$$K_x = K_y = C_x A$$

$$K_z = C_z A$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y$$

Dónde:

C_x = coeficiente de desplazamiento elástico uniforme.

$C_z, C_{\varphi x}, C_{\varphi y}$ = coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme.

A = área de la base de la plata de cimentación.

I_x, I_y = momentos de inercia de la plata de cimentación respecto a los ejes X e Y.

Los coeficientes de desplazamiento y compresión de la base en el modelo D.D.

Barkan - O.A. Savinov se determinan por las siguientes ecuaciones:

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi x} = C_0 \left[1 + \frac{2(a + 3b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi y} = C_0 \left[1 + \frac{2(b + 3a)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Dónde:

C_0 - coeficiente determinado a través de ensayos experimentales para $\rho_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$ o por la Tabla 1.

a, b - dimensiones de la cimentación en los ejes X e Y, respectivamente.

Δ - coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$

A - área de la platea de cimentación.

ρ - presión estática, que se determina por la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{P_{\text{edificio}} + P_{\text{platea}}}{A_{\text{platea}}}$$

Siendo:

P_{edificio} = peso del edificio.

P_{platea} = peso de la platea de cimentación.

A_{platea} = área de la platea de cimentación.

En la presente investigación el “peso del edificio” se considera el peso del reservorio, conformado por el tanque de almacenamiento y la estructura de soporte.

Para el coeficiente D_0 , se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} \cdot C_0$$

Dónde:

μ - coeficiente de Poisson del suelo.

Tabla 1

Valores del coeficiente C_0 cuando $\rho_0 = 0.20 \text{ kg/cm}^2$

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	C_0 (kg/cm^3)
S_0	Roca dura	Roca sana con velocidad de ondas de corte $\bar{V}_s > 1500 \text{ m/s}$	4,0
S_1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3,0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2,2
		Cascajo, grava arenosa densa, canto rodado, arena muy densa	2,6
S_2	Suelos intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2,0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1,6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1,4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1,8
S_3	Suelos blandos	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0,8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1,0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1,2
S_4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,75$)	0,6

Fuente: Villareal Castro (2017).

2.2.2.2 Modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Villarreal Castro (2017) nos dice como calcular los coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme K_x (T/m); compresión elástica uniforme K_z (T/m); compresión elástica no uniforme $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$ (T.m) y desplazamiento elástico no uniforme $K_{\psi z}$ (T.m), por las siguientes formulas:

$$K_x = K_y = C_x \cdot A$$

$$K_z = C_z \cdot A$$

$$K_{\phi x} = C_{\phi x} \cdot I_x$$

$$K_{\phi y} = C_{\phi y} \cdot I_y$$

$$K_{\psi z} = C_{\psi z} \cdot I_z$$

Dónde:

A = área de la platea de cimentación.

I_x, I_y = momentos de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes X e Y.

I_z = momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia).

La característica principal elástica de la cimentación, es decir, el coeficiente de compresión elástica uniforme C_z (T/m³), se determina por medio de ensayos experimentales. Villareal Castro (2017) afirma que en caso que no exista dicha información se puede determinar por la fórmula:

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Dónde:

b_0 - coeficiente de corrección de unidad de medida (m^{-1}), asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1,2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas y muy densas igual a 1,5.

E - módulo de elasticidad del suelo de fundación.

A_{10} - $10 m^2$

A - área de la platea de cimentación.

Villarreal Castro (2017) define que los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme C_x (T/m^3); compresión elástica no uniforme $C_{\phi x}$, $C_{\phi y}$ (T/m^3) y desplazamiento elástico no uniforme $C_{\psi z}$ (T/m^3); se determinan por la fórmula:

$$C_x = 0.7C_z$$

$$C_{\phi x} = C_{\phi y} = 2C_z$$

$$C_{\psi z} = C_z$$

Villarreal Castro (2017) define que las propiedades de amortiguación de la base de la cimentación, se deben de considerar las amortiguaciones relativas β , determinadas por ensayos de laboratorio, pero también nos dice que en el caso no existan datos experimentales, la amortiguación relativa para las vibraciones verticales β_z se puede determinar por la fórmula:

$$\beta_z = 2 \cdot \sqrt{\frac{E}{C_z p_m}}$$

Dónde:

E - módulo de elasticidad del suelo de fundación.

C_z - coeficiente de compresión elástica uniforme.

p_m - presión estática media en la base de la cimentación.

$$p_m \leq \gamma_{ts} R$$

Siendo:

γ_{ts} - coeficiente de la condición de trabajo del suelo de fundación, asumido igual a 0,7 para arenas saturadas de grano fino o pulverosa y arcillas de consistencia movediza; y para el resto de suelos es igual a 1

R - resistencia o capacidad portante del suelo de fundación.

Villarreal Castro (2017) menciona que las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales y rotacionales respecto a sus ejes horizontal y vertical, se pueden determinar por la fórmula:

$$\beta_x = 0.6\beta_z$$

$$\beta_{\varphi_x} = \beta_{\varphi_y} = 0.6\beta_z$$

$$\beta_{\psi_z} = 0.3\beta_z$$

Villarreal Castro (2017) indica que las características de amortiguamiento del suelo de fundación, se determinan por la fórmula:

$$B_x = B_y = 2\beta_x\sqrt{K_x M_x}$$

$$B_z = 2\beta_z\sqrt{K_z M_z}$$

$$B_{\varphi_x} = 2\beta_{\varphi_x}\sqrt{K_{\varphi_x} M_{\varphi_x'}}$$

$$B_{\varphi_y} = 2\beta_{\varphi_y}\sqrt{K_{\varphi_y} M_{\varphi_y'}}$$

$$B_{\psi_z} = 2\beta_{\psi_z}\sqrt{K_{\psi_z} M_{\psi_z'}}$$

Siendo:

β - amortiguación relativa.

K - coeficientes de rigidez.

M - masa de la platea de cimentación.

2.2.2.3 Modelo dinámico A.E. Sargsian

Villarreal Castro (2017) menciona que A.E. Sargsian, consideró al medio elástico homogéneo isotrópico, obteniendo los coeficientes de rigidez, expresados en la fórmula:

$$K_x = K_y = \frac{28.8\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)} \cdot \sqrt{A}$$

$$K_z = \frac{4\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \sqrt{A}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \frac{I_x}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \frac{I_y}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\psi z} = \frac{4\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \frac{I_z}{\sqrt{A}}$$

Villarreal Castro (2017) indica que las características de amortiguamiento del suelo de fundación, se determinan por la fórmula:

$$B_x = B_y = \frac{18.24(1-\mu)\rho C_2}{\pi(7-8\mu)} \cdot A$$

$$B_z = \frac{3.4\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot A$$

$$B_{\varphi x} = \frac{1.6\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_x$$

$$B_{\varphi y} = \frac{1.6\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_y$$

$$B_{\psi z} = \frac{3.4\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_z$$

Dónde:

ρ - densidad del suelo de fundación.

μ - coeficiente de Poisson del suelo de fundación.

C_1 - velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación.

C_2 - velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación.

A - área de la platea de cimentación.

I_x, I_y - momentos de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes X e Y

I_z - momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia).

Villarreal Castro (2017) menciona que de acuerdo a la concepción de semiespacio elástico, las velocidades de propagación de las ondas longitudinal y transversal, se pueden calcular por la fórmula:

$$C_1 = \sqrt{\frac{(1 - \mu)E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)\rho}}$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{E}{2(1 + \mu)\rho}}$$

Siendo:

E - módulo de elasticidad del suelo de fundación.

2.2.2.4 Modelo dinámico N.G. Shariya

Villarreal Castro (2017) indica que basado en el contacto dinámico de modelos inerciales de interacción suelo-platea de cimentación y en la determinación de expresiones aproximadas, obtuvo los coeficientes de rigidez, expresados en la fórmula:

$$K_x = K_y = \frac{\rho C_2^2}{\lambda(1 - \mu^2)} \cdot \sqrt{A}$$

$$K_z = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\lambda(1 - \mu)^2} \cdot \sqrt{A}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_x}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_y}{\sqrt{A}}$$

$$K_{\psi z} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_z}{\sqrt{A}}$$

Villarreal Castro (2017) indica que las características de amortiguamiento del suelo de fundación, se determinan por la fórmula:

$$B_x = B_y = \rho C_2 A$$

$$B_z = \rho C_1 A$$

$$B_{\varphi x} = \rho C_1 I_x$$

$$B_{\varphi y} = \rho C_1 I_y$$

$$B_{\psi z} = \rho C_1 I_z$$

Dónde:

λ, χ - coeficientes determinados por la Tabla 2 y dependientes de los lados de la platea.

ρ - densidad del suelo de fundación.

μ - coeficiente de Poisson del suelo de fundación.

C_1 - velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación.

C_2 - velocidad de propagación de las ondas transversales en el suelo de fundación.

A - área de la platea de cimentación.

I_x, I_y - momentos de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes X e Y

I_z - momento de inercia de la platea de cimentación respecto al eje vertical Z (momento polar de inercia).

Tabla 2

Coeficiente λ y χ determinados en función de la relación del lado mayor y el lado menor

Relación lado mayor/lado menor	λ	χ
1	0,88	0,35
3	0,84	0,24
5	0,77	0,18
10	0,67	0,13

Fuente: Villareal Castro (2017).

2.2.3 Comportamiento sísmico de reservorios

Modelo del comportamiento hidrodinámico del agua

El comportamiento hidrodinámico de agua está sujeto a las fuerzas horizontales producidas por un sismo. Housner (1963) propone un modelo donde diferencia dos masas de agua, siendo una de ellas la masa impulsiva que oscila conjuntamente con el movimiento del reservorio y la segunda masa convectiva que produce un chapoteo. En la Figura 4, se muestra el modelo equivalente, donde la masa impulsiva está conectada rígidamente al reservorio (M0), y la masa convectiva (M1), cuyo movimiento oscilatorio es representado por resortes equivalente K1.

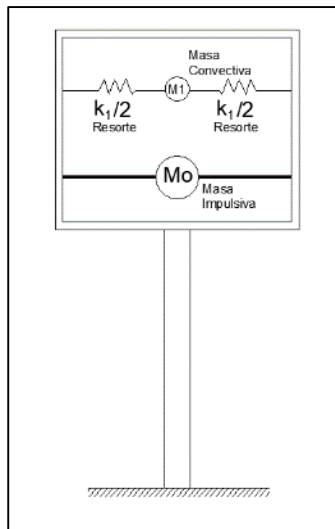


Figura 4. Modelo hidrodinámico para reservorios elevados

Fuente: Housner (1963).

2.2.4 Determinación de la Aceleración pseudo espectral para los reservorios

Al estar la masa impulsiva, adherida rígidamente a las paredes del reservorio, puede decirse que se comporta como un cuerpo o sistema rígido inercial, y al ser muy rígido y de acuerdo con la ley de Hooke, le corresponden desplazamientos pequeños, ya que los desplazamientos son inversamente proporcionales con la rigidez. Igualmente el periodo de oscilación es inversamente proporcional con la rigidez, por lo tanto para este cuerpo rígido concluimos que los periodos menores estarán asociados a la masa impulsiva o cuerpo rígido inercial (Llaza Funes, s.f.).

Por lo contrario ocurre con la masa convectiva, en donde los resortes tienen una rigidez denominada “K”, dependiente del módulo de elasticidad del agua. La rigidez de los resortes es pequeña por lo tanto al ser inversamente proporcional con el periodo de oscilación, entonces los periodos mayores estarán asociados a la masa convectiva (Llaza Funes, s.f.).

Llaza Funes (s.f.) afirma que al momento de generar un Espectro de Pseudoaceleración, deberemos incluir dos fases: para los periodos cortos y para los periodos largos, cada una con sus propiedades respectivas.

Los parámetros que indican el Reglamento NTE-030, Zona Z, Uso U, Suelo S y su periodo del terreno asociado T_p , así como el coeficiente de amplificación sísmica

C, son los mismos para todo el sistema de análisis, más no así podríamos opinar sobre el factor R (coeficiente de reducción), que ahora se llamará factor de modificación de respuesta (Llaza Funes, s.f.).

Podemos adelantar que durante la ejecución del espectro de Pseudoaceleración, para la masa impulsiva (sistema rígido inercial) se asocian los periodos cortos y valores grandes de factor de modificación de respuesta y para la masa convectiva (sistema flexible) se asocian los periodos prolongados y valores pequeños del factor de modificación de respuesta (Llaza Funes, s.f.).

2.2.5 Normas para el análisis sísmico para reservorios

Para el análisis sísmico de reservorios elevados, que son estructuras contenedoras de líquido, se cuenta con la norma ACI 350.3, pero se tiene que adaptar a nuestra normativa peruana por la zona de estudio.

2.2.5.1 Norma técnica – E.030 “Diseño Sismorresistente”

La norma técnica E.030 de diseño sismorresistente de nuestro reglamento nacional de edificaciones, no aplica para el análisis sísmico de reservorios, sin embargo se puede considerar algunos valores sísmicos de la presente norma para el análisis.

El factor de uso o importancia “U” para reservorios corresponde igual a 1.5, según la categoría de las edificaciones de la norma E.030.

El factor de zona “Z” que representa la máxima aceleración horizontal que presenta un suelo rígido con 10% de probabilidad de excedencia de 50 años expresado como una porción de la aceleración de la gravedad (Norma E.030, 2018). El territorio nacional está dividido en cuatro zonas como se aprecia en la Figura 5, donde se asigna un factor “Z” por cada zona, ver Tabla 3 (Norma E.030, 2018).

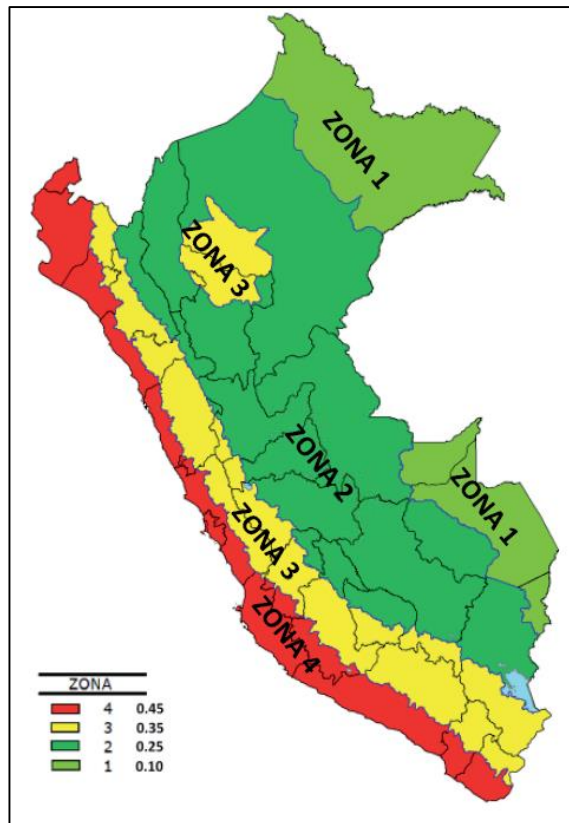


Figura 5. Zonas sísmicas

Fuente: Norma E.030 (2018).

Tabla 3
Factor de zona Z

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E.030 (2018).

Los perfiles de suelo se clasifican de acuerdo a la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar, o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada para suelos cohesivos (Norma E.030, 2018).

Tabla 4
Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	-	-	-

Nota. El perfil S4 se clasifica de acuerdo al EMS.

Fuente: Norma E.030 (2018).

Los parámetros de sitio “S”, “ T_p ” y “ T_L ”, para poder determinarlos se deberá considerar el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales (Norma E.030, 2018). El factor de amplificación del suelo “S”, aparte de depender del tipo perfil, también depende de la zonificación para poder determinar su valor, mostradas en la Tabla 5. Los períodos “ T_p ” y “ T_L ” son parámetros que definen el factor de amplificación sísmica “C”, indicada en la Tabla 6 (Norma E.030, 2018).

Tabla 5
Factor de suelo “S”

ZONA / SUELO	S0	S1	S2	S3
Z1	0,80	1,00	1,05	1,10
Z2	0,80	1,00	1,15	1,20
Z3	0,80	1,00	1,20	1,40
Z4	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: Norma E.030 (2018).

Tabla 6
Períodos “ T_p ” y “ T_L ”

	S0	S1	S2	S3
T_p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Norma E.030 (2018).

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica “C”, que depende de los periodos de sitio “ T_p ” y “ T_L ”, y además del periodo de vibración de la estructura “ T ” (Norma E.030, 2018). Las siguientes expresiones se utilizan para caracterizar el factor “C” (Norma E.030, 2018):

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5x\left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5x\left(\frac{T_p \times T_L}{T^2}\right)$$

Respecto al coeficiente de reducción de fuerza sísmica “R”, la norma nos indica que este coeficiente se aplicará a estructuras en las que los elementos tanto verticales y horizontales permitan disipar la energía manteniendo estable la estructura (Norma E.030, 2018). Además no es aplicable a estructuras del tipo péndulo invertido (Norma E.030, 2018).

La Norma E.030 (2018) nos afirma que para determinar la aceleración espectral “ S_a ” se debe analizar para cada una de las direcciones horizontales utilizando un espectro inelástico de pseudoaceleraciones definido por la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

2.2.5.2 Norma norteamericana – ACI 350.3-06

La normativa ACI 350.3 (2006), nos describe como realizar el análisis y diseño sísmico de reservorios, que son estructuras contenedoras de líquido, tanto apoyadas en tierra y sobre pedestales (estructura de soporte).

Para poder conformar el espectro de diseño, considerando los parámetros sitio (“Z”, “S”, “ T_p ” y “ T_L ”) y el factor de importancia “U” de la Norma E.030 de “diseño sismorresistente”, se debe determinar el factor de respuesta “R”. La normativa ACI-350.3 (2006) propone el factor de modificación o reducción de respuesta “R”, tanto para la componente impulsiva “ R_i ” como para la componente convectiva “ R_c ”, determinadas de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7
Factor de modificación de respuesta "R"

Tipo de estructura	R _i (sobre de terreno)	R _i (enterrados)	R _c
Anclados, tanques con base flexible	3.25	3.25	1.0
Tanques con base empotrada o rotulada	2.0	3.0	1.0
Tanques apoyados	1.5	2.0	1.0
Tanques sobre pedestales	2.0	-	1.0

Fuente: ACI 350.3 (2006).

Para determinar el análisis sísmico dinámico de reservorios rectangulares elevados con estructura de soporte tipo aporticado, se debe tomar las siguientes consideraciones:

Cálculo del coeficiente de masa efectivo "ε"

El peso de los muros se debe corregir ya que la influencia del agua se toma en cuenta para el análisis sísmico. El ACI-350.3 (2006) nos da la siguiente expresión para calcular el nuevo peso en base a un factor "ε" que debe multiplicarse por el peso de los muros:

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{L}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{L}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0$$

Cálculo de los pesos efectivos del agua

Para calcular los pesos efectivos, tanto el peso de la componente impulsiva y convectiva, se determina con las siguientes expresiones (ACI 350.3, 2006):

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

Cálculo de la altura de los centros de gravedad

Para calcular la altura de los centros de gravedad de los pesos impulsivo y convectiva, el ACI-350.3 (2006) nos indica que se pueden calcular de formas: Excluyendo la presión en la base (EBP) y la otra es Incluyendo la presión en la base (IBP).

Caso excluyendo la presión en la base (EBP):

La altura impulsiva se define como:

$$\text{Para la siguiente relación: } \frac{L}{H_L} < 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{L}{H_L} \right)$$

$$\text{Para la siguiente relación: } \frac{L}{H_L} \geq 1.333 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.375$$

La altura convectiva se define como:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right] - 1}{3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \cdot \sinh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

Caso incluyendo la presión en la base (IBP):

La altura impulsiva se define como:

$$\text{Para la siguiente relación: } \frac{L}{H_L} < 0.75 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.45$$

$$\text{Para la siguiente relación: } \frac{L}{H_L} \geq 0.75 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}{2 \cdot \tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]} - \frac{1}{8}$$

La altura convectiva se define como:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right] - 2.01}{3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \cdot \sinh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

Cálculo de propiedades dinámicas

El ACI 350.3 (2006) nos indica que para reservorios soportados sobre pedestales, el cálculo de las propiedades dinámicas, incluidos los períodos de vibración y coeficientes laterales, se permitirá que sean determinados sobre la base de generalmente aceptable de los métodos de análisis dinámico. Entonces los periodos de vibración para la componente impulsiva “Ti” y convectiva “Tc” se podrán obtener de un análisis modal efectuado en el programa SAP 2000.

La frecuencia natural de vibración para la componente impulsiva se puede obtener de la siguiente expresión:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

Cálculo de las frecuencias naturales de vibración para la componente convectiva y el cálculo de la constante de resorte de la masa convectiva. Las expresiones a tomar en cuenta son las siguientes (ACI 350.3, 2006):

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

$$k_c = 0.833 \left(\frac{W_L}{H_L} \right) \cdot \left[\tanh \left(3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right) \right]^2$$

Dónde:

L: Longitud del tanque.

H_L: Altura máxima del tirante de agua.

W_L: Peso del agua en el reservorio.

W_i: Peso equivalente de la componente impulsiva.

m_i: Masa equivalente de la componente impulsiva.

W_c: Peso equivalente de la componente convectiva.

m_c : Masa equivalente de la componente convectiva.

h_c : Altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza lateral convectiva.

h_i : Altura sobre la base del muro al centro de gravedad de la fuerza lateral impulsiva.

k_c : Rigidez del líquido de la masa convectiva.

g : Aceleración de la gravedad.

ω_i : Frecuencia circular del modo impulsivo de vibración.

ω_c : Frecuencia circular de oscilación del modo conectivo de vibración.

λ : Coeficiente adimensional.

2.2.6 Combinaciones de carga – RNE E.060, 2009

De acuerdo a la Norma E.060 (2009) establece que para las estructuras y los elementos estructurales deberán diseñarse para obtener en todas sus secciones resistencias de diseño (ϕRn) por lo menos iguales a las **resistencias última requeridas** (Ru), calculadas para las cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se estipulan en esta Norma. En todas las secciones de los elementos estructurales deberá cumplirse:

$$\phi Rn \geq Ru$$

Las combinaciones de carga, considerando las fuerzas amplificadas para determinar la resistencia última requerida son las siguientes (Norma E.060, 2009):

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9 CM \pm CS$$

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV + 1.4 CL$$

Dónde:

CM = cargas muertas.

CV = cargas vivas.

CS = cargas de sismo.

CL = cargas debidas a la presión de líquidos.

2.3 Definición de términos

Carga de servicio: La carga prevista en el análisis durante la vida de la estructura (cargas sin amplificación) (Norma E.060, 2009).

Carga amplificada o factorizada: La carga multiplicada por factores de carga apropiados, utilizada en el diseño por resistencia a carga última (Norma E.060, 2009).

Concreto: Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos (Norma E.060, 2009).

Muro estructural: Elemento estructural, generalmente vertical empleado para encerrar o separar ambientes, resistir cargas axiales de gravedad y resistir cargas perpendiculares a su plano provenientes de empujes laterales de suelos o líquidos (Norma E.060, 2009).

Columna: Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión (Norma E.060, 2009).

Viga: Elemento estructural que trabaja fundamentalmente a flexión y cortante (Norma E.060, 2009).

Resistencia Requerida: Resistencia que un elemento o una sección transversal debe tener para resistir las cargas amplificadas o los momentos y fuerzas internas correspondientes combinadas (Norma E.060, 2009).

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- a) Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

- b) Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

- c) Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

- d) Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.

2.5 Variables

2.5.1 Definición conceptual de la variable

Variable independiente (x)

Interacción suelo-estructura: Es la respuesta dinámica entre la estructura y el suelo, debido a la deformabilidad del suelo de cimentación, producto del movimiento ejercido de la estructura, a causa de una fuerza externa como un sismo.

Variable dependiente (y)

Comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación: Es la respuesta estructural del reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación debido a fuerzas actuantes como cargas estáticas y dinámicas ejercidas en ella.

2.5.2 Definición operacional de la variable

Variable independiente (x)

Interacción suelo-estructura: La interacción suelo-estructura, mediante el enfoque de subestructura, aplica coeficientes de rigidez y amortiguamiento determinados por los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya” que dependen de la flexibilidad del suelo de fundación y características de la estructura, permitiendo modelar la estructura.

Variable dependiente (y)

Comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación: Para determinar el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, se debe calcular los periodos de vibración, la cortante basal, los esfuerzos y el desplazamiento lateral, que se obtiene mediante la aplicación de un análisis sísmico dinámico espectral a los modelos que considera la interacción suelo-estructura y al modelo empotrado en la base, para luego ser evaluados estos resultados obtenidos mediante tablas

comparativas, se está tomando en cuenta las consideraciones del Reglamento Nacional de Edificaciones y de la normativa ACI 350.3-06.

2.5.3 Operacionalización de las Variables

Tabla 8

Operacionalización de las Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente Interacción suelo-estructura	Es la respuesta dinámica entre la estructura y el suelo, debido a la deformabilidad del suelo de cimentación, producto del movimiento ejercido de la estructura, a causa de una fuerza externa como un sismo.	La interacción suelo-estructura, mediante el enfoque de subestructura, aplica coeficientes de rigidez y amortiguamiento determinados por los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya” que dependen de la flexibilidad del suelo de fundación y características de la estructura, permitiendo modelar la estructura.	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad del suelo de fundación • Características de la estructura • Modelo dinámico de interacción suelo-estructura • Modelamiento estructural 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de suelo • Densidad • Módulo de elasticidad • Coeficiente de poisson • Angulo de fricción interna • Capacidad portante • Material • Dimensiones • Peso • Funciones de impedancia que determinan los coeficientes de rigidez y amortiguamiento • Coeficientes de los modelos dinámicos de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya”

<p>Variable Dependiente</p> <p>Comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación debido a fuerzas actuantes como cargas estáticas y dinámicas ejercidas en ella.</p>	<p>Es la respuesta estructural del reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación debido a fuerzas actuantes como cargas estáticas y dinámicas ejercidas en ella.</p>	<p>Para determinar el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, se debe calcular los periodos de vibración, la cortante basal, los esfuerzos y el desplazamiento lateral, que se obtiene mediante la aplicación de un análisis sísmico dinámico espectral a los modelos que considera la interacción suelo-estructura y al modelo empotrado en la base, para luego ser evaluados estos resultados obtenidos mediante tablas comparativas, se está tomando en cuenta las consideraciones del Reglamento Nacional de Edificaciones y de la normativa ACI 350.3-06.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Periodos de vibración • Cortante basal • Esfuerzos • Desplazamiento lateral 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados del análisis sísmico dinámico espectral de los modelos con interacción suelo-estructura y del modelo empotrado en la base
---	---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método de investigación

En la presente investigación se considera el **método deductivo**. El método deductivo parte de observaciones generales para obtener conclusiones particulares (Morlote Samperio y Celiseo Santamaría, 2004).

3.2 Tipo de la investigación

Morlote Samperio y Celiseo Santamaría (2004) mencionan que la investigación es de tipo aplicada cuando busca resolver problemas concretos en consecuencia a conocimientos aprendidos.

Por lo tanto, en la presente investigación es del **tipo aplicada** ya que tiene por objetivo resolver un determinado problema general y problemas específicos, enfocándose en la búsqueda del conocimiento.

3.3 Nivel de la investigación

Hernández Sampieri et al. (2014) nos explican sobre el estudio correlacional, que tiene como finalidad conocer la relación que existe entre dos o más variables.

Es por ello que la presente investigación es de nivel correlacional, debido a que en ella se pretende conocer la relación que influye la variable independiente sobre la variable dependiente.

3.4 Diseño de la investigación

Hernández Sampieri et al. (2014) nos mencionan que los diseños experimentales, implica en manipular intencionalmente la variable independiente, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre la variable dependiente.

Es por ello, en el presente trabajo, será una investigación de diseño **experimental**, porque la manipulación de la variable independiente es de forma presencia-ausencia, para evaluar como la interacción suelo-estructura (variable independiente) influye en

el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación (variable dependiente).

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población son 11 reservorios elevados proyectados tipo aporticado sobre platea de cimentación, ubicados en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.

3.5.2 Muestra

La muestra es **no probabilística** determinado por un muestreo **intencional**. La muestra será un reservorio elevado proyectado de 25 m³ tipo aporticado sobre platea de cimentación, que es el más representativo y de considerable capacidad de almacenamiento para poblaciones en zonas rurales, ubicado en el centro poblado de Sharara, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Para obtener los coeficientes del modelamiento estructural de la interacción suelo-estructura, se realizara por los métodos dinámicos de “D.D. Barkan – O.A. Savinov”, “Norma Rusa SNIP 2.02.05-87”, “A.E. Sargsian” y “N.G. Shariya”, que a su vez dependen de las características del suelo de fundación, es por ello para determinar estas características se empleara los ensayos de suelos del centro poblado de Sharara, que es uno de los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali. Para determinar los periodos de vibración, la cortante basal, esfuerzos y el desplazamiento lateral, se realizara considerando con y sin la interacción suelo-estructura, y mediante la aplicación del método del análisis sísmico dinámico espectral propuesta por la norma E.030 del reglamento nacional de edificación, en concordancia a la normativa ACI 350.3-06 para el respectivo análisis.

Instrumentos de recolección de datos

Entre los instrumentos de recolección de datos que serán utilizados son: (i) para los procedimientos de operaciones matemáticas y cálculos de los coeficientes de los métodos dinámicos de interacción suelo-estructura serán mediante **hojas de Excel**, y (ii) para el análisis estructural por el método del análisis sísmico dinámico espectral, se efectuara por el **Software SAP 2000**.

3.7 Procesamiento de la información.

Para determinar los efectos de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, se trabajó mediante tablas de los resultados del análisis estructural.

3.8 Técnicas y análisis de datos

En la presente investigación se realizó un análisis cuantitativo y comparativo de los resultados obtenidos del análisis estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación, evaluado con y sin la interacción suelo-estructura, lo cual nos permitió conocer la relación de influencia que ejerce la variable independiente sobre la variable dependiente.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Presentación de los resultados de la investigación

Los resultados son obtenidos del análisis sísmico de dinámico aplicado al reservorio elevado, considerando el modelo empotrado y los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura. Los resultados mostrados son periodos de vibración, cortante basal, esfuerzos y desplazamiento lateral.

A) Periodos de Vibración

El periodo convectivo corresponde al primer modo de vibración, que se da en el desplazamiento en la masa convectiva, cabe indicar que en los modelos, la masa convectiva se dividió entre 7, debido al número de nodos. El periodo impulsivo corresponde al octavo modo de vibración, que representa el desplazamiento de la estructura con la masa impulsiva.

Tabla 9

Resultados de los Periodos de vibración

Periodos de Vibración	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Convectivo (s)	2.079	2.088	2.083	2.137	2.100
Impulsivo (s)	0.332	0.600	0.471	1.150	0.948

Fuente: Elaboración propia.

B) Cortante Basal

En la siguiente tabla se muestra los resultados de la cortante basal.

Tabla 10

Resultados de la Cortante basal

Cortante Basal	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza cortante (Ton)	74.48	84.65	80.12	57.85	72.30

Fuente: Elaboración propia.

C) Esfuerzos resultantes

A continuación se presentan los resultados de los esfuerzos por fuerza anular, momentos flectores y cortantes en muros, losa de fondo y techo del reservorio, y los esfuerzos axiales, momentos flectores y cortantes en las columnas y vigas de la estructura de soporte.

Fuerza anular F11 en muros

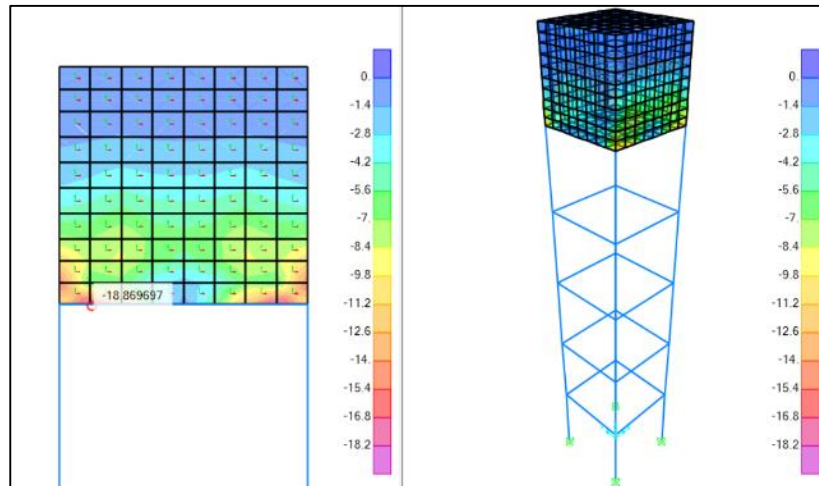


Figura 6. Fuerza anular F11 en muro - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

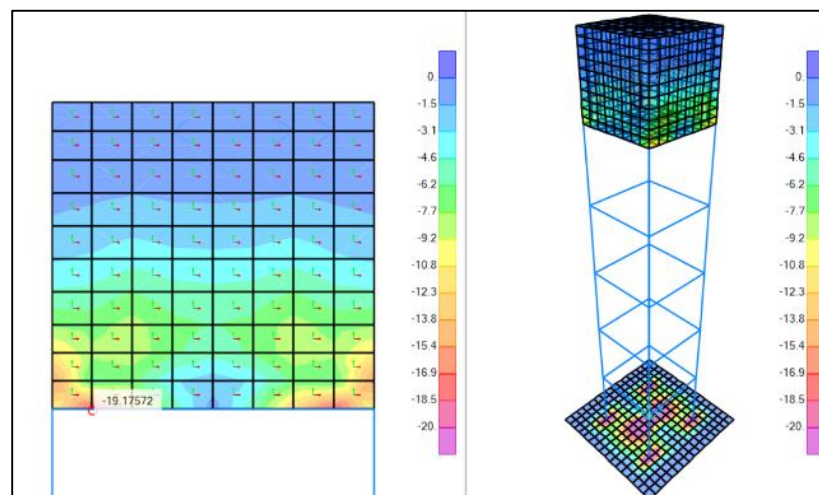


Figura 7. Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

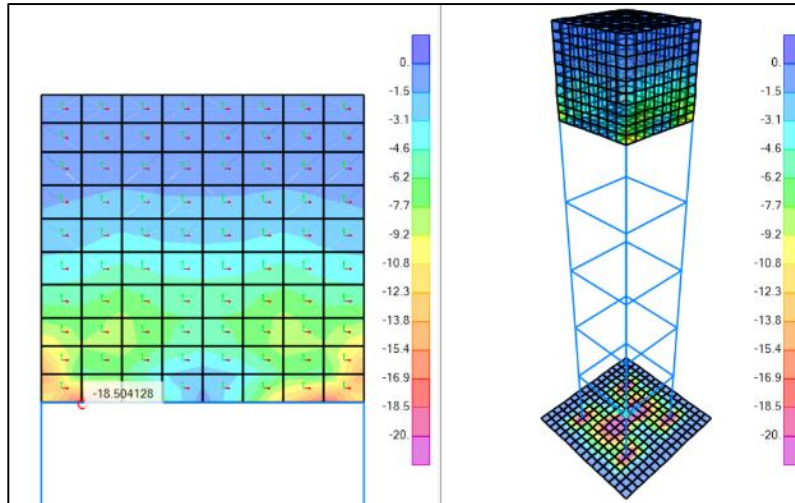


Figura 8. Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

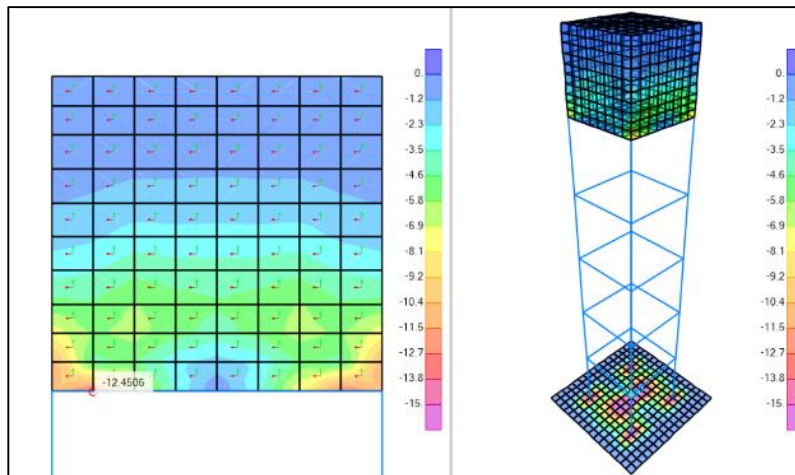


Figura 9. Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

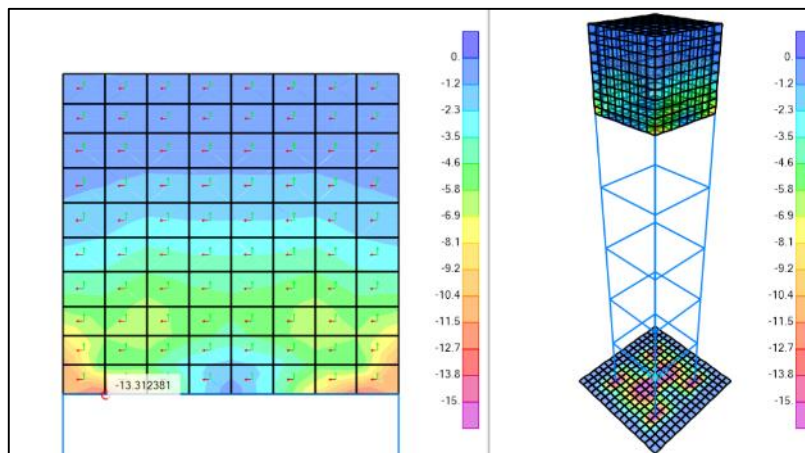


Figura 10. Fuerza anular F11 en muro - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

El resultado máximo de la fuerza anular F11 en muro, correspondiente a la fuerza axial horizontal, se da en la parte inferior extremo entre el muro y la losa de fondo, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 11

Resultados de esfuerzo máximo de Fuerza anular F11 en muro

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza anular F11 (Ton/m)	18.87	19.18	18.50	12.45	13.31

Fuente: Elaboración propia.

Momento flector M11 en muros

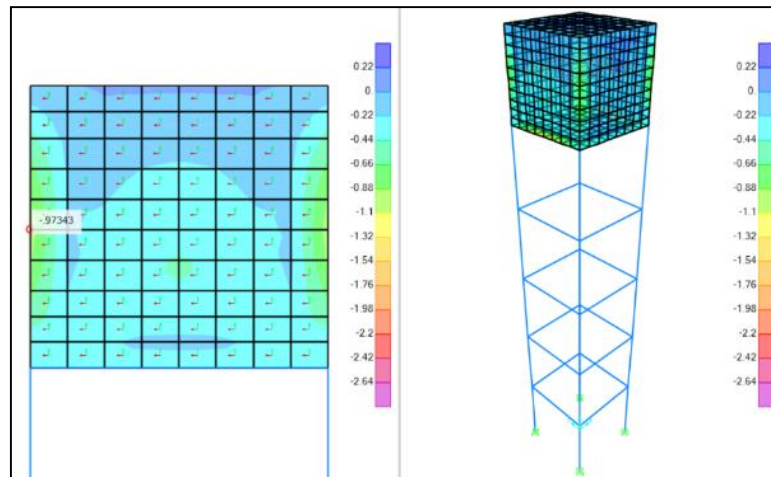


Figura 11. Momento flector M11 en muro - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

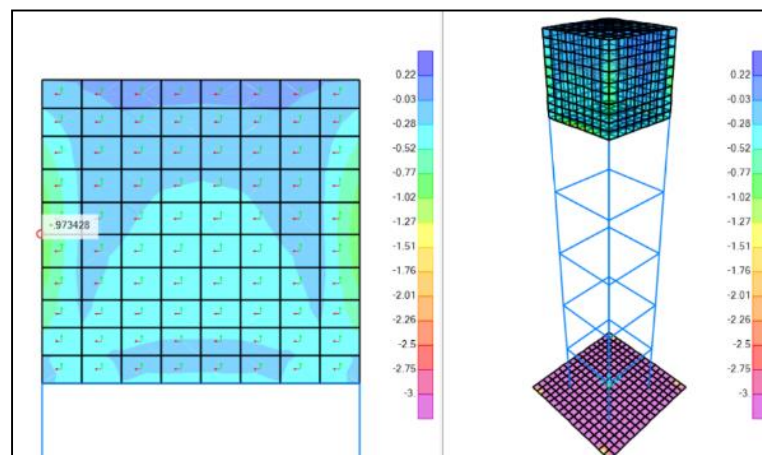


Figura 12. Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

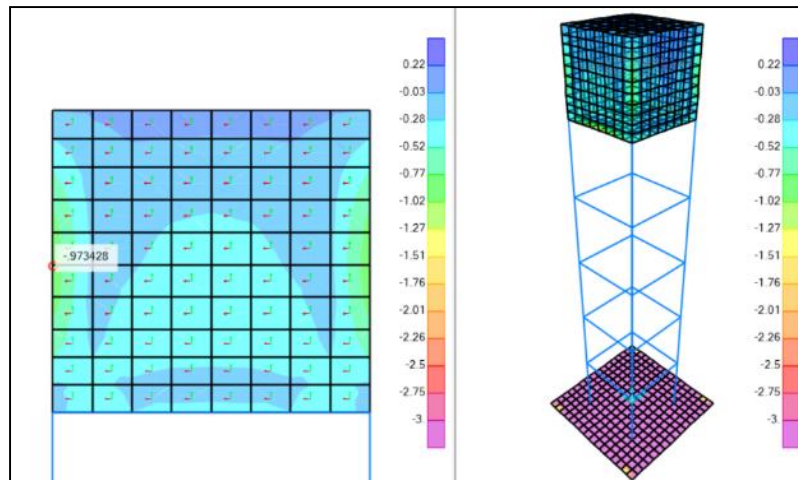


Figura 13. Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa
Fuente: Elaboración propia.

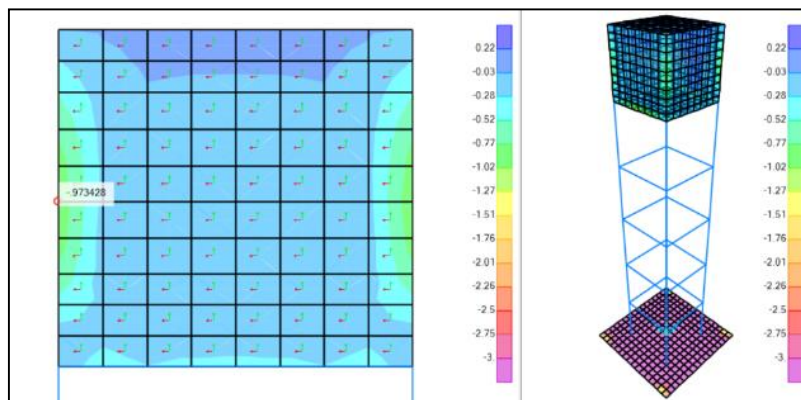


Figura 14. Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Sargsian
Fuente: Elaboración propia.

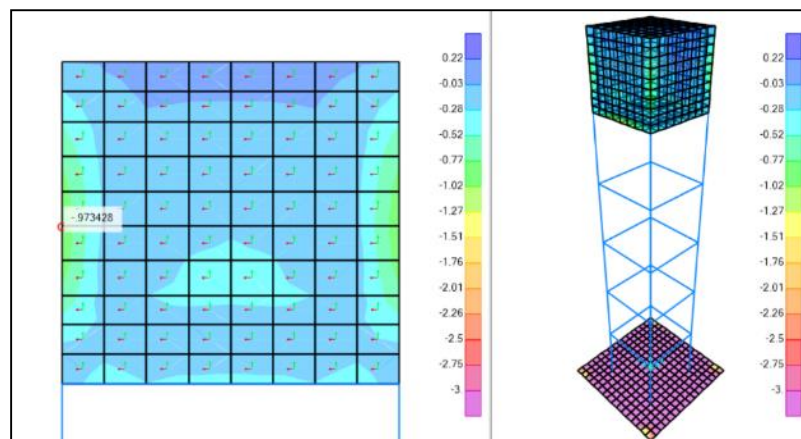


Figura 15. Momento flector M11 en muro - Modelo dinámico Shariya
Fuente: Elaboración propia.

El resultado máximo del Momento flector M11 en muro, correspondiente al momento horizontal, se da en la parte media de la altura entre las uniones de los muros, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 12

Resultados de esfuerzo máximo de Momento flector M11 en muro

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Momento flector M11 (Ton-m/m)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

Fuente: Elaboración propia.

Momento flector M22 en muros

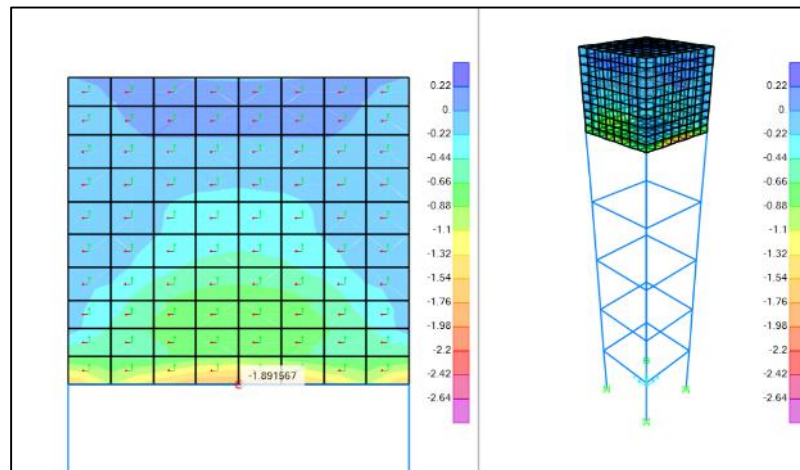


Figura 16. Momento flector M22 en muro - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

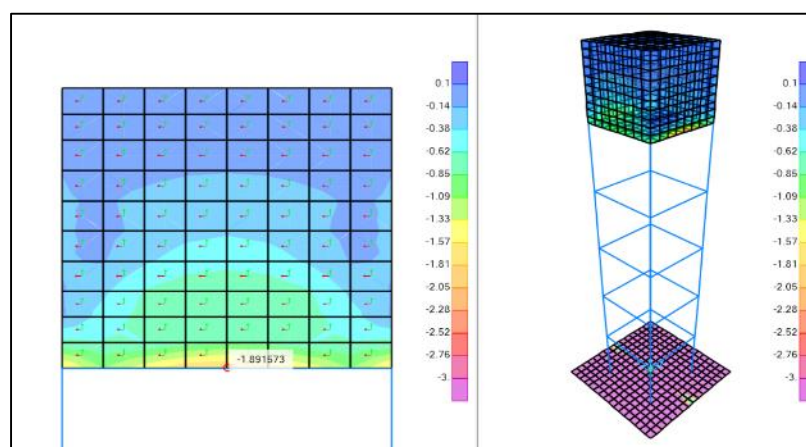


Figura 17. Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

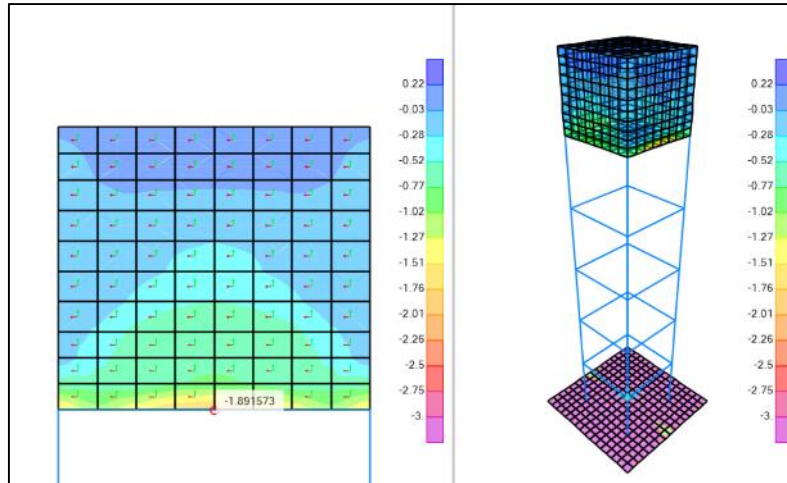


Figura 18. Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa
Fuente: Elaboración propia.

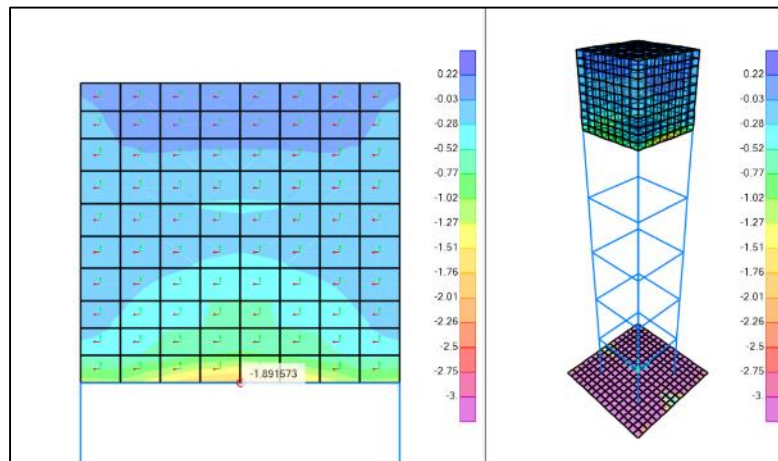


Figura 19. Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Sargsian
Fuente: Elaboración propia.

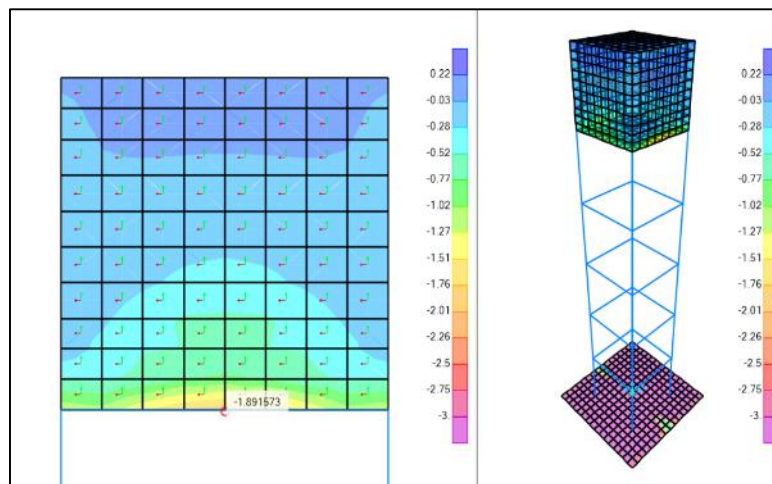


Figura 20. Momento flector M22 en muro - Modelo dinámico Shariya
Fuente: Elaboración propia.

El resultado máximo del Momento flector M22 en muro, correspondiente al momento vertical, se da en la parte baja entre las uniones del muro y losa de fondo, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 13

Resultados de esfuerzo máximo de Momento flector M22 en muro

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Momento flector M22 (Ton-m/m)	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89

Fuente: Elaboración propia.

Fuerza cortante V23 en muros

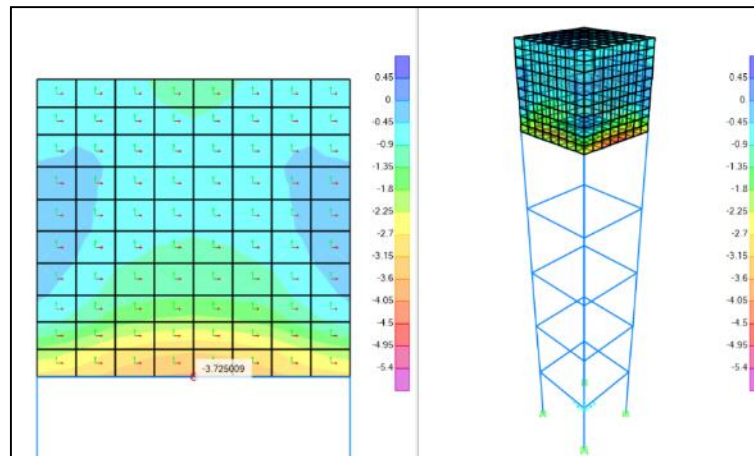


Figura 21. Cortante V23 en muro - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

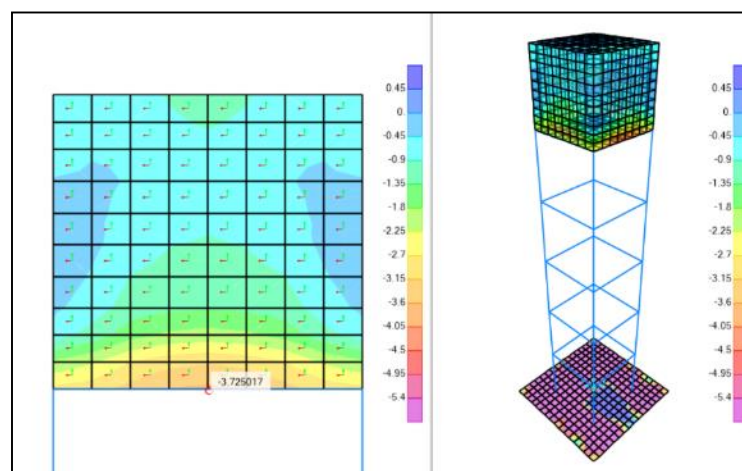


Figura 22. Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

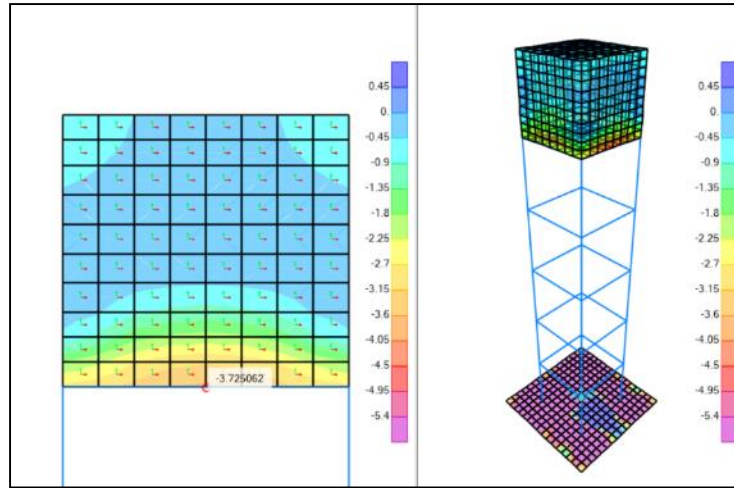


Figura 23. Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Norma Rusa
Fuente: Elaboración propia.

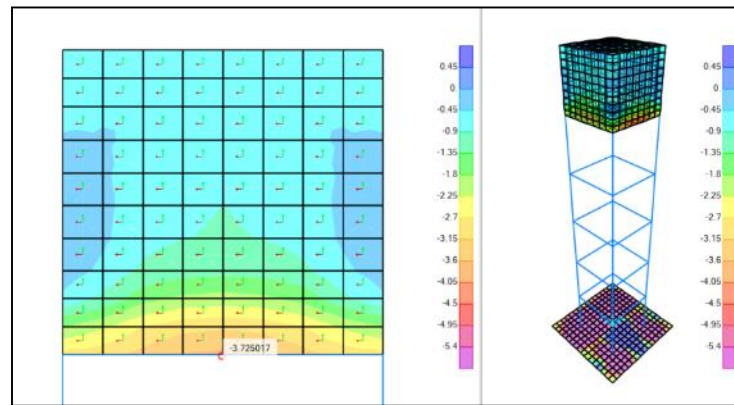


Figura 24. Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Sargsian
Fuente: Elaboración propia.

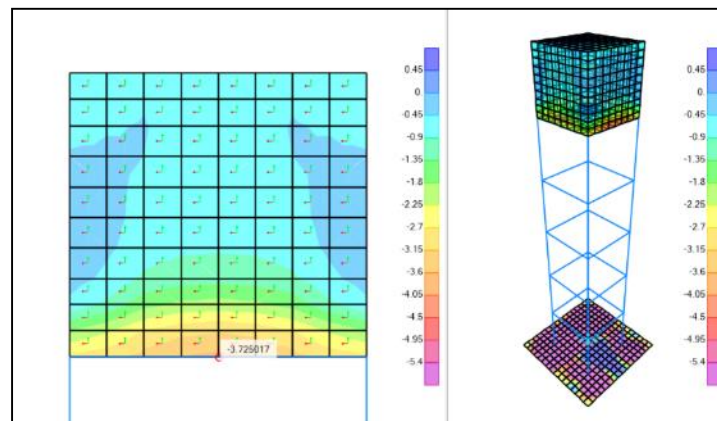


Figura 25. Cortante V23 en muro - Modelo dinámico Shariya
Fuente: Elaboración propia.

El resultado máximo del Cortante V23 en muro, correspondiente a la fuerza cortante, se da en la parte baja entre las uniones del muro y losa de fondo, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 14

Resultados de esfuerzo máximo de Fuerza cortante V23 en muro

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Cortante V23 (Ton/m)	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73

Fuente: Elaboración propia.

Momento flector M11 y Fuerza cortante V23 en losa de fondo

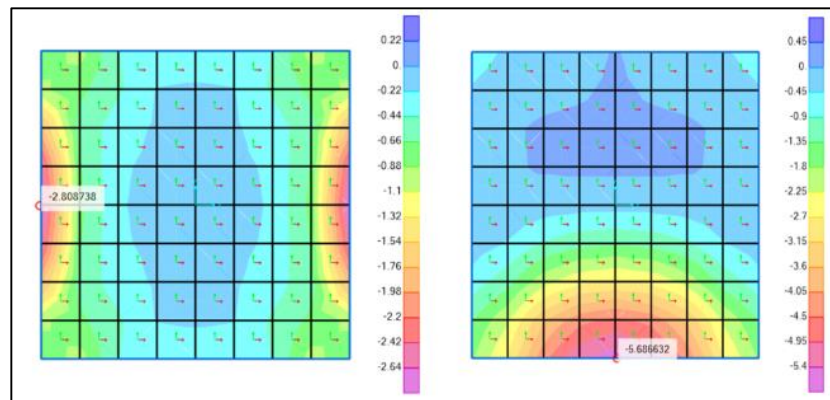


Figura 26. Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

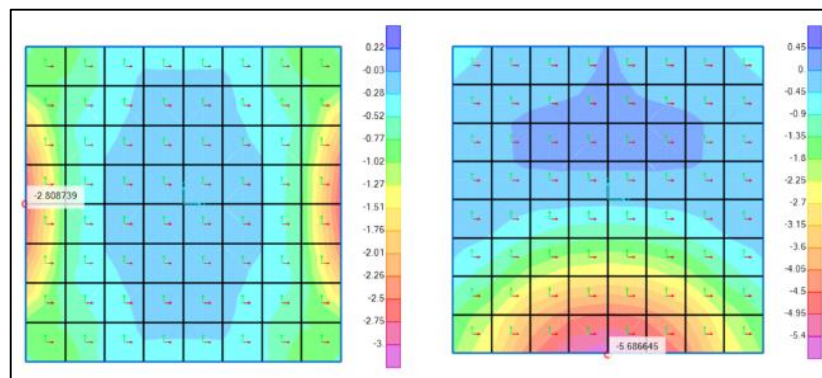


Figura 27. Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

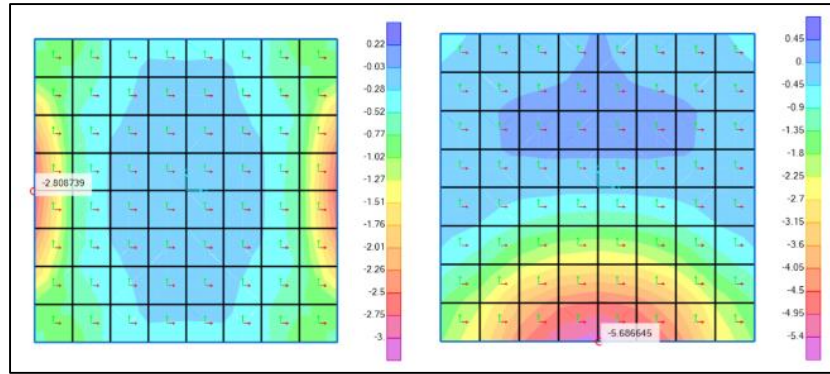


Figura 28. Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

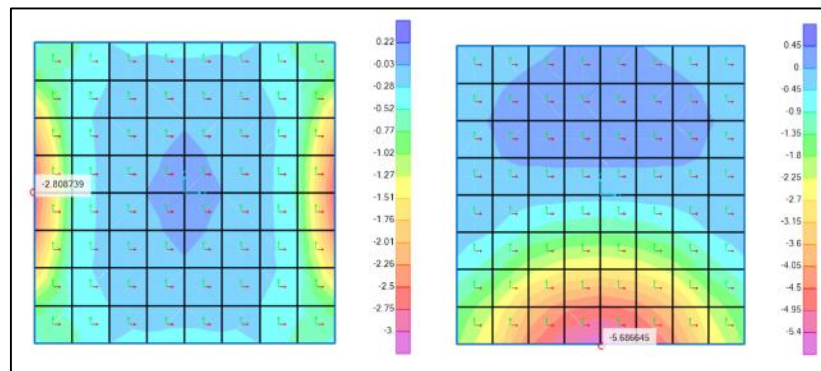


Figura 29. Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

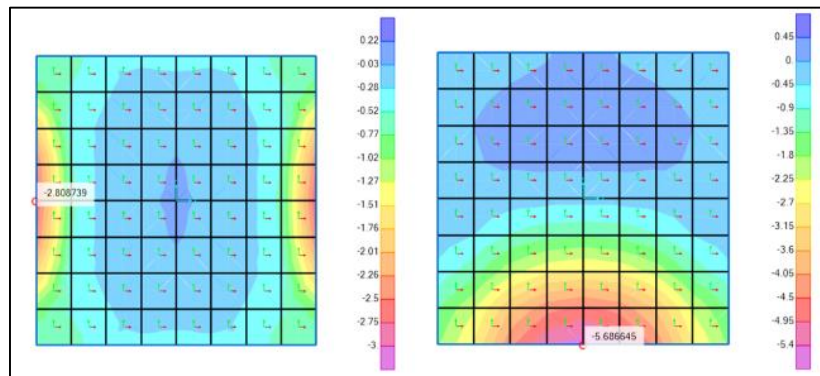


Figura 30. Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados máximos del Momento flector M11 y Cortante V23 en losa de fondo, correspondiente al momento flexionante y fuerza cortante respectivamente, se da en la parte media de los extremos de la losa de fondo, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 15

Resultados de esfuerzos máximos de Momento flector M11 y Fuerza cortante V23 en losa de fondo

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Momento flector M11 (Ton-m/m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Cortante V23 (Ton/m)	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69

Fuente: Elaboración propia.

Momento flector M11 y Fuerza cortante V13 en techo

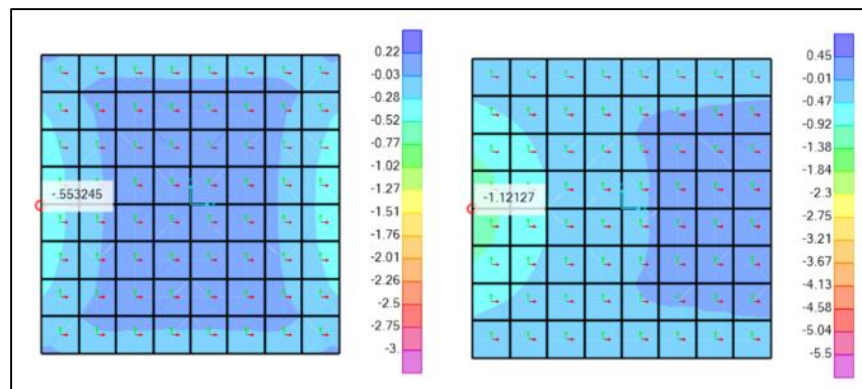


Figura 31. Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

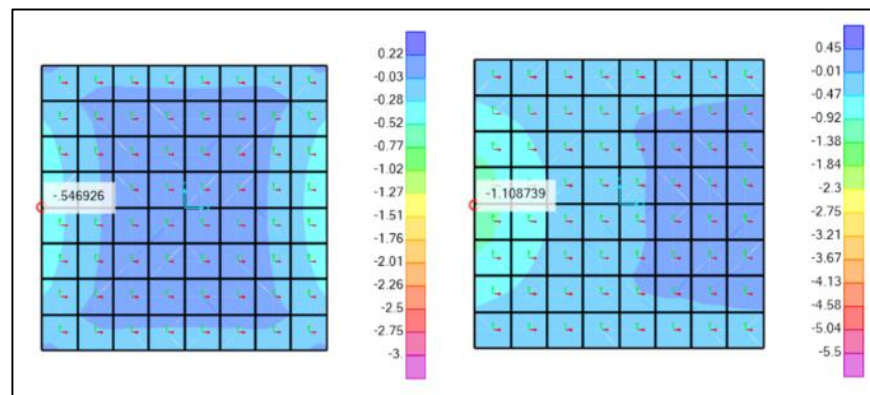


Figura 32. Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

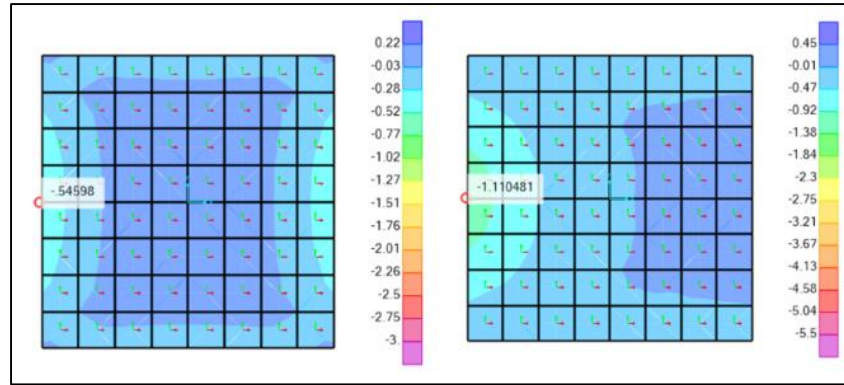


Figura 33. Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

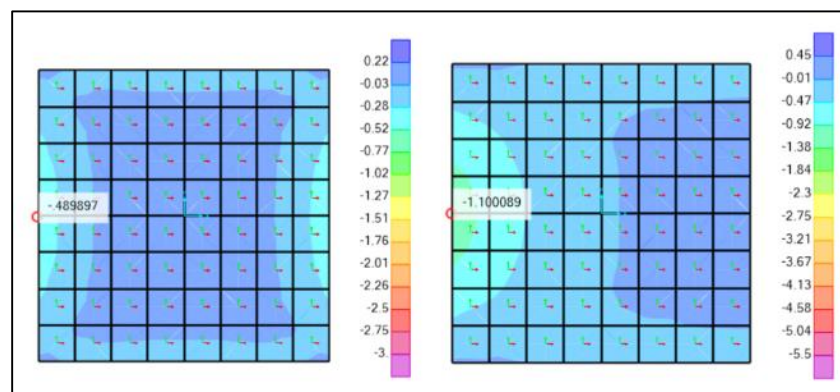


Figura 34. Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

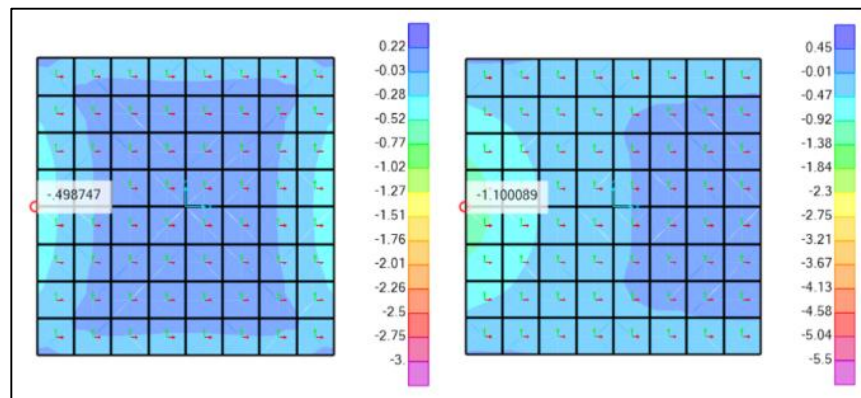


Figura 35. Momento flector M11 y Cortante V13 en techo - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados máximos del Momento flector M11 y Cortante V13 en techo, correspondiente al momento flexionante y fuerza cortante respectivamente, se da en la parte media de los extremos del techo, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 16

Resultados de esfuerzos máximos de Momento flector M11 y Fuerza cortante V13 en techo

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Momento flector M11 (Ton-m/m)	0.553	0.547	0.546	0.490	0.499
Cortante V13 (Ton/m)	1.121	1.109	1.110	1.100	1.100

Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzos en columnas

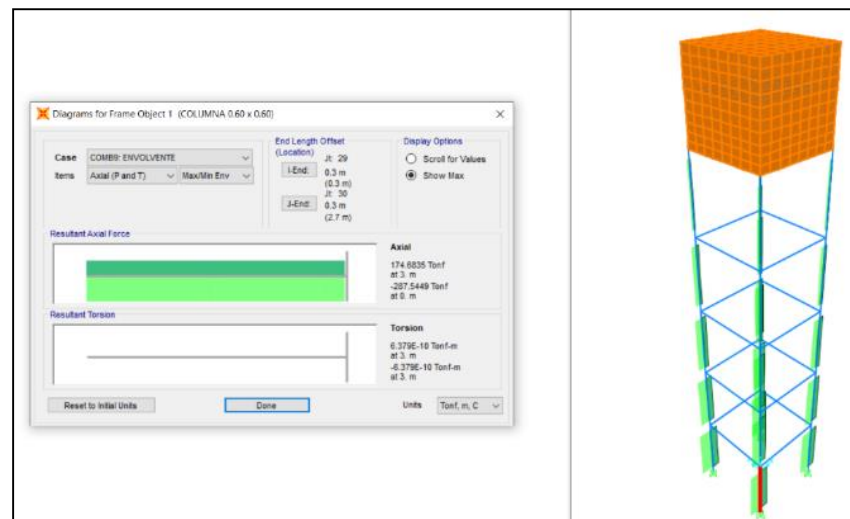


Figura 36. Fuerza Axial en columnas - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

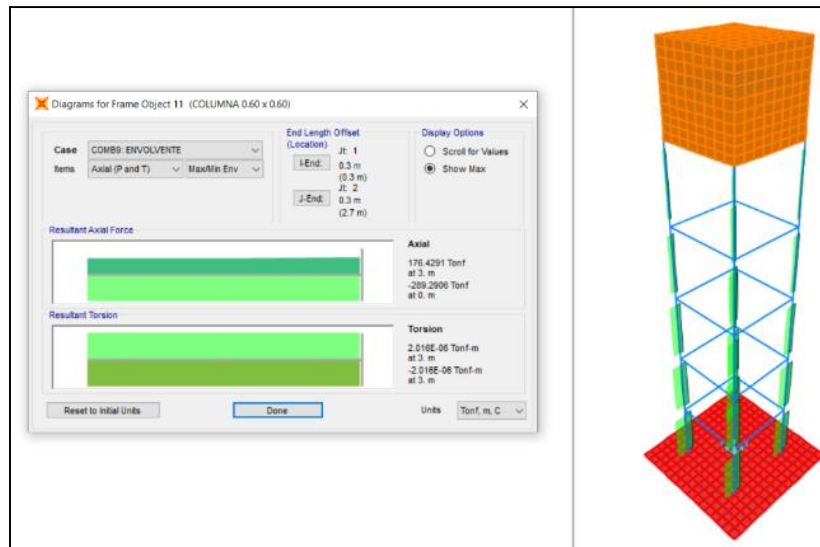


Figura 37. Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

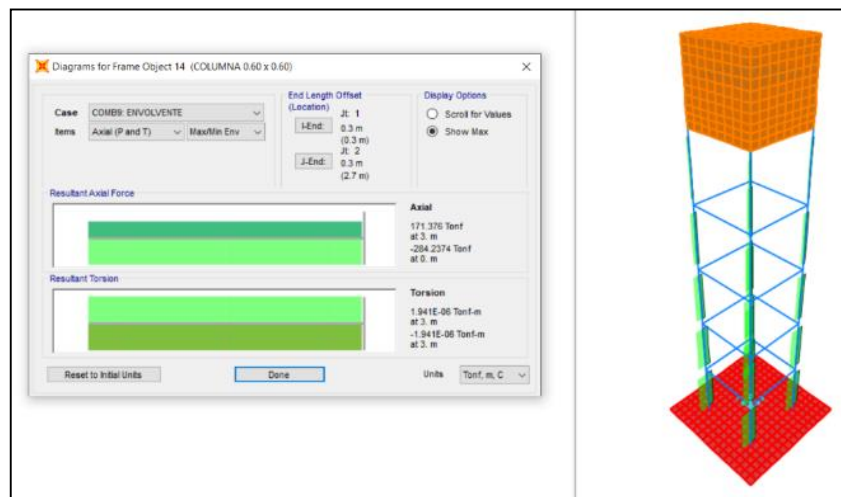


Figura 38. Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

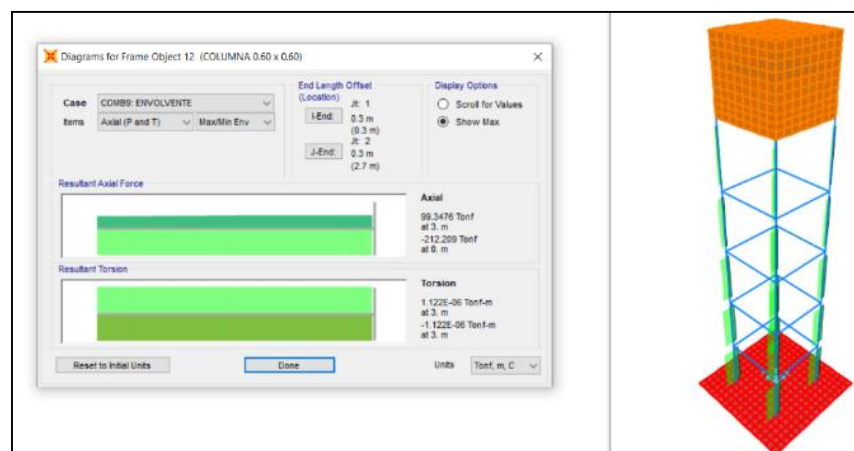


Figura 39. Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

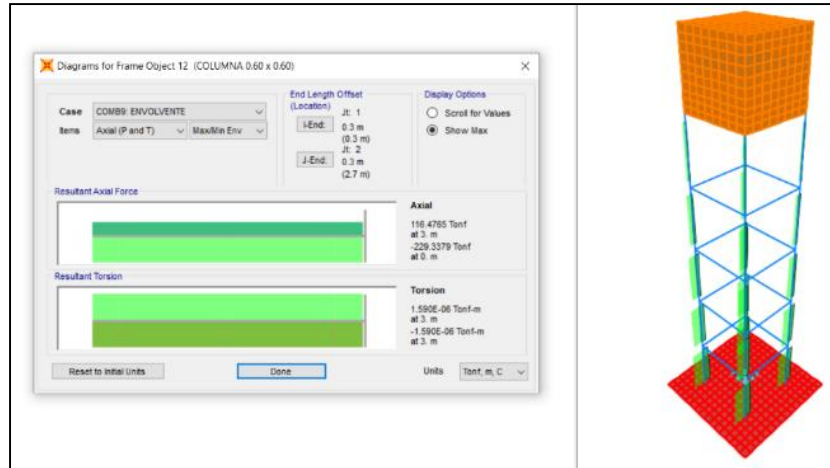


Figura 40. Fuerza Axial en columnas - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

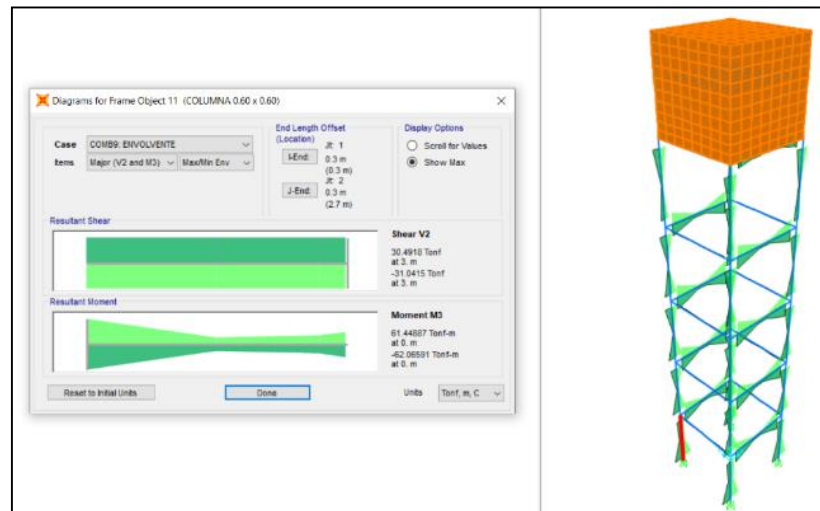


Figura 41. Cortante y Momento flector en columnas - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

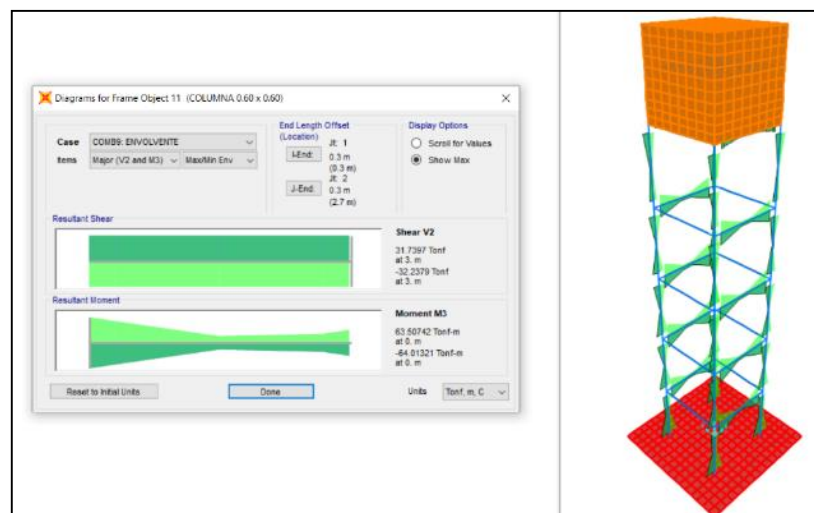


Figura 42. Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

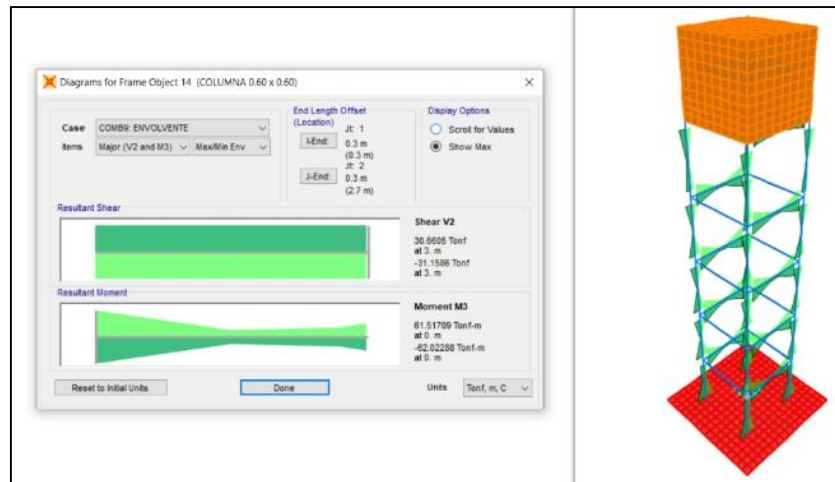


Figura 43. Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

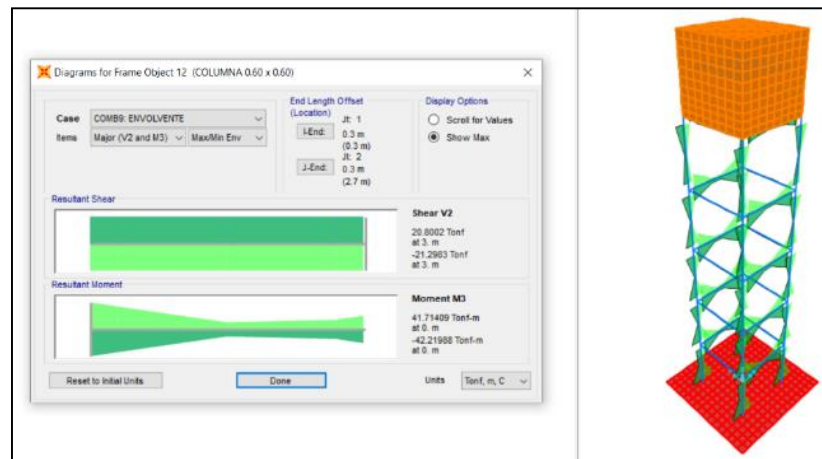


Figura 44. Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

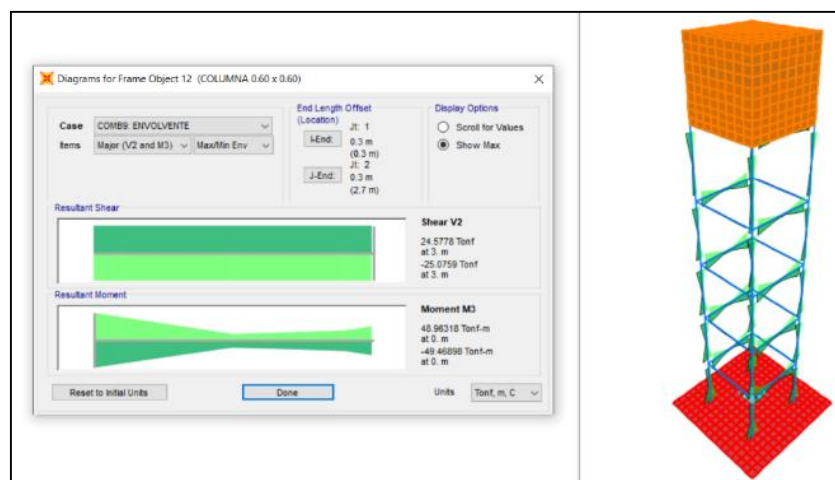


Figura 45. Cortante y Momento flector en columnas - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados máximos de esfuerzos por Fuerza axial, Cortante y Momento flexionante, se da en las columnas del primer nivel, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 17

Resultados de esfuerzos máximos de Fuerza axial, Cortante y Momento flector en columnas

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza axial (Ton)	287.54	289.29	284.24	212.21	229.34
Cortante (Ton)	31.04	32.24	31.16	21.30	25.08
Momento flector (Ton-m)	62.07	64.01	62.02	42.22	49.47

Fuente: Elaboración propia.

Esfuerzos en vigas

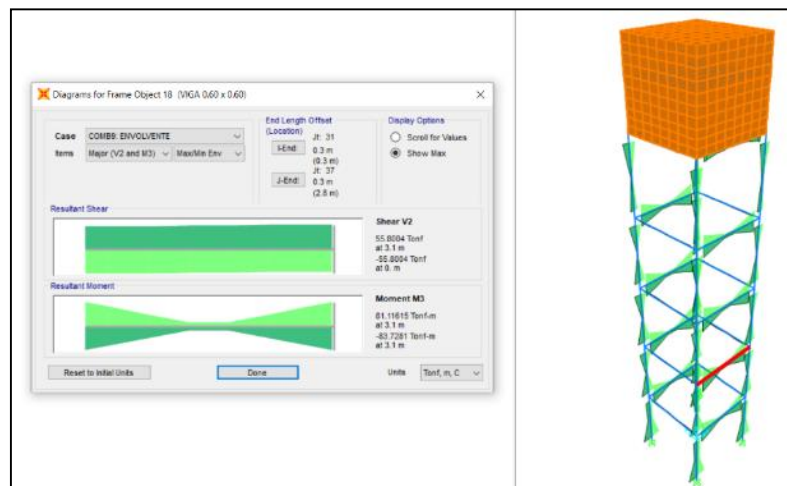


Figura 46. Cortante y Momento flector en vigas - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

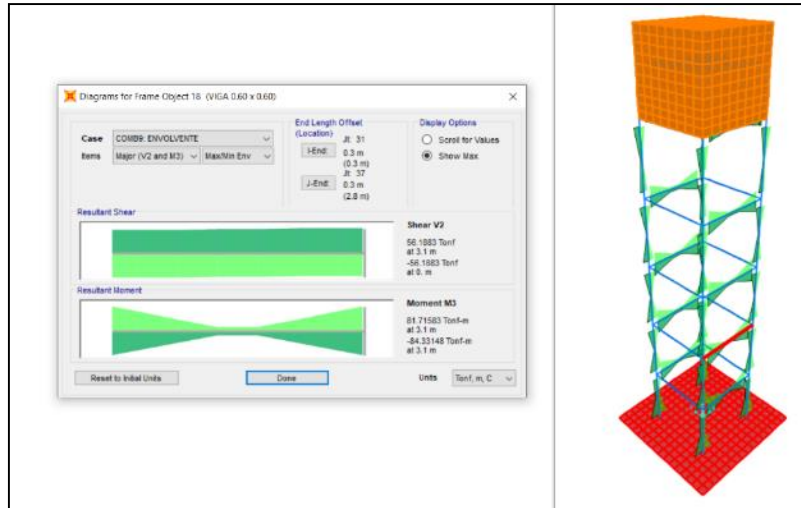


Figura 47. Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Barkan
Fuente: Elaboración propia.

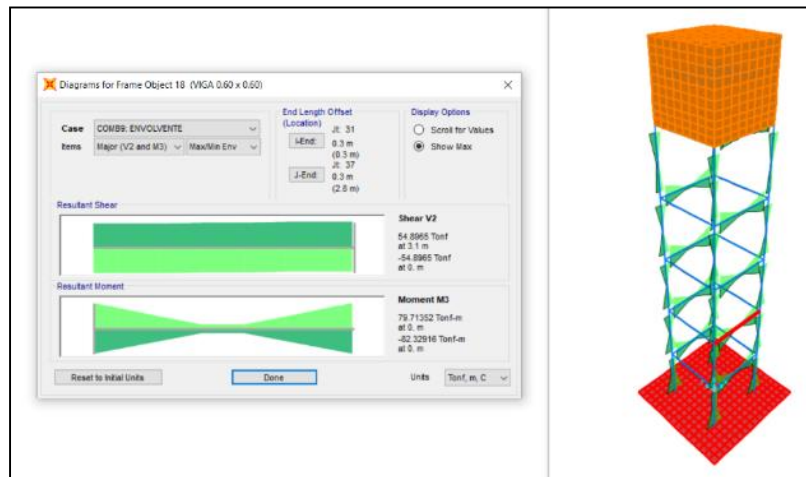


Figura 48. Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Norma Rusa
Fuente: Elaboración propia.

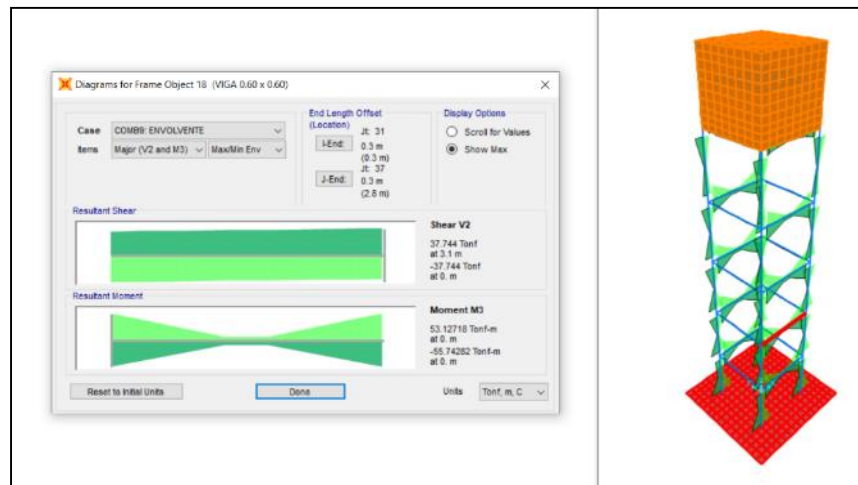


Figura 49. Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Sargsian
Fuente: Elaboración propia.

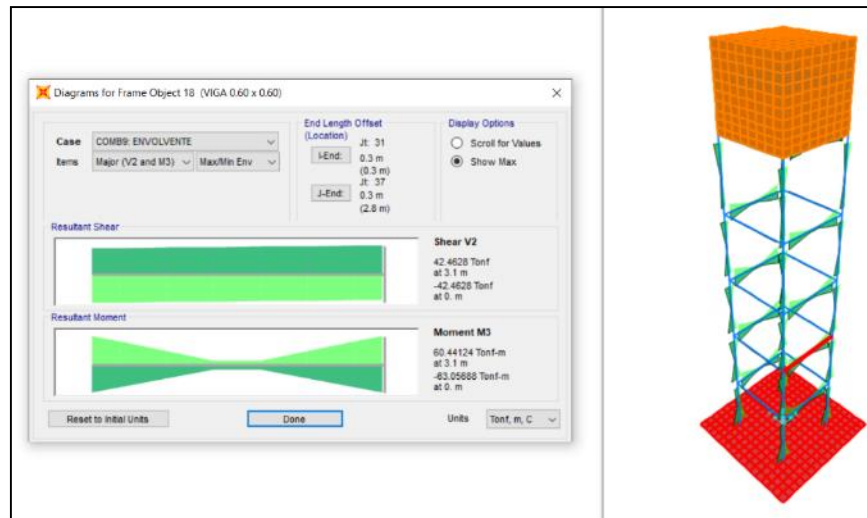


Figura 50. Cortante y Momento flector en vigas - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados máximos de esfuerzos por Cortante y Momento flexionante, se da en las vigas del segundo nivel, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 18

Resultados de esfuerzos máximos de Cortante y Momento flector en vigas

Esfuerzo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Cortante (Ton)	55.80	56.19	54.90	37.74	42.46
Momento flector (Ton-m)	83.73	84.33	82.33	55.74	63.06

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes tablas se presenta el resumen de los resultados de esfuerzos máximos en muro, losa de fondo y techo del reservorio, y esfuerzos máximos en columnas y vigas de la estructura de soporte.

Tabla 19

Resumen resultados de esfuerzos máximos en muro, losa de fondo y techo del reservorio

Esfuerzos en reservorio	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza anular en muro F11 (Ton/m)	18.87	19.18	18.50	12.45	13.31
Momento flector en muro M11 (Ton-m/m)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Momento flector en muro M22 (Ton-m/m)	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89

Cortante en muro V23 (Ton/m)	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73
Momento flector en losa de fondo M11 (Ton-m/m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Cortante en losa de fondo V23 (Ton/m)	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69
Momento flector en techo M11 (Ton-m/m)	0.553	0.547	0.546	0.490	0.499
Cortante en techo V13 (Ton/m)	1.121	1.109	1.110	1.100	1.100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Resumen resultados de esfuerzos máximos en columnas y vigas de la estructura de soporte

Esfuerzos en estructura de soporte	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza axial en columnas (Ton)	287.54	289.29	284.24	212.21	229.34
Cortante en columnas (Ton)	31.04	32.24	31.16	21.30	25.08
Momento flector en columnas (Ton-m)	62.07	64.01	62.02	42.22	49.47
Cortante en vigas (Ton)	55.80	56.19	54.90	37.74	42.46
Momento flector en vigas (Ton-m)	83.73	84.33	82.33	55.74	63.06

Fuente: Elaboración propia.

D) Desplazamiento lateral

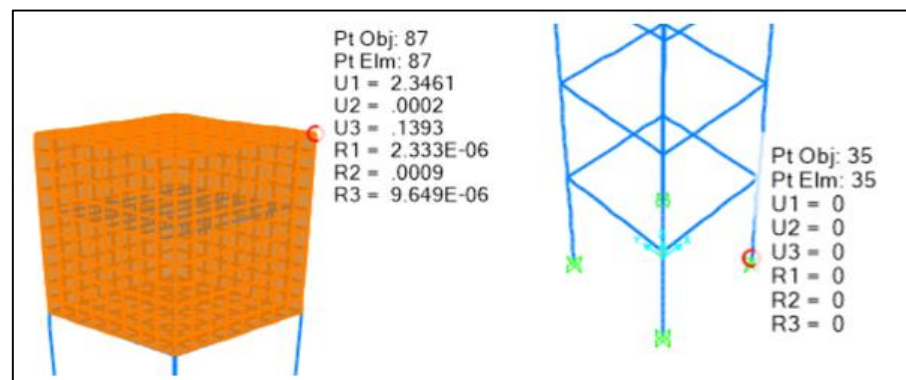


Figura 51. Desplazamiento lateral máximo - Modelo Empotrado

Fuente: Elaboración propia.

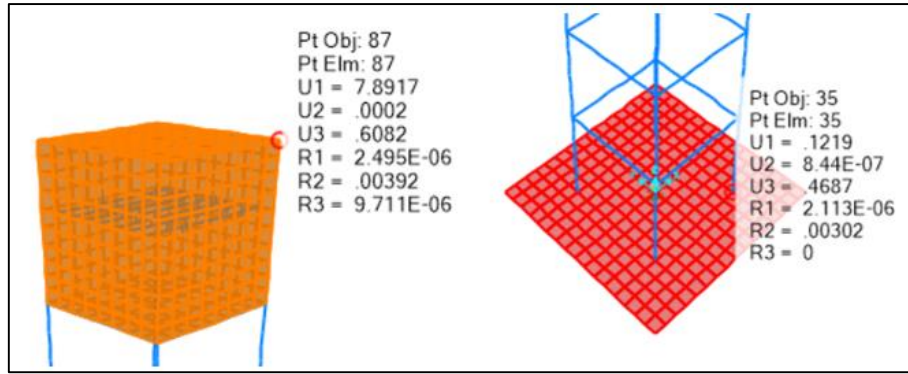


Figura 52. Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

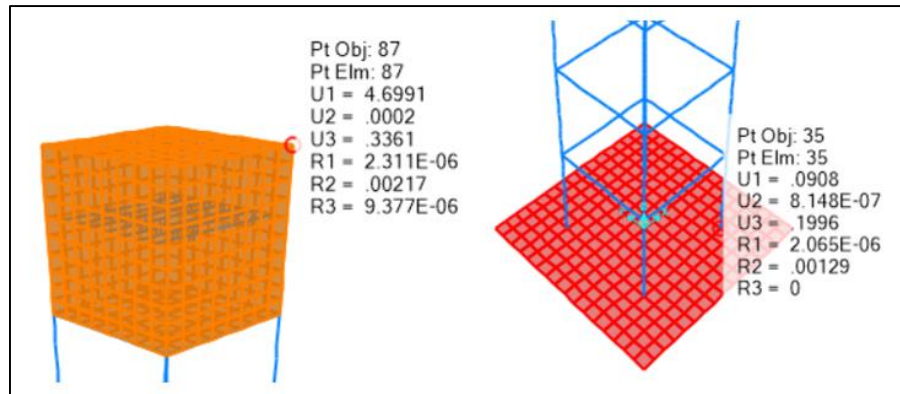


Figura 53. Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Elaboración propia.

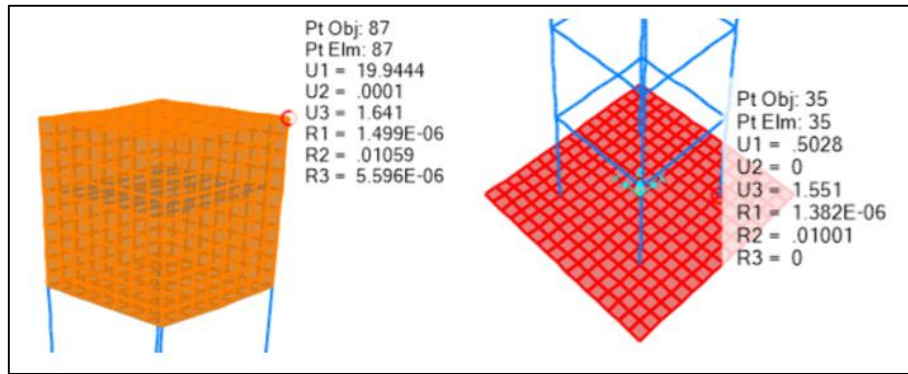


Figura 54. Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Sargsian

Fuente: Elaboración propia.

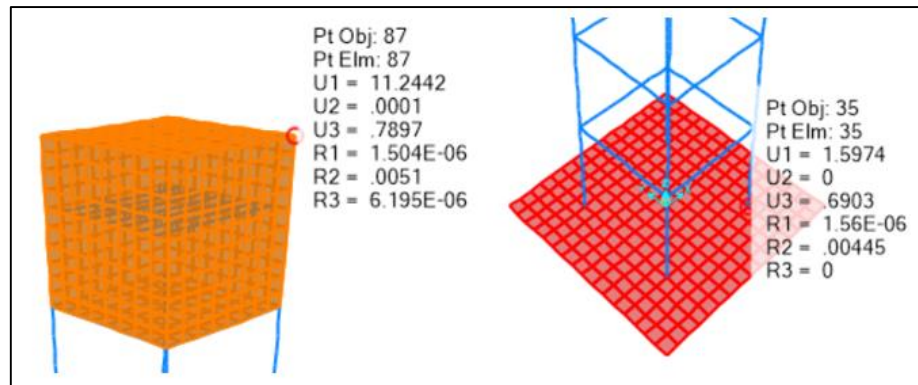


Figura 55. Desplazamiento lateral máximo - Modelo dinámico Shariya

Fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento lateral máximo, se da en el techo del reservorio, tanto para el modelo empotrado y los modelos dinámicos.

Tabla 21

Resultados de desplazamiento lateral máximo del reservorio

Desplazamiento	Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Desplazamiento lateral (cm)	2.35	7.77	4.61	19.44	9.65

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 Discusión de los resultados de la investigación

Para evaluar los resultados, se compara los resultados de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura con respecto al modelo empotrado mediante tablas comparativas. Los resultados a comparar son los periodos de vibración, cortante basal, esfuerzos y desplazamiento lateral del reservorio elevado.

A) Periodos de Vibración

Tabla 22

Variación porcentual de los periodos de vibración con respecto al modelo empotrado

Periodos de Vibración	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Convectivo (s)	0.42%	0.18%	2.80%	1.03%
Impulsivo (s)	80.69%	41.84%	246.37%	185.40%

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados en la Tabla 22, podemos apreciar lo siguiente:

- El periodo convectivo calculado con el modelo dinámico Barkan es mayor en un 0.42% con respecto al modelo empotrado, así como el periodo impulsivo también es mayor en un 80.69%.
- El periodo convectivo calculado con el modelo dinámico Norma Rusa es mayor en un 0.18% con respecto al modelo empotrado, así como el periodo impulsivo también es mayor en un 41.84%.
- El periodo convectivo calculado con el modelo dinámico Sargsian es mayor en un 2.80% con respecto al modelo empotrado, así como el periodo impulsivo también es mayor en un 246.37%.
- El periodo convectivo calculado con el modelo dinámico Shariya es mayor en un 1.03% con respecto al modelo empotrado, así como el periodo impulsivo también es mayor en un 185.40%.

De acuerdo a la evaluación de los resultados, se observa que, existe una

relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración, la cual fue, que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de los periodos de vibración, varían de forma significativa, siendo así que, con respecto al modelo empotrado, en los cuatro modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, existe una amplificación de los periodos de vibración, presentando el mayor valor, el del modelo dinámico de Sargsian, seguido por el modelo dinámico de Shariya, luego el modelo dinámico Barkan y finalmente el modelo dinámico de la Norma Rusa, este último presentando el menor valor. Por ende se acepta la hipótesis planteada donde se indica que “Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021”.

B) Cortante Basal

Tabla 23

Variación porcentual de la Cortante basal con respecto al modelo empotrado

Cortante Basal	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza cortante (Ton)	13.66%	7.57%	-22.32%	-2.92%

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados en la Tabla 23, podemos apreciar lo siguiente:

- La cortante basal calculado con el modelo dinámico Barkan es mayor en un 13.66% con respecto al modelo empotrado.
- La cortante basal calculado con el modelo dinámico Norma Rusa es mayor en un 7.57% con respecto al modelo empotrado.
- La cortante basal calculado con el modelo dinámico Sargsian es menor en un 22.32% con respecto al modelo empotrado.
- La cortante basal calculado con el modelo dinámico Shariya es menor en un 2.92% con respecto al modelo empotrado.

De acuerdo a la evaluación de los resultados, se observa que, existe una relación

significativa que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal, la cual fue, que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de la cortante basal, varían de forma significativa, siendo así que, con respecto al modelo empotrado, en el modelo dinámico de Barkan, existe un aumento de la cortante basal, y similarmente, en el modelo dinámico de la Norma Rusa, existe un aumento, pero de menor valor, en cambio en el modelo dinámico de Sargsian, existe una disminución de la cortante basal, y de la misma forma también el modelo dinámico de Shariya, existe una disminución, pero de menor valor. Por ende se acepta la hipótesis planteada donde se indica que “Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporricado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021”.

C) Esfuerzos resultantes

Tabla 24

Variación porcentual de los esfuerzos resultantes máximos en muro, losa de fondo y techo del reservorio con respecto al modelo empotrado

Esfuerzos en reservorio	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza anular en muro F11 (Ton/m)	1.64%	-1.96%	-34.02%	-29.46%
Momento flector en muro M11 (Ton-m/m)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento flector en muro M22 (Ton-m/m)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cortante en muro V23 (Ton/m)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento flector en losa de fondo M11 (Ton-m/m)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cortante en losa de fondo V23 (Ton/m)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento flector en techo M11 (Ton-m/m)	-1.08%	-1.27%	-11.39%	-9.76%
Cortante en techo V13 (Ton/m)	-1.07%	-0.98%	-1.87%	-1.87%

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados en la Tabla 24, podemos apreciar lo siguiente:

- El modelo dinámico Barkan con respecto al modelo empotrado presenta un incremento de esfuerzos por fuerza anular de 1.64%, en momentos flectores no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de momento flector de 1.08%, en fuerza cortante también no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de fuerza cortante de 1.07%.
- El modelo dinámico Norma Rusa con respecto al modelo empotrado presenta una reducción de esfuerzos por fuerza anular de 1.96%, en momentos flectores no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de momento flector de 1.27%, en fuerza cortante también no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de fuerza cortante de 0.98%.
- El modelo dinámico Sargsian con respecto al modelo empotrado presenta una reducción de esfuerzos por fuerza anular de 34.02%, en momentos flectores no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de momento flector de 11.39%, en fuerza cortante también no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de fuerza cortante de 1.87%.
- El modelo dinámico Shariya con respecto al modelo empotrado presenta una reducción de esfuerzos por fuerza anular de 29.46%, en momentos flectores no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de momento flector de 9.76%, en fuerza cortante también no hay variación en los muros y losa de fondo, en cambio para el techo hay una reducción de fuerza cortante de 1.87%.

Tabla 25

Variación porcentual de los esfuerzos resultantes máximos en columnas y vigas de la estructura de soporte con respecto al modelo empotrado

Esfuerzos en estructura de soporte	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Fuerza axial en columnas (Ton)	0.61%	-1.15%	-26.20%	-20.24%
Cortante en columnas (Ton)	3.87%	0.39%	-31.38%	-19.20%
Momento flector en columnas (Ton-m)	3.13%	-0.08%	-31.98%	-20.30%
Cortante en vigas (Ton)	0.70%	-1.61%	-32.37%	-23.91%

Momento flector en vigas (Ton-m)	0.72%	-1.67%	-33.43%	-24.69%
-------------------------------------	-------	--------	---------	---------

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados en la Tabla 25, podemos apreciar lo siguiente:

- El modelo dinámico Barkan con respecto al modelo empotrado presenta en columnas incrementos de esfuerzos por fuerza axial de 0.61%, en fuerza cortante de 3.87% y en momento flector de 3.13%, en vigas también se presenta incrementos de esfuerzos por fuerza cortante de 0.70% y en momento flector de 0.72%.
- El modelo dinámico Norma Rusa con respecto al modelo empotrado presenta esfuerzos en columnas por fuerza axial una reducción de 1.15%, en fuerza cortante un incremento de 0.39% y en momento flector una reducción de 0.08%, en vigas por fuerza cortante una reducción de 1.61% y en momento flector también una reducción de 1.67%.
- El modelo dinámico Sargsian con respecto al modelo empotrado presenta en columnas reducción de esfuerzos por fuerza axial de 26.20%, en fuerza cortante de 31.38% y en momento flector de 31.98%, en vigas también se presenta reducción de esfuerzos por fuerza cortante de 32.37% y en momento flector de 33.43%.
- El modelo dinámico Shariya con respecto al modelo empotrado presenta en columnas reducción de esfuerzos por fuerza axial de 20.24%, en fuerza cortante de 19.20% y en momento flector de 20.30%, en vigas también se presenta reducción de esfuerzos por fuerza cortante de 23.91% y en momento flector de 24.69%.

De acuerdo a la evaluación de los resultados, se observa que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes, la cual fue, que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de los esfuerzos resultantes, varían de forma significativa en la mayoría de los elementos estructurales, siendo así que, con respecto al modelo empotrado, en el modelo dinámico de Barkan, existe un incremento de los esfuerzos resultantes, en cambio en el modelo dinámico de la Norma Rusa, existe una reducción de estos

esfuerzos resultantes, similarmente, en el modelo dinámico de Sargsian, existe una reducción, pero de mayor valor, y por último, de la misma forma, en el modelo dinámico de Shariya, también existe una reducción, pero de menor valor al modelo dinámico de Sargsian y mayor al del modelo dinámico de la Norma Rusa. Por ende se acepta la hipótesis planteada donde se indica que “Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo apoticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021”.

D) Desplazamiento lateral

Tabla 26

Variación porcentual del desplazamiento lateral máximo con respecto al modelo empotrado

Desplazamiento	Barkan	Norma Rusa	Sargsian	Shariya
Desplazamiento lateral (cm)	230.63%	96.10%	727.30%	310.50%

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados mostrados en la Tabla 26, podemos apreciar lo siguiente:

- El desplazamiento lateral calculado con el modelo dinámico Barkan es mayor en un 230.63% con respecto al modelo empotrado.
- El desplazamiento lateral calculado con el modelo dinámico Norma Rusa es mayor en un 96.10% con respecto al modelo empotrado.
- El desplazamiento lateral calculado con el modelo dinámico Sargsian es mayor en un 727.30% con respecto al modelo empotrado.
- El desplazamiento lateral calculado con el modelo dinámico Shariya es mayor en un 310.50% con respecto al modelo empotrado.

De acuerdo a la evaluación de los resultados, se observa que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral del reservorio elevado, la cual fue, que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados del desplazamiento lateral, varían de forma significativa, siendo así que, con

respecto al modelo empotrado, en los cuatros modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, existe un incremento del desplazamiento lateral, presentando el mayor valor, el del modelo dinámico de Sargsian, seguido por el modelo dinámico de Shariya, luego el modelo dinámico Barkan y finalmente el modelo dinámico de la Norma Rusa, este último presentando el menor valor. Por ende se acepta la hipótesis planteada donde se indica que “Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021”.

CONCLUSIONES

- A) Se determinó que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021. Tal es así que, la relación que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración, es que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de los periodos de vibración, varían de forma significativa, siendo así que, con respecto al modelo empotrado en la base, el modelo dinámico de Barkan, presenta una amplificación de 0.42% para el periodo convectivo y de 80.69% para el periodo impulsivo. Para el caso del modelo dinámico Norma Rusa, se presenta la menor amplificación de 0.18% para el periodo convectivo y de 41.84% para el periodo impulsivo. Por otro lado, en el modelo dinámico Sargsian, se presenta la mayor amplificación de los resultados siendo de 2.80% para el periodo convectivo y de 246.37% para el periodo impulsivo. Similarmente, para el modelo dinámico de Shariya, se presenta una amplificación mayor de 1.03% para el periodo convectivo y de 185.40% para el periodo impulsivo.
- B) Se determinó que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021. Tal es así que, la relación que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal, es que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de la cortante basal, varían de forma significativa, siendo así que, con respecto al modelo empotrado en la base, el modelo dinámico de Barkan, presenta un aumento de 13.66%. Por otro lado, en el modelo dinámico Norma Rusa, se presenta un aumento pero menor, siendo este valor de 7.57%. Por el contrario, en el modelo dinámico Sargsian, se presenta una disminución de 22.32% siendo el mayor valor de los resultados. Similarmente, en el modelo dinámico de Shariya, también se presenta una disminución pero menor, siendo este valor de 2.92%.

C) Se determinó que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021. Tal es así que, la relación que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes, es que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados de los esfuerzos resultantes, varían de forma significativa en la mayoría de los elementos estructurales, siendo así que, con respecto al modelo empotrado en la base, el modelo dinámico de Barkan, presenta un incremento de 1.64% de fuerza anular en los muros, sin embargo, los momentos flectores y las fuerzas cortantes en los muros y losa de fondo no se presenta variaciones, en cambio para el techo se presenta reducciones de 1.08% de momento flector y de 1.07% de fuerza cortante, en la estructura de soporte se presenta incrementos de esfuerzos en la columnas por fuerza axial de 0.61%, por fuerza cortante de 3.87% y momento flector de 3.13%, en la vigas también se presenta incrementos pero menores siendo estos valores de 0.70% por fuerza cortante y de 0.72% por momento flector. Para el modelo dinámico Norma Rusa, se presenta una reducción de 1.96% de fuerza anular en los muros, sin embargo, los momentos flectores y las fuerzas cortantes en los muros y losa de fondo no se presenta variaciones, en cambio para el techo también se presenta reducciones de 1.27% del momento flector y de 0.98% de la fuerza cortante, en la estructura de soporte se presenta reducción de esfuerzos en la columnas por fuerza axial de 1.15%, en cambio por fuerza cortante se presenta un incremento de 0.39% y en el caso del momento flector se presenta una reducción de 0.08%, en la vigas se presenta mayores reducciones siendo estos valores 1.61% por fuerza cortante y de 1.67% por momento flector. En el modelo dinámico Sargsian se presenta una reducción de esfuerzo de 34.02% por fuerza anular en los muros, sin embargo, los momentos flectores y las fuerzas cortantes en los muros y losa de fondo no se presenta variaciones, en cambio para el techo también se presenta reducciones de 11.39% del momento flector y de 1.87% de la fuerza cortante, en la estructura de soporte se presenta reducciones de esfuerzos en la columnas por fuerza axial de 26.20%, por fuerza cortante de 31.38% y por momento

flector 31.98%, en la vigas se presenta mayores reducciones siendo estos valores de 32.37% por fuerza cortante y de 33.43% por momento flector. Por ultimo en el modelo dinámico Shariya se presenta una reducción de esfuerzo de 29.46% por fuerza anular en los muros, sin embargo, los momentos flectores y las fuerzas cortantes en los muros y losa de fondo no se presenta variaciones, en cambio para el techo también se presenta reducciones de 9.76% del momento flector y de 1.87% de la fuerza cortante, en la estructura de soporte se presenta reducciones de esfuerzos en la columnas por fuerza axial de 20.24%, por fuerza cortante de 19.20% y por momento flector 20.30%, en la vigas se obtuvo mayores reducciones siendo estos valores de 23.91% por fuerza cortante y de 24.69% por momento flector. La mayor variación de esfuerzos resultantes se produce en la estructura de soporte, conformado por columnas y vigas.

- D) Se determinó que, existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021. Tal es así que, la relación que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral, es que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, los resultados del desplazamiento lateral, varían de forma significativa, siendo así que, con respecto al modelo empotrado en la base, el modelo dinámico de Barkan, se presenta un incremento de 230.63%. Para el caso del modelo dinámico Norma Rusa, se presenta el menor incremento de 96.10%. Por otro lado, en el modelo dinámico Sargsian se presenta el mayor incremento, siendo este valor de 727.30%. Similarmente, para el modelo dinámico de Shariya, se presenta un incremento mayor, siendo este valor de 310.50%.

Por lo tanto se determinó, que existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021. Tal es así que, la relación que influye la interacción suelo-estructura en el

comportamiento estructural de la estructura, es que de acuerdo al modelo dinámico de interacción suelo-estructura aplicado en el modelamiento, el comportamiento estructural de la estructura, varía de forma significativa, esto se demuestra en los resultados del análisis estructural, siendo así que, con respecto al modelo empotrado en la base, los periodos de vibración se amplificaron en los cuatro modelos dinámicos Barkan, Norma Rusa, Sargsian y Shariya, en el caso de la cortante basal, aumento en los modelos dinámicos Barkan y Norma Rusa, pero por el contrario disminuyo en los modelos dinámicos Sargsian y Shariya, para los esfuerzos resultantes se incrementaron en la mayoría de los elementos estructurales del modelo dinámico Barkan, en cambio se redujeron en la mayoría de los elementos estructurales de los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya, y por último los desplazamientos laterales se incrementaron en los cuatro modelos dinámicos Barkan, Norma Rusa, Sargsian y Shariya.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigaciones comparando el comportamiento estructural de reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación, evaluados con diferentes tipos de suelos.
2. Se recomienda realizar investigaciones considerando diferentes volúmenes de almacenamiento y alturas variables de la estructura de soporte de reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación.
3. Se recomienda realizar investigaciones aplicando el análisis dinámico tiempo – historia, en reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación.
4. Se recomienda el uso del modelo dinámico Norma Rusa, para el caso de interacción suelo-estructura de reservorios elevados tipo aporticado sobre platea de cimentación, debido a que presenta resultados más acordes a nuestra realidad peruana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 350.3. (2006). *Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06)*. American Concrete Institute.
<http://docshare01.docshare.tips/files/30685/306853030.pdf>
- Bowles, J. (1996). *Análisis y Diseño de Fundaciones*. McGraw-Hill.
<https://www.libreriaingeniero.com/2020/09/foundation-analysis-and-design-joseph-e-bowles-5ta-edition.html>
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. <https://www.libreriaingeniero.com/2017/10/fundamentos-de-ingenieria-de-cimentaciones-braja-m-das-7ma-edicion.html>
- Coral Carrera, K. M., & Fernández Arana, S. B. (2018). *Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m³* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicada]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/10757/624599>
- Corona Carlos, G., y Avilés Lopez, J. (2004). Modelación de la Interacción Dinámica Suelo-Estructura Usando ECOgcW. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 1(1). <https://studylib.es/doc/5845210/sociedad-mexicana-de-ingenier%C3%ADa-estructural-modelaci%C3%B3n>
- Cusimayta Gonzales, M. E., y Velarde Salazar, S. O. (2019). *Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en fuerzas internas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicada]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10757/624599>
- Dixitkumar B., P. (2016). Response of Overhead Water tank staging considering Fluid-Structure-soil Interaction. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 3(4), 65-79.
https://issuu.com/editorijaerd/docs/a_review_on_overhead_water_tank_sta
- Garay Chávez, R. K. (2017). *Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en el Comportamiento Sísmico de un Edificio de 7 Niveles del Proyecto “Multifamiliar los Balcones del Valle” Barrio Columbo-Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1022>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Housner, G. (1963). The Behavior of inverted Pendulum Structures Ouring Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of the America*, 53(2), 381-387.
<https://core.ac.uk/download/pdf/33111828.pdf>
- Isidoro Coyolt, C. (2016). *Interacción Dinámica Suelo-Estructura* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional.
http://132.248.9.41:8880/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000741643
- Llaza Funes, O. (s.f.). Análisis sísmico de reservorios. *Capítulo de Ingenieros Civiles*, 1(1), 1-8. <https://issuu.com/boletincipmoquegua/docs/articulo2010001>
- Moreno Reyna, P. (2015). *Análisis sísmico de depósitos elevados y estudio sobre la interacción suelo-estructura* [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5580/fichero/Memoria+completa.pdf>
- Morlote Samperio, N., & Celiseo Santamaría, R. (2004). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
<http://cotana.informatica.edu.bo/downloads/Metodologia-de-la-investigacion-cuaderno%20de%20trabajo.pdf>
- NIST. (2012). *Soil-Structure Interaction for Building Structures*. NEHRP Consultants Joint Venture. <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr12-917-21.pdf>.
- Norma E.030. (2018). *N.T.E. E.030 Diseño Sismorresistente*. SENCICO.
<https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>.
- Norma E.060. (2009). *N.T.E. E.060 Concreto Armado*. SENCICO.
<https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>.

Rivera Feijoo, J. R. (1984). *Análisis Sísmico de Reservorios Elevados con Estructura Cilíndrica de Soporte* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1197>

Tejaswini M, y Sridhar. (2016). Comparative study on behavior of elevated water tank with soil structure interaction subjected to seismic load using SAP 2000. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(9), 145-148. <http://ijret.esatjournals.org>

Veletsos, A., y Meek, J. (1974). Dynamic behaviour of building-foundation systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3(2), 121-138. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290030203>

Villarreal Castro, G. (2017). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con plateas de cimentación*. Gráfica Norte S.R.L. <https://civilgeeks.com/2018/01/04/libro-interaccion-sismica-suelo-estructura-edificaciones-plateas-cimentacion-ph-d-genner-villarreal/>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de antecedentes internacionales.

Matriz de antecedentes internacionales

INSTITUCIÓN/ LUGAR/AÑO	TRABAJO DE INVESTIGA CIÓN	GRADO AL QUE SE ASPIRA	AUTOR	TITULO	OBJETIVO GENERAL	METODOLOGIA	CONCLUSIÓN
Universidad Nacional Autónoma de México; México, D.F., México; 2016	Tesis de maestría	Maestro en Ingeniería	Carlos Isidoro Coyolt	Interacción Dinámica Suelo- Estructura	El objetivo fue presentar la teoría de Viscoelásticidad de los suelos, describir los conceptos de dinámica estructural con el propósito de identificar la problemática de los edificios que estén no cimentados sobre una base infinitamente rígida, y mostrar el procedimiento de análisis sísmico para la elaboración de espectros de diseño sísmico cuando se considere el análisis dinámico modal y la interacción dinámica suelo-estructura.	Metodología: La metodología que empleo estuvo basada en la aplicación del método del apéndice A del RCDF-NTCDS-2004, que viene hacer normas técnicas complementarias para diseño por sismo en México, donde se presentan ecuaciones usadas en los análisis de interacción dinámica suelo-estructura.	Las conclusiones responden a que un depósito de suelo blando amplifica periodos mayores que un depósito de suelo rígido, y la interacción dinámica suelo-estructura está formada por interacción inercial e interacción cinemática.
Universidad “Nagarjuna College of Engineering and Technology”; Bangalore, Karnataka, India; 2016	Artículo científico	-	Tejaswini M.S y Sridhar.R	Comparative study on behavior of elevated water tank with soil structure interaction subjected to	El objetivo planteado fue analizar el comportamiento de depósito elevados de agua con diferente altura y forma sometido a carga sísmica y condiciones del suelo.	Metodología: La metodología estuvo basada en evaluar el comportamiento del tanque de agua elevado en condiciones diferentes como de forma del tanque; cuadrada, rectangular y	Se concluye que para los diferentes casos evaluados de los tanques de agua elevado, la estructura es más rígida en suelos duros, presentando un mayor desplazamiento lateral en suelos blandos.

				seismic load using SAP 2000		circular, en diferentes tipos de suelo y zonas sísmicas.	
Universidad de Sevilla; Sevilla, España; 2015	Tesis de pregrado	Ingeniero Industrial	Pablo Moreno Reyna	Análisis Sísmico de Depósitos Elevados y Estudio sobre la Interacción Suelo-Estructura	El objetivo principal de este proyecto es el análisis sísmico de depósitos elevados, para ello se caracterizó la estructura dinámicamente para varias excitaciones y se analizó su comportamiento.	Metodología: La metodología estuvo basada en la aplicación de los modelos propuestos por Housner y Haroun, además se evaluaron los depósitos de manera dinámica cuando se produce excitación por ondas de incidentes, y también considerando la interacción suelo-estructura.	Se concluye que en los modelos estudiados, los resultados varían de acuerdo a su tipología de estos, presentando diferente rigidez.

Anexo 02: Matriz de antecedentes nacionales.

Matriz de antecedentes nacionales

INSTITUCIÓN/ LUGAR/AÑO	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	GRADO AL QUE SE ASPIRA	AUTOR	TÍTULO	OBJETIVO GENERAL	METODOLOGIA	CONCLUSIÓN
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú; 2019	Tesis de pregrado	Título de Ingeniero Civil	Cusimayta Gonzales, Mauricio Eddy y Velarde Salazar, Sebastián Omar	Influencia de la Interacción Suelo- Estructura en fuerzas internas y deformaciones de una muestra de reservorios elevados tipo INTZE de volúmenes de 800m ³ , 1000m ³ y 1500m ³ sobre placas circulares de cimentación	Determinar la variación de fuerzas internas, desplazamientos lateral por fuerza sísmica y del periodo fundamental que se generan al aplicar la ISE en reservorios elevados tipo INTZE de tres diferentes volúmenes, cimentados en diferentes tipos de suelos y ubicados en la zona de más peligro sísmico del Perú	Tipo: Teórica. Nivel: Correlacional. Diseño: Experimental. Población: Reservorios elevados tipo INTZE de volúmenes 800m ³ , 1000m ³ y 1500m ³ ubicados en diferentes tipos de suelos en la zona de mayor peligro sísmico del Perú. Muestra: 216 reservorios elevados.	Las conclusiones responden a que en los modelos con ISE, la tendencia de los periodos se amplifica y los desplazamientos laterales se incrementan cuando el suelo es más flexible, por el contrario la cortante basal y el momento de volteo se reducen.
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú; 2018	Tesis de pregrado	Título de Ingeniero Civil	Coral Carrera, Kevin Mijail y Fernández Arana, Shelly Beatriz	Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con	Realizar el análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m ³ para el almacenamiento de agua.	Metodología: La metodología estuvo basada en efectuar un análisis estructural; sísmico estático y dinámico, además del diseño estructural de un	Las conclusiones responden a que en análisis estructural se cumplió con el 90% Cortante basal estática < Cortante basal dinámica cumpliendo de esa forma con lo establecido por la norma E 030,

				capacidad de 2000 m3		tanque elevado de gran capacidad.	además indica que en la norma E 030 no contempla el factor de reducción sísmica para este tipo de estructuras, por lo cual uso los factores de reducción de la norma ACI 350, donde estos factores son R=2 para la componente impulsiva y R=1 para la componente convectiva.
Universidad Nacional de Cajamarca; Cajamarca, Perú; 2017	Tesis de pregrado	Título de Ingeniero Civil	Rigo Kibing Garay Chávez	Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en el Comportamiento Sísmico de un Edificio de 7 Niveles del Proyecto "Multifamiliar los Balcones del Valle" Barrio Columbo-Cajamarca	Determinar la influencia que tiene la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento sísmico de una edificación, mediante los resultados de esfuerzos, periodos de vibración y desplazamientos laterales.	<p>Tipo: No experimental transversal.</p> <p>Método: Descriptivo.</p> <p>Población: La población de estudio estuvo constituido por todas las edificaciones a construirse dentro del área de influencia correspondiente al sector del barrio Columbo-distrito, provincia y departamento de Cajamarca.</p> <p>Muestra: 18 lotes.</p>	Las conclusiones responden que, los modelos donde se consideró la interacción suelo-estructura respecto al modelo empotrado, se incrementó los periodos de vibración y desplazamiento máximos, y a nivel de esfuerzos hubo una reducción.

<p>Universidad Nacional de Ingeniería; Lima, Perú; 1984</p>	<p>Tesis de maestría</p>	<p>Magister en Ciencias “Mención Estructuras”</p>	<p>Julio Rafael Rivera Feijoo</p>	<p>Análisis sísmico de reservorios elevados con estructura cilíndrica de soporte</p>	<p>El objetivo de la investigación fue simplificar el análisis hidrodinámico de los reservorios elevados</p>	<p>Metodología: Aplico una metodología simplificada para efectuar el análisis estructural.</p> <p>Población: 360 reservorios que engloba en sus características geométricas a la mayor parte de reservorios elevados de concreto armado existentes en el Perú.</p>	<p>Las conclusiones responden a que el método estático simplificado propuesto en este trabajo de investigación, da valores para fuerzas cortantes y momentos flectores, entre 4% y 17% superiores a los obtenidos mediante análisis dinámico, encontrando una buena concordancia entre ambos.</p>
---	--------------------------	---	-----------------------------------	--	--	--	---

Anexo 03: Matriz de consistencia.

Matriz de Consistencia de la Tesis

Título: Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Interacción suelo-estructura</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad del suelo de fundación. - Características de la estructura. - Modelo dinámico de interacción suelo-estructura. - Modelamiento estructural. 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Correlacional</p> <p>Diseño: Experimental</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali,</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los periodos de vibración de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo,</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Comportamiento estructural de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Periodos de vibración 	<p>Población:</p> <p>11 reservorios elevados proyectados tipo aporticado sobre platea de cimentación, ubicados en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.</p>

<p>Ucayali, 2021?</p> <p>¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?</p> <p>¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?</p> <p>¿Cuál es la relación que influye la Interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021?</p>	<p>2021.</p> <p>Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p> <p>Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p> <p>Determinar la relación que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p>	<p>departamento Ucayali, 2021.</p> <p>Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en la cortante basal de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p> <p>Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en los esfuerzos resultantes de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p> <p>Existe una relación significativa que influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento lateral de un reservorio elevado tipo aporticado sobre platea de cimentación en los centros poblados, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali, 2021.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cortante basal - Esfuerzos - Desplazamiento lateral 	<p>Muestra:</p> <p>La muestra será un reservorio elevado proyectado de 25 m3 tipo aporticado sobre platea de cimentación, que es el más representativo y de considerable capacidad de almacenamiento para poblaciones en zonas rurales, ubicado en el centro poblado de Sharara, del distrito de Iparía, de la provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.</p>
--	---	--	---	--

Anexo 04: Configuración estructural del reservorio elevado de 25 m3

Configuración estructural del reservorio elevado de 25 m³

La configuración estructural del reservorio elevado proyectado de 25 m³, que representa la muestra en esta investigación, está conformado por el tanque contenedor (muros, techo y losa de fondo), la estructura de soporte (vigas y columnas) y la cimentación (platea de cimentación).

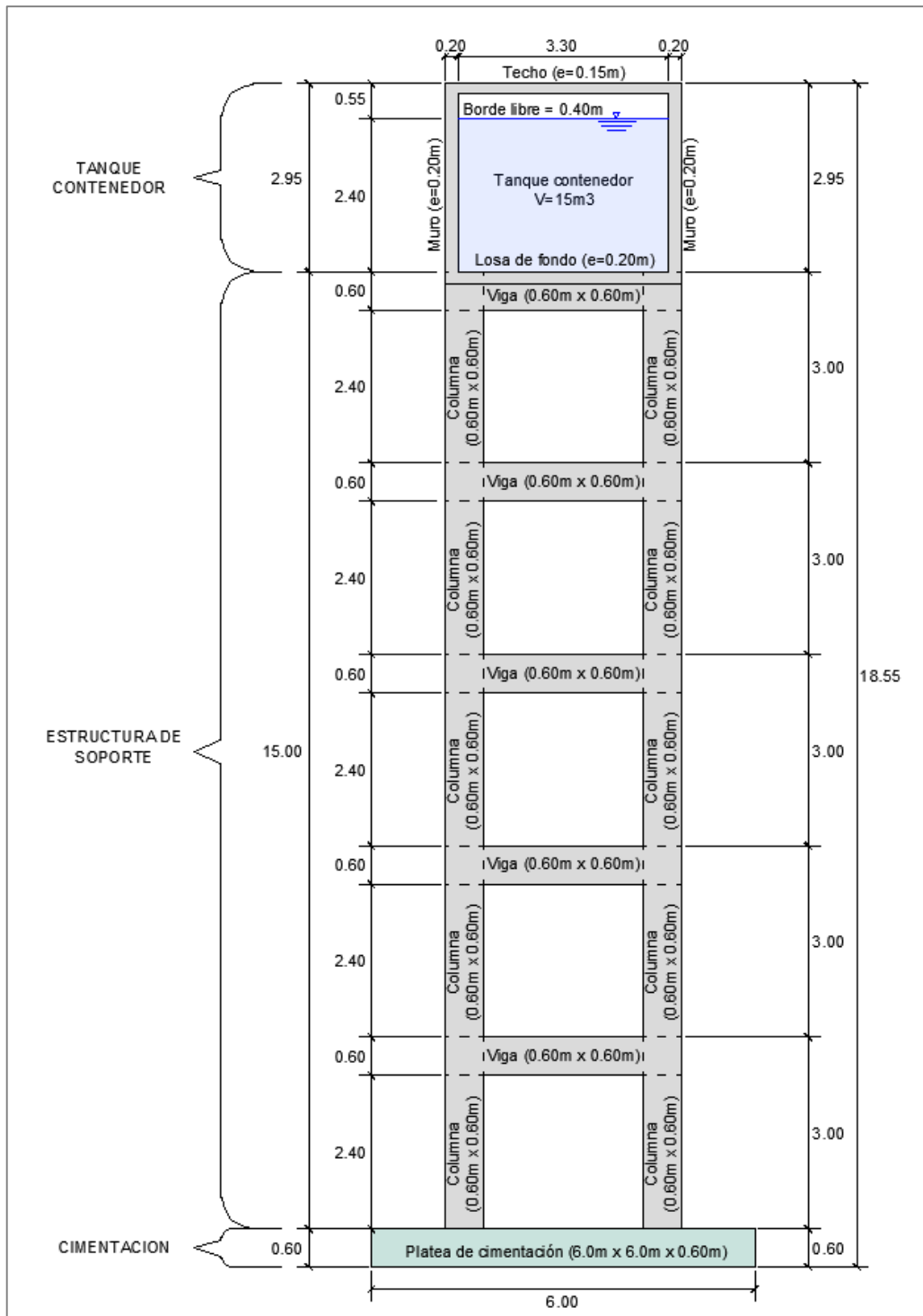


Figura 56. Vista en elevación de la configuración estructural del reservorio elevado 25m³

Fuente: Elaboración propia.

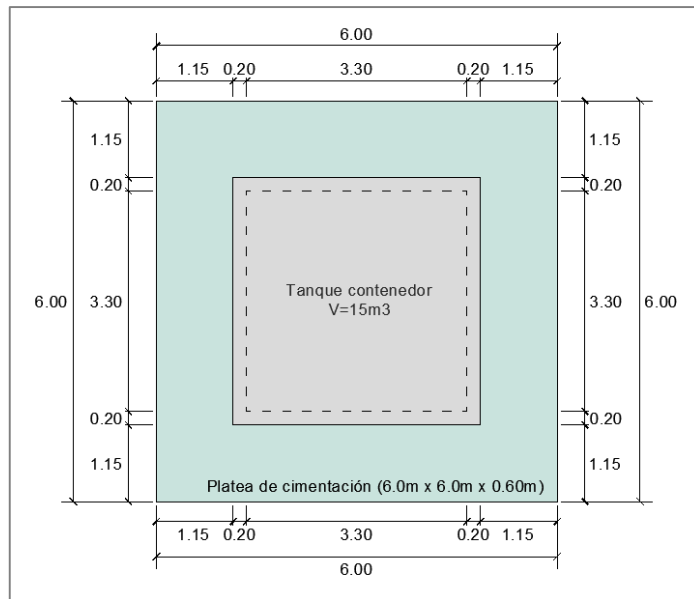


Figura 57. Vista en planta de la configuración estructural del reservorio elevado de 25m³

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 05: Cálculo de las características hidrodinámicas.

Cálculo de las características hidrodinámicas.

Para el análisis estructural del reservorio elevado de 25m³, se requiere calcular las características hidrodinámicas, previamente se indican las dimensiones del tanque contenedor y peso específico del agua, que servirán para proceder con el cálculo.

- **Dimensiones del tanque contenedor**

Lado del tanque:	$L = 3.30 \text{ m}$
Altura de agua:	$H_L = 2.40 \text{ m}$
Borde libre:	$B_L = 0.40 \text{ m}$
Altura de muro:	$H_W = 2.80 \text{ m}$

- **Peso específico del agua**

$$\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3$$

- **Cálculos de las características hidrodinámicas**

Cálculo del peso del agua

Peso del agua en el tanque

$$W_L = L \cdot L \cdot H_L \cdot \gamma_a$$

$$W_L = 26.14 \text{ Tn}$$

Masa del agua en el tanque

$$m_1 = \frac{W_L}{\text{gravedad}}$$

$$m_1 = 2.66 \text{ Tn. s}^2/\text{m}$$

Cálculo de coeficiente de masa efectiva

$$\varepsilon = \left[0.0151 \left(\frac{L}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{L}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0$$

$$\varepsilon = 0.79$$

Cálculo peso impulsivo y convectivo

Cálculo del peso de la componente Impulsiva

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

$$W_i = 18.24 \text{ Tn}$$

Masa impulsiva

$$m_i = \frac{W_i}{\text{gravedad}}$$

$$m_i = 1.86 \text{ Tn. s}^2/\text{m}$$

Cálculo del peso de la componente Convectiva

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

$$W_c = 9.30 \text{ Tn}$$

Masa convectiva

$$m_c = \frac{W_c}{\text{gravedad}}$$

$$m_c = 0.95 \text{ Tn. s}^2/\text{m}$$

Cálculo de la altura impulsiva y convectiva

Caso incluyendo la presión en la base (IBP):

- La altura Impulsiva se define por:

$$\frac{L}{H_L} < 0.75 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = 0.45$$

$$\frac{L}{H_L} \geq 0.75 \rightarrow \frac{h_i}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}{2. \tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]} - \frac{1}{8}$$

Como:

$$\frac{L}{H_L} = 1.38$$

Entonces:

$$\frac{h_i}{H_L} = 0.59$$

$$h_i = 0.81 \text{ m}$$

- La altura convectiva se define por:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right] - 2.01}{3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \cdot \sinh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

$$\frac{h_c}{H_L} = 0.73$$

$$h_c = 1.76 \text{ m}$$

Cálculo del periodo y frecuencia de la componente impulsiva y convectiva

Ejecutando un análisis modal en el programa SAP 2000, se obtuvo los periodos de vibración para la componente impulsiva y convectiva.

$$\text{Periodo convectivo:} \quad T_c = 2.08 \text{ s}$$

$$\text{Periodo impulsivo:} \quad T_i = 0.33 \text{ s}$$

Frecuencia de la componente impulsiva se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$$

Por lo tanto:

$$\omega_i = 18.92 \text{ rad/s}$$

Frecuencia de la componente convectiva se calcula de la siguiente manera:

$$\omega_c = \frac{\lambda}{\sqrt{L}}$$

$$\lambda = \sqrt{3.16 \cdot g \cdot \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]}$$

$$\lambda = 5.51$$

Por lo tanto:

$$\omega_c = 3.03 \text{ rad/s}$$

Cálculo de la constante de resorte de la masa convectiva

Rigidez del resorte de la masa convectiva se calcula con la siguiente expresión:

$$k_c = 0.833 \left(\frac{W_L}{H_L} \right) \cdot \left[\tanh \left(3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right) \right]^2$$

Por lo tanto:

$$k_c = 8.71 \text{ Tn/m}$$

Anexo 06: Cálculo del espectro de diseño.

Cálculo del espectro de diseño

Para el análisis sísmico dinámico espectral del reservorio elevado de 25 m³, se requiere calcular el espectro de diseño, para lo cual previamente se debe determinar los parámetros sísmicos, que dependen de la ubicación de la muestra y tipo de suelo de estudio.

- **Ubicación de la muestra**

El reservorio elevado de 25m³, se encuentra ubicada en el centro poblado de Sharara, distrito de Iparía, provincia Coronel Portillo, departamento Ucayali.

De acuerdo a su ubicación, pertenece a la Zona Sísmica 2 (según norma E0.30 - 2018 del Reglamento Nacional de Edificaciones).

- **Tipo de suelo del estudio**

Tipo de suelo, arcilla de baja plasticidad (CL), de acuerdo a los ensayos de laboratorio (ver anexo 09).

De acuerdo a la clasificación por tipos de perfiles de suelos de la norma E0.30 – 2018, el suelo del estudio pertenece a un suelo perfil tipo S3 (suelo blando).

- **Parámetros sísmicos**

Factor de Zona	$Z = 0.25$
Factor de Uso	$U = 1.5$
Factor de Suelo	$S = 1.4$
Período que define la plataforma del factor C.	$T_P = 1.00$
Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.	$T_L = 1.60$
Factor de Reducción para masa impulsiva	$R_{mi} = 2$
Factor de Reducción para masa convectiva	$R_{mc} = 1$

- **Cálculo del espectro de diseño**

Para determinar el espectro de diseño usaremos las siguientes expresiones de la norma E.030-2018:

$$T < T_P \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5x \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5x \left(\frac{T_p \times T_L}{T^2} \right)$$

Además se utilizara la expresión de aceleración espectral de la norma E.030-2018:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g$$

De acuerdo a la norma ACI 350.3 (2006) nos menciona que la estructura presenta el modo impulsivo hasta un periodo de 2.4 segundos posterior a eso se muestra el periodo convectivo. Por lo tanto de esta afirmación se obtiene la siguiente interpretación:

Timplulsivo \leq 2.4seg. Entonces: R = Rmi

2.4seg. < Tconvectivo Entonces: R = Rmc

Se procedió a calcular el espectro de diseño para el reservorio elevado de 25 m³, mostrada en la Figura 58.

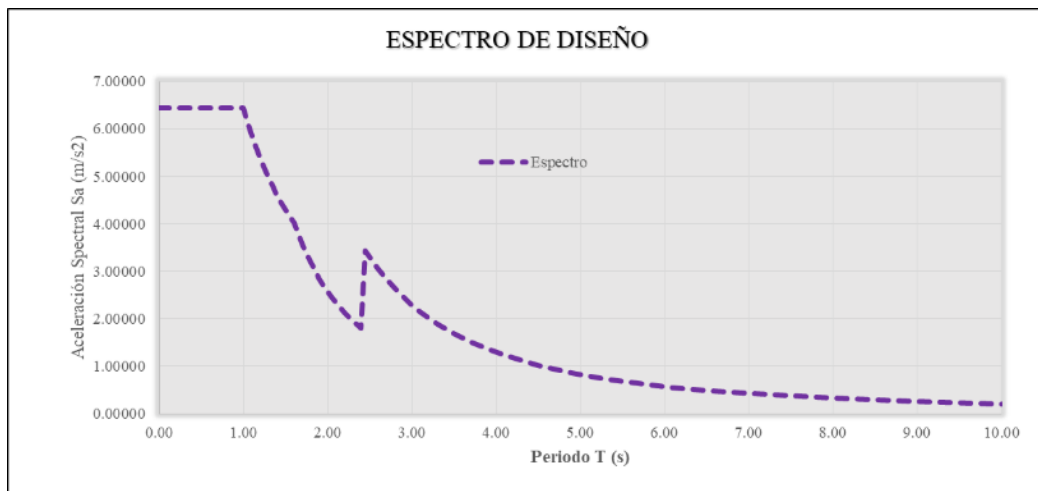


Figura 58. Espectro de diseño para el reservorio de 25 m³

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 07: Cálculo de coeficientes de rigidez y amortiguamiento con los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura.

Cálculo de coeficientes de rigidez y amortiguamiento con los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura.

Para el análisis estructural de los modelos del reservorio elevado de 25 m³, donde se está considerando la interacción suelo-estructura, se requiere calcular los coeficientes de rigidez y amortiguamiento, para lo cual serán determinados por los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura. Previamente se determina las características del reservorio elevado de 25 m³ y las características del suelo de fundación, para luego efectuar el metrado de cargas y calcular las masas de la platea de cimentación que servirán para el cálculo de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento, y también servirán para el modelamiento de la estructura.

- **Características del reservorio elevado de 25 m³**

Se describe las características del concreto, pesos unitarios y dimensiones del reservorio elevado de 25 m³.

Características del concreto

Para muros, losa de fondo y platea de cimentación:

Resistencia del concreto: $f'c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 250998.01 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de poisson del concreto: $\mu_c = 0.20$

Para techo, vigas y columnas.

Resistencia del concreto: $f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de poisson del concreto: $\mu_c = 0.20$

Pesos unitarios

Peso específico del agua: $\gamma_a = 1000.00 \text{ kg/m}^3$

Peso específico del concreto: $\gamma_c = 2400.00 \text{ kg/m}^3$

Carga viva en techo del tanque: $W_{S/C} = 100.00 \text{ kg/cm}^2$

Dimensiones

Tanque contenedor

Lados del tanque:	3.30 m
Altura de agua:	2.40 m
Borde libre:	0.40 m
Altura de muro:	2.80 m
Espesor de muro:	0.20 m
Espesor de losa de fondo:	0.20 m
Espesor de techo:	0.15 m

Estructura de soporte

Ancho de columnas:	0.60 m
Altura de columnas:	0.60 m
Ancho de vigas:	0.60 m
Altura de vigas:	0.60 m

Cimentación

Lados de platea de cimentación:	6.00 m
Altura de platea de cimentación:	0.60 m

- **Características del suelo de fundación**

De acuerdo a los ensayos de laboratorio (ver anexo 09) se describe las características del suelo de fundación:

Tipo de suelo:	Arcilla de baja plasticidad (CL)
Densidad del suelo:	$\rho_s = 1.75 \text{ gr/cm}^3 = 0.18 \text{ Tn. s}^2/\text{m}^4$
Módulo de elasticidad del suelo:	$E_s = 15 \text{ MPa} = 1529.57 \text{ Tn/m}^2$
Coefficiente de poisson del suelo:	$\mu_s = 0.20$
Densidad seca del suelo:	$\rho_{\text{seco}} = 1.35 \text{ gr/cm}^3$
Angulo de fricción interna del suelo:	$\phi = 22.9^\circ$
Cohesión del suelo:	$c = 0.06 \text{ kg/cm}^2$
Capacidad admisible del suelo:	$q_{\text{adm}} = 0.62 \text{ kg/cm}^2$

El módulo de elasticidad (Es) y coeficiente de poisson (μ s) del suelo, se determinaron a partir del tipo de suelo, siendo el módulo de elasticidad de 15 MPa correspondiente al rango promedio de Arcilla Blanda de acuerdo a la Tabla 27, y el coeficiente de poisson de 0.20 correspondiente al rango promedio de Arcilla No Saturada de acuerdo a la Tabla 28.

Tabla 27
Rango de valores del módulo de elasticidad

SUELO	Es (MPa)
Arcilla	
Arcilla muy Blanda	2 - 15
Blanda	5 - 25
Media	15 - 50
Dura	50 - 100
Arcilla Arenosa	25 - 250
Suelos Glaciales	
Suelto	10 - 150
Denso	150 - 720
Muy Denso	500 - 1440
Loess	15 - 60
Arena	
Arena Limosa	5 - 20
Arena Suelta	10 - 25
Arena Densa	50 - 81
Grava Arenosa	
Grava Arenosa Densa	50 - 150
Grava Arenosa Suelta	100 - 200
Arcilla Esquisita	150 - 5000
Limos	2 - 20

Fuente: Bowles (1996).

Tabla 28
Rango de valores del módulo de elasticidad

TIPO DE SUELO	μ
Arcilla Saturada	0.4 - 0.5
No Saturada	0.1 - 0.3
Arenosa	0.2 - 0.3
Limos	0.3 - 0.35
Arena, Grava Arenosa de Uso Común	- 0.1 - 1.00 0.3 - 0.4
Roca	0.1 - 0.4 (depende un poco del tipo de roca)
Loess	0.1 - 0.3
Hielo	0.36
Concreto	0.15
Acero	0.33

Fuente: Bowles (1996).

La capacidad admisible se obtuvo por el método de Terzagui (Braja M., 2012):

$$q_u = \frac{2}{3}cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma \text{ (capacidad ultima del suelo)}$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.} \text{ (capacidad portante del suelo)}$$

- Factores de capacidad de carga modificados, en función del ángulo de fricción interna del suelo (Braja M., 2012):

$$N'_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) e^{\pi \tan \phi'}$$

$$N'_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N'_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi'$$

Donde:

Factor de seguridad:	F. S. = 3.0
Cohesión del suelo:	c = 0.060 kg/cm ²
Angulo de fricción interna del suelo:	$\phi = 22.9^\circ$
Angulo de Fricción Interna local:	$\phi' = 15.73^\circ$
Densidad seca del suelo:	$\gamma = 1.35 \text{ gr/cm}^3$
Profundidad de cimentación:	Df = 2.50 m
Menor ancho de cimiento:	B = 2.00 m

Entonces:

$$N'_q = 4.22$$

$$N'_c = 11.45$$

$$N'_\gamma = 2.94$$

$$q_u = 1.869 \text{ kg/cm}^2 = 18.69 \text{ Tn/m}^2$$

$$q_{adm} = 0.623 \text{ kg/cm}^2 = 6.23 \text{ Tn/m}^2$$

- **Metrado de cargas**

Se efectuó el metrado de cargas del peso propio de la estructura (CM), peso del líquido (CL) y la sobrecarga (CV).

Peso propio de la estructura (CM)

Peso del tanque contenedor:	26.74 Tn
Peso del quinto nivel:	16.93 Tn
Peso del cuarto nivel:	16.93 Tn
Peso del tercer nivel:	16.93 Tn
Peso del segundo nivel:	16.93 Tn
Peso del primer nivel:	16.93 Tn
Peso de la platea de cimentación:	51.84 Tn
Peso total propio de la estructura:	163.26 Tn

Líquidos (CL)

Peso del agua en el tanque:	26.14 Tn
-----------------------------	----------

Sobrecargas (CV)

Losa de techo:	1.37 Tn
----------------	---------

- **Cálculo de Masas de la Platea**

Para el cálculo de las masas traslacionales y masas rotacionales, se tomara como referencia las dimensiones de la Figura 3.

- Masas traslacionales

$$M_t = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{platea}}{gravedad} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \gamma c}{gravedad}$$

$$M_t = M_x = M_y = M_z = 5.284 \text{ Tn. s}^2/\text{m}$$

- Masas rotacionales

$$M_{\phi x'} = M_t \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t \cdot (b^2 + c^2)}{12} = 16.487 \text{ Tn. s}^2 \cdot \text{m}$$

$$M_{\phi y'} = M_t \cdot \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{M_t \cdot (a^2 + c^2)}{12} = 16.487 \text{ Tn. s}^2 \cdot \text{m}$$

$$M_{\psi z'} = \frac{M_t \cdot (a^2 + b^2)}{12} = 31.706 \text{ Tn.s2.m}$$

En la Tabla 29 se muestran las masas de la platea.

Tabla 29

Resumen de las características de las masas de la platea

M_x (Tn.s2/m)	M_y (Tn.s2/m)	M_z (Tn.s2/m)	M_{φx'} (Tn.s2.m)	M_{φy'} (Tn.s2.m)	M_{ψz'} (Tn.s2.m)
5.284	5.284	5.284	16.487	16.487	31.706

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de coeficientes de rigidez y características de amortiguamiento**

Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

Cálculo de los coeficientes de rigidez K_x, K_y, K_z, K_{φx}, K_{φy}.

- Cálculo de la presión estática del suelo "ρ" para la platea de cimentación:

$$\rho = \frac{P_{\text{estructura}} + P_{\text{agua}} + P_{\text{sobrecarga}}}{A_{\text{platea}}}$$

$$\rho = 0.530 \text{ kg/cm}^2$$

- Cálculo de coeficiente D₀:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} \cdot C_0$$

De la Tabla 1, asumimos C₀ = 0,8kg/cm³ (Arcilla).

Entonces:

$$D_0 = 0.711 \text{ kg/cm}^3$$

- Cálculo de los coeficientes C_x, C_z, C_{φx}, C_{φy}:

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 1.929 \text{ kg/cm}^3 = 1929 \text{ Tn/m}^3$$

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 2.170 \text{ kg/cm}^3 = 2170 \text{ Tn/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = C_0 \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 3.038 \text{ kg/cm}^3 = 3038 \text{ Tn/m}^3$$

$$C_{\varphi y} = C_0 \left[1 + \frac{2(b+3a)}{\Delta \cdot A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 3.038 \text{ kg/cm}^3 = 3038 \text{ Tn/m}^3$$

Ahora determinamos los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, definidos por las siguientes expresiones:

$$K_x = K_y = C_x A = 69449.28 \text{ Tn/m}$$

$$K_z = C_z A = 78130.43 \text{ Tn/m}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x = 328147.83 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y = 328147.83 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

Modelo dinámico Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\psi z}$, previamente se determinaran los siguientes coeficientes:

- Cálculo de coeficiente de compresión elástica uniforme:

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) = 3504 \text{ Tn/m}^3$$

- Cálculo de coeficiente de desplazamiento elástico uniforme:

$$- C_x = 0.7 C_z = 2453 \text{ Tn/m}^3$$

- Cálculo de los coeficientes de desplazamiento elástico no uniforme:

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 C_z = 7007 \text{ Tn/m}^3$$

$$C_{\psi z} = C_z = 3504 \text{ Tn/m}^3$$

Ahora determinamos los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\psi z}$, definidos por las siguientes expresiones:

$$K_x = K_y = C_x \cdot A = 88290.17 \text{ Tn/m}$$

$$K_z = C_z \cdot A = 126128.82 \text{ Tn/m}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} \cdot I_x = 756772.91 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} \cdot I_y = 756772.91 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

$$K_{\psi z} = C_{\psi z} \cdot I_z = 756772.91 \text{ Tn} \cdot \text{m}$$

Para el cálculo de las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\varphi x}$, $B_{\varphi y}$, $B_{\psi z}$, previamente se determinaran las siguientes características de amortiguamiento:

- Cálculo de las características de la amortiguación relativa para las vibraciones verticales β_z , definido por:

$$\beta_z = 2 \cdot \sqrt{\frac{E}{C_z \rho_m}} = 0.530$$

Siendo:

$$\rho_m = \gamma \cdot t_s \cdot R = 0.623 \text{ kg/cm}^2 = 6.23 \text{ Tn/m}^2$$

- Cálculo de las características de las amortiguaciones relativas para las vibraciones horizontales definido por:

$$\beta_x = 0.6\beta_z = 0.318$$

- Cálculo de las características de las amortiguaciones relativas para las vibraciones rotacionales, definidos por:

$$\beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0.6\beta_z = 0.318$$

$$\beta_{\psi z} = 0.3\beta_z = 0.159$$

Ahora determinamos las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\varphi x}$, $B_{\varphi y}$, $B_{\psi z}$, definidos por las siguientes expresiones:

$$B_x = B_y = 2\beta_x \sqrt{K_x M_x} = 434.02 \text{ Tn} \cdot \text{s/m}$$

$$B_z = 2\beta_z \sqrt{K_z M_z} = 864.58 \text{ Tn} \cdot \text{s/m}$$

$$B_{\varphi x} = 2\beta_{\varphi x} \sqrt{K_{\varphi x} M_{\varphi x'}} = 2244.45 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\varphi y} = 2\beta_{\varphi y} \sqrt{K_{\varphi y} M_{\varphi y'}} = 2244.45 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\psi z} = 2\beta_{\psi z} \sqrt{K_{\psi z} M_{\psi z'}} = 1556.24 \text{ Tn. s. m}$$

Modelo Dinámico A.E. Sargsian

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\psi z}$, previamente determinamos las velocidades de las ondas longitudinal y transversal:

- Cálculo de las velocidades de propagación de las ondas longitudinal y transversal:

$$C_1 = \sqrt{\frac{(1 - \mu)E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)\rho}} = 97.61 \text{ m/s}$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{E}{2(1 + \mu)\rho}} = 59.77 \text{ m/s}$$

Ahora determinamos los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\psi z}$, definidos por las siguientes expresiones:

$$K_x = K_y = \frac{28.8\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(7 - 8\mu)} \cdot \sqrt{A} = 11506.21 \text{ Tn/m}$$

$$K_z = \frac{4\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1 - \mu)} \cdot \sqrt{A} = 10787.07 \text{ Tn/m}$$

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1 - \mu)} \cdot \frac{I_x}{\sqrt{A}} = 68929.37 \text{ Tn. m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1 - \mu)} \cdot \frac{I_y}{\sqrt{A}} = 68929.37 \text{ Tn. m}$$

$$K_{\psi z} = \frac{4\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1 - \mu)} \cdot \frac{I_z}{\sqrt{A}} = 64722.41 \text{ Tn. m}$$

El cálculo de las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\phi x}$, $B_{\phi y}$, $B_{\psi z}$, están definidos por las siguientes expresiones:

$$B_x = B_y = \frac{18.24(1 - \mu)\rho C_2}{\pi(7 - 8\mu)} \cdot A = 330.17 \text{ Tn. s/m}$$

$$B_z = \frac{3.4\sqrt{1 - 2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1 - \mu)\sqrt{2(1 - \mu)}} \cdot A = 494.85 \text{ Tn. s/m}$$

$$B_{\phi x} = \frac{1.6\sqrt{1 - 2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1 - \mu)\sqrt{2(1 - \mu)}} \cdot I_x = 733.11 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\phi y} = \frac{1.6\sqrt{1 - 2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1 - \mu)\sqrt{2(1 - \mu)}} \cdot I_y = 733.11 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\psi z} = \frac{3.4\sqrt{1 - 2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1 - \mu)\sqrt{2(1 - \mu)}} \cdot I_z = 1466.21 \text{ Tn. s. m}$$

Modelo Dinámico N.G. Shariya

Para el cálculo de los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$, $K_{\psi z}$, previamente de la Tabla 2 determinamos los valores de λ y χ en función de la relación de lados, en este caso se tiene lados iguales, entonces la relación de lados es igual 1.

Por lo tanto:

$$\lambda = 0.88$$

$$\chi = 0.35$$

Ahora determinamos los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$, $K_{\psi z}$, definidos por las siguientes expresiones:

$$K_x = K_y = \frac{\rho C_2^2}{\lambda(1 - \mu^2)} \cdot \sqrt{A} = 4526.42 \text{ Tn/m}$$

$$K_z = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\lambda(1 - \mu)^2} \cdot \sqrt{A} = 10863.40 \text{ Tn/m}$$

$$K_{\phi x} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_x}{\sqrt{A}} = 81941.06 \text{ Tn. m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_y}{\sqrt{A}} = 81941.06 \text{ Tn. m}$$

$$K_{\psi z} = \frac{(1 - 2\mu)\rho C_1^2}{\chi(1 - \mu)^2} \cdot \frac{I_z}{\sqrt{A}} = 163882.13 \text{ Tn. m}$$

El cálculo de las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\varphi x}$, $B_{\varphi y}$, $B_{\psi z}$, están definidos por las siguientes expresiones:

$$B_x = B_y = \rho C_2 A = 383.85 \text{ Tn. s/m}$$

$$B_z = \rho C_1 A = 626.83 \text{ Tn. s/m}$$

$$B_{\varphi x} = \rho C_1 I_x = 1880.49 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\varphi y} = \rho C_1 I_y = 1880.49 \text{ Tn. s. m}$$

$$B_{\psi z} = \rho C_1 I_z = 3760.98 \text{ Tn. s. m}$$

En la Tabla 30 se muestran los coeficientes de rigidez y en la Tabla 31 las características de amortiguamiento, para los modelos dinámicos.

Tabla 30

Resumen de los coeficiente de rigidez para los modelos dinámicos

Modelo dinámico	Kx (Tn/m)	Ky (Tn/m)	Kz (Tn/m)	Kφx (Tn.m)	Kφy (Tn.m)	Kψz (Tn.m)
Barkan	69449.28	69449.28	78130.43	328147.83	328147.83	-
Norma Rusa	88290.17	88290.17	126128.82	756772.91	756772.91	756772.91
Sargsian	11506.21	11506.21	10787.07	68929.37	68929.37	64722.41
Shariya	4526.42	4526.42	10863.40	81941.06	81941.06	163882.13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Resumen de las características de amortiguamiento para los modelos dinámicos

Modelo dinámico	Bx (Tn.s/m)	By (Tn.s/m)	Bz (Tn.s/m)	Bφx (Tn.s.m)	Bφy (Tn.s.m)	Bψz (Tn.s.m)
Norma Rusa	434.02	434.02	864.58	2244.45	2244.45	1556.24
Sargsian	330.17	330.17	494.85	733.11	733.11	1466.21
Shariya	383.85	383.85	626.83	1880.49	1880.49	3760.98

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 08: Procedimiento de modelamiento en programa SAP 2000.

Procedimiento de modelamiento en programa SAP 2000

Modelamiento Geométrico

Creamos un nuevo modelo a partir de la plantilla New Model, seleccionamos la opción Grid Only.

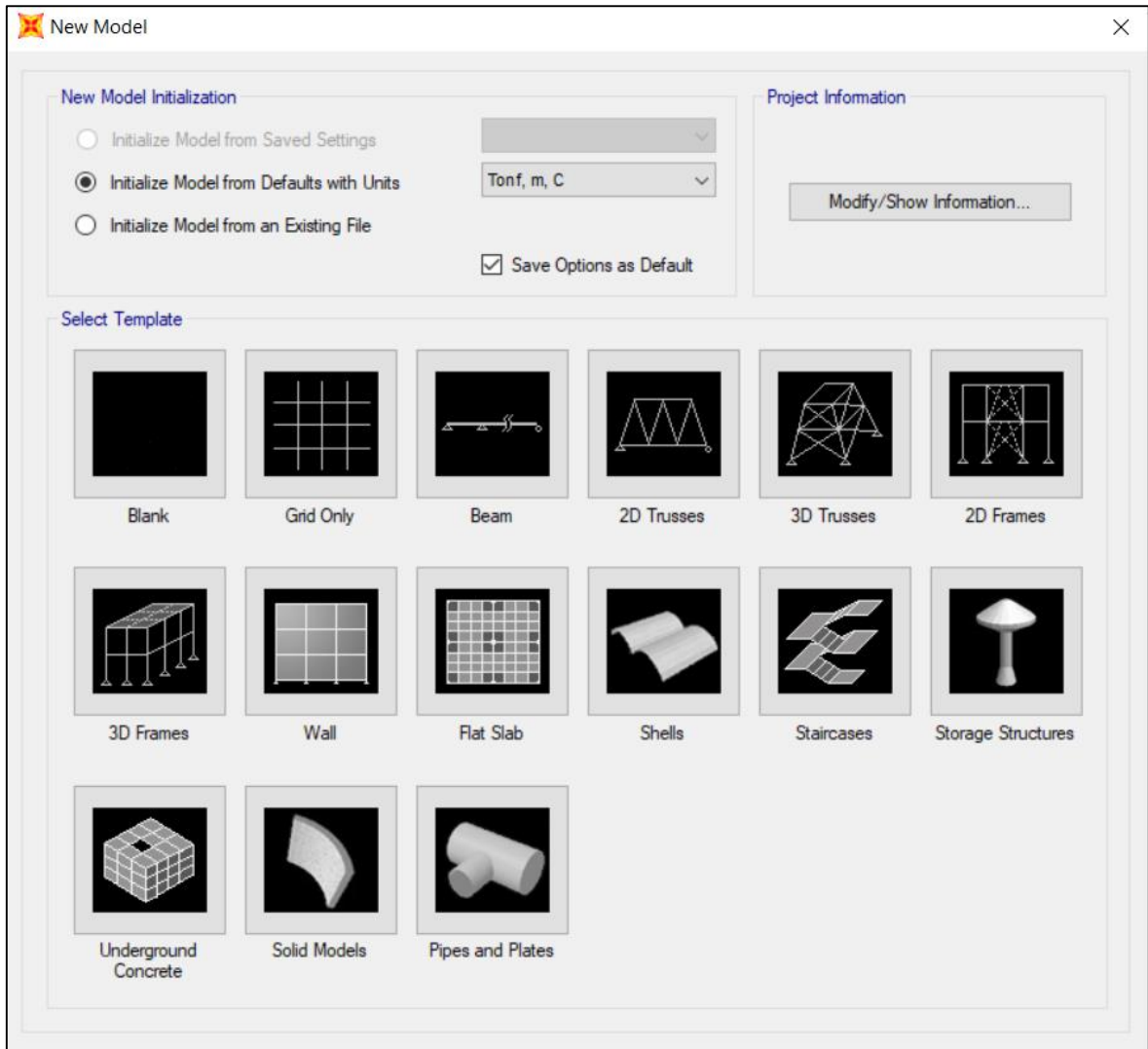


Figura 59. Creación de nuevo modelo

Fuente: Programa SAP 2000.

En la ventana Quick Grid Lines, se muestra la información para la creación de la cuadrícula del modelo.

Quick Grid Lines

Cartesian Cylindrical

Coordinate System Name
GLOBAL

Number of Grid Lines

X direction 4

Y direction 4

Z direction 6

Grid Spacing

X direction 2

Y direction 2

Z direction 3

First Grid Line Location

X direction 0.

Y direction 0.

Z direction 0.

OK Cancel

Figura 60. Información de la cuadrícula

Fuente: Programa SAP 2000.

En la ventana Define Grid System Data, ingresamos la información de las ordenadas para las separaciones de los ejes del modelo.

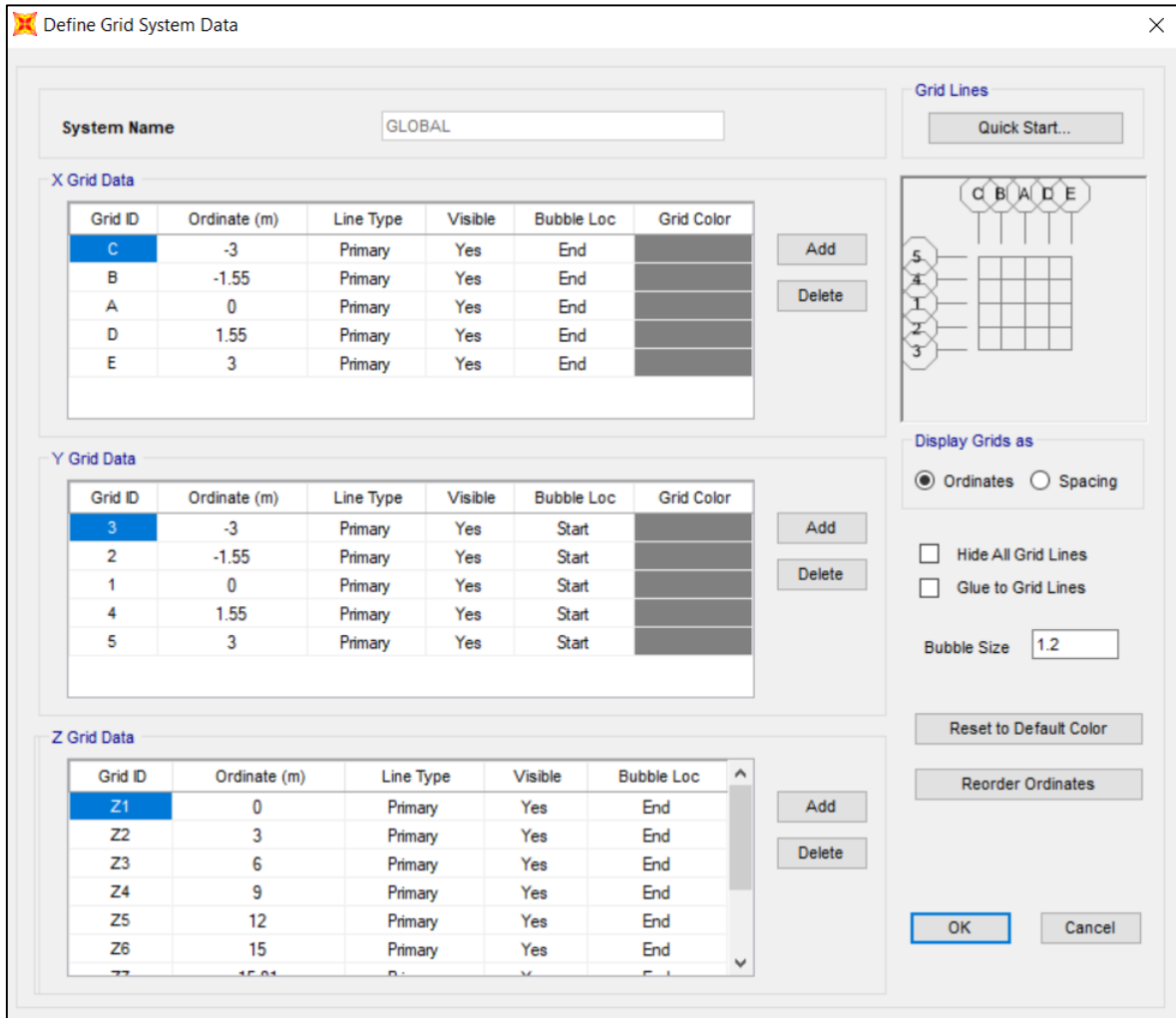


Figura 61. Información de las ordenadas en las cuadrículas de los tres ejes

Fuente: Programa SAP 2000.

Definimos los materiales con Define / Materials. Creamos material para el concreto de 210 kg/cm² y el concreto de 280 kg/cm².

Para los modelos matemáticos del reservorio elevado, donde consideramos la interacción suelo-estructura, la platea de cimentación se consideró como un elemento infinitamente rígido. Villareal Castro (2017) recomienda que la platea se debe modelar con un módulo de elasticidad igual a $9.10E+08$ Tn/m², un coeficiente de Poisson igual 0.05 y coeficiente de expansión térmica igual $1.17E-05/°C$ para que sea absolutamente rígida, por lo tanto se creó un material rígido con estas características.

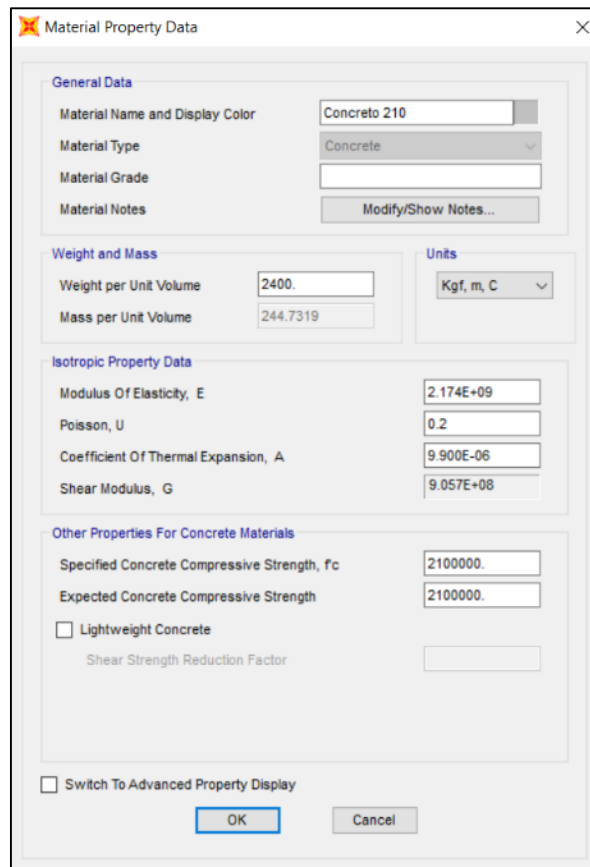


Figura 62. Creación del material concreto 210 kg/cm²

Fuente: Programa SAP 2000.



Figura 63. Creación del material concreto 280 kg/cm²

Fuente: Programa SAP 2000.

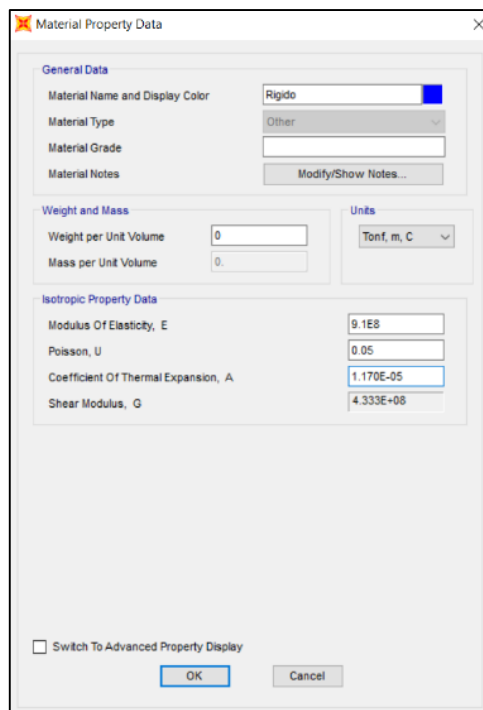


Figura 64. Creación del material rígido

Fuente: Programa SAP 2000.

Definimos los elementos frame que representan las vigas y columnas para el modelo, en Define / Section Properties / Frame Properties / Add New Property.

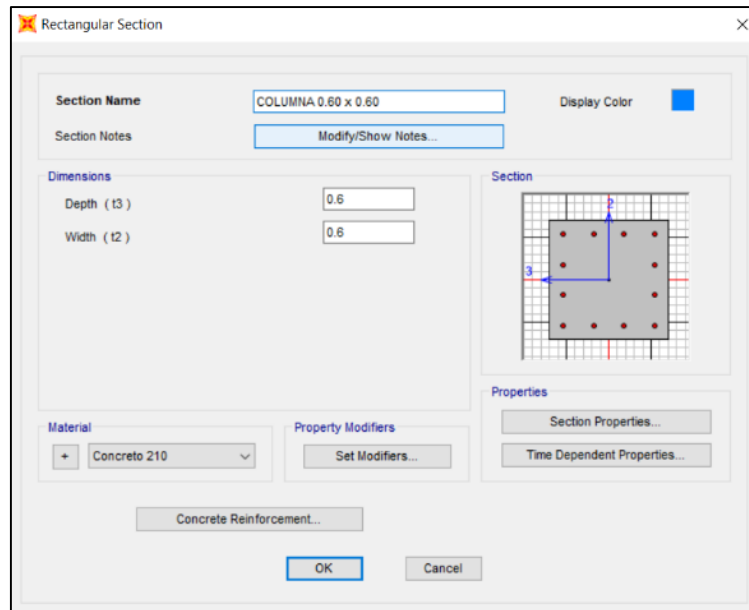


Figura 65. Creación de columna de 0.60 m x 0.60 m

Fuente: Programa SAP 2000.

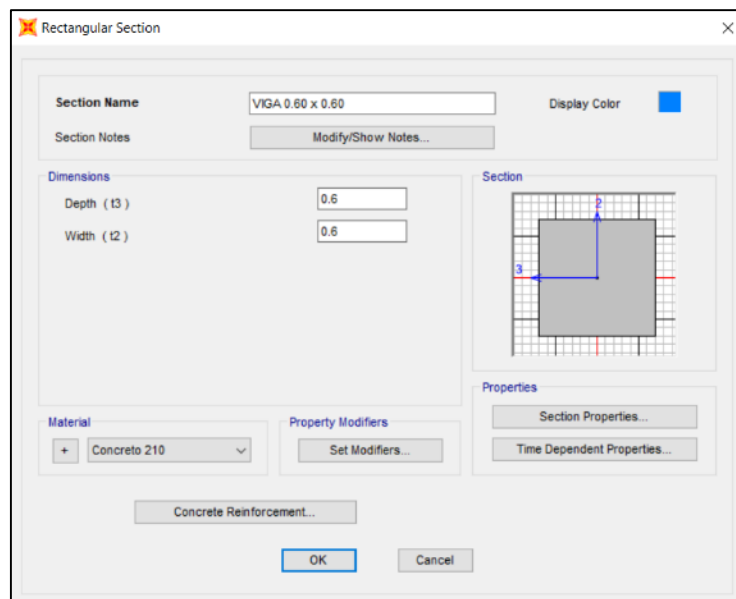


Figura 66. Creación de viga de 0.60 m x 0.60 m

Fuente: Programa SAP 2000.

Ahora definimos los elementos área que representan los muros, losa de fondo, techo y platea de cimentación para el modelo, en Define / Section Properties / Area Sections / Add New Section.

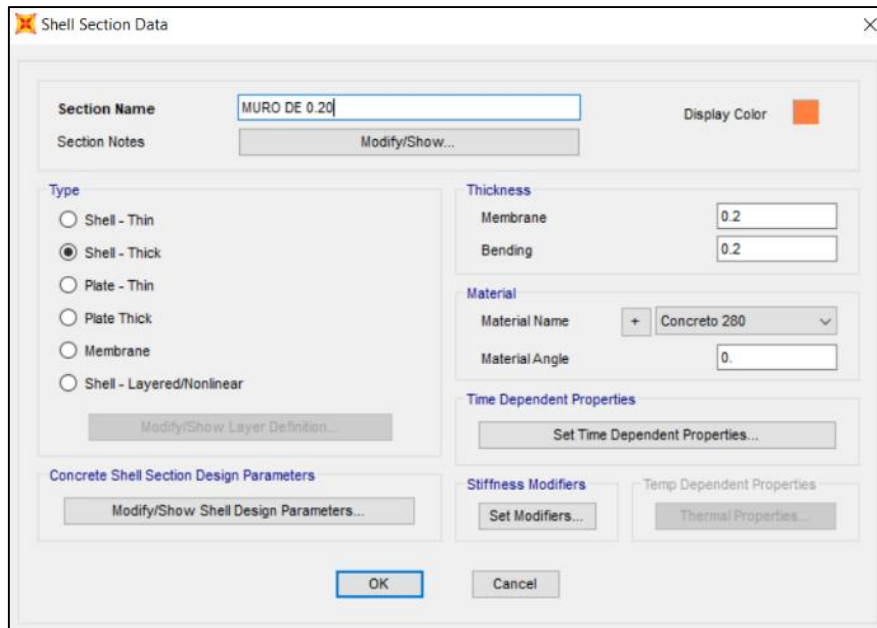


Figura 67. Creación de sección de muro de 0.20 m de espesor

Fuente: Programa SAP 2000.

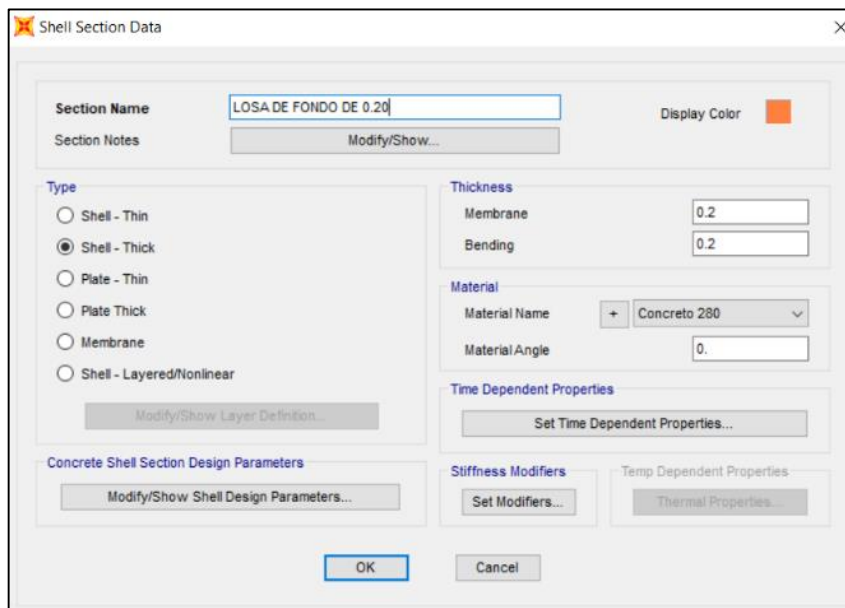


Figura 68. Creación de sección de losa de fondo de 0.20 m de espesor

Fuente: Programa SAP 2000.

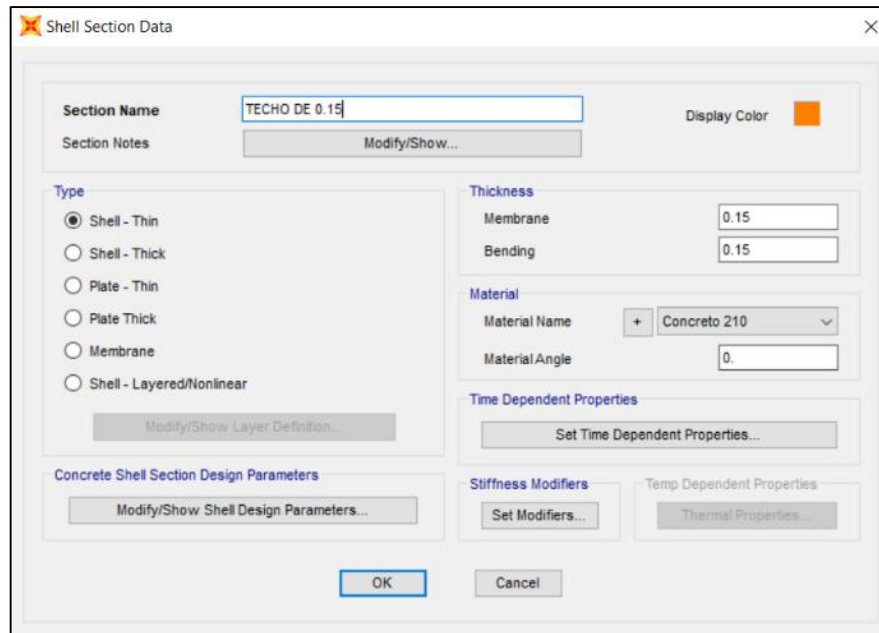


Figura 69. Creación de sección de techo de 0.15 m de espesor

Fuente: Programa SAP 2000.

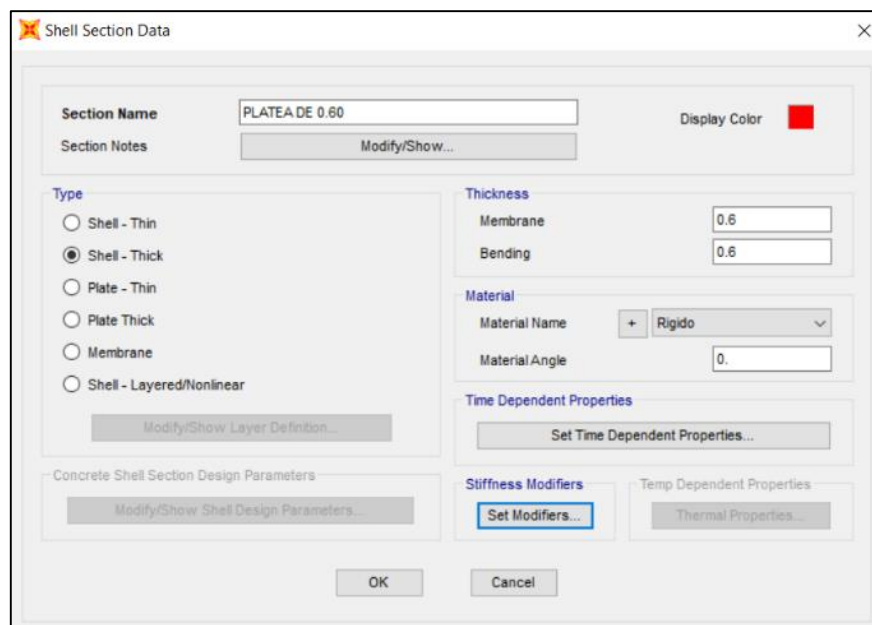


Figura 70. Creación de sección de placa de 0.60 m de espesor

Fuente: Programa SAP 2000.

Dibujamos los elementos frame con Draw / Draw Frame/Cable/Tendon, y luego dibujamos los elementos área con Draw / Draw Rectangular Area.

Luego discretizamos los elementos área (Shell), que son los muros, losa de fondo y techo, previa selección de cada elemento, nos dirigimos a Edit / Edit Areas / Divide Areas.

Para el análisis del modelo empotrado, asignamos restricción de los grados de libertad en la base, con Assign / Joint / Restraints.

Para el análisis de los modelos donde se considera la interacción suelo-estructura, se dibuja el elemento platea y se discretiza.

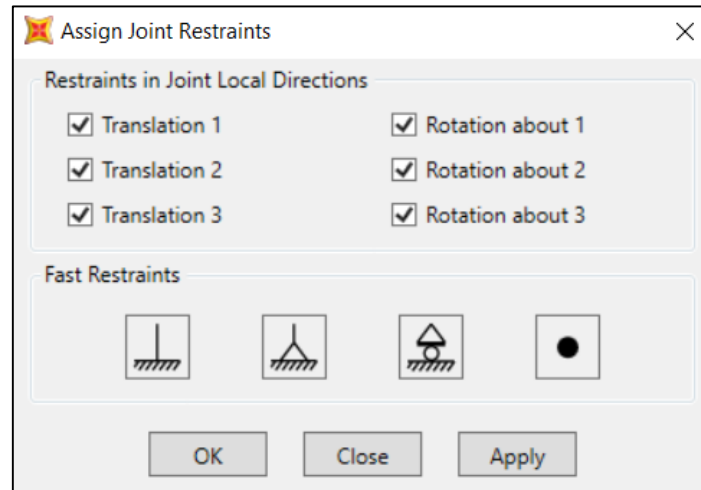
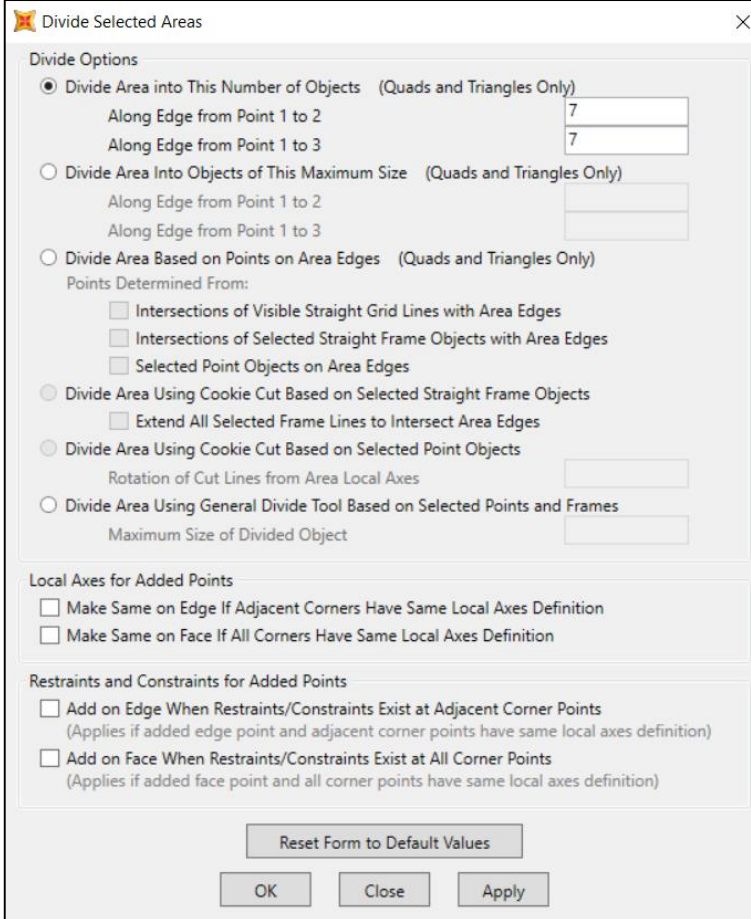


Figura 71. Asignación de empotramiento en la base del modelo

Fuente: Programa SAP 2000.

 Divide Selected Areas

Divide Options

- Divide Area into This Number of Objects (Quads and Triangles Only)
 - Along Edge from Point 1 to 2
 - Along Edge from Point 1 to 3
- Divide Area into Objects of This Maximum Size (Quads and Triangles Only)
 - Along Edge from Point 1 to 2
 - Along Edge from Point 1 to 3
- Divide Area Based on Points on Area Edges (Quads and Triangles Only)

Points Determined From:

 - Intersections of Visible Straight Grid Lines with Area Edges
 - Intersections of Selected Straight Frame Objects with Area Edges
 - Selected Point Objects on Area Edges
- Divide Area Using Cookie Cut Based on Selected Straight Frame Objects
 - Extend All Selected Frame Lines to Intersect Area Edges
- Divide Area Using Cookie Cut Based on Selected Point Objects

Rotation of Cut Lines from Area Local Axes
- Divide Area Using General Divide Tool Based on Selected Points and Frames

Maximum Size of Divided Object

Local Axes for Added Points

- Make Same on Edge If Adjacent Corners Have Same Local Axes Definition
- Make Same on Face If All Corners Have Same Local Axes Definition

Restrains and Constraints for Added Points

- Add on Edge When Restraints/Constraints Exist at Adjacent Corner Points
(Applies if added edge point and adjacent corner points have same local axes definition)
- Add on Face When Restraints/Constraints Exist at All Corner Points
(Applies if added face point and all corner points have same local axes definition)

Figura 72. Discretización de áreas

Fuente: Programa SAP 2000.

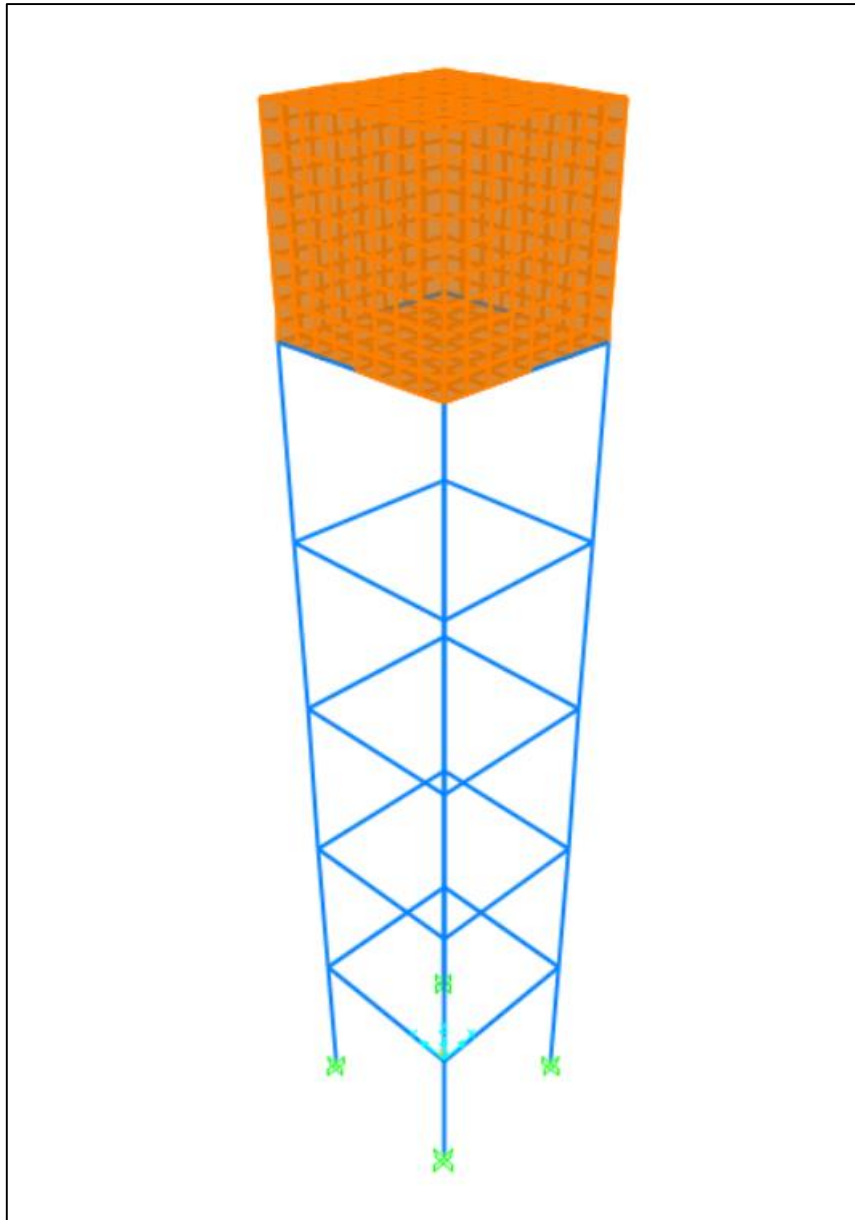


Figura 73. Modelo de reservorio elevado con base empotrada en SAP 2000

Fuente: Elaboración propia.

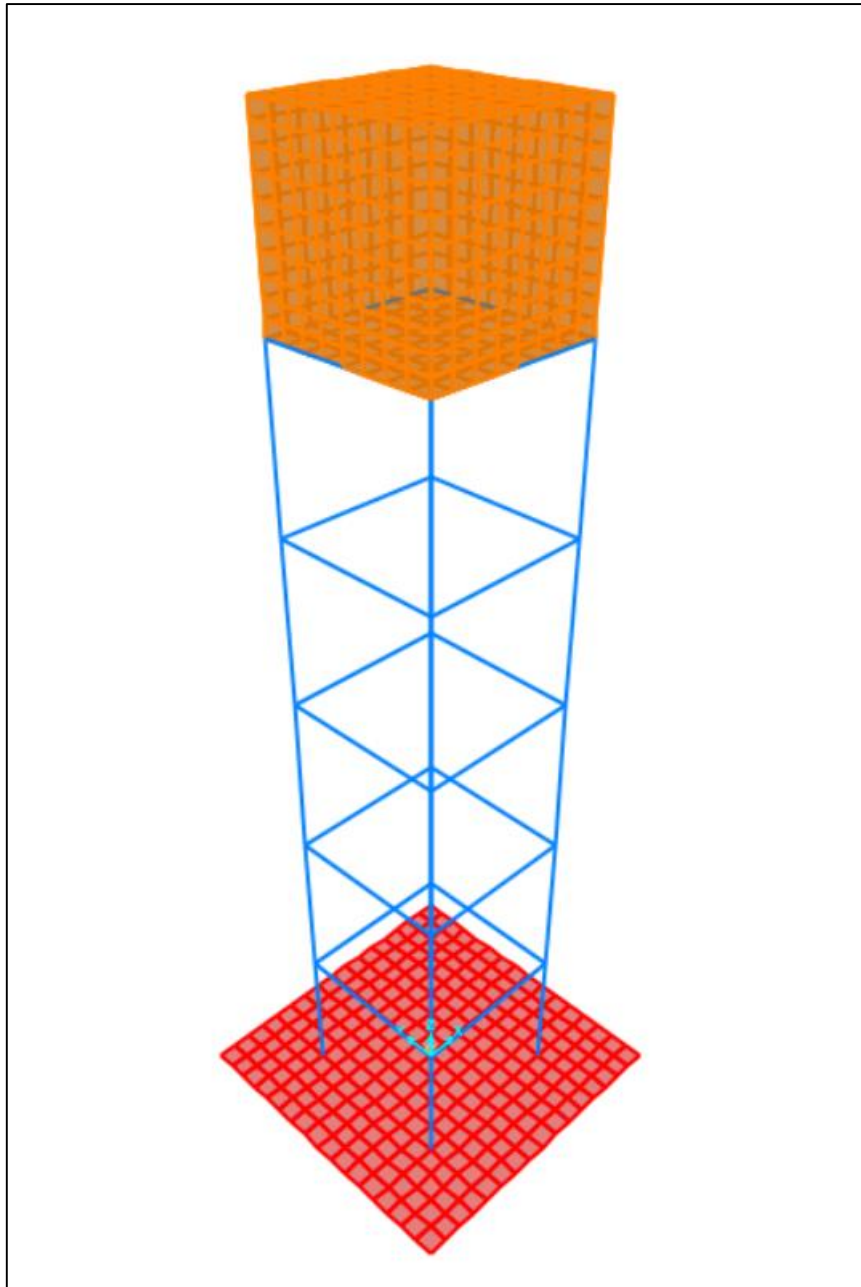


Figura 74. Modelo de reservorio elevado sobre platea de cimentación en SAP 2000

Fuente: Elaboración propia.

Asignación de uniones rígidas

Para considerar en el extremo de las vigas, la gran rigidez del eje de la columna a la cara de la columna, se asignó uniones rigidez en el modelo. Previa selección de los elementos columna, nos vamos a Assign / Frame / End (Length) Offsets, nos abrirá una ventana de nombre Assign Frame End Length Offsets, seleccionamos la casilla Automatic from Connectivity, en Parameters ingresamos el dato de factor de rigidez igual a 1. Similarmente se hizo para la conexión columna con la platea, asignando una rigidez a hasta la mitad del peralte de la platea.

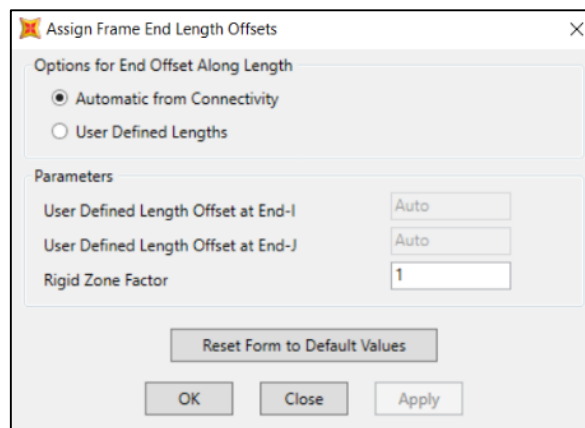


Figura 75. Creación de uniones rígidas

Fuente: Programa SAP 2000.

Definición de cargas

Creamos padrones de carga en Define / Load Patterns.

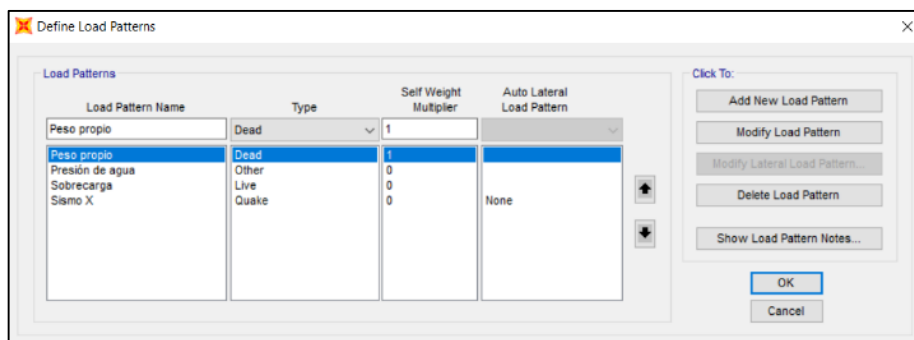


Figura 76. Creación de padrones de carga

Fuente: Programa SAP 2000.

Definimos el espectro de respuesta

Nos dirigimos a Define / Functions / Response Spectrum / Add New Function.

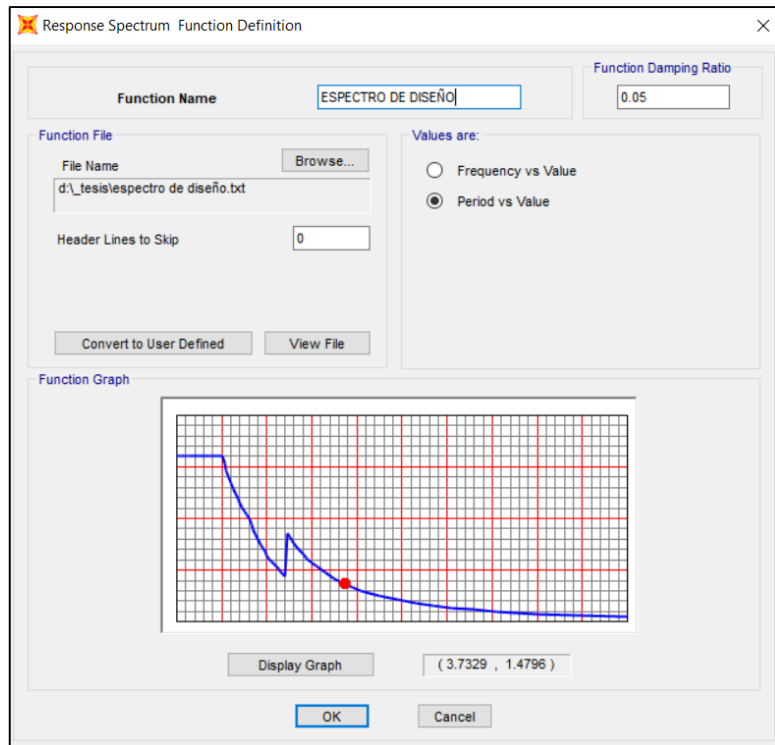


Figura 77. Espectro de diseño para el análisis sísmico

Fuente: Programa SAP 2000.

Asignación de cargas

Primeramente creamos un patrón de presión hidráulica para los nodos, nos dirigimos a Define / Joint Patterns, donde nos abrirá una ventana de nombre Define Pattern Names, en esta ventana creamos el patrón, de nombre PRESION HIDRAULICA.

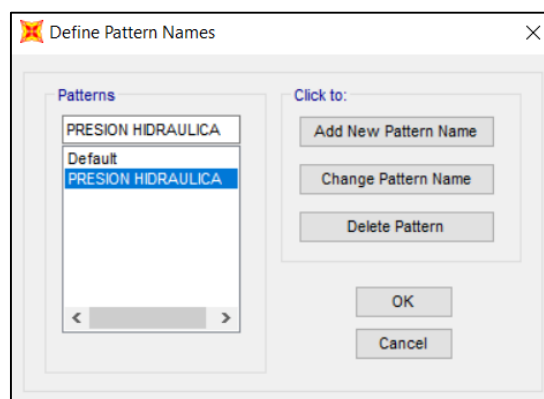


Figura 78. Creación de patrón de presión hidráulica para los nodos

Fuente: Programa SAP 2000.

Luego seleccionamos las paredes del tanque y asignamos el patrón creado PRESION HIDRAULICA, para hacerlo nos dirigimos a Assign / Joint Patterns, nos abrirá una ventana de nombre Assign Joint Pattern Data, ingresamos la constantes $C = -1$ y $D = 17.40$,

estás constantes se obtuve a partir de la función $Cz + D = \text{valor a evaluar}$; la función se evaluó cuando la presión es cero a la altura (z) del tirante de agua y la presión es igual al tirante de agua a la altura (z) de la base del tanque.

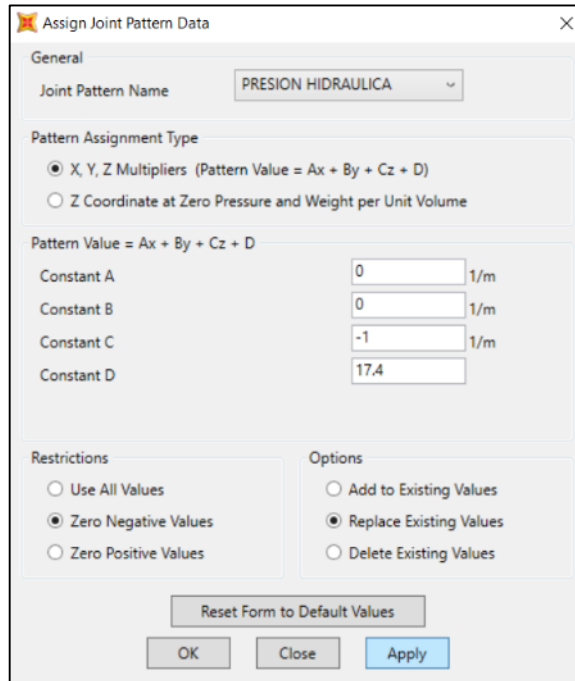


Figura 79. Asignación del padrón presión hidráulica en las paredes

Fuente: Programa SAP 2000.

Ahora asignamos el padrón de carga PRESIÓN HIDRAULICA a las áreas discretizadas de la paredes del tanque, seleccionamos las paredes y nos dirigimos Assign / Area Loads / Surface Pressure (All), nos abrirá una ventana de nombre Assign Area Surface Pressure Loads, cargamos el padrón de carga “Presión de agua”, luego en By Joint Pattern, cargamos el padrón de carga PRESIÓN HIDRAULICA y en Multiplier colocamos 1.

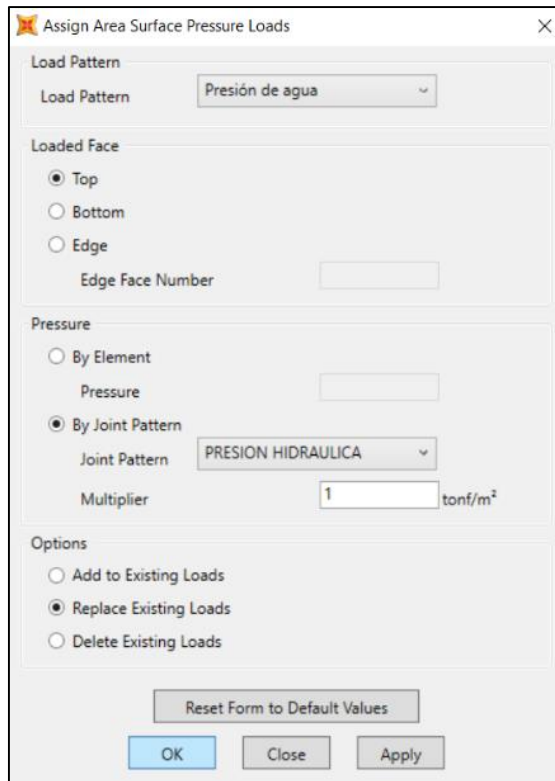


Figura 80. Asignación de la presión del agua en las paredes

Fuente: Programa SAP 2000.

Similarmente para asignar la presión del agua en la losa de fondo del tanque, nos dirigimos Assign / Area Loads / Surface Pressure (All), en Assign Area Surface Pressure Loads, cargamos el padrón de carga “Presión de agua”, luego en By Element, ingresamos la presión del agua (tirante de agua).

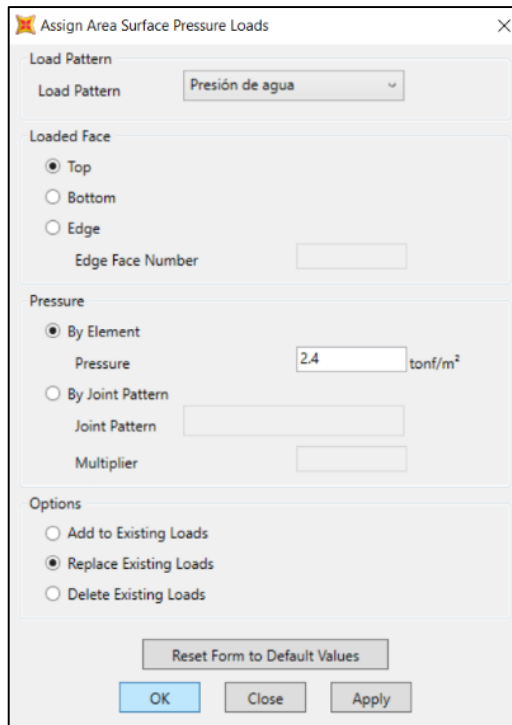


Figura 81. Asignación de la presión del agua en losa de fondo

Fuente: Programa SAP 2000.

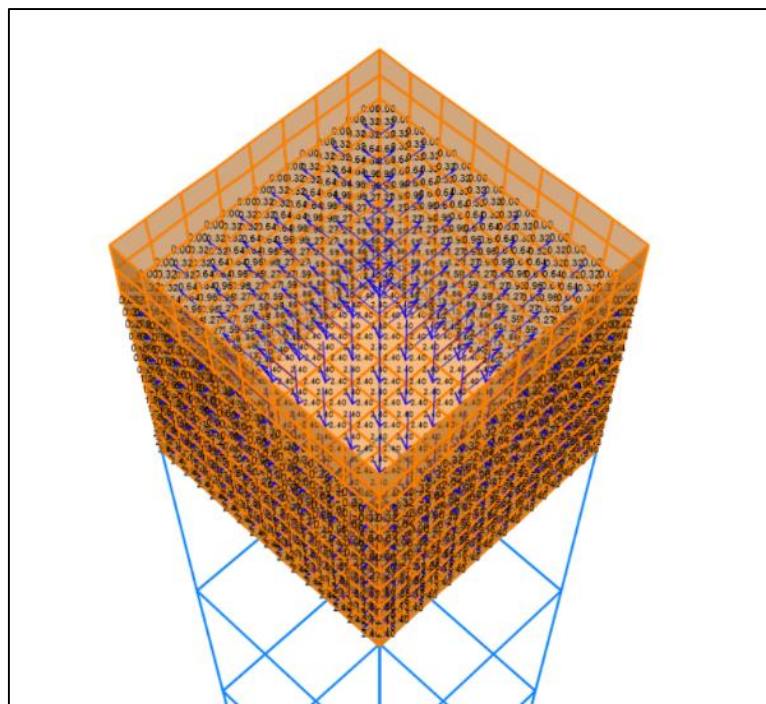


Figura 82. Vista de la presión del agua en las paredes y losa de fondo

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente asignamos la sobrecarga de 0.10 Tn/m² en el techo del tanque, nos dirigimos a Assign / Area Loads / Uniform (Shell).

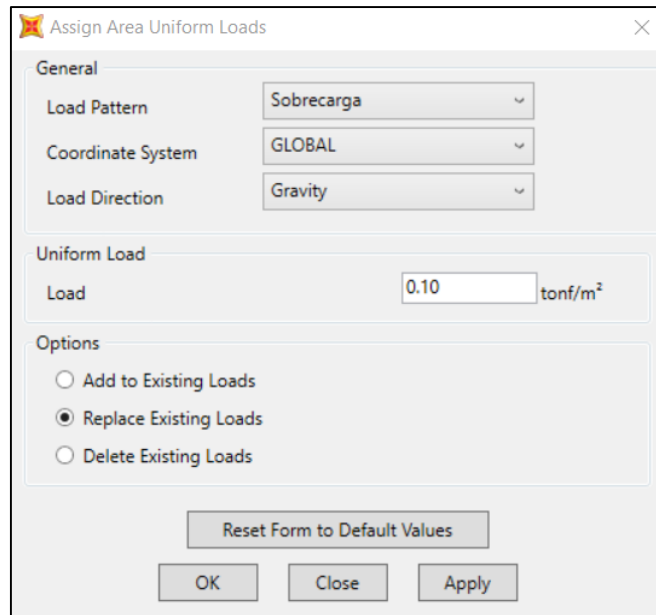


Figura 83. Asignación de la sobrecarga en techo

Fuente: Programa SAP 2000.

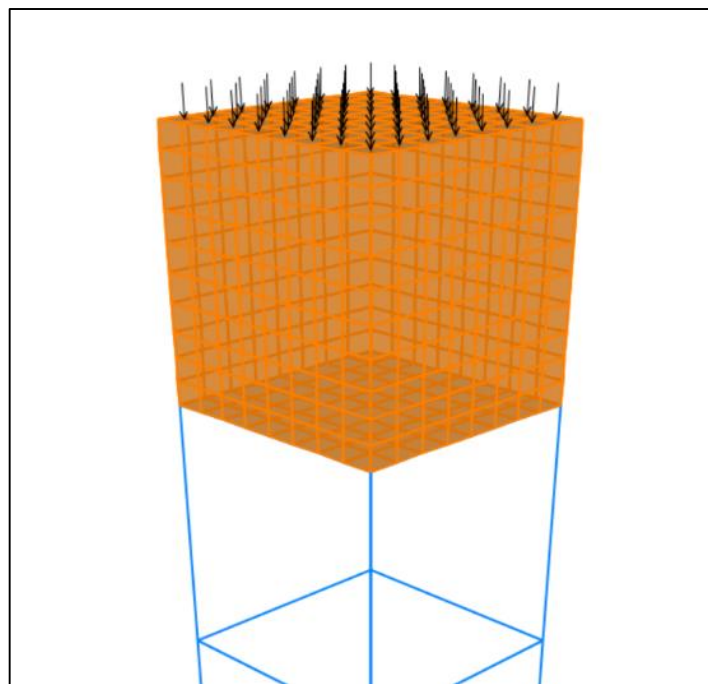


Figura 84. Vista de la sobrecarga en el techo

Fuente: Elaboración propia.

Asignación de la masa impulsiva

Seleccionamos los nodos del muro y asignamos la masa impulsiva, para hacerlo nos dirigimos a Assign / Joint / Masses. Se divide la masa impulsiva entre el número de nodos seleccionados hasta la altura impulsiva en ambas caras del eje x.

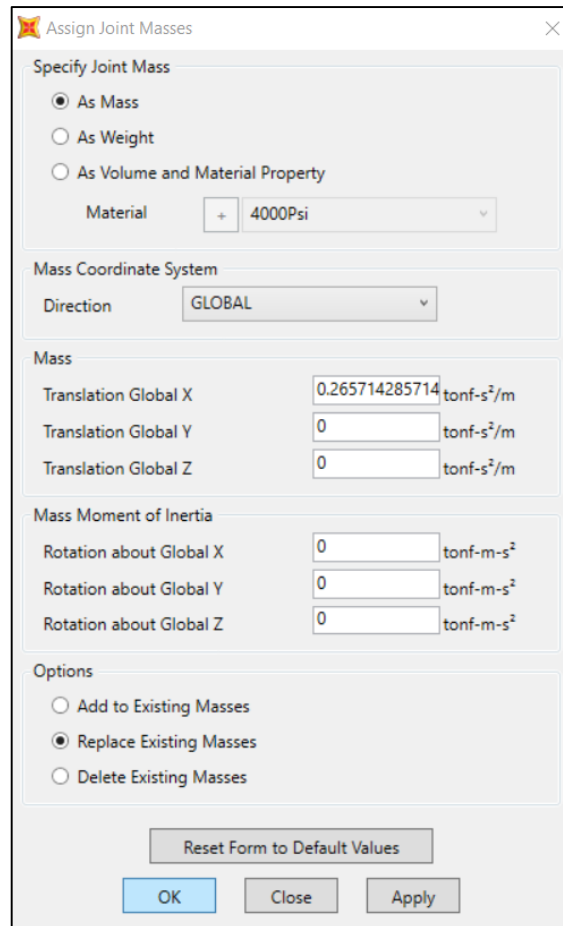


Figura 85. Asignación de la masa impulsiva

Fuente: Programa SAP 2000.

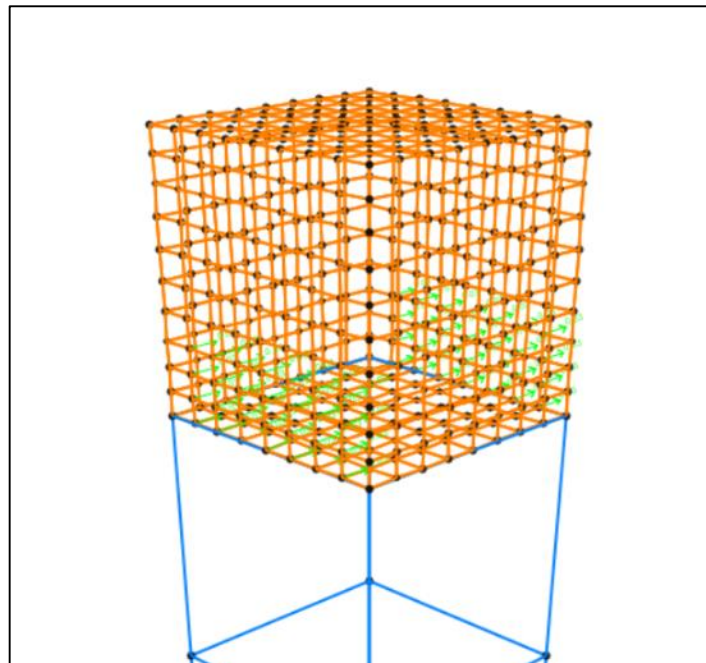


Figura 86. Vista de la asignación de la masa impulsiva en el modelo

Fuente: Elaboración propia

Asignación de masa convectiva

Previamente creamos el resorte para la masa convectiva, en Define / Section Properties / Link/Support Properties, donde ingresamos el valor de la rigidez del resorte (se obtuvo en el anexo 2) dividido entre el número de resortes.

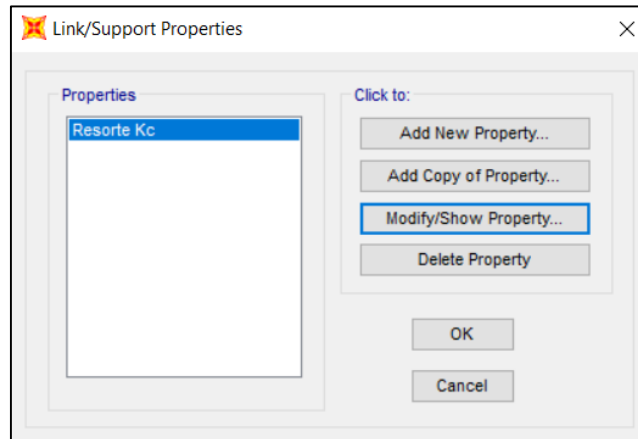


Figura 87. Creación del resorte para la masa convectiva

Fuente: Programa SAP 2000.

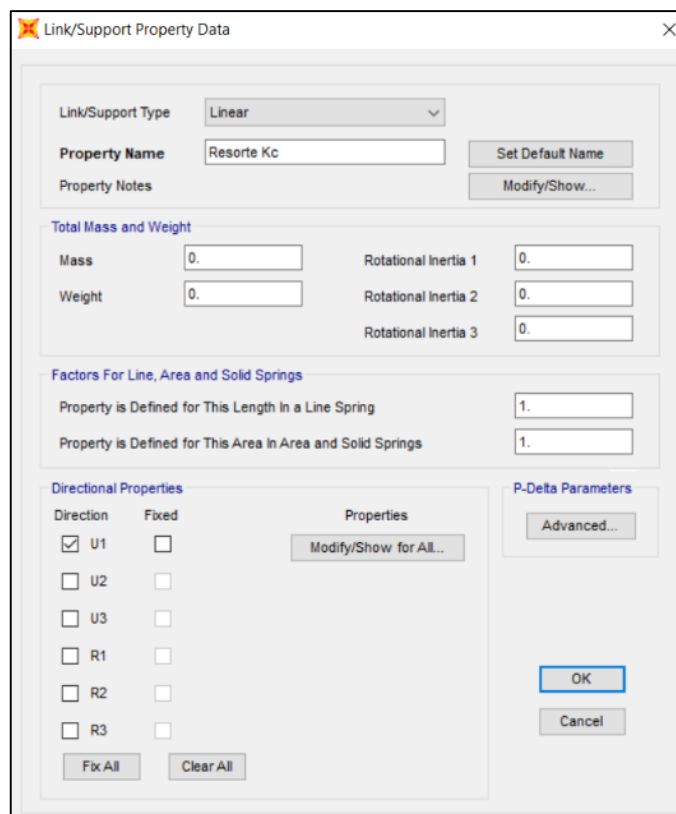


Figura 88. Propiedades del resorte

Fuente: Programa SAP 2000.

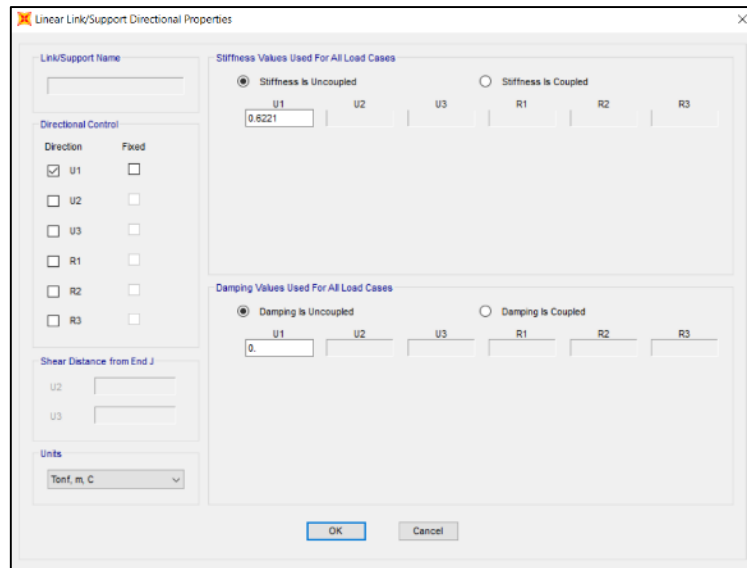


Figura 89. Definición de la rigidez del resorte

Fuente: Programa SAP 2000.

Ahora dibujamos los resortes al modelo, nos dirigimos a Draw / Draw 2 Joint Link y empezamos a unir los nodos a nivel de la altura convectiva.

Luego asignamos la masa convectiva a los nodos, en Assign / Joint / Masses. Similar a la masa impulsiva, se divide la masa convectiva entre el número de nodos seleccionados.

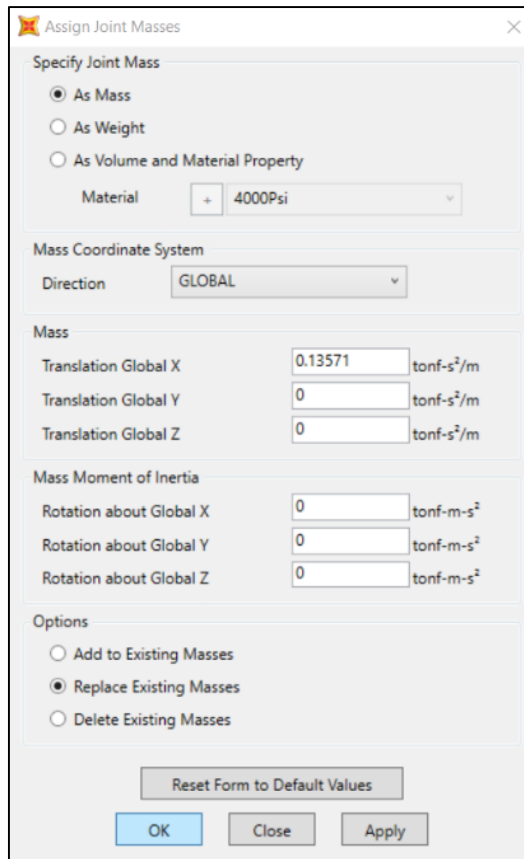


Figura 90. Asignación de la masa convectiva

Fuente: Programa SAP 2000.

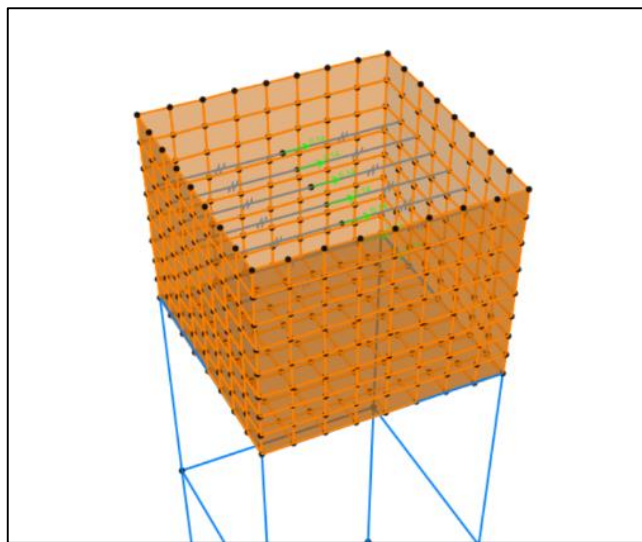


Figura 91. Vista de la asignación del resorte y la masa convectiva en el modelo

Fuente: Elaboración propia

Reducción de masa de las paredes

Para reducir la masa de los muros del tanque, nos dirigimos a Define / Section Properties / Area Sections, luego seleccionamos el muro y modificamos su masa en Mass Modifier.

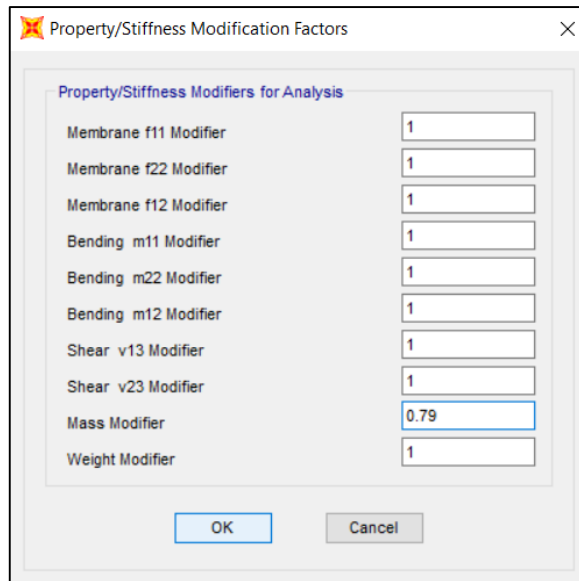


Figura 92. Asignación del coeficiente de masa efectiva en muros

Fuente: Programa SAP 2000.

Definición de casos de carga

Definimos casos de carga; peso propio de la estructura, presión hidrostática, sobrecarga, modal y sismo en “x”.

Para los casos de carga; peso propio de la estructura, presión hidrostática y sobrecarga, serán del tipo estático.

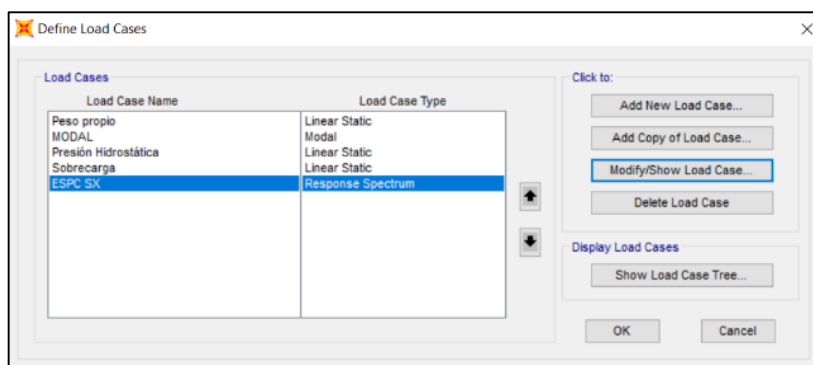


Figura 93. Definición de casos de carga

Fuente: Programa SAP 2000.

Para el caso de carga por sismo será del tipo Response Spectrum, con combinación modal CQC y un factor de escala igual a uno, debido que el espectro de respuesta asignado está afectado por la gravedad.

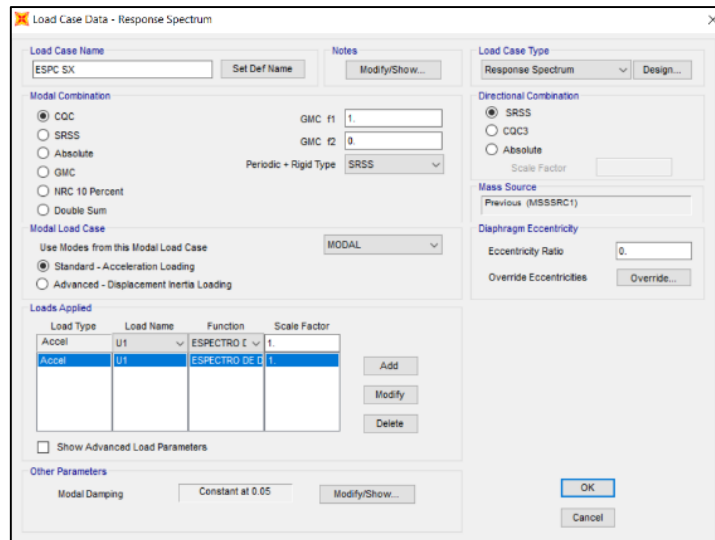


Figura 94. Definición de caso de carga para sismo en "X"

Fuente: Programa SAP 2000.

Para el caso de carga MODAL, se asignara como mínimo 4 modos de vibración y como máximo 100 modos de vibración con la finalidad de obtener mejores resultados.

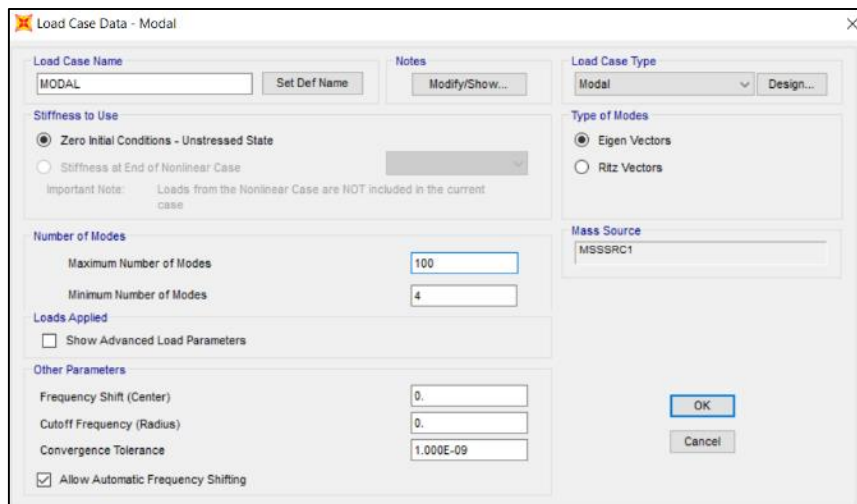


Figura 95. Asignación de número de modos de vibración

Fuente: Programa SAP 2000.

Definición de combinaciones de carga

Para la definición de las combinaciones de carga, nos dirigimos a Define / Load Combinations. Las combinaciones de carga están de acuerdo a norma E.060 del RNE, además se está considerando para la combinación tipo envolvente, los factores sanitarios de 1.3 para flexión y corte, y 1.65 para tracción indicados en la norma ACI 350-01.

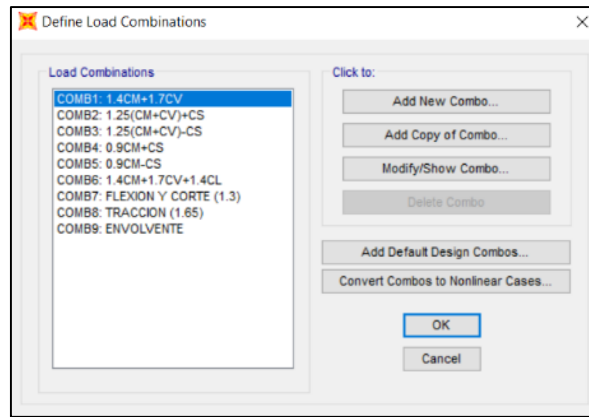


Figura 96. Combinaciones de carga

Fuente: Programa SAP 2000.

Asignación de fuente de masa

Para asignar la fuente de masa, nos dirigimos a Define / Mass Source, le damos en Add New Mass Source, donde nos abrirá una ventana, marcamos las casillas denominados “Element Self Mass and Additional Mass” y “Specified Load Patterns”, luego agregamos el padrón de sobrecarga, considerando el 50% de participación, según la norma E.030.

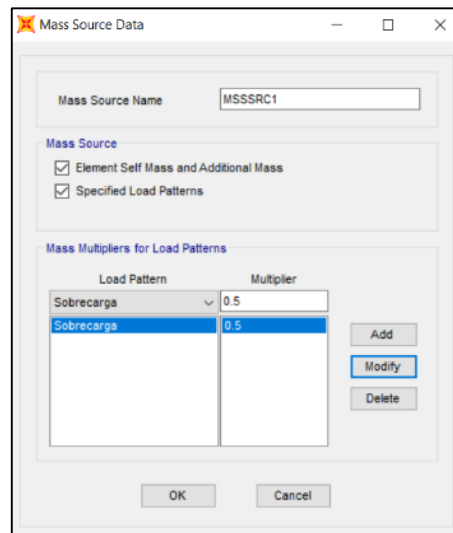


Figura 97. Asignación de fuente de masa

Fuente: Programa SAP 2000.

Modelamiento adicional para los modelos con interacción suelo-estructura

- Asignación de masa en el centroide de la platea

Para asignar las propiedades de las masas de la Tabla 29, en el centroide de la platea, nos dirigimos a Assign / Joint / Masses. En el modelo dinámico de Barkan, no se utilizó la

masa rotacional “ $M_{\psi z}$ ”, debido a su restricción rotacional en el eje “z”. Para los modelos dinámicos de la Norma Rusa, Sargsian y Shariya, se utilizan todas las propiedades de las masas M_x , M_y , M_z , $M_{\phi x}$, $M_{\phi y}$, $M_{\psi z}$.

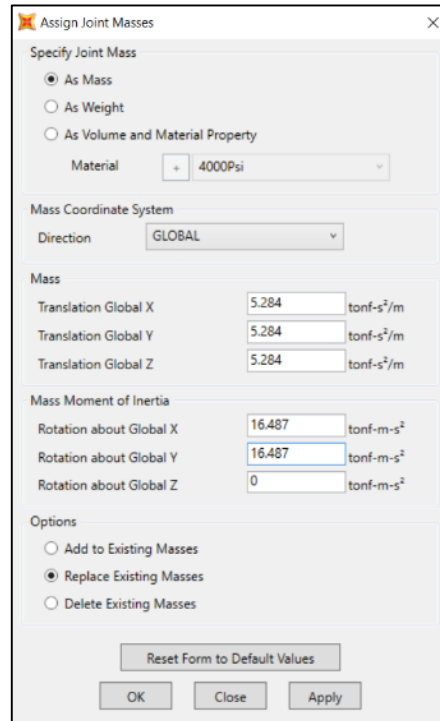


Figura 98. Asignación de masas en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan

Fuente: Programa SAP 2000.

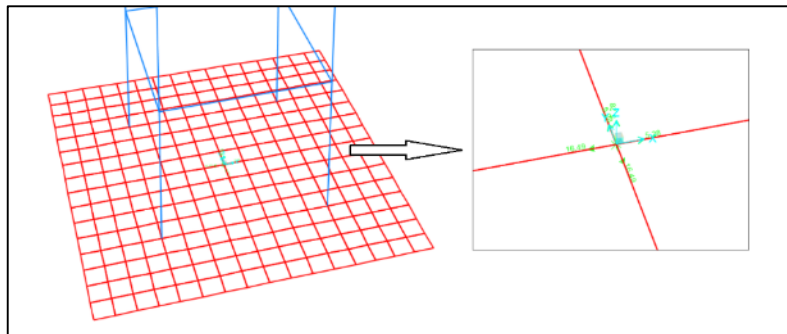


Figura 99. Vista de las masas en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

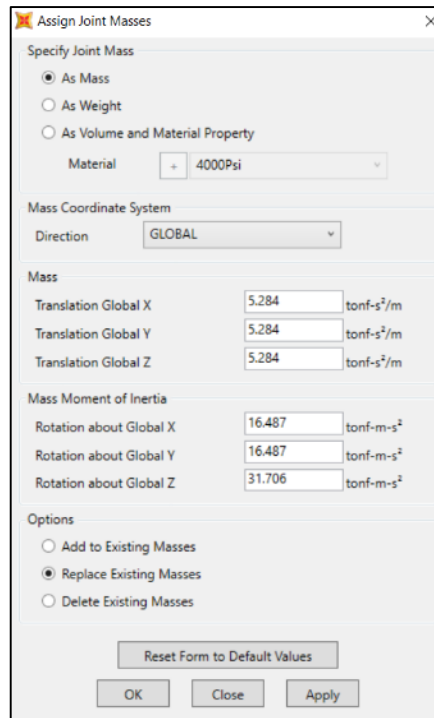


Figura 100. Asignación de masas en el centroide de la placa para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya

Fuente: Programa SAP 2000.

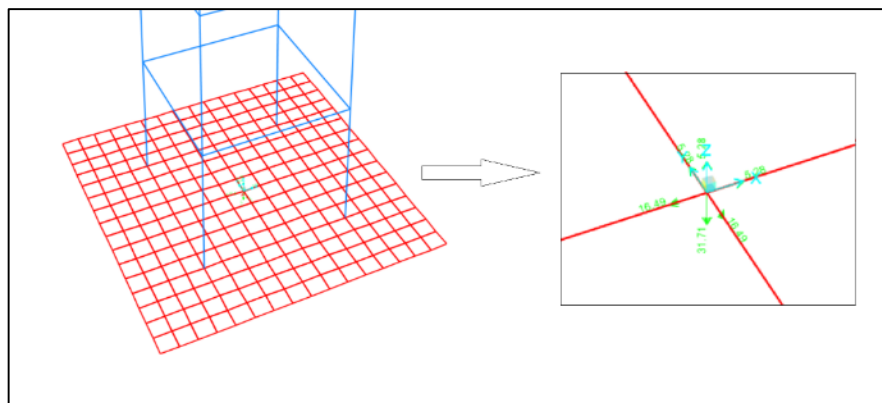


Figura 101. Vista de las masas en el centroide de la placa para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya

Fuente: Elaboración propia.

- Asignación de resortes en el centroide de la placa para el modelo dinámico Barkan

Para asignar los resortes traslacionales y rotacionales (definidos por coeficientes de rigidez) de la Tabla 30, en el centroide de la placa, nos dirigimos a Assign / Joint / Spring. Para este modelo dinámico Barkan, no se utilizó el coeficiente de rigidez “ $K_{\psi z}$ ”, debido a su inexistencia en el modelo matemático, por lo tanto se restringió el grado de libertad rotacional en “z”.

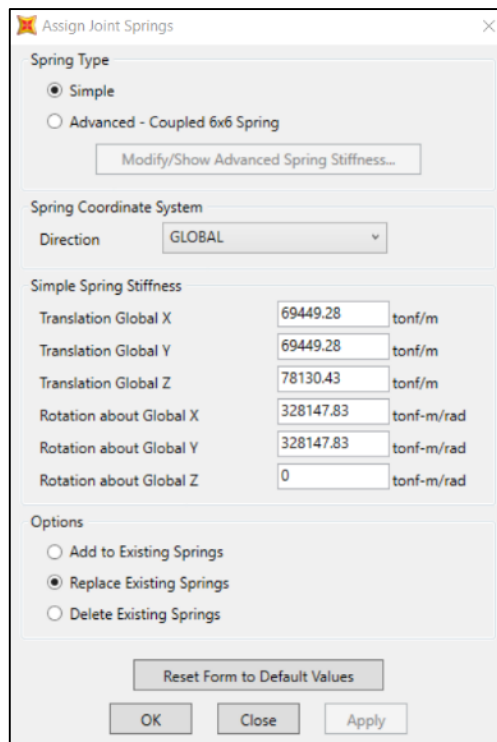


Figura 102. Asignación de los coeficientes de rigidez en el centroide de la platea del modelo dinámico

Barkan

Fuente: Programa SAP 2000.

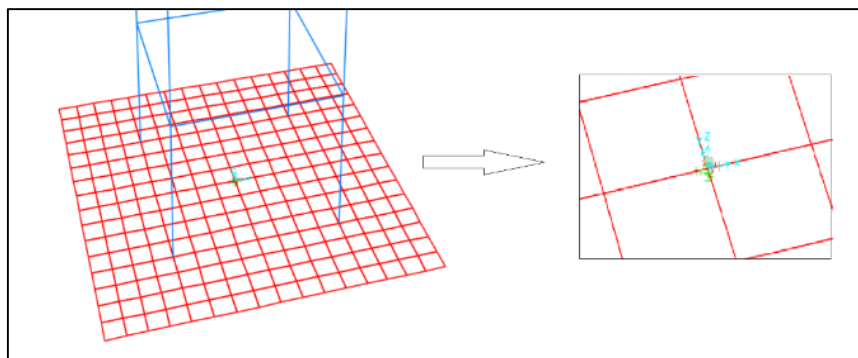


Figura 103. Vista de los resortes en el centroide de la platea del modelo dinámico Barkan

Fuente: Elaboración propia.

- Asignación de resortes y amortiguadores en el centroide de la platea para los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya

Para asignar los resortes traslacionales y rotacionales (definidos por coeficientes de rigidez) de la Tabla 30 y los amortiguadores (definidos por características de amortiguamiento) de la Tabla 31, en el centroide de la platea de los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya, nos dirigimos a Define / Section Properties / Link/Support Properties, donde ingresamos los valores de rigidez del resorte y

características de amortiguamiento. En estos modelos dinámicos, se utilizaron todos los coeficientes de rigidez K_x , K_y , K_z , $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$, $K_{\psi z}$ y todas las características de amortiguamiento B_x , B_y , B_z , $B_{\phi x}$, $B_{\phi y}$, $B_{\psi z}$, por lo tanto no se considera ninguna restricción en los grados de libertad de la base.

Luego para asignar los resortes y amortiguadores a los modelos dinámicos Norma Rusa, Sargsian y Shariya, nos dirigimos a Draw / Draw 1 Joint Link y seleccionamos el centroide de la platea.

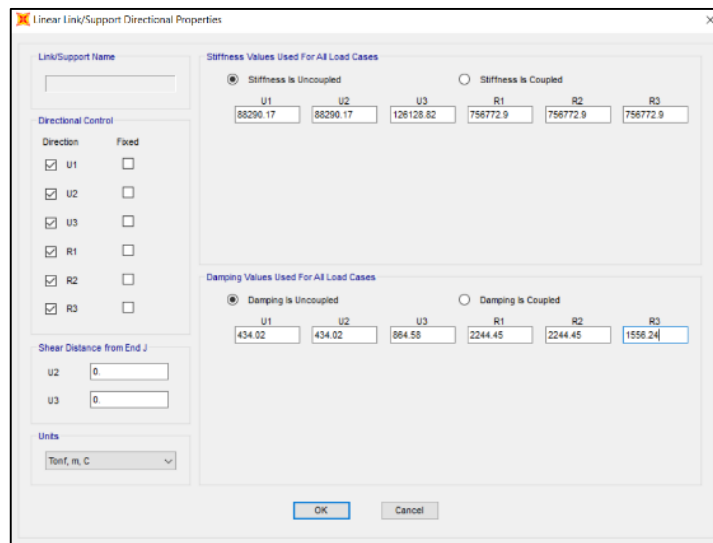


Figura 104. Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centroide de la platea del modelo dinámico Norma Rusa

Fuente: Programa SAP 2000.

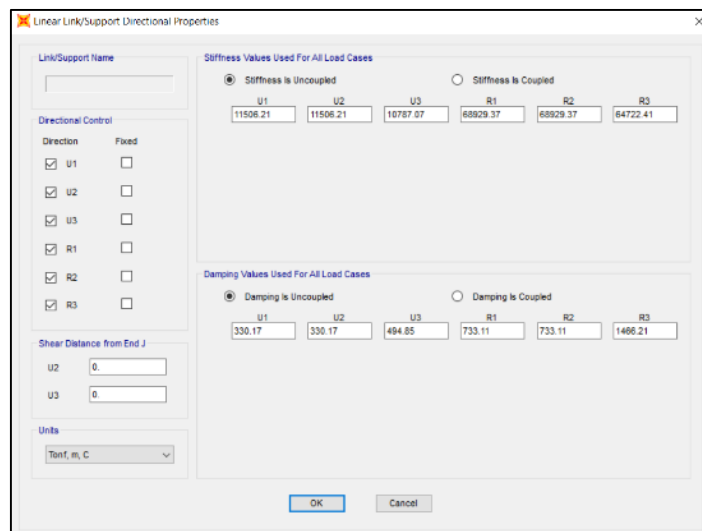


Figura 105. Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centroide de la platea del modelo dinámico Sargsian

Fuente: Programa SAP 2000.

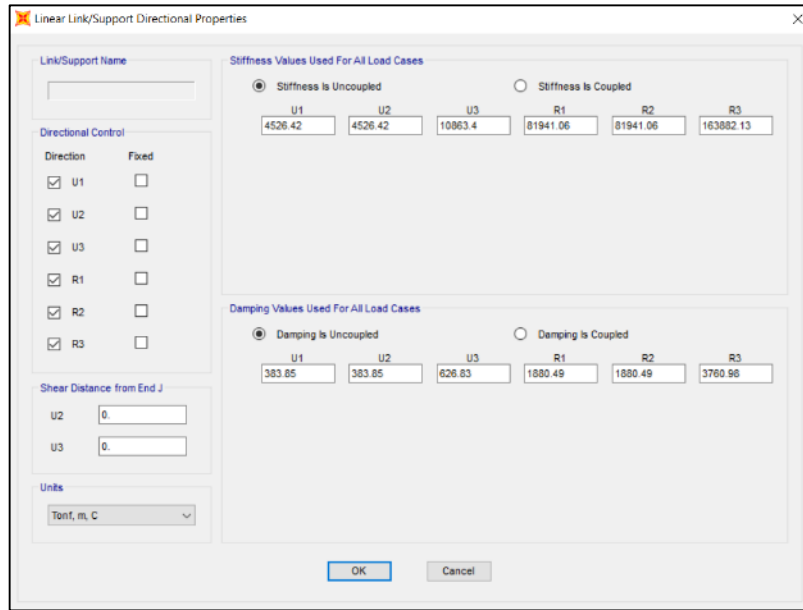


Figura 106. Definición de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento para el centrode de la platea del modelo dinámico Shariya

Fuente: Programa SAP 2000.

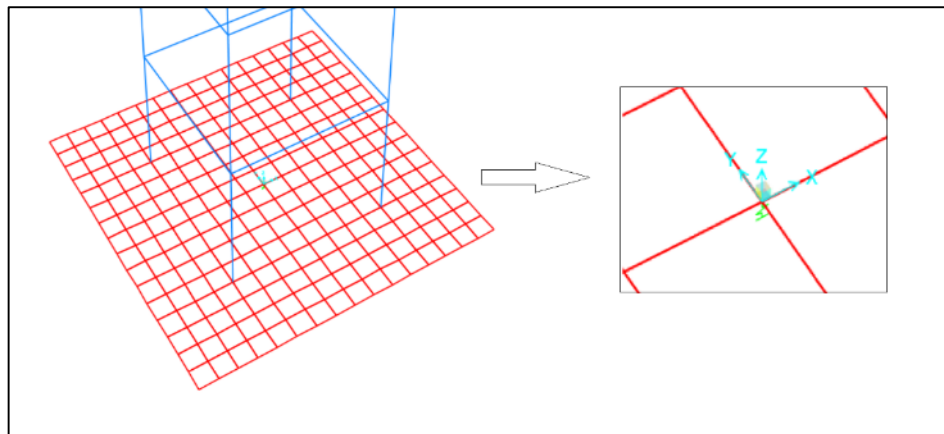


Figura 107. Vista del soporte resorte-amortiguador en el centrode de la platea para los modelos dinámicos

Norma Rusa, Sargsian y Shariya

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 09: Estudio de suelos para la investigación, incluye copias legalizadas de los certificados de calibración (mantenimiento) de los equipos utilizados en los ensayos de suelos.

Estudio de suelos

REGISTRO DE EXCAVACIONES

INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVOIRIO ELEVADO TIPO APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE SHARARA, DISTRITO DE IPARIA, PROVINCIA CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI

 REGISTRO : **152/GEOSUR-2021**

NIVEL FREÁTICO (m) : NO PRESENTA

SOLICITANTE : KENY WILSON SUAREZ RIVAS

ING. RESPONSABLE : -/-

CALICATA N° : C-1 / M-1

TÉCNICO : D. Peláez Q.

PROF. TOTAL (m) : 2.50

FECHA : MAYO / 2021



PROF. (m)	MUESTRA N°	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.00	M-1	0,00 - 2,50 m .- Arcilla de baja plasticidad, suelo de alto contenido de humedad, el estrato no presenta grava, 20.0% de arena, material inferior al tamiz #200, 80.0%, en el caso de los Límites se determinó lo siguiente, LL=37.1%, IP=14.0%. Clasificado en el laboratorio como : CL, A-6(11)		CL	A-6(11)
0.10					
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
Observaciones :					

VICENTE NICOLAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. 28717 177468

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NTP 339.128 (99)

SOLICITANTE : KENY WILSON SUAREZ RIVAS

REGISTRO : 152/2021.GEOSUR

PROYECTO :

INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVOIRIO ELEVADO TIPO APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN

TÉCNICO : DANIEL IMAN

FECHA : 12-may-2021

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE SHARARA, DISTRITO DE IPARIA, PROVINCIA CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01

MUESTRA : M-01

PROFUNDIDAD (m): 0.00 - 2.50

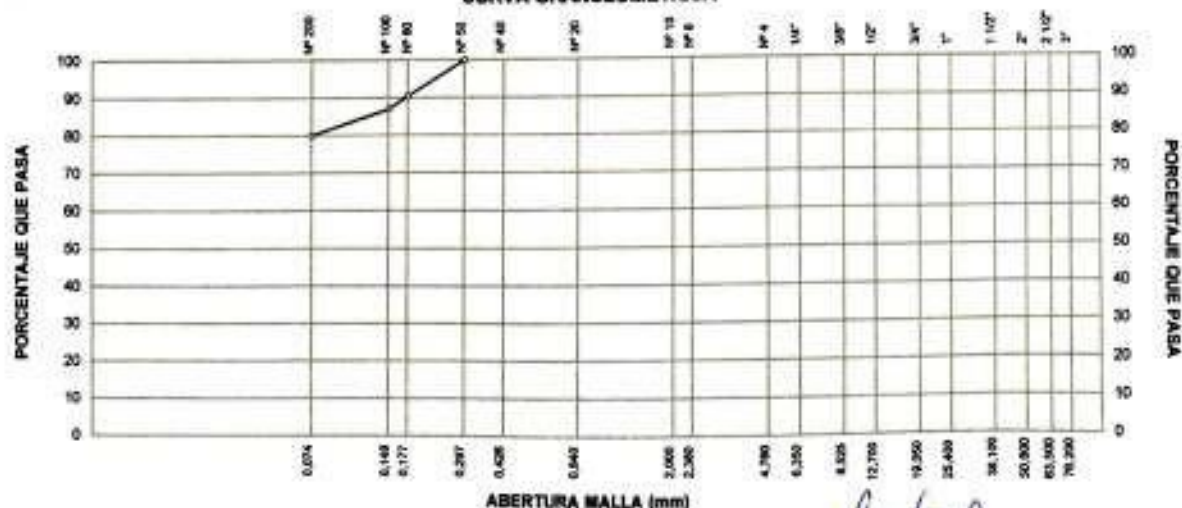
GRANULOMETRÍA NTP 339.128 (99)					PASA (%)
MALLAS		RETENDOS			
SERIE AMERICANA	ABERT. (mm)	PESO (g)	PARCIAL (%)	ACUMUL. (%)	
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N° 4	4.750				
N° 8	2.360				
N° 10	2.000				
N° 20	0.840				
N° 40	0.425				
N° 50	0.297				100.0
N° 80	0.177	48.5	9.6	9.6	90.4
N° 100	0.149	17.3	3.4	13.0	87.0
N° 200	0.074	35.7	7.0	20.0	80.0
- N° 200	-	405.6	80.0	100.0	-

DESCRIPCIÓN DEL SUELO		
Arcilla inorgánica de baja compresibilidad : Un 20% de arena de grano fino, fracción fina pasante la malla N°200 en un 80%, plástico (LL= 37.1%, IP= 14.0%); muy húmedo a saturado.		
CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
Límite líquido, %	NTP 339.129 (99) :	37.1
Límite plástico, %	NTP 339.129 (99) :	23.1
Índice plástico, %	NTP 339.129 (99) :	14.0
Clasificación SUCS	NTP 339.135 (99) :	CL
Clasificación AASHTO	NTP 339.134 (99) :	A-6 (11)
Contenido de humedad, %	NTP 339.127 (98) :	30.3 %

OBSERVACIONES:			
- Muestra tomada e identificada por el solicitante			

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO			
- GRAVA	0.0 %	- PESO TOTAL	506.7 g
- ARENA	20.0 %	- PESO GRAVA, g	0.0 g
- FINOS	80.0 %	- PESO ARENA, g	506.7 g
		- ARENA EMPLEADA, g	506.7 g

CURVA GRANULOMÉTRICA



Referencia: ASTM D 6913 Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates

Daniel Iman
INGENIERO CIVIL
REG. CIP N° 177466

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD EN SUELOS

NTP 339.129 (99)

SOLICITANTE : KENY WILSON SUAREZ RIVAS
 PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVOIRIO ELEVADO TIPO APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN

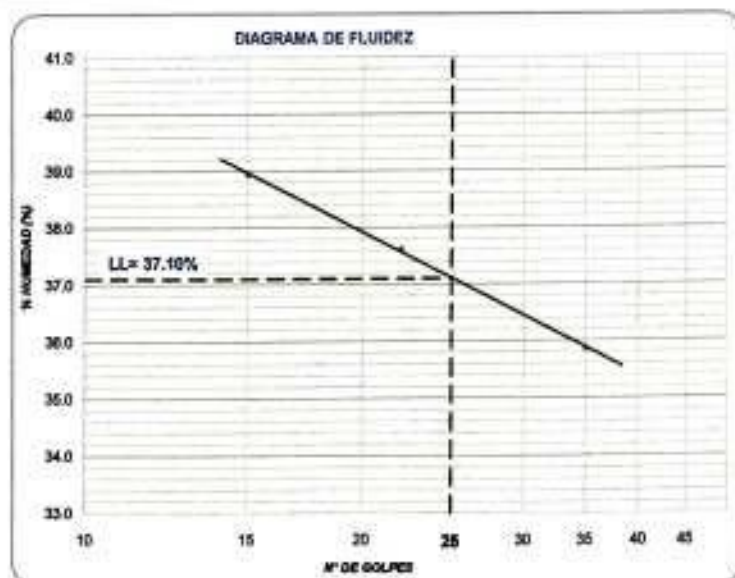
REGISTRO : 1522021.GEOSUR
 TÉCNICO : DANIEL IMÁN
 FECHA : 12-may-2021

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE SHARARA, DISTRITO DE IPARIA, PROVINCIA CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

CALCATA : C-01
 MUESTRA : M-01 PROFUNDIDAD (m): 0.00 - 2.50

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
ENSAYO No.					
CÁPSULA No.	16	20	15	6	24
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	29.10	30.01	29.47	18.75	21.45
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	24.56	25.83	25.88	17.36	19.93
PESO AGUA, g	4.54	4.18	3.59	1.39	1.52
PESO DE LA CÁPSULA, g	12.90	14.72	15.87	11.35	13.35
PESO SUELO SECO, g	11.66	11.11	10.01	6.01	6.58
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	38.94	37.62	35.86	23.13	23.10
NÚMERO DE GOLPES	15	22	35		



RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO, %	37.1
LÍMITE PLÁSTICO, %	23.1
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %	14.0

OBSERVACIONES:

-Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40 (0,425 mm).

-Muestra tomada e identificada por el solicitante

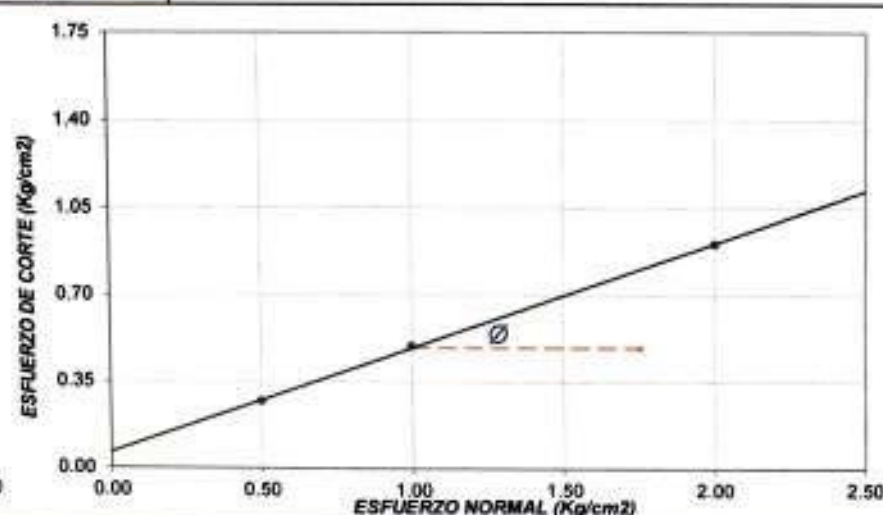
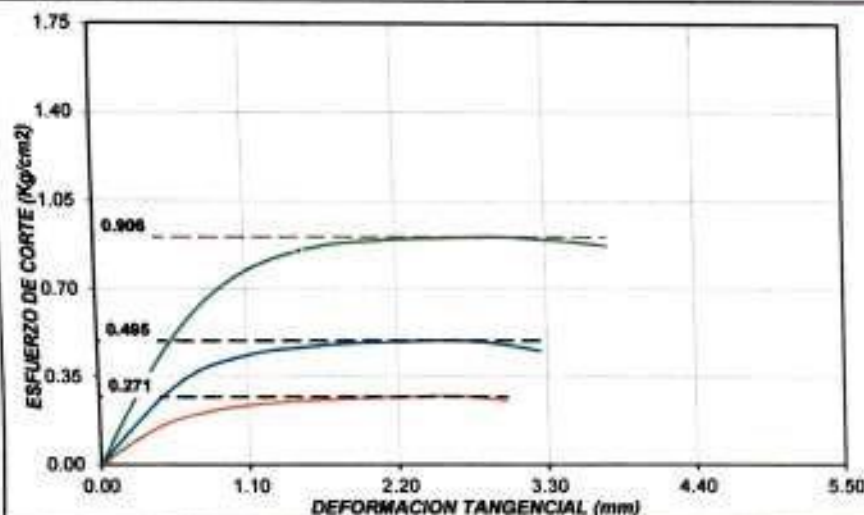

 DANIEL IMÁN
 VICENTE NICOLÁS
 INGENIERO CIVIL
 929 000 177456

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

SOLICITANTE : KENY WILSON SUAREZ RIVAS PROYECTO : INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVOIRIO ELEVADO TIPO APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN UBICACIÓN : CENTRO POBLADO DE SHARARA, DISTRITO DE IPARIA, PROVINCIA CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI ESTRUCTURA : RESERVOIRIO PROYECTADO CALICATA : C-1 MUESTRA : M-1 PROF. (m) : 2.50				CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES					
				MUESTRA N°	ÁREA (cm²)	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (g/cm³)	ESFUERZOS (Kg/cm²)	
				TANGENCIAL	NORMAL				
01	20.10	30.21	1.345	0.271	0.5				
02	20.10	30.24	1.345	0.495	1.0				
03	20.10	30.23	1.346	0.906	2.0				

REGISTRO 152/ 2021.GEOSUR

FECHA 12-may-2021



OBSERVACIONES:
MUESTRA ENSAYADA EN CONDICIONES NO CONSOLIDADA NO DRENADA
TAMIZADO POR LA MALLA N° 4 (4,75 mm)

RESULTADOS DE ENSAYOS			
COHESIÓN (Kg/cm²)	0.06	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	22.9

[Handwritten Signature]
VICENTE NÚÑEZ

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

SOLICITANTE	: KENY WILSON SUAREZ RIVAS		
PROYECTO	: INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN RESERVORIO ELEVADO TIPO APORTICADO SOBRE PLATEA DE CIMENTACIÓN		
UBICACIÓN	: CENTRO POBLADO DE SHARARA, DISTRITO DE IPARIA, PROVINCIA CORONEL PORTILLO, DEPARTAMENTO DE UCAYALI		
ESTRUCTURA	: RESERVORIO PROYECTADO		
CALICATA	: C-1	REGISTRO	04W 2020.GEOSUR
MUESTRA	: M-1	PROF. (m) : 2.50	FECHA 12-may.-2021

ÁREA DE LOS ESPECÍMENES : 20.10 cm²
VOLUMEN DE LOS ESPECÍMENES : 25.53 cm³

N° DE MUESTRA	:
CONTENIDO DE HUMEDAD	%
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm ³
DENSIDAD SECA	g/cm ³
ESFUERZO NORMAL	kg/cm ²

01		02		03	
30.2		30.2		30.2	
1.751		1.751		1.753	
1.345		1.345		1.346	
0.5		1.0		2.0	
DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)
-	-	-	-	-	-
0.25	0.090	0.25	0.147	0.25	0.241
0.50	0.165	0.50	0.282	0.50	0.460
0.75	0.205	0.75	0.375	0.75	0.626
1.00	0.231	1.00	0.423	1.00	0.738
1.25	0.245	1.25	0.452	1.25	0.808
1.50	0.256	1.50	0.467	1.50	0.852
1.75	0.262	1.75	0.461	1.75	0.879
2.00	0.267	2.00	0.487	2.00	0.890
2.25	0.269	2.25	0.491	2.25	0.896
2.50	0.272	2.50	0.495	2.50	0.902
2.75	0.269	2.75	0.492	2.75	0.905
3.00	0.255	3.00	0.477	3.00	0.906
		3.25	0.454	3.25	0.896
				3.50	0.888
				3.75	0.872

Ángulo de Fricción

$$\phi = 22.9^\circ$$

Cohesión

$$C = 0.06 \text{ kg/cm}^2$$


 PADILLA AYCHO
 VICENTE NICOLAS
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP N° 17745W

**Certificados de calibración (mantenimiento) de los equipos
utilizados en los ensayos de suelos**

Equipo de Corte Directo



Punto de Precisión S.A.C

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 046 - 2021

Página : 1 de 3

Expediente : T 029-2021
Fecha de emisión : 2021-01-27

1. Solicitante : GEOSUR GEOTECNIA E INGENIERIA S.A.C.

Dirección : AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. B - VILLA EL SALVADOR - LIMA

2. Descripción del Equipo : CELDA DE CARGA Y PEBAS PARA CORTE DIRECTO

Marca de Corte Directo : CONCRET Y METAL
Modelo de Corte Directo : CD 01
Serie de Corte Directo : 21005
Código de identificación : NO INDICA

Marca de Celda : KELI
Modelo de Celda : A-FED
Serie de Celda : A0N5223
Capacidad de Celda : 500 kg

Marca de Indicador : HIGH WEIGHT
Modelo de Indicador : 315-X2
Serie de Indicador : 01822351

3. Lugar y fecha de Calibración
LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
26 - ENERO - 2021

4. Método de Calibración
La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	MAVIN	CCP - 0340 - 005 - 20	EUCROM
INDICADOR	MCC		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	24,2	24,2
Humedad %	68	68

7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha adherido una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

CERTIFICADO QUE ES LA COPIA FOTOSTÁTICA IDENTICA A LA ORIGINAL



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
NOTARIO DE LIMA

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Tel. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 048 - 2021

Página : 2 de 3

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
50	50,00	50,10	0,00	-0,20	50,05	-0,10	-0,20
100	100,10	100,00	-0,10	0,00	100,05	-0,05	0,10
150	150,20	149,80	-0,13	0,13	150,00	0,00	0,27
200	200,00	199,90	0,00	0,05	199,95	0,03	0,05
250	249,90	249,80	0,04	0,08	249,85	0,06	0,04
300	299,80	300,00	0,07	0,00	299,90	0,03	-0,07
350	349,40	349,50	0,17	0,14	349,45	0,18	-0,03
400	399,80	399,60	0,05	0,10	399,70	0,08	0,05

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

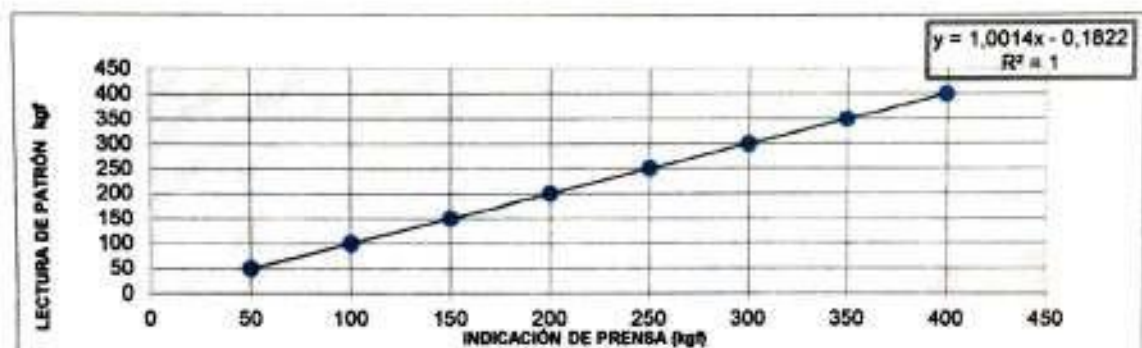
$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación : $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : $y = 1,0014x - 0,1822$

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kgf)



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 696-9820

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

CERTIFICADO QUE TIENE LA MISMA VALIDEZ QUE EL ORIGINAL
IDENTICAL TO THE ORIGINAL



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 048 - 2021

Página : 3 de 3

PESAS DE CORTE DIRECTO

IDENTIFICACIÓN	VALOR NOMINAL g	VALOR DETERMINADO g	CORRECCIÓN g
A3	4000	4054,3	-54,3
A4	4000	4037,4	-37,4
B3	2000	2031,8	-31,8
B4	2000	2038,0	-38,0
C3	1000	1025,7	-25,7
C4	1200	1227,6	-27,6

FIN DEL DOCUMENTO




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

CERTIFICO QUE ESTE DOCUMENTO ESTADÍSTICO
IDENTIFICA Y VALIDA EL RESULTADO TECNICO A LA VENTA
LIMA N° 2.0.109.2021




EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
NOTARIO DE LIMA




Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 136 - 2021

Página : 1 de 2

Expediente : T 029-2021
 Fecha de emisión : 2021-01-27

1. Solicitante : GEOSUR GEOTECNIA E INGENIERIA S.A.C.
 Dirección : AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. 8 - VILLA EL SALVADOR - LIMA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : COMPARADOR DE CUADRANTE
 Tipo de Indicación : ANALÓGICO
 Alcance de Indicación : 0 mm a 10 mm
 División de Escala : 0,01 mm
 Marca : INSIZE
 Modelo : 2301-10
 Serie : 7C08088
 Procedencia : NO INDICA
 Código de identificación : NO INDICA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
 LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.
 26 - ENERO - 2021

4. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el Procedimiento de calibración de Comparadores de cuadrante PC-014 (2da Edición 2001) del servicio nacional de metrología, del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
BLOQUES PLANOPARALELOS	INSIZE	LLA - 011 - 2020	INACAL - DM

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	20,1	20,3
Humedad %	80	81

7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"



Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631



EDUARDO CLARKE DE LA PUENTE

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-8106 698-9620 LIMA

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

CERTIFICADO QUE ESTA CIPM FOTOSTÁTICA ES IDENTIFICABLE LA QUE SE TIENEN A LA VISTA

LIMA 26 ENERO 2021



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LL - 136 - 2021

Página : 2 de 2

Resultados

ALCANCE DEL ERROR DE INDICACIÓN (f_e)

VALOR PATRÓN (mm)	INDICACIÓN DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	0,00
2,00	2,00	0,00
3,00	3,00	0,00
4,00	4,00	0,00
5,00	5,00	0,00
6,00	6,01	0,01
7,00	7,02	0,02
8,00	8,01	0,01
9,00	9,02	0,02
10,00	10,01	0,01

Alcance de error de indicación (f_e) : 0,02 mm
 Incertidumbre del error de indicación : $\pm 3 \mu\text{m}$

ERROR DE REPETIBILIDAD (f_w)

VALOR PATRÓN (mm)	INDICACIÓN DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACIÓN (mm)
5,00	5,01	0,01
	4,99	-0,01
	4,99	-0,01
	5,02	0,02
	5,01	0,01

Error de Repetibilidad (f_w) : 0,02 mm
 Incertidumbre de medición : $\pm 3 \mu\text{m}$

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

CERTIFICADO QUE ESTA COPIA FOTOSTÁTICA ES IDENTICA A LA QUE SE TIENE A LA VISTA

LIMA 05 JUN 2021



Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
 NOTARIO DE LIMA

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 137 - 2021

Página : 1 de 2

Expediente : T 029-2021
 Fecha de emisión : 2021-01-27

1. Solicitante : GEOSUR GEOTECNIA E INGENIERIA S.A.C.
 Dirección : AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. 8 - VILLA EL SALVADOR - LIMA

2. Instrumento de Medición : COMPARADOR DE CUADRANTE
 Tipo de Indicación : ANALÓGICO
 Alcance de Indicación : 0 mm a 25 mm
 División de Escala : 0,01 mm
 Marca : INSIZE
 Modelo : 2302-25
 Serie : 9C15926
 Procedencia : NO INDICA
 Código de Identificación : NO INDICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.
26 - ENERO - 2021

4. Método de Calibración
La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia el Procedimiento de calibración de Comparadores de cuadrante PC-014 (2da Edición 2001) del servicio nacional de metrología, del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
BLOQUES PLANOPARALELOS	INSIZE	LLA - 011 - 2020	INACAL - DM

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	20.1	20.2
Humedad %	60	60

7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
NOTARIO DE LIMA



CERTIFICADO QUE ESTE INSTRUMENTO ESTÁ IDENTIFICADO A LA VISTA
LIMA 20-ENERO-2021



Punte de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISI3N S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACI3N

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LL - 137 - 2021

Página : 2 de 2

Resultados

ALCANCE DEL ERROR DE INDICACI3N (f_s)

VALOR PATR3N (mm)	INDICACI3N DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACI3N (mm)
0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	0,00
2,00	2,01	0,01
3,00	3,01	0,01
4,00	4,01	0,01
5,00	5,01	0,01
8,00	8,02	0,02
10,00	10,00	0,00
15,00	15,01	0,01
20,00	20,01	0,01
25,00	25,01	0,01

Alcance de error de indicaci3n (f_s) : 0,02 mm
 Incertidumbre del error de indicaci3n : $\pm 3 \mu\text{m}$

ERROR DE REPETIBILIDAD (f_w)

VALOR PATR3N (mm)	INDICACI3N DEL COMPARADOR (mm)	ERROR DE INDICACI3N (mm)
13,00	13,01	0,01
	13,02	0,02
	13,01	0,01
	13,01	0,01
	13,02	0,02

Error de Repetibilidad (f_w) : 0,02 mm
 Incertidumbre de medici3n : $\pm 3 \mu\text{m}$

La incertidumbre expandida de la medici3n se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estandar de la medici3n por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribuci3n normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio
 Mg. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
 NOTARIO DE LIMA

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCI3N PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACI3N DE PUNTO DE PRECISI3N S.A.C.

CENTRO FUE ESTABLECIDO FOTOSTATICAMENTE
 TÉCNICA UNICIÓN PARA LA VISTA

Copa Casagrande



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 1205 - 2020

Página : 1 de 2

Expediente : T 260-2020
 Fecha de emisión : 2020-10-21

1. Solicitante : GEOSUR GEOTECNIA E INGENIERIA S.A.C.

Dirección : AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. 8 - VILLA EL SALVADOR - LIMA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : COPA CASAGRANDE

Marca de Copa : TAMEQUIPOS
 Modelo de Copa : TCP005
 Serie de Copa : 511
 Código de identificación : NO INDICA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
 LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
 20 - OCTUBRE - 2020

4. Método de Calibración
 Por Comparación con instrumentos Certificados por el INACAL - DM.
 Tomando como referencia la Norma ASTM D 4318.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	TC - 9991 - 2020	INACAL - DM

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	21,6	21,9
Humedad %	65	65

7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631





Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 1205 - 2020

Página : 2 de 2

Medidas Verificadas

COPA CASAGRANDE								RANURADOR		
CONJUNTO DE LA CAZUELA					BASE			EXTREMO CURVADO		
DIMENSIONES	A	B	C	N	K	L	M	a	b	c
DESCRIPCIÓN	RADIO DE LA COPA	ESPESOR DE LA COPA	PROFUNDIDA DE LA COPA	Copa desde la guía del espesor a base	ESPESOR	LARGO	ANCHO	ESPESOR	BORDE CORTANTE	ANCHO
MEDIDA TOMADA	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	54,38	2,00	28,26	47,13	51,54	150,29	125,34	10	2,16	12,89
MEDIDAS STANDARD	54	2	27	47	50	150	125	10	2	13,5
TOLERANCIA ±	0,5	0,1	0,5	1,0	2,0	2,0	2,0	0,05	0,1	0,1
ERROR	0,38	0,00	1	0,13	1,54	0,29	0,34	0	0,16	-0,61

FIN DEL DOCUMENTO




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631

CERTIFICADO QUE MUESTRA DIFERENCIAS FOTOGRAFICAS
 IDENTICA A LA QUE LE TENGO A LA VISTA
 LIMA - 20.06.2021



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
 NOTARIO DE LIMA

Horno Eléctrico



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 661 - 2021

Página : 1 de 4

Expediente : T 053-2021
Fecha de emisión : 2021-02-17

1. Solicitante : GEOSUR GEOTECNIA E INGENIERIA S.A.C.

Dirección : AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. 6 - VILLA EL SALVADOR - LIMA

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : ESTUFA

Indicación : ANALÓGICO

Marca del Equipo : RR
Modelo del Equipo : H2356
Serie del Equipo : 225814
Capacidad del Equipo : 58 L
Código de identificación : NO INDICA

Marca de indicador : NO INDICA
Modelo de indicador : NO INDICA
Serie de indicador : NO INDICA
Temperatura calibrada : 110 °C

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
 AV. CENTRAL NRO. 624 SC. 1, GR. 6 - VILLA EL SALVADOR - LIMA
 16 - FEBRERO - 2021

4. Método de Calibración
 La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
TERMOMETRO DIGITAL	APPLENT	150-CT-T-2020	INACAL - DM

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	28,5	28,5
Humedad %	55	55

7. Conclusiones

La estufa se encuentra fuera de los rangos $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Losyza Capcha
 Reg. CIP N° 152631

EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
 NOTARIO DE LIMA



Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Tel. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

CERTIFICADO QUE ESTA FORMA FOTOSTÁTICA ES IDENTICAL A LA QUE SE TIENE A LA VISTA



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 661 - 2021

Página : 2 de 4

CALIBRACIÓN PARA 110 °C

Tiempo (min.)	Ind. (°C) Temperatura del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	ΔTMax. - TMin. (°C)
		NIVEL INFERIOR					NIVEL SUPERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	110	126,2	129,1	137,0	135,3	127,5	122,7	132,0	113,4	114,2	115,6	125,3	23,6
2	110	125,5	128,2	136,5	130,8	126,5	122,3	132,1	116,1	115,2	116,5	125,0	21,3
4	110	125,8	127,2	137,0	129,2	128,3	122,5	130,0	115,5	118,2	114,3	124,4	22,7
6	110	123,2	125,7	135,7	127,6	127,5	121,4	130,2	115,1	115,9	113,2	123,8	22,5
8	110	128,1	124,5	133,6	128,3	129,0	120,5	126,2	114,8	115,4	115,4	123,1	18,7
10	110	121,0	122,7	130,8	123,9	125,6	119,3	122,3	114,0	114,4	115,5	121,0	16,8
12	110	119,3	120,3	127,3	121,4	126,5	117,4	119,7	113,2	112,9	115,2	119,3	14,4
14	110	119,3	122,5	130,2	121,3	119,5	120,5	122,2	113,2	112,5	114,2	119,5	17,7
16	110	125,5	127,5	130,2	121,5	120,5	120,5	132,5	115,2	112,6	112,5	121,9	20,0
18	110	125,8	128,6	136,2	129,3	121,5	122,3	132,6	113,5	115,3	112,5	123,7	23,7
20	110	125,8	128,5	137,0	130,2	128,3	122,8	132,6	113,6	115,2	113,2	124,5	23,8
22	110	126,5	128,3	135,0	135,6	126,5	122,5	132,4	113,2	115,8	112,5	124,8	23,1
24	110	126,6	127,5	135,3	135,2	121,3	120,3	132,5	113,2	114,5	113,5	124,0	22,1
26	110	123,5	127,4	133,2	135,6	120,5	120,4	132,6	114,6	114,5	114,2	123,7	21,4
28	110	123,6	125,3	130,6	121,5	126,5	120,6	122,5	114,5	114,5	115,5	121,5	16,1
30	110	129,5	125,4	133,5	121,5	125,5	117,3	126,3	114,5	115,9	115,6	122,5	19,0
32	110	121,3	125,6	130,2	123,6	127,5	119,8	126,6	113,2	115,3	112,2	121,5	18,0
34	110	119,5	127,3	127,6	123,5	127,5	119,5	122,5	113,5	115,6	112,2	120,9	15,4
36	110	119,6	122,5	127,6	126,4	127,3	120,3	119,0	115,2	112,5	112,5	120,3	15,1
38	110	123,3	122,5	130,2	126,3	121,5	122,5	119,8	116,5	112,5	113,4	120,9	17,7
40	110	126,4	120,3	130,6	123,5	122,6	122,3	122,2	116,3	112,5	114,5	121,1	18,1
42	110	126,5	120,5	135,4	121,6	123,5	117,5	130,2	113,2	112,5	115,6	121,7	22,9
44	110	125,3	122,6	135,6	130,2	126,5	120,3	130,6	113,4	113,5	115,4	123,3	22,2
46	110	123,5	127,5	130,5	135,6	126,6	120,6	130,2	113,5	114,6	115,6	123,8	22,3
48	110	129,4	129,6	136,3	135,2	127,5	121,2	132,4	114,6	115,6	115,4	125,7	21,7
50	110	123,5	128,5	136,4	130,2	120,5	119,6	132,6	114,5	116,5	115,8	123,8	21,9
52	110	119,5	127,5	135,2	121,4	119,5	120,3	132,5	114,5	116,5	114,5	122,1	20,7
54	110	119,5	122,6	135,2	121,5	121,2	120,3	130,2	113,2	114,5	115,5	121,4	22,0
56	110	121,3	122,4	130,2	130,2	123,5	121,5	126,6	113,5	116,5	114,3	122,0	16,7
58	110	121,5	120,3	127,5	121,3	124,5	121,3	132,5	113,5	114,6	113,2	121,0	19,3
60	110	126,3	122,5	127,7	129,6	126,3	119,5	122,5	115,5	112,5	114,5	121,7	17,1
T. PROM	110,0	123,9	125,2	132,8	127,3	124,5	120,8	128,0	114,3	114,5	114,3	122,5	
T. MAX	110,0	129,5	129,6	137,0	135,8	127,5	122,7	132,6	116,5	116,5	116,5		
T. MIN	110,0	119,3	120,3	127,3	121,3	119,5	117,3	119,0	113,2	112,5	112,2		
DTT	0,0	10,2	9,3	9,7	14,5	8,0	5,4	13,6	3,3	4,0	4,3		

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	137,0	0,4
Mínima Temperatura Medida	112,2	0,5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	14,5	0,2
Desviación de Temperatura en el Espacio	18,5	0,3
Estabilidad Media (±)	7,25	0,02
Uniformidad Media	24,8	0,1

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.
 Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.
 La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

CERTIFICADO QUE ESTE COPIA FOTOSTÁTICA IDENTIFICA LA QUE HE TENIDO A LA VISTA



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP. N° 152631

EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
NOTARIO DE LIMA



Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

COPIA IDENTIFICADA POR EL INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DEL PERÚ



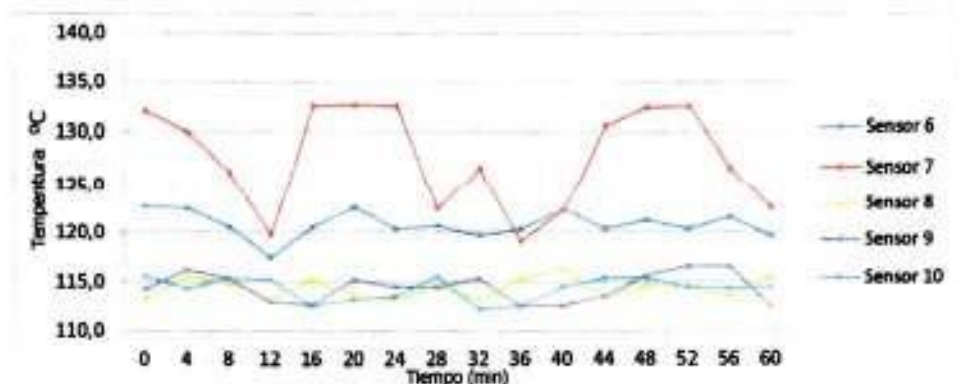
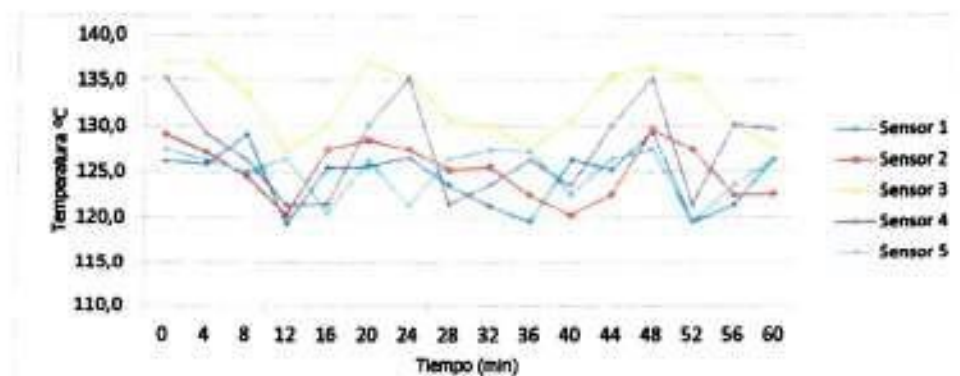
Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 661 - 2021

Página : 3 de 4

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C



[Signature]
 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631



[Signature]
 EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
 NOTARIO DE LIMA



Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

CERTIFICADO QUE ESTA CALIBRACION FOTOCOPIADA ES IDENTICA A LA QUE FUE TENIDO A LA VISTA
 LIMA 02 U-Sept-2021



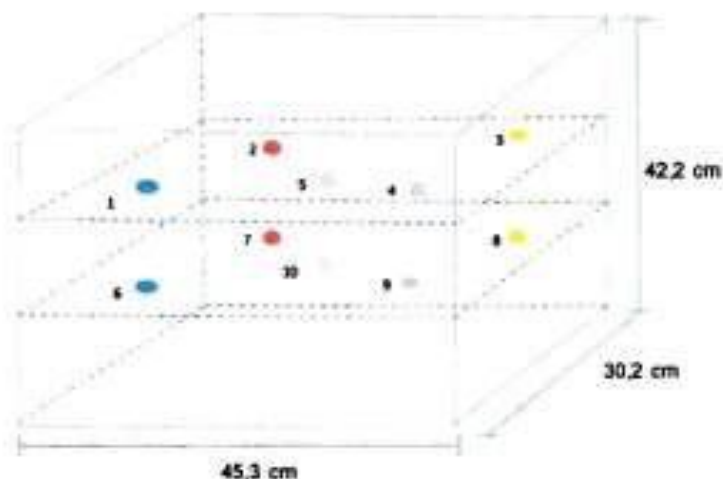
Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 861 - 2021

Página : 4 de 4

DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la pantalla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



EDWARD CLARKE DE LA PUENTE
NOTARIO DE LIMA



Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5108 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S A C

CERTIFICADO QUE ESTA COPIA FOTOSTATICA ES IDENTICA A LA QUE HE TENIDO A LA VISTA

LIMA 20-AGO-2021