

UNIVERSIDAD NACIONAL "HERMILIO VALDIZAN"
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL
REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES**

LINEA DE INVESTIGACION: INGENIERÍA ESTRUCTURAL
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTAS:

JIMENEZ FERNANDEZ, Ingrid Angelica

ROMAN JURADO, Adomin

ASESOR:

Ing. QUINTANILLA HERRERA, Elisa Raquel

HUÁNUCO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios, por permitirnos llegar a este objetivo, dándonos salud, fortaleza y su infinito amor.

A nuestros padres, por habernos educado con cariño, comprensión y mucha responsabilidad.

A nuestros hermanos, por el apoyo desinteresado e incondicional.

AGRADECIMIENTO

Ante de todo, agradecemos a nuestro Padre Celestial creador de los cielos y la tierra por su amor inefable, por su misericordia; no hay lenguaje ni palabra para expresarle toda nuestra gratitud.

A nuestros preciados padres por habernos guiado por sendas de rectitud. Por su gran ejemplo de esfuerzo e inmolación.

A nuestros docentes, por potenciar nuestros conocimientos durante la etapa universitaria.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el diseño de cimentaciones según el reglamento ACI 351.3R-18 en máquinas vibrantes, debido a que en el país se tiene poca información al respecto, por lo que se brinda un aporte al rubro de las construcciones, en específico las máquinas vibrantes, por lo que se usó la documentación y las listas de cotejo como instrumentos para poder recolectar información a través de las técnicas de observación y análisis documental respectivamente.

Es importante que como país y mucho más, como región nos adecuamos a los avances que se van desarrollando en el mundo, por lo que al sistematizar el diseño de cimentaciones para máquinas vibrantes basados en el reglamento ACI 351.3R-18 mejorará las posibilidades de crecimiento y dará un mejor soporte a los profesionales dedicados a este rubro.

Palabras clave: Diseño, Dinámico, Cimentaciones.

SUMMARY

The present investigation had as objective to determine the design of foundations according to the ACI 351.3R-18 regulation in vibrating machines, because in the country there is little information in this regard, for which a contribution is provided to the construction industry, in specifically vibrating machines, so documentation and checklists were used as instruments to collect information through observation techniques and documentary analysis respectively.

It is important that as a country and much more, as a region, we adapt to the advances that are being developed in the world, so by systematizing the design of foundations for vibrating machines based on the ACI 351.3R-18 regulation, it will improve the possibilities of growth. and will give better support to professionals dedicated to this field.

Keywords: Design, Dynamic, Foundations.

ÍNDICE

RESUMEN	4
SUMMARY	5
ÍNDICE	6
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. Fundamentación del problema de investigación	12
1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos.....	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Formulación de objetivos generales y específicas.	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Justificación.....	15
1.5. Limitaciones	15
1.6. Variables.....	16
1.7. Definición teórica y operacionalización de variables.	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.1.1. <i>Antecedentes nacionales</i>	18

2.1.2.	<i>Antecedentes internacionales</i>	18
2.2.	Bases Teóricas.....	20
2.2.1.	<i>Tipos de cimentación y de máquinas</i>	20
2.2.2.	Teoría general de vibraciones para sistemas de un grado de libertad	27
2.3.	Bases Conceptuales	41
2.3.1.	<i>Análisis y diseño estático de cimentaciones en máquinas rotativas</i>	41
2.3.2.	Ejemplo de diseño estático de una cimentación	43
2.3.3.	Ejemplo de diseño dinámico de una cimentación	53
2.3.4.	Automatización del diseño dinámico de una cimentación	82
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		94
3.1.	Ámbito.....	94
3.2.	Población.....	94
3.3.	Muestra.....	94
3.4.	Nivel y tipo de estudio	94
3.5.	Diseño de investigación	95
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos.....	95
3.6.1.	Método	95
3.6.2.	Técnicas	96
3.6.3.	Instrumentos.....	96
3.7.	Validación y confiabilidad del instrumento	96

3.8. Procedimiento.....	97
3.9. Tabulación y análisis de datos.....	97
3.10. Consideraciones éticas.....	97
CAPÍTULO IV: RESULTADO.....	98
CAPITULO V: DISCUSIÓN	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Cimentación tipo bloque</i>	21
Figura 2 <i>Cimentación de bloque combinado</i>	22
Figura 3 <i>Cimentación tipo pórtico</i>	22
Figura 4 <i>Cimentación Tipo Pórtico Con Aisladores</i>	23
Figura 5 <i>Cimentación Con Apoyo Dinámico</i>	24
Figura 6 <i>Cimentación Sobre Pilotes</i>	24
Figura 7 <i>Diagrama de Máquina Rotativa</i>	25
Figura 8 <i>Diagrama de Máquina Recíproca</i>	26
Figura 9 <i>Sistema de un Grado de Libertad: (A) Fuerza Aplicada $P(T)$; (B) Movimiento del Terreno Inducido por un Sismo</i>	28
Figura 10 <i>Modelo Matemático para un Sistema con un Grado de Libertad</i>	29
Figura 11 <i>Representación de Modelos Matemáticos para Sistemas con un Grado de Libertad.</i>	30
Figura 12 <i>Respuesta en Vibración Libre sin Amortiguación</i>	32
Figura 13 <i>(a) Oscilador con Amortiguación Viscosa. (b) Diagrama de Cuerpo Libre</i>	33
Figura 14 <i>Vibración Libre para un Sistema Subamortiguado</i>	34
Figura 15 <i>Vibración Libre con Amortiguación Crítica y Sobreamortiguada</i>	34
Figura 16 <i>(a) Oscilador sin Amortiguación Excitado Armónicamente (b) Diagrama de Cuerpo Libre</i>	36
Figura 17 <i>(a) Oscilador con Amortiguador Excitado Armónicamente; (b) Diagrama de Cuerpo Libre</i>	39
Figura 18 <i>Direcciones de Movimiento del Bloque, Traslacionales y Rotacionales</i>	59
Figura 19 <i>Radio Equivalente de la Cimentación</i>	60

Figura 20 <i>Interfaz Para el Ingreso de Datos de los Materiales</i>	82
Figura 21 <i>Interfaz para el Ingreso de Datos del Suelo</i>	83
Figura 22 <i>Interfaz para el Ingreso de Datos del Equipo</i>	84
Figura 23 <i>Interfaz para Pre-Dimensionamiento de la Altura de la Cimentación</i>	85
Figura 24 <i>Ingreso de Dimensiones de la Cimentación</i>	86
Figura 25 <i>Verificación de la Relación de Peso</i>	87
Figura 26 <i>Verificación del Radio Equivalente</i>	88
Figura 27 <i>Cálculo de los Coeficientes</i>	89
Figura 28 <i>Solución 1: Sin Considerar los Efectos del Embebido del Cimiento</i>	90
Figura 29 <i>Solución 2: Considerando los Efectos del Embebido del Cimiento</i>	91
Figura 30 <i>Cálculo de la Solución del Sistema</i>	92
Figura 31 <i>Gráfico de Amplitud de Desplazamiento vs Frecuencia</i>	93
Figura 32 <i>Gráfico de Amplitud de Desplazamiento vs Frecuencia</i>	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Cuadro de Variables</i>	16
Tabla 2 <i>Cuadro de Operacionalización de Variables</i>	17
Tabla 3 <i>Presiones Máximas Según Casos de Carga</i>	51
Tabla 4 <i>Factores Sugeridos por Veletsos, 1971</i>	63
Tabla 5 <i>Parámetros de Rigidez y Amortiguamiento ($D=0$)</i>	69

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del problema de investigación

En el mundo entero existe un creciente desarrollo de la industrialización y automatización de los procesos, por lo que se crean constantemente nuevos tipos de máquinas. Son de nuestro interés aquellas que, al estar en funcionamiento, generan adicionalmente un movimiento vibratorio que conlleva a una sollicitación de tipo dinámica que se transmite al suelo a través de la cimentación. Surge así la necesidad de contar con métodos y reglamentos para el diseño de cimentaciones en máquinas vibratorias, por ello, Estados Unidos cuenta con el código ACI 351.3R - 18. *Report on Foundations for Dynamic Equipment*, en la que se presentan criterios y métodos para un diseño dinámico de este tipo de cimentaciones.

En América Latina, debido a la globalización y a su crecimiento económico, se busca implementar procesos que estén a la vanguardia de la tecnología, a fin de acortar las brechas con los países desarrollados. Por lo que, también cuentan con máquinas vibratorias; sin embargo, la información referente al diseño de cimentaciones de máquinas vibratorias es muy limitado.

Específicamente en Perú, en las (Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE))únicamente podemos encontrar en la Norma E.020 (2006); en el artículo 9.8: Motores, nos indica que las reacciones originadas por los motores (máquinas vibratorias) se deberán aumentar en 50% y 25% para unidades a motor de explosión o eléctrico respectivamente, además, se deberá considerar las vibraciones que estos puedan producir en las estructuras.

En la Norma E.050 (2018), en el artículo 13.5.2, indica que en el caso de edificaciones especiales que alberguen maquinaria pesada o que vibren, deberá contarse con la indicación de la magnitud de las cargas a transmitirse a la cimentación y niveles de piso terminado, o los

parámetros dinámicos de la máquina. Las tolerancias de las estructuras a movimientos totales o diferenciales y sus condiciones límite de servicio y las eventuales vibraciones o efectos térmicos generados en la utilización de la estructura, como se puede apreciar solo son consideraciones muy generales y no presentan un procedimiento en específico del diseño de este tipo de cimentaciones.

Especialmente en nuestro país, en la mayoría de los casos, se realiza un incorrecto diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes. Es decir, solo se emplean las cargas estáticas utilizando factores de seguridad elevados y criterios empíricos para compensar esta falencia, a pesar de que evidentemente las cargas dinámicas son las que deberían gobernar el diseño.

Una de las principales causas por las que los profesionales optan por un diseño estático, se debe a la poca o nula información sobre el diseño dinámico, tanto por parte del Reglamento Nacional de Edificaciones como en la bibliografía local, además de la complejidad y las múltiples disciplinas que involucra un diseño dinámico.

Como consecuencia se tendrán cimentaciones en algunos casos sobredimensionadas, generando pérdidas económicas a los empresarios; o en su defecto, cimentaciones cuyas vibraciones produzcan asentamientos excesivos que puedan dañar las máquinas que en la mayoría de los casos suelen ser muy costosos y delicados.

Por tanto, en la presente investigación se realizará una revisión del reglamento extranjero y local para elaborar una guía de diseño que incluya modelos matemáticos y hojas de cálculo a fin de automatizar el diseño dinámico de este tipo de cimentaciones superficiales.

1.2. Formulación del problema de investigación general y específicos.

1.2.1. Problema general

¿Cómo es el diseño de cimentaciones según el reglamento ACI351.3R-18 en máquinas vibrantes?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es el diseño de cimentaciones para máquinas vibrantes en el Perú?
- ¿Cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas estáticas?
- ¿Cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas dinámicas?

1.3. Formulación de objetivos generales y específicas.

1.3.1. Objetivo general

Determinar cómo es el diseño de cimentaciones según el reglamento ACI 351.3R - 18 en máquinas vibrantes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar cómo es el diseño de cimentaciones para máquinas vibrantes en el Perú.
- Analizar cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas estáticas.
- Analizar cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas dinámicas.

1.4. Justificación

Esta investigación se justifica de manera teórica y práctica porque resume el aporte de los autores más importantes que hace referencia a las variables de estudio en medida que ayuda a prevenir este problema.

De igual manera posee una justificación económica debido a que colabora con el ahorro evitando cimentaciones sobredimensionadas o reparaciones innecesarias a causa de un diseño inadecuado; legal, puesto que el diseño involucra el uso del reglamento nacional de edificaciones como también la normatividad extranjera existente e investigativa ya que darán pie a que se puedan continuar los estudios en este campo.

Por todo esto es importante recalcar que los nuevos avances tecnológicos ayudan a mejorar en cualquier ámbito de la investigación, por lo que se presentará como aporte una guía de diseño que incluya modelos matemáticos y hojas de cálculo con el fin de automatizar el diseño dinámico de cimentaciones de máquinas vibrantes.

1.5. Limitaciones

Esta investigación presenta limitaciones en relación al proceso de recolección de información y datos, debido a la situación actual en la que se encuentra el país.

También existen limitaciones bibliográficas, debido a que la mayoría se encuentra en idioma extranjero, la cual tuvo que ser traducida al español.

1.6. Variables.

Tabla 1

Cuadro de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Diseño de cimentaciones	Estudio de Suelos	Profundidad de cimentación
		Capacidad de carga
Reglamento ACI 351.3R-18	Normas estructurales	De acuerdo al País
	Cimentaciones de máquinas vibrantes.	Cargas estáticas
		Cargas dinámicas

Fuente: Elaboración propia

1.7. Definición teórica y operacionalización de variables.

Tabla 2

Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL
Diseño de cimentaciones	<p>Conjunto de conceptos y protocolos para el diseño correcto de algún elemento estructural.</p> <p>Son aquellas cuya magnitud, dirección y punto de aplicación varía con el tiempo.</p>	Estudio de suelos	Profundidad de cimentación	Las Cimentaciones Profundas son un tipo de Cimentaciones que solucionan la transmisión de cargas a los sustratos aptos y resistentes del suelo.
			Capacidad de carga	Es la carga por unidad de área bajo la fundación bajo la cual se produce la falla por corte, es decir, es la mayor presión unitaria que el suelo puede resistir sin llegar al estado plástico.
Reglamento ACI 351.3R-18	<p>Este reglamento presenta criterios, métodos y procedimientos de análisis, diseño y construcción aplicada a cimentaciones para equipos dinámicos.</p>	Normas estructurales	De acuerdo al País	Cada país establece normas estructurales que rigen, cómo se debe construir para proporcionar mayor seguridad a la población, estas normas sirven para crear un estándar concreto en el aspecto estructural.
		Cimentaciones de máquinas vibrantes.	<p>Cargas estáticas</p> <p>Cargas dinámicas</p>	<p>Son aquellas cuya magnitud, dirección y punto de aplicación varía con el tiempo.</p> <p>Conllevan cambios repentinos de intensidad y posición. El desarrollo de las fuerzas inerciales que conlleva y su máxima deformación usualmente no coinciden con la intensidad máxima de la fuerza aplicada.</p>

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes nacionales*

Jiménez (2014) Diseño de cimentación sometida a vibración inducida por bomba centrífuga horizontal Imbil ubicada en la caldera de planta Maple Etanol.

Resumen. - La investigación tuvo como objetivo principal realizar el análisis, cálculo y diseño de la cimentación para la bomba Imbil de 11 toneladas ubicada en la caldera de la Planta maple Etanol, distrito La Huaca, Provincia Paita, departamento Piura y con funcionamiento las 24 horas del día.

Esta investigación es del tipo descriptiva, en la que se propone un procedimiento de cálculo para resolver cimentaciones sujetas a cargas dinámicas cíclicas basado en el método conocido como “semiespacio”

Como resultado se obtuvo el diseño de la cimentación proveniente de un análisis dinámico utilizando el método del “semiespacio” garantiza que el sistema suelo-cimentación-maquinaria suministre un funcionamiento estable, seguro, eficiente, continuo y confiable.

2.1.2. *Antecedentes internacionales*

Salazar (2013) Cálculo y diseño de cimentaciones para equipos y maquinarias presentes en una facilidad de producción petrolera.

Resumen. - El objetivo principal de esta investigación es elaborar un estudio detallado de los parámetros necesarios para el diseño de la cimentación de los equipos y maquinarias comúnmente utilizados en una facilidad petrolera de producción; además realizar paso a paso el diseño de las cimentaciones de dichos equipos, maquinaria y estructura.

Como aporte se presenta puntualmente los pasos a seguir previos al cálculo de la cimentación de equipo estático y vibratorio y pequeñas condiciones, utilizando el software SAP2000 para este efecto.

Monachello & Moreno (2013) Diseño de bloques de cimentación para maquinarias dinámicas.

Resumen. - El objetivo principal de la investigación es servir como guía para el diseño de bloque de cimentación que soporta máquinas dinámicas, presentando contenido teórico y práctico. La primera esclarece la terminología, los modelos a emplear, así también desarrolla la metodología de diseño de cimentaciones y el proceso de modelación numérica. La segunda presenta ejemplos prácticos de la metodología.

Bimbrera (2018) Análisis y diseño de cimentaciones para maquinaria.

Resumen. – El objetivo de esta investigación es presentar la teoría de vibraciones y sus ecuaciones características, empleadas en el análisis de vibraciones de un sistema suelo-cimentación-maquinaria. También el presentar las propiedades dinámicas del suelo que intervienen en el análisis del sistema, así como algunos de los conceptos empleados en su estimación. En la parte de confiabilidad se analizan algunos de los conceptos básicos de probabilidad y la teoría del método de Montecarlo, con el cual se realiza el análisis de confiabilidad.

Se hace el planteamiento de un problema ilustrativo, en el que se analice el comportamiento del sistema mediante un programa reescrito en Fortran, que permite obtener sus vibraciones y desplazamientos. Para finalizar se presenta la teoría básica de probabilidad que se emplea en el análisis de confiabilidad. Empleando la teoría se desarrolló una hoja de cálculo

programada (.xls), con la que se realiza el análisis de confiabilidad que el sistema entre en resonancia, mediante la aplicación del método probabilístico de Montecarlo.

Herrera (2011) Comportamiento del sistema suelo – fundación sometida a cargas dinámicas.

Resumen. – El objetivo de este proyecto es definir el comportamiento de un sistema suelo-fundación, sometido a cargas dinámicas producidas por una máquina vibratoria, de acuerdo a la deformación y los puntos de plastificación a distintos tipos de carga, haciendo variar ésta última en su magnitud y frecuencia. De los casos estudiados se concluyó lo siguiente: los desplazamientos obtenidos del modelo son semejante a las entregadas por el método pseudo-estático de Arya et al (1979), dejando en claro que se debe investigar el efecto de los giros cuando se modela la fundación completa, es decir, sin asumir simetría. Además, es importante mencionar que el modelo por elementos finitos no evidencia la frecuencia natural del sistema, para verificar el fenómeno de resonancia, quedando en desventaja con el método propuesto por Arya et al (1979).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Tipos de cimentación y de máquinas

Generalidades

Según el ACI 351.3R (2018), para la elección del tipo, configuración estructural e instalación de una cimentación se debe tener las siguientes consideraciones:

- Características del suelo, topografía, sismicidad, clima y otros efectos.
- Configuración de la base de la máquina, tales como el tamaño del bastidor, mecanismo de accionamiento, etc.
- Requisitos de montaje, como limitaciones o restricciones, procedimientos y técnicas.

- Requisitos de mantenimiento.
- Factores económicos.
- Requisitos ambientales, etc.

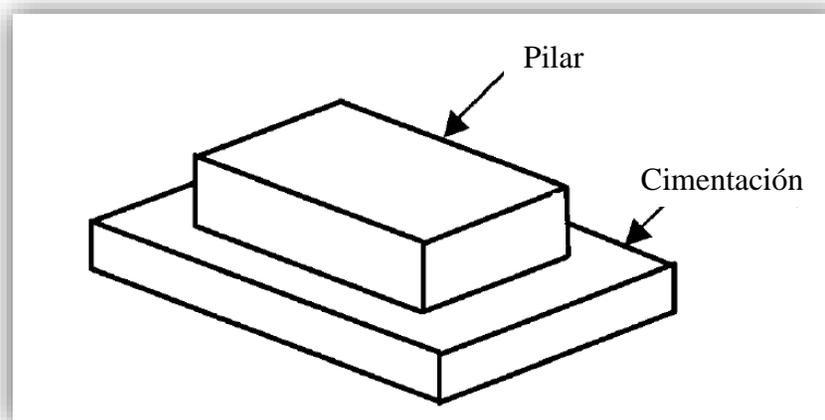
Tipos de cimentaciones para equipos dinámicos

Del mismo modo el ACI 351.3R (2018) señala que existen los siguientes tipos de cimentaciones:

Cimentación tipo bloque: En este tipo de cimentaciones las máquinas dinámicas se ubican preferiblemente cerca del nivel para minimizar la diferencia entre las fuerzas dinámicas de la máquina y el del centro de gravedad de la cimentación. Su uso depende de la calidad del suelo.

Figura 1

Cimentación tipo bloque

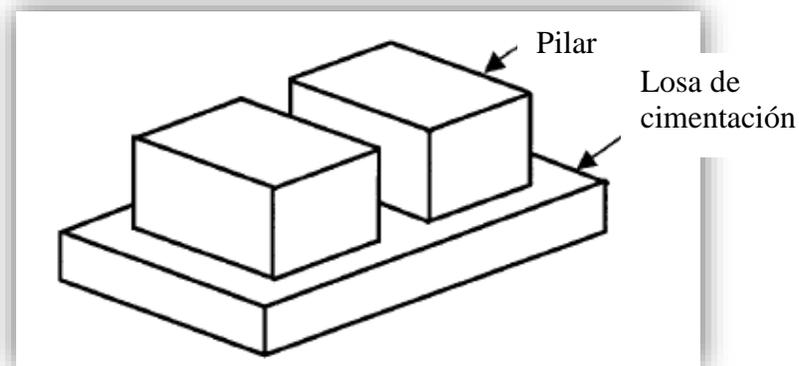


Fuente: ACI 351.3R (2018)

Cimentación combinada tipo bloque: Estos bloques de cimentación se utilizan para soportar máquinas en espacios reducidos. Sin embargo, su diseño es complicado debido a la combinación de fuerzas de dos o más máquinas y debido a una posible falta de rigidez.

Figura 2

Cimentación de bloque combinado

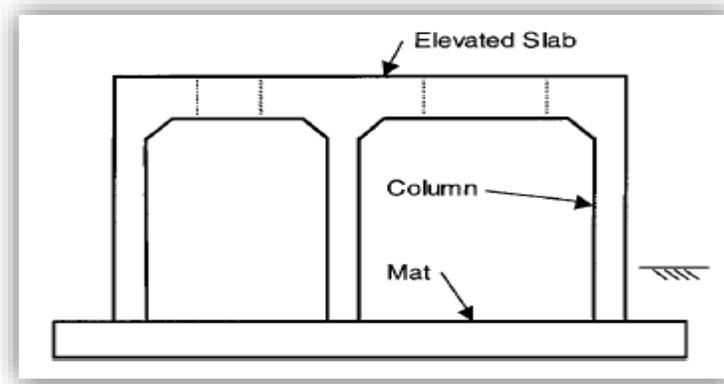


Fuente: ACI 351.3R (2018)

Cimentación tipo pórtico: Este tipo de cimentaciones es común para equipos grandes impulsados por turbinas como los generadores eléctricos, dicha elevación permite la instalación de conductos, tuberías y elementos auxiliares.

Figura 3

Cimentación tipo pórtico

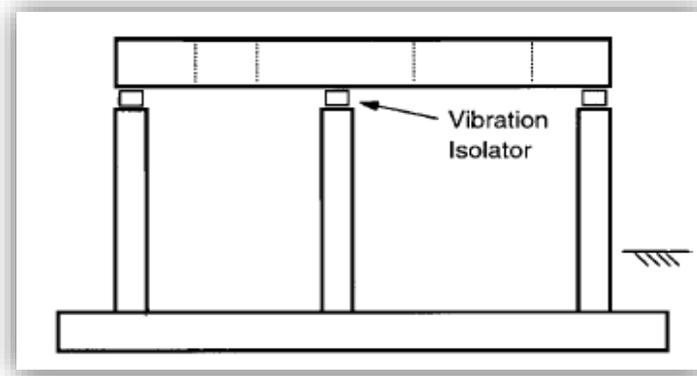


Fuente: ACI 351.3R (2018)

Cimentación tipo pórtico con aisladores: Este tipo de cimentación presenta aisladores (resortes y amortiguadores) ubicados en la parte superior de las columnas de soporte, las cuales se utilizan para minimizar la respuesta a la carga dinámica. La efectividad de los aisladores depende de la velocidad de la máquina y la frecuencia natural de la fundación.

Figura 4

Cimentación Tipo Pórtico Con Aisladores

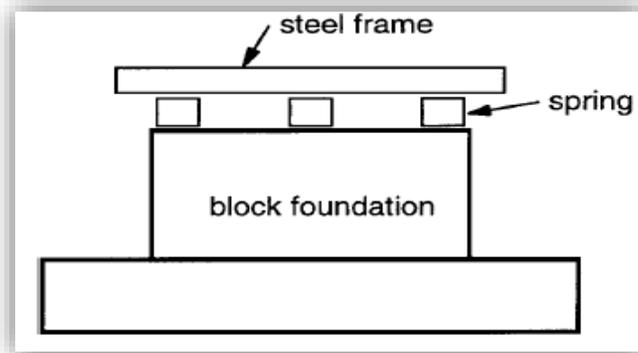


Fuente: ACI 351.3R (2018)

Cimentación con apoyos elásticos: Este tipo de cimentaciones se usa generalmente en bombas para minimizar las fuerzas térmicas en la conexión de las tuberías. Además, los resortes se apoyan en una cimentación tipo bloque; así, la configuración tiene un efecto similar al del pórtico con aisladores. Otro tipo de equipos están montados sobre resortes para limitar la transmisión de fuerzas dinámicas.

Figura 5

Cimentación Con Apoyo Dinámico

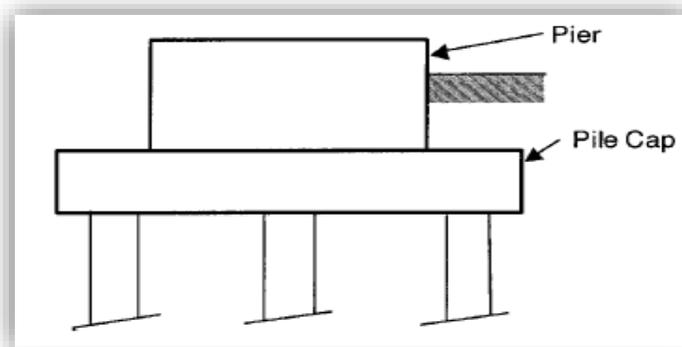


Fuente: ACI 351.3R (2018)

Cimentación sobre pilotes: Este tipo de cimentaciones se utilizan generalmente en suelos blandos, las cargas transversales son soportadas por la presión del suelo contra el pilote y los tipos de pilotes que se podrían utilizar son los perforados, moldeados y pilotes hincados.

Figura 6

Cimentación Sobre Pilotes



Fuente: ACI 351.3R (2018)

Tipos De Máquinas Vibratorias

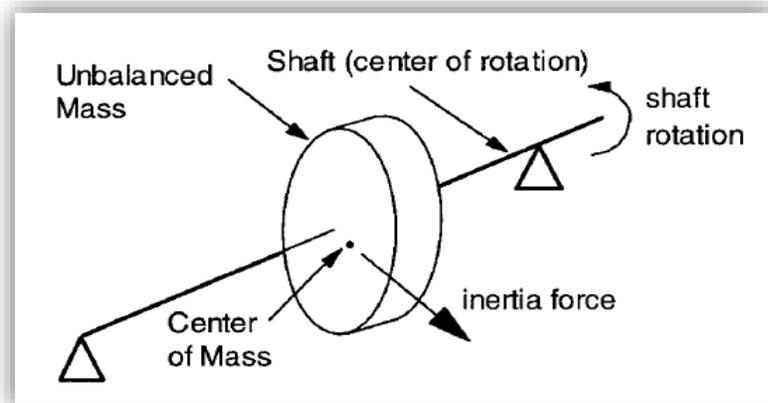
Así mismo el ACI 351.3R (2018) indica los siguientes tipos de máquinas:

Máquina rotativa: En este tipo de maquinaria se encuentran las turbinas de gas, turbinas de vapor, compresores, motores, etc. Las cuales se caracterizan por el movimiento giratorio de impulsores o rotores.

Las fuerzas desequilibradas en las máquinas giratorias se generan cuando el centroide de masa de la parte giratoria no coincide con el centro de rotación. Esta fuerza dinámica es una función de la masa del eje, la velocidad de rotación y la magnitud de la excentricidad.

Figura 7

Diagrama de Máquina Rotativa



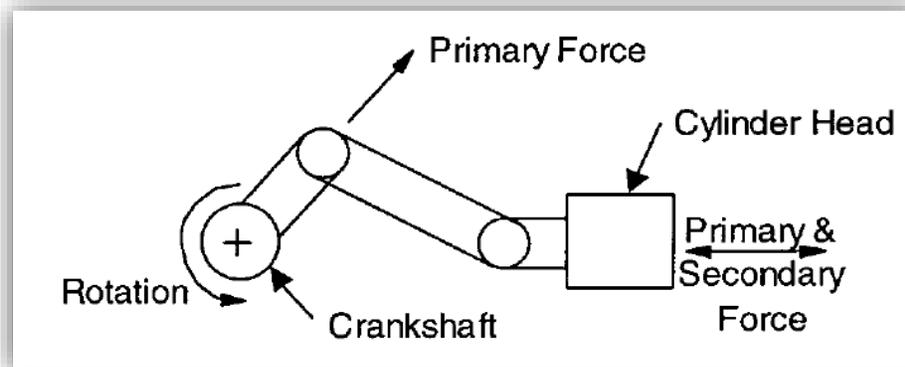
Fuente: ACI 351.3R (2018)

Máquina recíproca: Se refiere a máquinas como compresores y motores diesel. Su funcionamiento consiste en un pistón que al moverse en un cilindro interactúa con un fluido a través de la cinemática de una manivela, las fuerzas individuales del fluido del cilindro actúan de adentro a hacia afuera del cigüeñal. Para cilindro y marco rígido, estas fuerzas se equilibran

internamente, pero las deformaciones de grandes máquinas pueden causar una parte de la carga del fluido que se transmite a los soportes y a la cimentación.

Figura 8

Diagrama de Máquina Recíproca



Fuente: ACI 351.3R (2018)

Maquinaria impulsiva: Este tipo de máquinas funcionan con impactos o choques regulados entre diferentes partes del equipo. Dichas cargas se transmiten a la cimentación lo cual representa un factor de diseño para esta.

Su operación consiste en dejar caer un peso sobre metal caliente para poder asignarle una determinada forma, dicho golpe genera una transmisión de energía significativa.

El accionamiento mecánico del sistema genera fuerzas dinámicas horizontales que se deberán considerar en el diseño del sistema de soporte.

Otros tipos de equipos dinámicos

Otras máquinas que generan las cargas dinámicas incluyen trituradoras de rocas y metales. Si bien parte de la carga dinámica de este tipo de equipos tienden a basarse en

desequilibrios rotativos, también hay un carácter aleatorio a la señal dinámicas que varía con la operación particular.

2.2.2. Teoría general de vibraciones para sistemas de un grado de libertad

Vibración mecánica

Beer, Johnston, & Cornwell (2010) señalan que una vibración mecánica es el movimiento de una partícula o cuerpo que oscila alrededor de una posición de equilibrio. La mayoría de las vibraciones en máquinas y estructuras son indeseables debido al aumento de los esfuerzos y a las pérdidas de energía que las acompañan. El análisis de vibraciones se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años debido a la tendencia actual para producir máquinas de más alta velocidad y estructuras más ligeras.

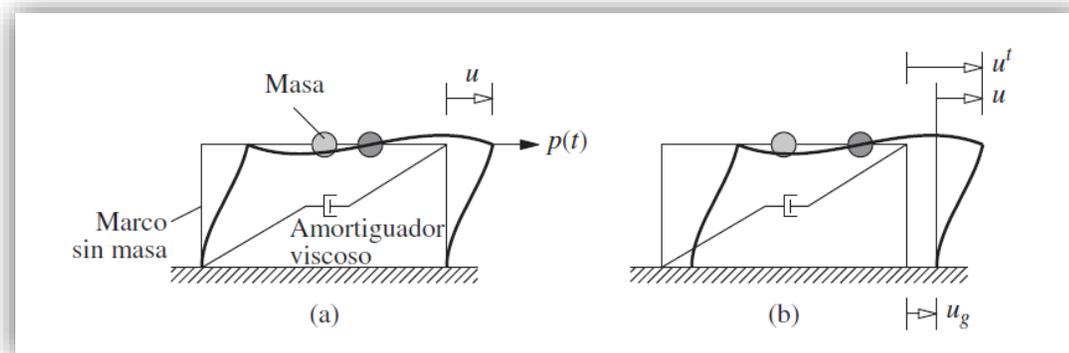
Así mismo, mencionan que una vibración se produce por lo general cuando un sistema se desplaza de una posición de equilibrio estable. El sistema tiende a retornar a su posición bajo la acción de fuerzas restauradoras (ya sean fuerzas elásticas, como en el caso de una masa unida a un resorte, o fuerzas gravitacionales, como en el caso de un péndulo).

Sistemas de un grado de libertad

Para Chopra (2014), el esquema que se presenta en la figura 9. Se compone de una masa concentrada en el nivel del techo, un marco sin masa que proporciona rigidez al sistema, y un amortiguador viscoso que disipa la energía de vibración del sistema. El número de desplazamientos independientes requerido para definir las posiciones desplazadas de todas las masas en relación con su posición original se denomina el número de grados de libertad (GDL), considerando el marco de un nivel de la figura 9 restringido a moverse solo en la dirección de la excitación. Por lo tanto, se le llama sistema de un grado de libertad (1GDL).

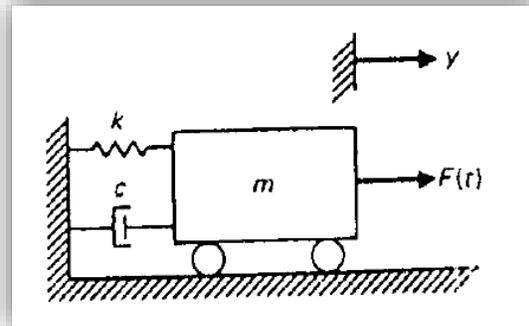
Figura 9

Sistema de un Grado de Libertad: (A) Fuerza Aplicada $P(T)$; (B) Movimiento del Terreno Inducido por un Sismo



Fuente: Chopra (2014)

Según Paz (1992), la representación del modelo matemático se muestra en la figura 10 el cual tiene los siguientes elementos: (1) un elemento masa, m , que representa la masa o propiedad de inercia de la estructura, (2) un elemento resorte, k , que representa las fuerzas internas del sistema y la capacidad de la estructura de almacenar energía potencial, (3) un elemento amortiguación, c , que representa las características friccionales y las pérdidas de energía de la estructura y (4) la fuerza de excitación $F(t)$, que a su vez representa las fuerzas exteriores que actúan sobre el sistema estructural. La fuerza $F(t)$ se escribe en esta forma para indicar que es una función del tiempo.

Figura 10*Modelo Matemático para un Sistema con un Grado de Libertad*

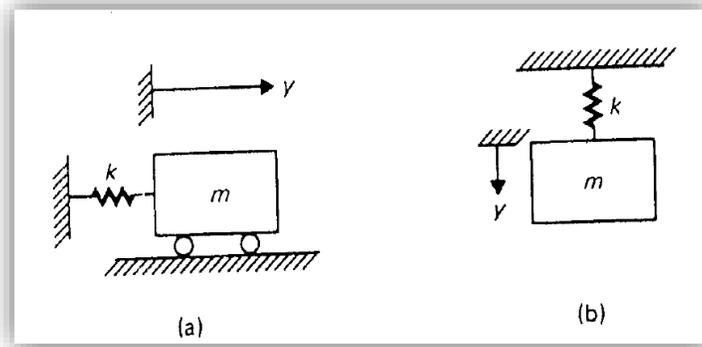
Fuente: Paz (1992)

Tipos de vibración***Vibraciones de sistemas de un solo grado de libertad sin amortiguación:***

Para Paz (1992), es el sistema con un grado de libertad en el cual no se consideran las fuerzas de amortiguación. Además, vamos a considerar a este sistema como si estuviera libre de la acción de fuerzas exteriores durante su movimiento vibratorio. En estas condiciones, el sistema en movimiento estaría gobernado sólo por la influencia de las llamadas condiciones iniciales, o sea el desplazamiento y la velocidad especificados, en el instante $t=0$, cuando se inicia el estudio del sistema. Este sistema con un grado de libertad se conoce como oscilador simple sin amortiguación. El modelo matemático para este sistema es como se muestra en la figura 11. Su gráfica se muestra en la figura 12.

Figura 11

Representación de Modelos Matemáticos para Sistemas con un Grado de Libertad



Fuente: Paz (1992)

Según Paz (1992), la ecuación diferencial de un oscilador simple sin amortiguación en vibración libre es:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (1)$$

Y su solución es:

$$Y = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (2)$$

Dónde A y B son constantes de integración determinadas por las condiciones iniciales:

$$A = y_0$$

$$B = \frac{v_0}{\omega} \quad (3)$$

La frecuencia natural dada en rad/seg.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

La frecuencia natural dada en cps:

$$T = \frac{\omega}{2\pi} \quad (5)$$

El periodo natural en segundos:

$$T = \frac{1}{f} \quad (6)$$

La ecuación del movimiento puede escribirse de varias formas:

$$y = C \sin (\omega t + \alpha) \quad (7)$$

$$y = C \cos (\omega t - \beta) \quad (8)$$

Dónde:

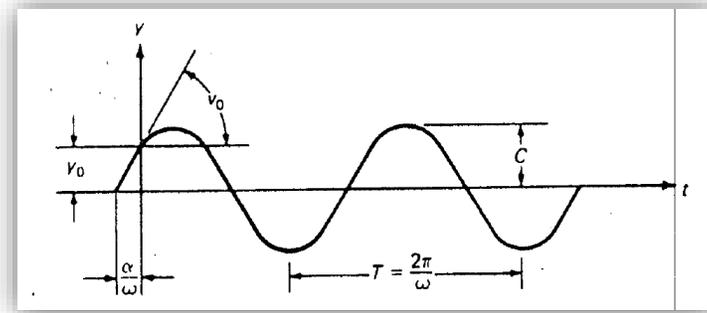
$$C = \sqrt{y_0^2 + \left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2} \quad (9)$$

$$\tan \alpha = \frac{y_0}{\frac{v_0}{\omega}} \quad (10)$$

$$\tan \beta = \frac{\frac{v_0}{\omega}}{y_0} \quad (11)$$

Figura 12

Respuesta en Vibración Libre sin Amortiguación



Fuente: Paz (1992)

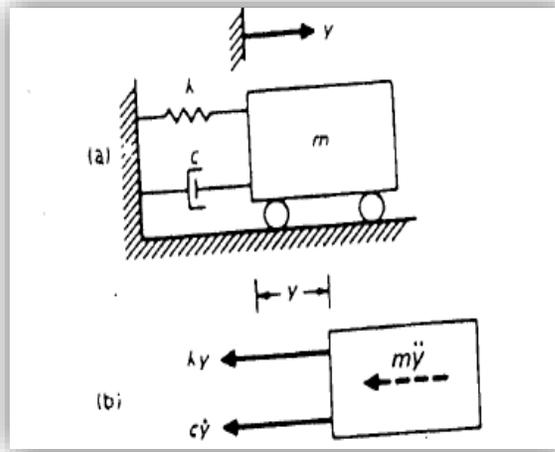
Sistemas con un grado de libertad, con amortiguación:

Así también Paz (1992) menciona que, la experiencia indica que no es posible tener un mecanismo que vibre en condiciones como las expuestas. Las fuerzas llamadas de fricción o de amortiguamiento están siempre presentes en cualquier sistema en movimiento, estas fuerzas disipan energía que constituyen un mecanismo por el cual la energía mecánica del sistema, energía cinética o potencial, se transforma en otros tipos de energía como el calor.

Cuando se consideran las fuerzas de amortiguación o fricción en el análisis dinámico de estructuras, generalmente se asume que éstas son proporcionales a la magnitud de la velocidad y opuestas a la dirección del movimiento. Este tipo de fricción se conoce como amortiguación viscosa. La razón principal del uso generalizado de esta suposición es que conduce a un análisis matemático relativamente simple.

Figura 13

(a) Oscilador con Amortiguación Viscosa. (b) Diagrama de Cuerpo Libre



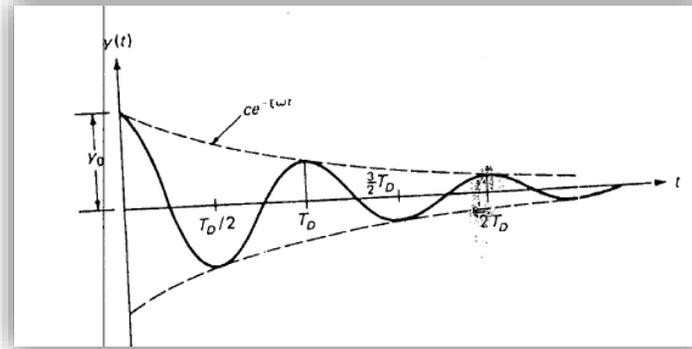
Fuente: Paz (1992)

La ecuación diferencial del movimiento de un sistema con un grado de libertad con amortiguación viscosa es:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = 0 \quad (12)$$

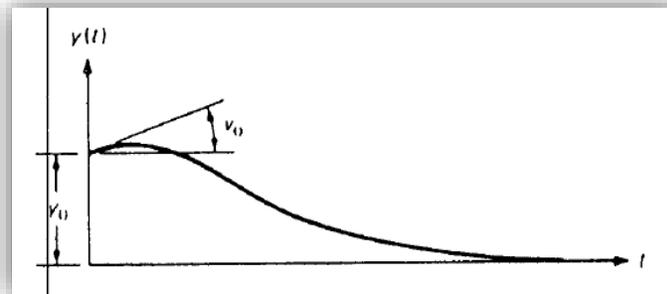
Tres casos son posibles en un sistema amortiguado.

- 1) Sistema subamortiguado $\xi < 1$, cuya gráfica se muestra en la figura

Figura 14*Vibración Libre para un Sistema Subamortiguado*

Fuente: Paz (1992)

- 2) Sistema con amortiguación crítica $\xi = 1$, cuya gráfica se muestra en la figura 15.
- 3) Sistema sobreamortiguado $\xi > 1$, cuya gráfica se muestra en la figura 15.

Figura 15*Vibración Libre con Amortiguación Crítica y Sobreamortiguada*

Fuente: Paz (1992)

Como se puede observar las curvas que representan los desplazamientos de sistemas sobreamortiguados son similares a la curva del sistema con amortiguación crítica, pero el regreso a la posición de equilibrio requiere más tiempo, a medida que la amortiguación aumenta.

Para un sistema subamortiguado, la solución de la ecuación diferencial puede escribirse como:

$$y(t) = e^{-\xi\omega t} \left[y_0 \cos \omega_D t + \frac{v_0 + y_0 \xi \omega}{\omega_D} \sin \omega_D t \right] \quad (13)$$

En el cual:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (14)$$

Es la frecuencia sin amortiguación.

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (15)$$

Es la frecuencia con amortiguación.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (16)$$

Es la razón de la amortiguación.

$$c_{cr} = 2\sqrt{km} \quad (17)$$

Es la amortiguación crítica.

Donde y_0 y v_0 son, respectivamente, el desplazamiento y la velocidad iniciales.

La razón de amortiguación en los sistemas estructurales es generalmente menos del 20% de la amortiguación crítica ($\xi < 0.2$). En tales sistemas, la frecuencia en vibración libre con amortiguación es aproximadamente igual a la frecuencia sin amortiguación.

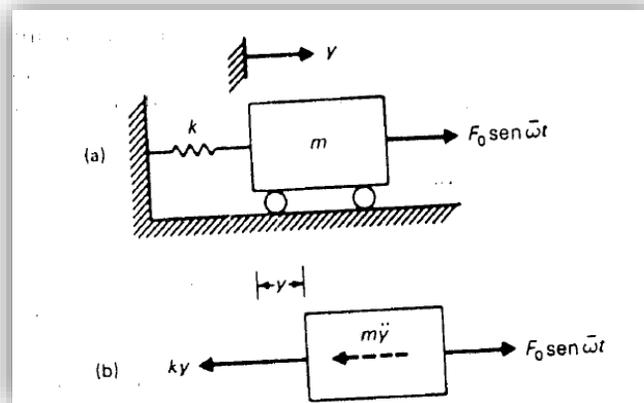
Sistemas con grado de libertad con excitación armónica y sin amortiguación.

Paz (1992), refiere a estos sistemas como estructuras sujetas a fuerzas o desplazamientos cuyas magnitudes pueden ser representadas por una función seno o coseno, del tiempo.

Las estructuras, en muchos casos, están sujetas a la acción de maquinaria en rotación, que produce excitaciones armónicas debido a la presencia inevitable de masas excéntricas en las partes rotantes. La fuerza $F(t)$ aplicada a oscilador simple en la figura 16 es armónica y está dada por $F_0 \sin \bar{\omega} t$, donde F_0 es la amplitud máxima y $\bar{\omega}$ es la frecuencia de la fuerza en radianes por segundo.

Figura 16

(a) Oscilador sin Amortiguación Excitado Armónicamente (b) Diagrama de Cuerpo Libre



Fuente: Paz (1992)

La ecuación diferencial que se obtiene sumando todas las fuerzas en el diagrama de cuerpo libre es:

$$m\ddot{y} + ky = F_0 \sin \bar{\omega} t \quad (18)$$

La solución de la ecuación (18) puede ser expresada como:

$$y(t) = y_c(t) + y_p(t) \quad (19)$$

Donde $y_c(t)$ es la solución complementaria que satisface a la ecuación homogénea, o sea la ecuación (18) con el segundo miembro igualado a cero; e $y_p(t)$ es la solución particular de la ecuación no homogénea (18) la solución no complementaria viene dada por:

$$y_c(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (20)$$

$$\text{Dónde } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

La naturaleza de la función forzada en la ecuación (18) sugiere que se tome como solución particular

$$y_p(t) = Y \sin \bar{\omega} t \quad (21)$$

Donde Y es el valor máximo o amplitud de la solución particular. La aplicación de la ecuación (21) en la ecuación (18) seguida de la simplificación de factores da

$$Y = \frac{F_0}{k - m\bar{\omega}^2} = \frac{\frac{F_0}{k}}{1 - r^2} \quad (22)$$

En la cual r (razón de frecuencia) es la razón entre la frecuencia de la fuerza aplicada $\bar{\omega}$ y la frecuencia natural del sistema ω , o sea

$$r = \frac{\bar{\omega}}{\omega}$$

Combinando las ecuaciones (20), (21) y (22) con la ecuación (19) resulta:

$$y(t) = A \cos \cos \omega t + B \sin \sin \omega t + \frac{F_0}{1-r^2} \sin \sin \bar{\omega} t \quad (23)$$

Si las condiciones iniciales en el instante $t=0$ se toman iguales a cero ($y_0 = 0$, $v_0 = 0$), las constantes de integración determinadas por la ecuación (23) son:

$$A = 0 \quad B = -\frac{rF_0/k}{1-r^2} \quad (24)$$

Después de aplicarlas en la ecuación (23) da:

$$y(t) = \frac{F_0}{1-r^2} (\sin \sin \bar{\omega} t - r \sin \sin \omega t) \quad (25)$$

En la ecuación (25) se puede ver que la respuesta viene dada por la superposición de dos términos armónicos de frecuencias diferentes. Por lo tanto, el movimiento resultante no es armónico; sin embargo, en casos reales, el segundo término, con frecuencia libre desaparece a causa de las fuerzas de amortiguamiento. Por esta razón, este término se denomina respuesta transitoria. El término con la frecuencia forzada $\underline{\omega}$ es la ecuación (25)

$$y(t) = \frac{F_0}{1-r^2} \sin \sin \underline{\omega} t \quad (26)$$

Se conoce con el nombre de respuesta permanente.

Cuando la frecuencia forzada $\underline{\omega}$ es igual a la frecuencia natural ω ($r = 1$), la amplitud del movimiento tiende a aumentar infinitamente. Un sistema que actúa bajo estas circunstancias se dice que está en resonancia. Los materiales comúnmente usados están sujetos a límites de

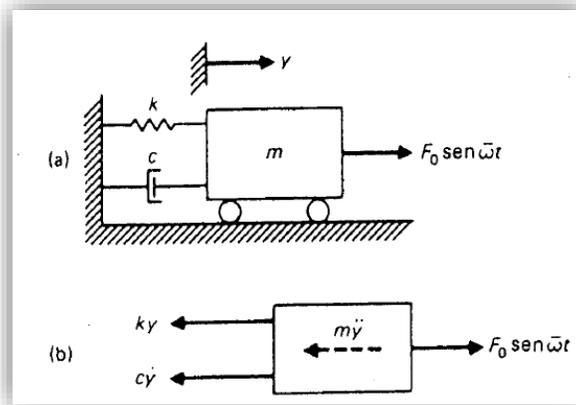
resistencia y los fallos estructurales ocurrirán mucho antes de que las amplitudes puedan alcanzar valores extremadamente altos.

Sistemas con grado de libertad con excitación armónica y con amortiguación.

Asimismo, Paz (1992), explica que la ecuación diferencial del movimiento se obtiene igualando a cero la suma del diagrama de fuerzas de la figura 17.

Figura 17

(a) Oscilador con Amortiguador Excitado Armónicamente; (b) Diagrama de Cuerpo Libre



Fuente: Paz (1992)

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_0 \sin \sin \underline{\omega}t \quad (27)$$

O mediante:

$$\ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = \frac{F_0}{m} \sin \sin \underline{\omega}t \quad (28)$$

Donde $\underline{\omega}$ es la frecuencia forzada,

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}}$$

Es la razón de la amortiguación.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Es la frecuencia natural.

La solución general de la ecuación (27) se obtiene como suma de la solución complementaria (transitoria) y de la solución particular (permanente), es decir.

$$y = \underbrace{e^{-\xi\omega t}(A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t)}_{\text{Solución transitoria}} + \underbrace{\frac{F_0/k \sin(\omega t - \theta)}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\xi)^2}}}_{\text{Solución permanente}} \quad (28)$$

A y B son las constantes de integración.

$$r = \frac{\underline{\omega}}{\omega}$$

Es la razón de las frecuencias.

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - r^2}$$

Es la frecuencia de amortiguación.

El componente transitorio de la solución se acerca, con el tiempo, rápidamente a cero debido al factor con exponente negativo, dejando, por lo tanto, solamente la solución permanente.

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Análisis y diseño estático de cimentaciones en máquinas rotativas

El diseño estático de una cimentación de un equipo rotativo consiste en considerar todas las cargas como estáticas posteriormente realizar las verificaciones al asentamiento, volteo y deslizamiento.

Información requerida para el diseño:

Parámetros de la maquinaria:

Frecuencia rotacional de operación ω_0 : Este dato es proporcionado por el fabricante, ya que corresponde a una característica particular de cada equipo. La unidad de medición es revoluciones por minuto (rpm).

Peso de la maquinaria y componentes: Es de interés conocer el peso tanto de la misma maquinaria como de sus componentes tales como, para el caso de una máquina rotacional, el peso de la bomba, el rotor, el motor, etc. La unidad de medida recomendable para este parámetro es el kilogramo fuerza (kgf)

Dimensiones de los componentes: Es importante tener la ubicación de los componentes en un plano debidamente referenciado respecto a un punto específico, para así poder identificar las fuerzas estáticas dentro del espacio. Unidad de medida a emplear metro (m)

Fuerza y momentos desbalanceados de la máquina:

El rotor genera una fuerza de desequilibrio dinámico, que no es más que la fuerza centrífuga, esta fuerza actúa en un plano normal al eje del rotor y se dirige radialmente hacia afuera desde el centro del rotor. Según el ACI 351.3R-04:

$$e_m = \frac{6.35}{\omega_0}$$

$$F_0 = \frac{m_r \times e_m \times \omega_0^2 \times S_f}{1000}$$

Donde:

F_0 = Fuerza dinámica desbalanceada (N)

m_r = Masa rotativa (kg)

e_m = Excentricidad de masa (mm)

ω_0^2 = Frecuencia circular de operación del equipo (rad/s)

S_f = Factor de servicio usado para tomar en cuenta un incremento en el desbalanceo durante la vida operativa del equipo suministrado por el fabricante usualmente mayor o igual a 2.

Propiedades del suelo:

Cohesión: La cohesión es un parámetro que se encuentra considerada dentro del criterio de falla de Mohr-Coulomb, en el caso de arenas y limos inorgánicos es valor es 0. Para arcillas consolidadas los valores se pueden aproximar a 0. Las arcillas sobreconsolidadas tienen valores mayores que 0. (Braja M., 2013)

Ángulo de fricción interna: Se presenta en la ecuación del criterio de falla de Mohr-Coulomb, representa el ángulo de la ecuación de la recta de dicho criterio de falla; además se

sabe que, para arcillas normalmente consolidadas, el ángulo de fricción varía entre 20° y 30°.

Para arcillas sobreconsolidadas, la magnitud disminuye. Para arcillas naturales

sobreconsolidadas no cementadas, con una presión de preconsolidación aproximadamente menor a 1000 kN/m², la magnitud de c' está en el intervalo de 5 a 15 kN/m². (Braja M., 2013)

Densidad del suelo: representa la masa de suelo por volumen unitario, se calculó por ensayos con la siguiente fórmula, generalmente en unidades de kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Predimensionamiento:

Uno de los métodos para el predimensionamiento que el ACI 351 considera es según la relación de masas, la cual consiste en que la masa de la cimentación sea 3 veces la masa de la máquina en equipos centrífugos y 5 veces en equipos reciprocantes; sin embargo, este método solo es adecuado para equipos con carga hasta 22KN con fuerzas desbalanceadas bajas.

2.3.2. Ejemplo de diseño estático de una cimentación

DISEÑO ESTÁTICO DE CIMENTACIONES DE MÁQUINA VIBRATORIAS.

1. Información Requerida Para el Diseño:

1.1 Parámetros de la maquinaria

Frecuencia rotacional de operación:

$$\omega_o := 750 \text{ rpm}$$

Peso de la Maquinaria y componentes:

$$W_{Motor} := 3200 \text{ kgf}$$

$$W_{Bomba} := 2500 \text{ kgf}$$

$$W_{Skid} := 930 \text{ kgf}$$

$$W_{Rotor} := 600 \text{ kgf}$$

$$W_{Maquinaria} := W_{Bomba} + W_{Motor} + W_{Skid} + W_{Rotor} = 7230 \text{ kgf}$$

Dimensiones de los componentes:

Motor:

$$L_{Motor} := 1.87 \text{ m} \quad A_{Motor} := 1.36 \text{ m} \quad H_{Motor} := 1.36 \text{ m}$$

Bomba:

$$L_{Bomba} := 2.18 \text{ m} \quad A_{Bomba} := 1.22 \text{ m} \quad H_{Bomba} := 1.77 \text{ m}$$

Skid:

$$L_{Skid} := 5 \text{ m} \quad A_{Skid} := 1.63 \text{ m} \quad H_{Skid} := 1.41 \text{ m}$$

Centros de gravedad de los componentes de la maquinaria:

Motor:

$$X_{Motor} := 4.08 \text{ m} \quad Y_{Motor} := 0.81 \text{ m} \quad Z_{Motor} := 1.21 \text{ m}$$

Bomba:

$$X_{Bomba} := 1.04 \text{ m} \quad Y_{Bomba} := 0.81 \text{ m} \quad Z_{Bomba} := 1.21 \text{ m}$$

Skid:

$$X_{Skid} := 2.5 \text{ m} \quad Y_{Skid} := 0.81 \text{ m} \quad Z_{Skid} := 0.2 \text{ m}$$

1.2 Fuerzas y momentos desbalanceados de la máquina

Fuerzas actuantes según ACI 351.3R-04:

$$e_m := \frac{6.35}{\omega_o} = 0.0809 \text{ s}$$

$$F_o := \frac{m_r \cdot e_m \cdot \omega_o^2 \cdot S_f}{1000} = 7211.6$$

$$F_o = F_Z = F_Y \quad F_o = 735.379 \text{ kgf} \quad F_o = 7211.604 \text{ N} \quad F_Y := F_o \quad F_Z := F_o$$

Donde:

F_o = Fuerza dinámica desbalanceada (N)

m_r = Masa rotativa (kg)

e_m = Excentricidad de masa (mm)

ω_o = Frecuencia circular de operación del equipo, (rad/s)

S_f = Factor de servicio, usado para tomar en cuenta un incremento en el desbalanceo durante la vida operativa del equipo, suministrado por el fabricante. Usualmente mayor o igual a 2

Momentos actuantes:

$$M_x := F_Y \cdot (Z_{Motor} + 1.6 \text{ m}) = 2066.415 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

1.3 Propiedades del suelo

Cohesión:	$c := 0$
Ángulo de fricción interna:	$\phi := 36.5^\circ$
Densidad del Suelo:	$\rho := 1.574 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$
Peso específico del suelo:	$\gamma := 15.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Capacidad portante por asentamiento:	$\sigma_{asent} := 2.67 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
--------------------------------------	---

1.4 Propiedades de los materiales:

Concreto:

Resistencia a la compresión: $f'_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Peso unitario del concreto reforzado: $\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Módulo de Young: $E_c := 217371 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Acero:

Límite de fluencia del Acero: $f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Peso Unitario del Acero: $\gamma_{\text{acero}} := 7860 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

2. Predimensionamiento

$$H_{b_1} := 0.80 \text{ m}$$

$$H_{b_2} := 0.8 \text{ m}$$

$$L_{\text{emb}_{ef}} := H_{b_1} + H_{b_2} - 0.4 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$$

La suma de ambas alturas es la altura total de la cimentación

0.4 es la altura que queda libre de la cimentación

2.1 Verificación por el ancho de la cimentación:

El ancho de la cimentación debe ser entre 1.0 a 1.5 veces la distancia entre el suelo y el eje horizontal del equipo para incrementar el amortiguamiento del modo rotacional o rocking

Ancho de la cimentación: $B := 3 \text{ m}$

Altura del bloque de cimentación: $H_{b_1} = 0.8 \text{ m}$

Altura de Eje a Fondo de Skid: $H_{\text{eje}_s} := Z_{\text{Motor}} = 1.21 \text{ m}$

Altura de Eje a Fondo de Cimentación: $H_{\text{eje}_f} := Z_{\text{Motor}} + H_{b_1} + H_{b_2}$

Verificación: $\text{if} \left(1 \leq \frac{B}{H_{\text{eje}_f}} \leq 1.5, \text{"ok"}, \text{"No Cumple"} \right) = \text{"ok"}$

2.2 Verificación por el espesor del bloque:

$L := 5 \text{ m}$ Longitud total de la maquinaria y largo total de la base de la cimentación

Recomendación ACI 351 (Bloque Rígido):

$$H := 0.6 \text{ m} + \frac{L}{30} = 0.77 \text{ m}$$

Verificación: $\text{if} (H_{b_1} \geq H, \text{"ok"}, \text{"No Cumple"}) = \text{"ok"}$

2.3 Verificación por relación de masas: estructura/equipo

$$W_{\text{Maquinaria}} = 7230 \text{ kgf}$$

$$B_{b_2} := 1.9 \text{ m}$$

$$W_{\text{Bloque}_1} := L \cdot B \cdot H_{b_1} \cdot \gamma_c = 28800 \text{ kgf}$$

$$W_{\text{Bloque}_2} := L \cdot B_{b_2} \cdot H_{b_2} \cdot \gamma_c = 18240 \text{ kgf}$$

$$W_{\text{Cimentación}} := W_{\text{Bloque}_1} + W_{\text{Bloque}_2} = 47040 \text{ kgf}$$

Verificación: $\text{if} (W_{\text{Cimentación}} \geq 3 \cdot W_{\text{Maquinaria}}, \text{"ok"}, \text{"No Cumple"}) = \text{"ok"}$

3. Propiedades Geométricas de la Cimentación:

3.1 Centros de masa

Centro de masa del sistema:

$$x_{IT} := 2.53 \text{ m} \quad y_{IT} := 1.5 \text{ m} \quad z_{IT} := 0.97 \text{ m}$$

Centro de masa de la cimentación:

$$x_{\text{cimentación}} := 2.5 \text{ m} \quad y_{\text{cimentación}} := 1.5 \text{ m} \quad z_{\text{cimentación}} := 0.71 \text{ m}$$

3.2 Verificación de la excentricidad:

Verificación de la excentricidad en la dirección "x"

$$e_x := \text{abs}(x_{\text{cimentacion}} - x_{IT}) = 3 \text{ cm}$$

$$exc_x := \frac{e_x}{L} \cdot 100 = 0.6$$

Verificación: $\text{if}(exc_x \leq 5, \text{"ok"}, \text{"No cumple"}) = \text{"ok"}$

Verificación de la excentricidad en la dirección "y"

$$e_y := \text{abs}(y_{\text{cimentacion}} - y_{IT}) = 0 \text{ m}$$

$$exc_y := \frac{e_y}{B} \cdot 100 = 0$$

Verificación: $\text{if}(exc_y \leq 5, \text{"ok"}, \text{"No cumple"}) = \text{"ok"}$

4. Cargas Sísmicas

4.1 Cálculo de cortante basal (según Ntp E030)

Parámetros Sísmicos:

Factor de Zona:	$Z := 0.25$	(Zona 2)
Factor de Uso:	$U := 1.5$	(Categoría A2)
Factor de Suelo:	$S := 1.15$	(Suelo Intermedio)
Peso:	$P_e := W_{\text{Maquinaria}} = 7230 \text{ kgf}$	

Fuerza Horizontal:

$$V_{X,Y} := 0.5 Z \cdot U \cdot S \cdot P_e \quad \text{Artículo 41. E.030}$$

$$V_{X,Y} = 1558.969 \text{ kgf}$$

4.2 Cálculo de los momentos actuantes:

Momentos sobre el pedestal:

Distancia entre el CM de la máquina y el pedestal:

$$D_z := H_{eje_s} = 1.21 \text{ m}$$

Momento alrededor del eje X:

$$M_{Sismico_X} := V_{X_Y} \cdot D_z = 1886.352 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento alrededor del eje Y:

$$M_{Sismico_Y} := M_{Sismico_X} = 1886.352 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momentos en la base de la cimentación:

Distancia entre el DM de la máquina y el fondo de la cimentación:

$$D_{Z1} := H_{eje_s} + H_{b_1} + H_{b_2} = 2.81 \text{ m}$$

Momento alrededor del eje X:

$$M_{Sismico_X_Base} := V_{X_Y} \cdot D_{Z1} = 4380.702 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento alrededor del eje Y:

$$M_{Sismico_Y_Base} := M_{Sismico_X_Base} = 4380.702 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

6. Análisis Estático

6.1 Verificación de la presión estática

Presiones máximas actuantes en el suelo:

$$\sigma = \frac{N}{a \cdot b} + \frac{6 \cdot e_x \cdot N}{a^2 \cdot b} + \frac{6 \cdot e_y \cdot N}{b^2 \cdot a}$$

Tabla 3

Presiones Máximas Según Casos de Carga

Combinación	wt	N	A	Sx	Sy	σ
S1		-54270	12.32	5.749	9.035	-0.45852317
S2		-55005.379	12.32	5.749	9.035	-0.42854825
S3		-55005.379	12.32	5.749	9.035	-0.38975952
S4		-55005.379	12.32	5.749	9.035	-0.46733698
S5		-55005.379	12.32	5.749	9.035	-0.36758875
S6		-55005.379	12.32	5.749	9.035	-0.48950775

$$\sigma_{m\acute{a}x} := 0.49 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{asent} = 2.67 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Verificación: $\text{if}(1.3 \cdot \sigma_{asent} > \sigma_{m\acute{a}x}, \text{"ok"}, \text{"error"}) = \text{"ok"}$

6.2 Verificación de la estabilidad al volteo y al deslizamiento

Verificación frente al volteo:

En el plano YZ:

$$W_t := W_{Maquinaria} + W_{Cimentación} = 54270 \text{ kgf}$$

$$M_{resistente} := W_t \cdot (0.5 \cdot B) = 81405 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{max_x} := 4213.29 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{volteo} := M_{max_x} = (4.213 \cdot 10^3) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$FS_{volteo_x} := \frac{M_{resistente}}{M_{volteo}} = 19.321$$

Verificación: $\text{if}(FS_{volteo_x} > 1.5, \text{"ok"}, \text{"error"}) = \text{"ok"}$

En el plano XZ:

$$M_{resistente} := W_t \cdot (L - x_{iT}) = 134046.9 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{max_y} := 4474.77 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{volteo} := M_{max_y} = (4.475 \cdot 10^3) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$FS_{volteo_y} := \frac{M_{resistente}}{M_{volteo}} = 29.956$$

Verificación: $\text{if}(FS_{volteo_y} > 1.5, \text{"ok"}, \text{"error"}) = \text{"ok"}$

Verificación frente al deslizamiento:

$$K_p := \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)^2 = 3.936$$

En el plano YZ:

$$F_{max_y} := 1884.29 \text{ kgf}$$

$$F_{Desestabilizadora} := F_{max_y}$$

$$F_{Estabilizadora} := \tan\left(\frac{2}{3} \cdot \phi\right) \cdot (W_t) = 24541.864 \text{ kgf}$$

$$E_{pasivo} := \frac{\gamma \cdot (L_{emb_ef})^2 \cdot K_p}{2} \cdot L = 22309.844 \text{ kgf}$$

$$FS_{deslizamiento_YZ} := \frac{F_{Estabilizadora} + E_{pasivo}}{F_{Desestabilizadora}} = 24.864$$

Verificación: $\text{if}(FS_{\text{deslizamiento_YZ}} > 1.25, \text{"ok"}, \text{"error"}) = \text{"ok"}$

En el plano XZ:

$$F_{\text{max_x}} := 1801.64 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{Desestabilizadora}} := F_{\text{max_x}}$$

$$F_{\text{Estabilizadora}} := \tan\left(\frac{2}{3} \cdot \phi\right) \cdot (W_t) = 24541.864 \text{ kgf}$$

$$E_{\text{pasivo}} := \frac{\gamma \cdot (H_{b_1})^2 \cdot K_p \cdot B}{2} = 5949.292 \text{ kgf}$$

$$FS_{\text{deslizamiento_XZ}} := \frac{F_{\text{Estabilizadora}} + E_{\text{pasivo}}}{F_{\text{Desestabilizadora}}} = 16.924$$

Verificación: $\text{if}(FS_{\text{deslizamiento_XZ}} > 1.25, \text{"ok"}, \text{"error"}) = \text{"ok"}$

2.3.3. Ejemplo de diseño dinámico de una cimentación

1. Descripción del Problema

Se desea efectuar el diseño desde el punto de vista dinámico de un bloque de cimentación que sirve de soporte a un equipo dinámico, para lo cual se sigue el método establecido por Veletsos y Verbic. El procedimiento general consiste en construir la función de impedancia (rigidez dinámica y amortiguamiento) de un bloque de cimentación, en la base y luego considerando la porción embebida de la cimentación y finalmente calcular las amplitudes de vibración según los procedimientos establecidos por el código ACI-351.3R-2018.

Datos:

Características de los materiales:

La calidad de los materiales utilizados en el análisis debe cumplir con los requerimientos normativos y con los valores exigidos por cada proyecto en función de las cargas actuantes.

Concreto Estructural

Se empleará para los miembros estructurales de concreto y elementos de cimentación, una resistencia a la compresión:

$$f'_c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El Módulo de Young (E_c) se determina mediante la siguiente expresión:

$$E_c := 15100 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 218819.789 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El peso unitario del concreto se considera igual a:

$$\gamma_c := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Acero de Refuerzo

Para los elementos en los cuales se requiera acero para flexión o corte, tales como muros, sistemas de fundaciones, entre otros, se utilizará acero de refuerzo con una resistencia a la cedencia de:

$$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Características del equipo

Se realizará el chequeo del cimiento para un Equipo Dinámico con las siguientes características:

$$\omega_0 := 750 \text{ rpm} = 78.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad \text{Frecuencia de operación.}$$

$$W_c := 7230 \text{ kgf} \quad W_c = 70.902 \text{ kN} \quad \text{Peso del equipo.}$$

Consideraciones:

Se considera que el oscilador de masa rotativa (equipo) se encuentra descansando sobre un medio semi-infinito con un área de contacto circular definida por el radio r_0 . Las propiedades dinámicas del sistema vibrador-suelo se encuentra respaldadas experimentalmente a través de:

1. El radio r_0 del área cargada.
2. La masa m_0 del oscilador = $\frac{W_o}{g}$
3. La amplitud de la fuerza de excitación vendrá dada por $F_0 = \frac{W_r \cdot f_0}{6000}$
4. La distribución de la presión de contacto.
5. El coeficiente de Poisson μ , la densidad de la masa ρ , y módulo de cortante G del material de fundación.

Características del Suelo

El estudio geotécnico indicó un suelo de apoyo tipo cohesivo, cuyas características dinámicas se describen mediante los siguientes parámetros:

Parámetros Dinámicos del Suelo

$V_s := 190 \frac{m}{s}$	Velocidad de onda de corte (suelo intermedio)
$\gamma_s := 15.44 \frac{kN}{m^3}$	Peso unitario.
$\rho := \left(\frac{\gamma_s}{9.81 \frac{m}{s^2}} \right) = 1.574 \frac{kN \cdot s^2}{m^4}$	Densidad del suelo.
$G := \rho \cdot V_s^2 = 56817.941 \frac{kN}{m^2}$	Módulo de corte
$\mu := 0.45$	Coefficiente de Poisson
$\beta := 0.05$	Fracción de Amortiguamiento

2. Predimensionado de la cimentación

Se considera un tipo de cimentación de forma rectangular apoyada en un semi-espacio infinito, tomando en cuenta la condición de cimentación embebida o enterrada en el suelo. Se dimensiona la cimentación con la finalidad de que exista una relación de masas adecuada que garantice que la frecuencia de vibración del sistema suelo-base no entre en condición de resonancia con respecto a la frecuencia de vibración propia del equipo, controlando de esta manera la magnificación de amplitud que puedan provocar daños al equipo y problemas al personal de trabajo.

Método de dimensionado según la relación de masas

Se plantea un esquema con las posibles dimensiones para la base en función a las dimensiones del equipo y accesorios que soportará.

Crterios

Para el dimensionado de las bases de los equipos se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- La altura del bloque (la base) no debe ser menor que 60cm, o lo requerido por los pernos de anclaje de la máquina.
- El tipo de la cimentación debe tener de 20cm a 30 cm por encima del nivel de piso acabado. Considerando que la cimentación está enterrada L_{emb} en el terreno:

$$L_{emb} := 120 \text{ cm}$$

Profundidad de empotramiento

$$h_{fund} := L_{emb} + 40 \text{ cm} = 160 \text{ cm}$$

Profundidad del bloque de cimentación

- Para que la cimentación sea considerada como un bloque rígido, se debe cumplir que:

$$h_{req} > 0.6 \text{ m} + \frac{L}{30}$$

Dimensiones propuestas para la base rectangular

$L := 5 \text{ m}$	Largo del bloque de cimentación.
$B := 3 \text{ m}$	Ancho del bloque N°01 de cimentación
$B_2 := 1.9 \text{ m}$	Ancho del bloque N°02 de cimentación
$h_1 := 0.8 \text{ m}$	Altura del bloque N°01 de cimentación
$h_2 := 0.8 \text{ m}$	Altura del bloque N°02 de cimentación
$L_{emb} = 1.2 \text{ m}$	Profundidad de empotramiento.
$h := h_{fund} = 1.6 \text{ m}$	Profundidad del bloque de cimentación.

Los resultados mostrados cumplen con los requisitos mínimos requeridos:

$$h_{req} := 0.6 \text{ m} + \frac{L}{30} = 0.767 \text{ m}$$

if ($h > h_{req}$, "ok", "No cumple") = "ok"

Cálculo del peso de la cimentación:

$$W_1 := L \cdot B \cdot h_1 \cdot \gamma_c$$

$$W_2 := L \cdot B_2 \cdot h_2 \cdot \gamma_c$$

$$W_f := W_1 + W_2 = 461.305 \text{ kN}$$

Peso de la cimentación

Relación de Peso

Se debe tomar en cuenta que los soportes para las bombas centrífugas, compresores centrífugos y otros equipos sujetos a vibraciones considerables tendrán una relación de peso de fundación de concreto armado a peso del equipo de **3:1** para equipos centrífugos y **5:1** para equipos reciprocantes. En el ejemplo tomaremos como referencia una relación cercana a **5:1**

$$W_c = 70.902 \text{ kN}$$

Peso del equipo

$$\frac{W_f}{W_c} = 6.506$$

$$\text{if} \left(\frac{W_f}{W_c} \geq 5, \text{“ok”}, \text{“No cumple”} \right) = \text{“ok”}$$

3. Diseño del Sistema Suelo - Cimentación

Se analiza el sistema planteado con el bloque de cimentación propuesto, con el fin de garantizar la estabilidad del sistema, controlando los efectos de resonancia y amplitud de desplazamiento, para lo cual se aplica el siguiente método.

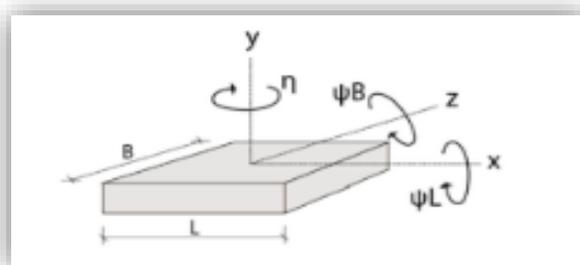
Método de análisis dinámico

Se calcula la rigidez dinámica del sistema suelo- cimentación mediante la utilización de funciones de impedancia, las cuales poseen una parte real referida a la rigidez del sistema y una parte imaginaria referida al amortiguamiento. Ambos parámetros serán dependientes de la frecuencia de vibración del equipo, es decir, que para distintos valores de frecuencia de operación los coeficientes de rigidez y amortiguamiento tendrán distintos valores.

Cálculo de Impedancia del Sistema: Esta impedancia se determina en el sentido vertical y las dos direcciones horizontales (v, u_1, u_2), así como, las rotaciones en torno a cada uno de los ejes ortogonales (ψ_L, ψ_B, η). Se determina la impedancia en todas las direcciones de traslacionales ($u=x, v=y, w=z$) y rotacionales (ψ_L, ψ_B, η) como se muestra en la siguiente figura:

Figura 18

Direcciones de Movimiento del Bloque, Traslacionales y Rotacionales



Frecuencia rotacional del equipo

Se determina la frecuencia rotacional del Equipo partiendo de la frecuencia de operación, como:

$$f := \omega_0 = 78.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

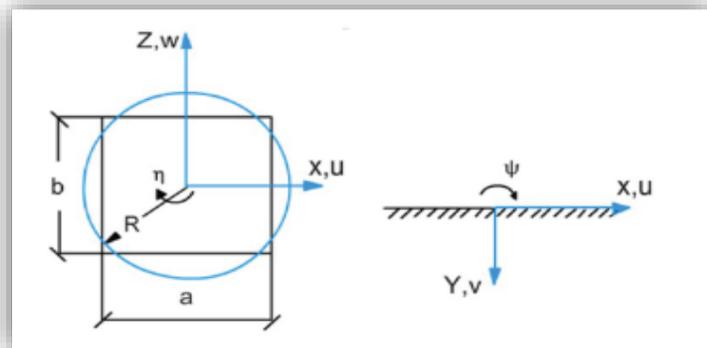
Radio Equivalente:

$$\frac{L}{B} = 1.667$$

Al ser $\frac{L}{B} < 2$ se propone el uso del radio equivalente, aplicando las siguientes expresiones en cada dirección de movimiento.

Figura 19

Radio Equivalente de la Cimentación



$$R_{uv} := \sqrt{L \cdot \frac{B}{\pi}} = 2.185 \text{ m}$$

Radio equivalente traslacional para direcciones horizontales X, Z y dirección vertical Y.

$$R_{\psi L} := \sqrt[4]{\frac{L \cdot B^3}{3 \cdot \pi}} = 1.945 \text{ m}$$

Radio equivalente rotacional para rotación ψ_L

$$R_{\psi B} := \sqrt[4]{\frac{L^3 \cdot B}{3 \cdot \pi}} = 2.512 \text{ m}$$

Radio equivalente rotacional para rotación ψ_B

$$R_{\eta} := \sqrt[4]{\frac{B \cdot L \cdot (B^2 + L^2)}{6 \cdot \pi}} = 2.281 \text{ m}$$

Radio equivalente torsional,
para rotación η

Frecuencia adimensional α_0

Conocido el radio equivalente, es posible estimar la frecuencia adimensional α_0 aplicando la siguiente expresión:

$$\alpha_0 = R \cdot \frac{w_m}{V_s} = R \cdot w_m \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}}$$

Donde:

$$w_m := f = 78.54 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V_s = 190 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho = 1.574 \frac{\text{kN} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

$$G = 56817.941 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Resultando:

$$\alpha_{0uv} := R_{uv} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}} = 0.903$$

$$\alpha_{0\psi L} := R_{\psi L} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}} = 0.804$$

$$\alpha_{0\psi B} := R_{\psi B} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}} = 1.038$$

$$\alpha_{0\eta} := R_{\eta} \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho}{G}} = 0.943$$

Obteniendo para cada dirección:

Dirección	Tipo	R_i	α_0
Vertical (v)	Traslacional	$R_v := R_{uv} = 2.185 \text{ m}$	$\alpha_{0u} := \alpha_{0uv} = 0.903$
Horizontal (u,v)	Traslacional	$R_u := R_{uv} = 2.185 \text{ m}$	$\alpha_{0v} := \alpha_{0uv} = 0.903$
Rocking (ψ_L)	Rotacional	$R_{\psi_L} = 1.945 \text{ m}$	$\alpha_{0\psi_L} = 0.804$
Rocking (ψ_B)	Rotacional	$R_{\psi_B} = 2.512 \text{ m}$	$\alpha_{0\psi_B} = 1.038$
Rocking (η)	Rotacional	$R_\eta = 2.281 \text{ m}$	$\alpha_{0\eta} = 0.943$

Coeficiente de razón de rigidez

$$k_v := \frac{4 \cdot G \cdot R_v}{(1 - \mu)} = 902928.758 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Razón de rigidez vertical

$$k_u := \frac{8 \cdot G \cdot R_v}{(2 - \mu)} = 640788.151 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Razón de rigidez en ambas direcciones horizontales.

$$k_{\psi_L} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi_L}^3}{3(1 - \mu)} = 2028329.533 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Razón de rigidez rotacional (rotación ψ_L)

$$k_{\psi_B} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi_B}^3}{3(1 - \mu)} = 4364270.279 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Razón de rigidez rotacional (rotación ψ_B)

$$k_\eta := \frac{16 \cdot G \cdot R_\eta^3}{3} = 3594893.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Razón de rigidez torsional (rotación η)

SOLUCIÓN 1: Solución sin considerar efectos de embebido del cimiento, por Veletsos.

Funciones de impedancia sin considerar embebido del cimiento

Para aplicar las funciones de impedancia que permiten determinar por coeficientes de rigidez dinámica y amortiguamiento del sistema para un caso sin embebido de la cimentación, se requiere estimar los siguientes factores, los cuales fueron propuestos por Veletsos y Verbir, en función del coeficiente de Poisson del suelo.

Se seleccionan los factores correspondientes a $\mu = 0.45$

Tabla 4

Factores Sugeridos por Veletsos, 1971

	$\mu = 0$	$\mu = 0.33$	$\mu = 0.45$	$\mu = 0.50$
α_1	0.775	0.650	0.600	0.600
β_1	0.525	0.500	0.450	0.400
β_2	0.800	0.800	0.800	0.800
β_3	0.000	0.000	0.023	0.027
γ_1	0.250	0.350	-	0.000
γ_2	1.000	0.800	-	0.000
γ_3	0.000	0.000	-	0.170
γ_4	0.850	0.750	-	0.850

$$\alpha_1 := 0.600$$

$$\beta_1 := 0.450$$

$$\beta_2 := 0.800$$

$$\beta_3 := 0.023$$

Los valores de $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ y γ_4 se interpolan entre los factores correspondientes a 0.33 y 0.50

$$\gamma_1 := 0.103$$

$$\gamma_2 := 0.235$$

$$\gamma_3 := 0.120$$

$$\gamma_4 := 0.821$$

Cálculo de la Impedancia Vertical:

$$k'_v = \frac{4 \cdot G \cdot R_v}{(1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_v - \gamma_3 \cdot \alpha_{0v}^2) + i \cdot \alpha_{0v} \cdot (\gamma_4 + \psi_v) \right)$$

Despreciando el embebido del cimiento:

$$X_v := \frac{\gamma_1 \cdot (\gamma_2 \cdot \alpha_{0v})^2}{1 + (\gamma_2 \cdot \alpha_{0v})^2} = 0.0044 \quad \text{Parámetro } X_v$$

$$\psi_v := \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot (\gamma_2 \cdot \alpha_{0v})^2}{1 + (\gamma_2 \cdot \alpha_{0v})^2} = 0.001 \quad \text{Parámetro } \psi_v$$

Recordando que: $i := \sqrt{-1}$

$$k'_v = \frac{4 \cdot G \cdot R_v}{(1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_v - \gamma_3 \cdot \alpha_{0v}^2) + i \cdot \alpha_{0v} \cdot (\gamma_4 + \psi_v) \right)$$

$$k'_v = (810519.889 + 670432.853i) \frac{kN}{m} \quad \text{Impedancia vertical sin considerar efectos de embebido del cimiento}$$

La rigidez es equivalente a la parte real de la impedancia vertical k'_v

$$k_{vR} := \frac{4 \cdot G \cdot R_v}{(1 - \mu)} \cdot (1 - X_v - \gamma_3 \cdot \alpha_{0v}^2)$$

$$k_{vR} = 810519.889 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica vertical sin considerar el aporte del cimiento.

El amortiguamiento se deriva de la parte imaginaria de la impedancia vertical k'_v

$$k_{vi} := \frac{4 \cdot G \cdot R_v}{(1 - \mu)} \cdot (\alpha_{0v} \cdot (\gamma_4 + \psi_v)) = 670432.853 \frac{kN}{m}$$

$$c_v := \frac{k_{vi}}{f} = 8536.216 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento vertical sin considerar el aporte del cimiento.

Considerando el amortiguamiento del material:

Reconociendo la rigidez como la parte real de la impedancia y el amortiguamiento como el término imaginario de la impedancia; la rigidez ajustada y el amortiguamiento ajustado considerando el amortiguamiento del material del cimiento se determinan.

$$k_{v_adj_1} := k_{vR} - (2 \cdot \beta \cdot c_v \cdot f) = 743476.604 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica vertical ajustada considerando el amortiguamiento del material.

$$c_{v_adj_1} := c_v + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{vR}}{f} \right) = 9568.202 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento vertical ajustado considerando el amortiguamiento del material.

Cálculo de la Impedancia Horizontal

Despreciando el embebido del cimiento:

$$k'_u := \frac{8 \cdot G \cdot R_u}{2 - \mu} \cdot (1 + i \cdot \alpha_{0u} \cdot \alpha_1) = (640788.151 + 347274.342i) \frac{kN}{m}$$

Impedancia horizontal sin considerar efectos de embebido del cimiento.

Donde:

$$k_{uR} := \frac{8 \cdot G \cdot R_u}{2 - \mu} = 640788.151 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica horizontal sin considerar el embebido del cimiento.

$$k_{ui} := \frac{8 \cdot G \cdot R_u}{2 - \mu} \cdot (\alpha_{0u} \cdot \alpha_1) = 347274.342 \frac{kN}{m}$$

$$c_u := \frac{k_{ui}}{f} = 4421.634 \left(\frac{kN \cdot s}{m} \right)$$

Amortiguamiento horizontal sin considerar el embebido del cimiento.

Considerando el amortiguamiento del material:

$$k_{u_adj_1} := k_{uR} - (2 \cdot \beta \cdot c_u \cdot f) = 606060.717 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica horizontal ajustada considerando el amortiguamiento del material.

$$c_{u_adj_1} := c_u + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{uR}}{f} \right) = 5237.511 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento horizontal ajustado considerando el amortiguamiento del material.

Cálculo de la Impedancia Rotacional (rotación ψ_L):

$$k'_{\psi L} = \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi L}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_{\psi L} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi L}^2) + i \cdot \alpha_{0\psi L} \cdot \psi_{\psi L} \right)$$

Despreciando el embebido del cemento:

$$X_{\psi L} := \frac{\beta_1 \cdot (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi L})^2}{1 + (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi L})^2} = 0.1317 \quad \psi_{\psi L} := \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi L})^2}{1 + (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi L})^2} = 0.1054$$

$$k'_{\psi L} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi L}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_{\psi L} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi L}^2) + i \cdot \alpha_{0\psi L} \cdot \psi_{\psi L} \right)$$

$$k'_{\psi L} = (1730970.27 + 171894.311i) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Impedancia rotacional (rotación ψ_L) sin considerar efectos de embebido del cemento.

Donde:

$$k_{\psi LR} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi L}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot (1 - X_{\psi L} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi L}^2)$$

$$k_{\psi LR} = 1730970.27 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_L sin considerar el embebido del cemento.

$$k_{\psi Li} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi L}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot \alpha_{0\psi L} \cdot \psi_{\psi L} = 171894.311 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{\psi L} := \frac{k_{\psi Li}}{f} = 2188.626 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_L sin considerar el embebido del cemento.

Considerando el amortiguamiento del material:

$$k_{\psi L_adj_1} := k_{\psi LR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{\psi L} \cdot f) = 1713780.838 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_L considerando el amortiguamiento del material.

$$c_{\psi L_adj_1} := c_{\psi L} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{\psi LR}}{f} \right) = 4392.566 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_L considerando el amortiguamiento del material.

Cálculo de la Impedancia Rotacional (rotación ψ_B):

$$k'_{\psi B} = \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi B}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_{\psi B} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi B}^2) + i \cdot \alpha_{0\psi B} \cdot \psi_{\psi B} \right)$$

Despreciando el embebido del cemento:

$$X_{\psi B} := \frac{\beta_1 \cdot (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi B})^2}{1 + (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi B})^2} = 0.1837$$

$$\psi_{\psi B} := \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi B})^2}{1 + (\beta_2 \cdot \alpha_{0\psi B})^2} = 0.147$$

$$k'_{\psi B} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi B}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left((1 - X_{\psi B} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi B}^2) + i \cdot \alpha_{0\psi B} \cdot \psi_{\psi B} \right)$$

Impedancia Rotacional (rotación ψ_B) sin considerar efectos de embebido del cemento.

$$k'_{\psi B} = (3454368.469 + 665861.509i) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Donde:

$$k_{\psi BR} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi B}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot (1 - X_{\psi B} - \beta_3 \cdot \alpha_{0\psi B}^2)$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_B sin considerar el embebido del cemento.

$$k_{\psi BR} = 3454368.469 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_{\psi Bi} := \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi B}^3}{3 \cdot (1 - \mu)} \cdot (\alpha_{0\psi B} \cdot \psi_{\psi B}) = 665861.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{\psi B} := \frac{k_{\psi Bi}}{f} = 8478.012 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_B sin considerar el embebido del cemento.

Considerando el amortiguamiento del material:

$$k_{\psi B_adj_1} := k_{\psi BR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{\psi B} \cdot f) = 3387782.318 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_B considerando el amortiguamiento del material

$$c_{\psi B_adj_1} := c_{\psi B} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{\psi BR}}{f} \right) = 12876.251 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Cálculo de la Impedancia Torsional (Rotación η):

$$k'_{\eta} = \frac{16 \cdot G \cdot R_{\eta}^3}{3} \cdot (A + i \cdot \alpha_{0\eta} \cdot B)$$

Para el cálculo de la impedancia torsional se utiliza los coeficientes b_1 y b_2 definidos por Veletsos y Nair (1974) como:

$$b_1 := 0.425$$

$$b_2 := 0.687$$

Despreciando el embebido del cimiento:

$$A := 1 - \frac{b_1 \cdot (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}{1 + (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2} = 0.8744$$

$$B := \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}{1 + (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2} = 0.0863$$

$$k'_{\eta} := \frac{16 \cdot G \cdot R_{\eta}^3}{3} \cdot (A + i \cdot \alpha_{0\eta} \cdot B)$$

Impedancia Torsional (rotación η) sin considerar efectos de embebido del cimiento

$$k'_{\eta} = (3143387.385 + 292431.232i) \text{ m} \cdot \text{kN}$$

Donde:

$$k_{\eta R} := \frac{16 \cdot G \cdot R_{\eta}^3}{3} \cdot A = 3143387.385 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

Rigidez dinámica para rotación η sin considerar el embebido del cimiento

$$k_{\eta i} := \frac{16 \cdot G \cdot R_{\eta}^3}{3} \cdot (\alpha_{0\eta} \cdot B) = 292431.232 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

$$c_{\eta} := \frac{k_{\eta i}}{f} = 3723.35 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación η sin considerar el embebido del cimiento.

$$c_{\eta} = 3723.35 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Considerando el amortiguamiento del material:

$$k_{\eta_adj_1} := k_{\eta R} - (2 \cdot \beta \cdot c_{\psi B} \cdot f) = 3076801.234 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Amortiguamiento para rotación η considerando el amortiguamiento del material.

$$c_{\eta_adj_1} := c_{\eta} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{\eta R}}{f} \right) = 7725.635 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

SOLUCIÓN 2: Solución considerando los efectos de embebido del cimiento, por Veletsos y Verbic.

Funciones de impedancia considerando embebido del cimiento

Se aplican las funciones de impedancia planteadas por Veletsos y Verbic (1973) las cuales toman en cuenta que parte de la cimentación se encuentra enterrada en el suelo.

Tabla 5

Parámetros de Rigidez y Amortiguamiento ($D=0$)

Movimiento	Suelo	Suelo Lateral		Semi-espacio	
Horizontal	Cohesivo	$S_{u1} = 4.1$	$S_{u2} = 10.6$	$C_{u1} = 5.1$	$C_{u2} = 3.2$
	Granular	$S_{u1} = 4.0$	$S_{u2} = 9.10$	$C_{u1} = 4.7$	$C_{u2} = 2.8$
Rocking	Cohesivo	$S_{\psi1} = 2.5$	$S_{\psi2} = 1.8$	$C_{\psi1} = 4.3$	$C_{\psi2} = 0.7$
	Granular	$S_{\psi1} = 2.5$	$S_{\psi2} = 1.8$	$C_{\psi1} = 3.3$	$C_{\psi2} = 0.5$
Torsión	Cohesivo	$S_{\eta1} = 10.2$	$S_{\eta2} = 5.4$	$C_{\eta1} = 4.3$	$C_{\eta2} = 0.7$
	Granular	$S_{\eta1} = 10.2$	$S_{\eta2} = 5.4$	$C_{\eta1} = 4.3$	$C_{\eta2} = 0.7$
Vertical	Cohesivo	$S_{v1} = 2.7$	$S_{v2} = 6.7$	$C_{v1} = 7.5$	$C_{v2} = 6.8$
	Granular	$S_{v1} = 2.7$	$S_{v2} = 6.7$	$C_{v1} = 5.2$	$C_{v2} = 5.0$

Nota: Los valores de S mostrados en la tabla son válidos para valores de frecuencia adimensional α_0 entre 0.5 y 1.5; mientras que los de C son válidos para α_0 menor a 2.0.

Se seleccionan los parámetros de rigidez y de amortiguamiento de la Tabla 2 para un suelo cohesivo.

$$S_{v1} := 2.7$$

$$S_{v2} := 6.7$$

$$S_{u1} := 4.1$$

$$S_{u2} := 10.6$$

$$S_{\psi1} := 2.5$$

$$S_{\psi2} := 1.8$$

$$S_{\eta1} := 10.2$$

$$S_{\eta2} := 5.4$$

Cálculo de la Impedancia Vertical:

$$k'_{ev} := G \cdot L_{emb} \cdot (S_{v1} + i \cdot \alpha_{0v} \cdot S_{v2}) \quad S_{v1} = 2.7 \quad S_{v2} = 6.7$$

$$k'_{ev} = (184090.128 + 412618.326i) \frac{kN}{m}$$

Impedancia Vertical considerando los efectos de embebido del cimientto.

Sin efectos de amortiguamiento del material del embebido:

La rigidez es equivalente a la parte real de la impedancia vertical k'_{ev} :

$$k_{evR} := G \cdot L_{emb} \cdot (S_{v1}) = 184090.128 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica vertical sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

El amortiguamiento se deriva de la parte imaginaria de la impedancia vertical k'_{ev} :

$$k_{evi} := G \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0v} \cdot S_{v2}) = 412618.326 \frac{kN}{m}$$

$$c_{ev} := \frac{k_{evi}}{f} = 5253.62 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento vertical sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

Considerando el amortiguamiento del material de embebido:

$$k_{ev_adj_2} := k_{evR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{ev} \cdot f) = 142828.296 \frac{kN}{m}$$

Rigidez dinámica vertical ajustada considerando el amortiguamiento del material embebido.

$$c_{ev_adj_2} := c_{ev} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{evR}}{f} \right) = 5488.011 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento vertical ajustado considerando el amortiguamiento del material embebido.

Cálculo de la Impedancia Horizontal:

Sin efectos de amortiguamiento del material embebido:

$$k'_{ev} := G \cdot L_{emb} \cdot (S_{u1} + i \cdot \alpha_{0u} \cdot S_{u2}) \quad S_{u1} = 4.1 \quad S_{u2} = 10.6$$

$$k'_{ev} = (279544.269 + 652799.143i) \frac{kN}{m} \quad \text{Impedancia horizontal considerando los efectos de embebido del cimientó.}$$

Donde:

$$k_{euR} := G \cdot L_{emb} \cdot (S_{u1}) = 279544.269 \frac{kN}{m} \quad \text{Rigidez dinámica horizontal sin considerar el amortiguamiento del material embebido.}$$

$$k_{eui} := G \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0u} \cdot S_{u2}) = 652799.143 \frac{kN}{m}$$

$$c_{eu} := \frac{k_{eui}}{f} = 8311.697 \frac{kN \cdot s}{m} \quad \text{Amortiguamiento horizontal sin considerar el amortiguamiento del material embebido.}$$

Considerando el amortiguamiento del material embebido:

$$k_{eu_adj_2} := k_{euR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{eu} \cdot f) \quad \text{Rigidez dinámica horizontal ajustada considerando el amortiguamiento del material embebido.}$$

$$k_{eu_adj_2} = 214264.355 \frac{kN}{m}$$

$$c_{eu_adj_2} := c_{eu} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{euR}}{f} \right)$$

$$c_{eu_adj_2} = 8667.624 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Amortiguamiento horizontal ajustado considerando el amortiguamiento del material embebido.

Cálculo de la Impedancia Rotacional (rotación ψ_L):

Sin efectos de amortiguamiento del material embebido:

$$k'_{e\psi L} := G \cdot R_{\psi L}^2 \cdot L_{emb} \cdot (S_{\psi 1} + i \cdot \alpha_{0\psi L} \cdot S_{\psi 2}) \quad S_{\psi 1} = 2.5 \quad S_{\psi 2} = 1.8$$

$$k'_{e\psi L} = (645116.375 + 373527.433i) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Impedancia rotacional (rotación ψ_L) considerando los efectos de embebido del cimientto.

Donde:

$$k_{e\psi LR} := G \cdot R_{\psi L}^2 \cdot L_{emb} \cdot S_{\psi 1}$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_L sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

$$k_{e\psi LR} = 645116.375 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_{e\psi Li} := G \cdot R_{\psi L}^2 \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0\psi L} \cdot S_{\psi 2}) = 373527.433 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{e\psi L} := \frac{k_{e\psi Li}}{f} = 4755.899 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_L sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

Considerando el amortiguamiento el material de embebido:

$$k_{e\psi L_adj_2} := k_{e\psi LR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{e\psi L} \cdot f)$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_L considerando el amortiguamiento del material embebido.

$$k_{e\psi L_adj_2} = 607763.632 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{e\psi L_adj_2} := c_{e\psi L} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{e\psi LR}}{f} \right)$$

Amortiguamiento para rotación ψ_L considerando el amortiguamiento del material embebido.

$$c_{e\psi L_adj_2} = 5577.287 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Cálculo de la Impedancia Rotacional (rotación ψ_B):

Sin efectos de Amortiguamiento del material embebido:

$$k'_{\psi B} := G \cdot R_{\psi B}^2 \cdot L_{emb} \cdot (S_{\psi 1} + i \cdot \alpha_{0\psi B} \cdot S_{\psi 2}) \quad S_{\psi 1} = 2.5 \quad S_{\psi 2} = 1.8$$

$$k'_{\psi B} = (1075193.958 + 803703.07i) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Impedancia Rotacional (rotación ψ_B) considerando los efectos de embebido del cemento.

Donde:

$$k_{\psi BR} := G \cdot R_{\psi B}^2 \cdot L_{emb} \cdot S_{\psi 1}$$

$$k_{\psi BR} = 1075193.958 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_B sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

$$k_{\psi Bi} := G \cdot R_{\psi B}^2 \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0\psi B} \cdot S_{\psi 2}) = 803703.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{\psi B} := \frac{k_{\psi Bi}}{f} = 10233.065 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_B sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

Considerando el amortiguamiento del material de embebido:

$$k_{\psi B_adj_2} := k_{\psi BR} - (2 \cdot \beta \cdot c_{\psi B} \cdot f)$$

$$k_{\psi B_adj_2} = 994823.651 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Rigidez dinámica para rotación ψ_B considerando el amortiguamiento del material embebido.

$$c_{\psi B_adj_2} := c_{\psi B} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{\psi BR}}{f} \right)$$

$$c_{\psi B_adj_2} = 11602.045 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación ψ_B considerando el amortiguamiento del material embebido.

Cálculo de la Impedancia torsional (rotación η):

Sin efectos de amortiguamiento del material embebido:

$$k'_{e\eta} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot (S_{\eta 1} + i \cdot \alpha_{0\eta} \cdot S_{\eta 2}) \quad S_{\eta 1} = 10.2 \quad S_{\eta 2} = 5.4$$

$$k'_{e\eta} = (3617440.819 + 1805504.464i) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Rigidez dinámica para rotación η
sin considerar el amortiguamiento
del material embebido.

Donde:

$$k_{e\eta R} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot S_{\eta 1} = 3617440.819 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_{e\eta i} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0\eta} \cdot S_{\eta 2}) = 1805504.464 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{e\eta} := \frac{k_{e\eta i}}{f} = 22988.397 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación η
sin considerar el amortiguamiento
del material embebido

Considerando el amortiguamiento del material de embebido:

$$k_{e\eta_adj_2} := k_{e\eta R} - (2 \cdot \beta \cdot c_{e\eta} \cdot f)$$

Rigidez dinámica para rotación η
considerando el amortiguamiento del
material embebido.

$$k_{e\eta_adj_2} = 3436890.373 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c_{e\eta_adj_2} := c_{e\eta} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{e\eta R}}{f} \right)$$

$$c_{e\eta_adj_2} = 27594.266 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Amortiguamiento para rotación η
considerando el amortiguamiento del material
embebido.

4. Coeficientes de Rigidez y Amortiguamiento totales

La impedancia total del sistema para cada dirección de movimiento se determina, según la aproximación establecida por Veletsos y Verbic, como la sumatoria de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento final de las Soluciones 1 (Base) y 2 (Embebido).

$$k_{v_final} := k_{v_adj_1} + k_{ev_adj_2} = 886304.9 \frac{kN}{m}$$

$$c_{v_final} := c_{v_adj_1} + c_{ev_adj_2} = 15056.213 \frac{kN}{m} \cdot s$$

$$c_{v_final_R} := 0.5 \cdot c_{v_final} = 7528.106 \frac{kN}{m} \cdot s \quad (\text{Amortiguamiento reducido al 50\%})$$

$$k_{u_final} := k_{u_adj_1} + k_{eu_adj_2} = 820325.072 \frac{kN}{m}$$

$$c_{u_final} := c_{u_adj_1} + c_{eu_adj_2} = 13905.135 \frac{kN}{m} \cdot s$$

$$c_{u_final_R} := 0.5 \cdot c_{u_final} = 6952.567 \frac{kN}{m} \cdot s \quad (\text{Amortiguamiento reducido al 50\%})$$

$$k_{\psi L_final} := k_{\psi L_adj_1} + k_{e\psi L_adj_2} = 2321544.47 \text{ kN} \cdot m$$

$$c_{\psi L_final} := c_{\psi L_adj_1} + c_{e\psi L_adj_2} = 9969.853 \text{ kN} \cdot m \cdot s$$

$$c_{\psi L_final_R} := 0.5 \cdot c_{\psi L_final} = 4984.926 \text{ kN} \cdot m \cdot s \quad (\text{Amortiguamiento reducido al 50\%})$$

$$k_{\psi B_final} := k_{\psi B_adj_1} + k_{e\psi B_adj_2} = 4382605.97 \text{ kN} \cdot m$$

$$c_{\psi B_final} := c_{\psi B_adj_1} + c_{e\psi B_adj_2} = 24478.295 \text{ kN} \cdot m \cdot s$$

$$c_{\psi B_final_R} := 0.5 \cdot c_{\psi B_final} = 12239.148 \text{ kN} \cdot m \cdot s \quad (\text{Amortiguamiento reducido al 50\%})$$

$$k_{\eta_final} := k_{\eta_adj_1} + k_{e\eta_adj_2} = 6513691.607 \text{ kN} \cdot m$$

$$c_{\eta_final} := c_{\eta_adj_1} + c_{e\eta_adj_2} = 35319.901 \text{ kN} \cdot m \cdot s$$

$$c_{\eta_final_R} := 0.5 \cdot c_{\eta_final} = 17659.95 \text{ kN} \cdot m \cdot s \quad (\text{Amortiguamiento reducido al 50\%})$$

5. Cálculo de las amplitudes del sistema

Carga Dinámica ejercida por el Equipo

Se calcula la fuerza dinámica, F_0 , presente sobre el cimiento, pudiendo emplearse la siguiente expresión emírica cuando el fabricante desprecia el desbalanceo del equipo. Se asume que la fuerza dinámica se aplica a una altura unitaria (1m)

$$W_r := W_c = 70902.08 \text{ N} \qquad f_0 := \omega_0 = 750 \text{ rpm}$$

$$F_0 := W_r \cdot \frac{f}{6000 \text{ rpm}} = 8862.76 \text{ N}$$

Donde:

W_r = Peso del rotor, en N

f_0 = Velocidad de operación, en rpm

Amplitud de Desplazamiento

Se determina la amplitud de desplazamiento del sistema como criterio de diseño, con el fin de verificar que se encuentre dentro de los rangos adecuados de manera que el sistema no represente un riesgo para el equipo y el personal, debido a las vibraciones y desplazamiento esperados, para ello se emplea la siguiente expresión:

Relacion de frecuencias:

$$\beta_\omega = \frac{\omega}{\omega_n}$$

Donde:

ω = Frecuencia de operación rotacional.

ω_n = Frecuencia natural del sistema bloque - cimentación

W = Peso total del cimiento más el equipo.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_i \cdot g}{W}}$$

La frecuencia natural del sistema bloque - suelo deben estar fuera del límite de 0.8 a 1.2 veces la frecuencia de operación del equipo.

Frecuencia Vertical

$$\omega_{nv} := \sqrt{\frac{k_{v_final} \cdot g}{W_c + W_f}} = 127.794 \frac{rad}{s}$$

$$\beta_{\omega v} := \frac{\omega_0}{\omega_{nv}} = 0.615 \quad \text{if } (\beta_{\omega v} < 0.8 \vee \beta_{\omega v} > 1.2, \text{ "ok", "No Ok"}) = \text{"ok"}$$

Frecuencia Horizontal

$$\omega_{nu} := \sqrt{\frac{k_{u_final} \cdot g}{W_c + W_f}} = 122.946 \frac{rad}{s}$$

$$\beta_{\omega u} := \frac{\omega_0}{\omega_{nu}} = 0.639 \quad \text{if } (\beta_{\omega u} < 0.8 \vee \beta_{\omega u} > 1.2, \text{ "ok", "No Ok"}) = \text{"ok"}$$

Frecuencia Rotacional (rotación ψ_L)

$$\omega_{n\psi L} := \sqrt{\frac{k_{\psi L_final} \cdot g}{W_c + W_f}} \cdot \frac{1}{m} = 206.828 \frac{rad}{s}$$

$$\beta_{\omega \psi L} := \frac{\omega_0}{\omega_{n\psi L}} = 0.38 \quad \text{if } (\beta_{\omega \psi L} < 0.8 \vee \beta_{\omega \psi L} > 1.2, \text{ "ok", "No Ok"}) = \text{"ok"}$$

Frecuencia Rotacional (rotación ψ_B)

$$\omega_{n\psi B} := \sqrt{\frac{k_{\psi B_final} \cdot g}{W_c + W_f}} \cdot \frac{1}{m} = 284.175 \frac{rad}{s}$$

$$\beta_{\omega \psi B} := \frac{\omega_0}{\omega_{n\psi B}} = 0.276 \quad \text{if } (\beta_{\omega \psi B} < 0.8 \vee \beta_{\omega \psi B} > 1.2, \text{ "ok", "No Ok"}) = \text{"ok"}$$

Frecuencia Torsional (rotación η):

$$\omega_{n\eta} := \sqrt{\frac{k_{\eta_final} \cdot g}{W_c + W_f}} \cdot \frac{1}{m} = 346.445 \frac{rad}{s}$$

$$\beta_{\omega\eta} := \frac{\omega_0}{\omega_{n\eta}} = 0.227 \quad \text{if } (\beta_{\omega\eta} < 0.8 \vee \beta_{\omega\eta} > 1.2, \text{ "ok", "No Ok"}) = \text{"ok"}$$

Razón de amortiguamiento para un movimiento con fuerza excitadora interior

$$\zeta = \frac{C_i}{2 \cdot \sqrt{K_i \cdot \frac{W}{g}}}$$

Vertical

$$\zeta_v := \frac{c_{v_final_R}}{2 \cdot \sqrt{k_{v_final} \cdot \frac{W_c + W_f}{g}}} = 0.543$$

Horizontal

$$\zeta_u := \frac{c_{u_final_R}}{2 \cdot \sqrt{k_{u_final} \cdot \frac{W_c + W_f}{g}}} = 0.521$$

Rocking (rotación ψ_L)

$$\zeta_{\psi L} := \frac{c_{\psi L_final_R}}{2 \cdot \sqrt{k_{\psi L_final} \cdot \frac{W_c + W_f}{g}}} \cdot \frac{1}{m} = 0.222$$

Rocking (rotación ψ_B)

$$\zeta_{\psi B} := \frac{c_{\psi B_final_R}}{2 \cdot \sqrt{k_{\psi B_final} \cdot \frac{W_c + W_f}{g}}} \cdot \frac{1}{m} = 0.397$$

Torsión (rotación η)

$$\zeta_{\eta} := \frac{c_{\eta_final_R}}{2 \cdot \sqrt{k_{\eta_final} \cdot \frac{W_c + W_f}{g}}} \cdot \frac{1}{m} = 0.47$$

Factor dinámico de amplificación:

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega}^2)^2 + (2 \cdot \zeta \cdot \beta_{\omega})^2}}$$

Vertical

$$M_v := \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega v}^2)^2 + (2 \cdot \zeta_v \cdot \beta_{\omega v})^2}} = 1.096$$

Horizontal

$$M_u := \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega u}^2)^2 + (2 \cdot \zeta_u \cdot \beta_{\omega u})^2}} = 1.123$$

Rocking (rotación ψ_L)

$$M_{\psi L} := \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega \psi L}^2)^2 + (2 \cdot \zeta_{\psi L} \cdot \beta_{\omega \psi L})^2}} = 1.146$$

Rocking (rotación ψ_B)

$$M_{\psi B} := \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega\psi B}^2)^2 + (2 \cdot \zeta_{\psi B} \cdot \beta_{\omega\psi B})^2}} = 1.053$$

Torsión (rotación η)

$$M_{\eta} := \frac{1}{\sqrt{(1 - \beta_{\omega\eta}^2)^2 + (2 \cdot \zeta_{\eta} \cdot \beta_{\omega\eta})^2}} = 1.029$$

Amplitud de Desplazamiento:

Se determina la amplitud máxima de desplazamiento, para cada dirección de movimiento, empleando la siguiente expresión:

$$A = \frac{F_0}{k_i} \cdot M_i$$

Amplitud de desplazamiento Vertical

$$A_v := \frac{F_0}{k_{v_final}} \cdot M_v = 0 \text{ m}$$

Amplitud de desplazamiento Horizontal

$$A_u := \frac{F_0}{k_{u_final}} \cdot M_u = 0 \text{ m}$$

Amplitud de desplazamiento Rotacional (rotación ψ_L)

$$A_{\psi L} := \frac{F_0}{k_{\psi L_final}} \cdot M_{\psi L} \cdot m = 0 \text{ rad}$$

Amplitud de Desplazamiento Rotacional (rotación ψ_B):

$$A_{\psi_B} := \frac{F_0}{k_{\psi_B_final}} \cdot M_{\psi_B} \cdot m = 0 \text{ rad}$$

Amplitud de Desplazamiento Rotacional (rotación ψ_B):

$$A_{\eta} := \frac{F_0}{k_{\eta_final}} \cdot M_{\eta} \cdot m = 0 \text{ rad}$$

6. Resumen de Resultados

Dirección Vertical

$$k_{v_final} = 886304.9 \frac{kN}{m} \quad \beta_{\omega v} = 0.615 \quad \zeta_v = 0.543 \quad M_v = 1.096 \quad A_v = 0 \text{ m}$$

$$c_{v_final} = 15056.213 \frac{kN}{m} \cdot s$$

Dirección Horizontal

$$k_{u_final} = 820325.072 \frac{kN}{m} \quad \beta_{\omega u} = 0.639 \quad \zeta_u = 0.521 \quad M_u = 1.123 \quad A_u = 0 \text{ m}$$

$$c_{u_final} = 13905.135 \frac{kN}{m} \cdot s$$

Rotación ψ_L

$$k_{\psi_L_final} = 2321544.47 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \beta_{\omega \psi_L} = 0.38 \quad \zeta_{\psi_L} = 0.222 \quad M_{\psi_L} = 1.146 \quad A_{\psi_L} = 0 \text{ rad}$$

$$c_{\psi_L_final} = 9969.853 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Rotación ψ_B

$$k_{\psi_B_final} = 4382605.97 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \beta_{\omega \psi_B} = 0.276 \quad \zeta_{\psi_B} = 0.397 \quad M_{\psi_B} = 1.053 \quad A_{\psi_B} = 0 \text{ rad}$$

$$c_{\psi_B_final} = 24478.295 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

Rotación η

$$k_{\eta_final} = 6513691.607 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \beta_{\omega \eta} = 0.227 \quad \zeta_{\eta} = 0.47 \quad M_{\eta} = 1.029 \quad A_{\eta} = 0 \text{ rad}$$

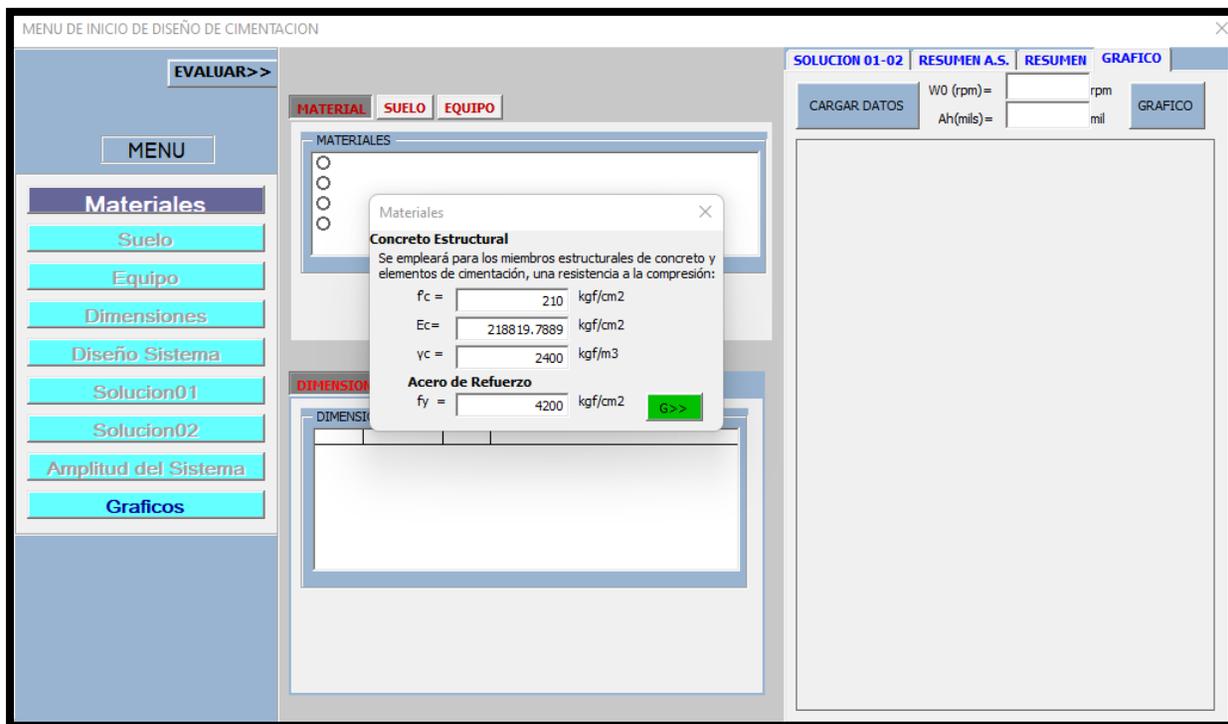
$$c_{\eta_final} = 35319.901 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$$

2.3.4. Automatización del diseño dinámico de una cimentación

Para la automatización del diseño de la cimentación se desarrolló un programa en Visual Basic, en el cual se pueden ingresar los datos necesarios y obtener de manera gráfica los resultados.

Figura 20

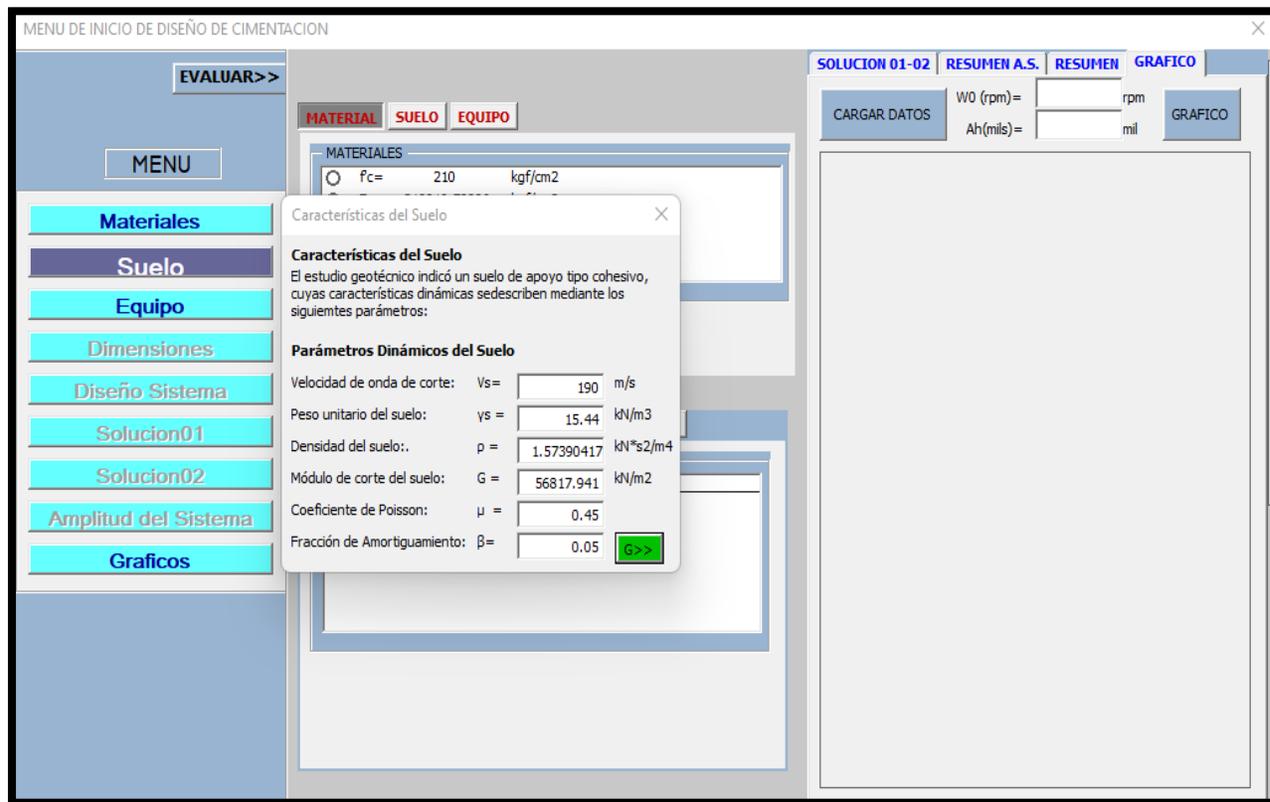
Interfaz Para el Ingreso de Datos de los Materiales



Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 21

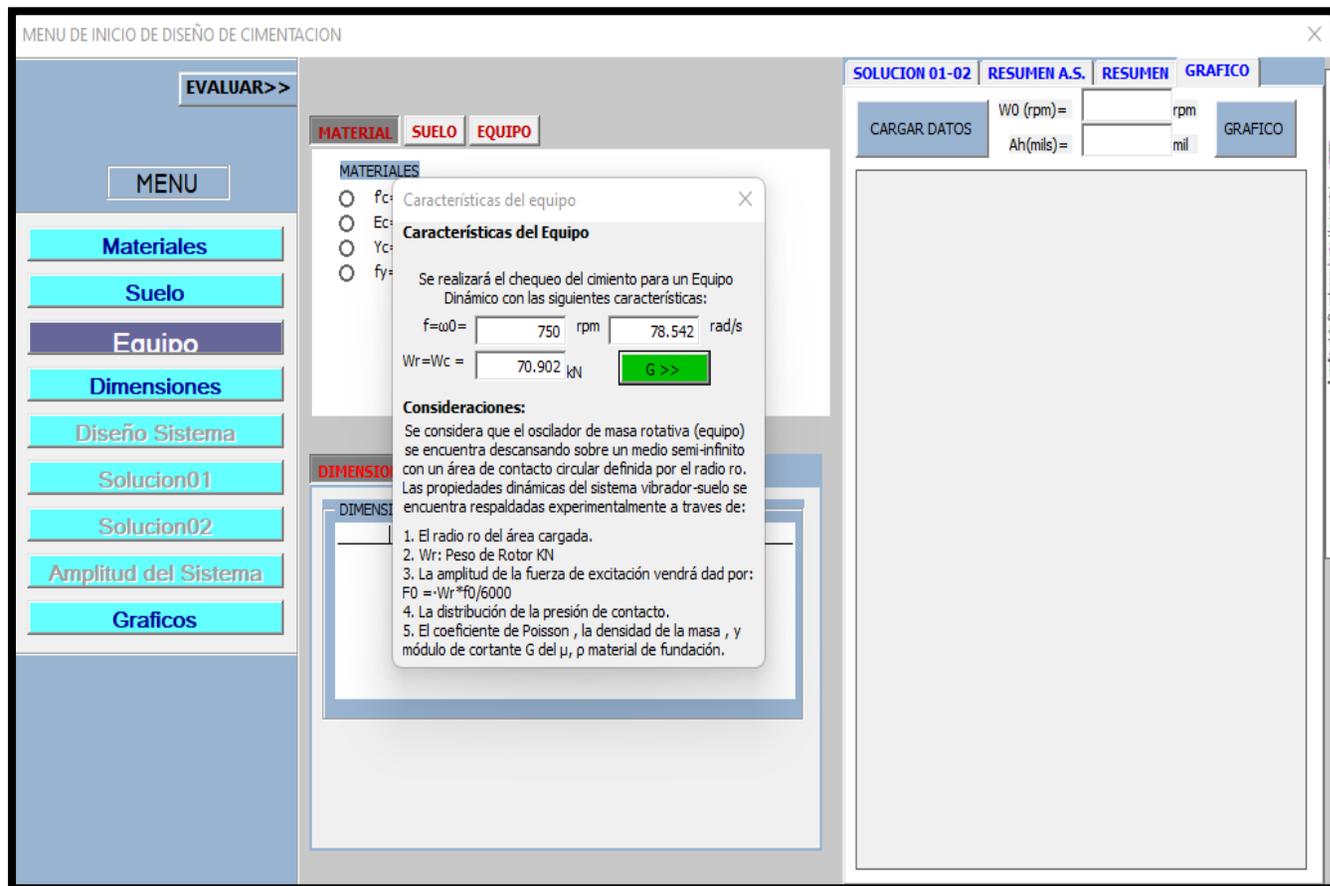
Interfaz para el Ingreso de Datos del Suelo



Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 22

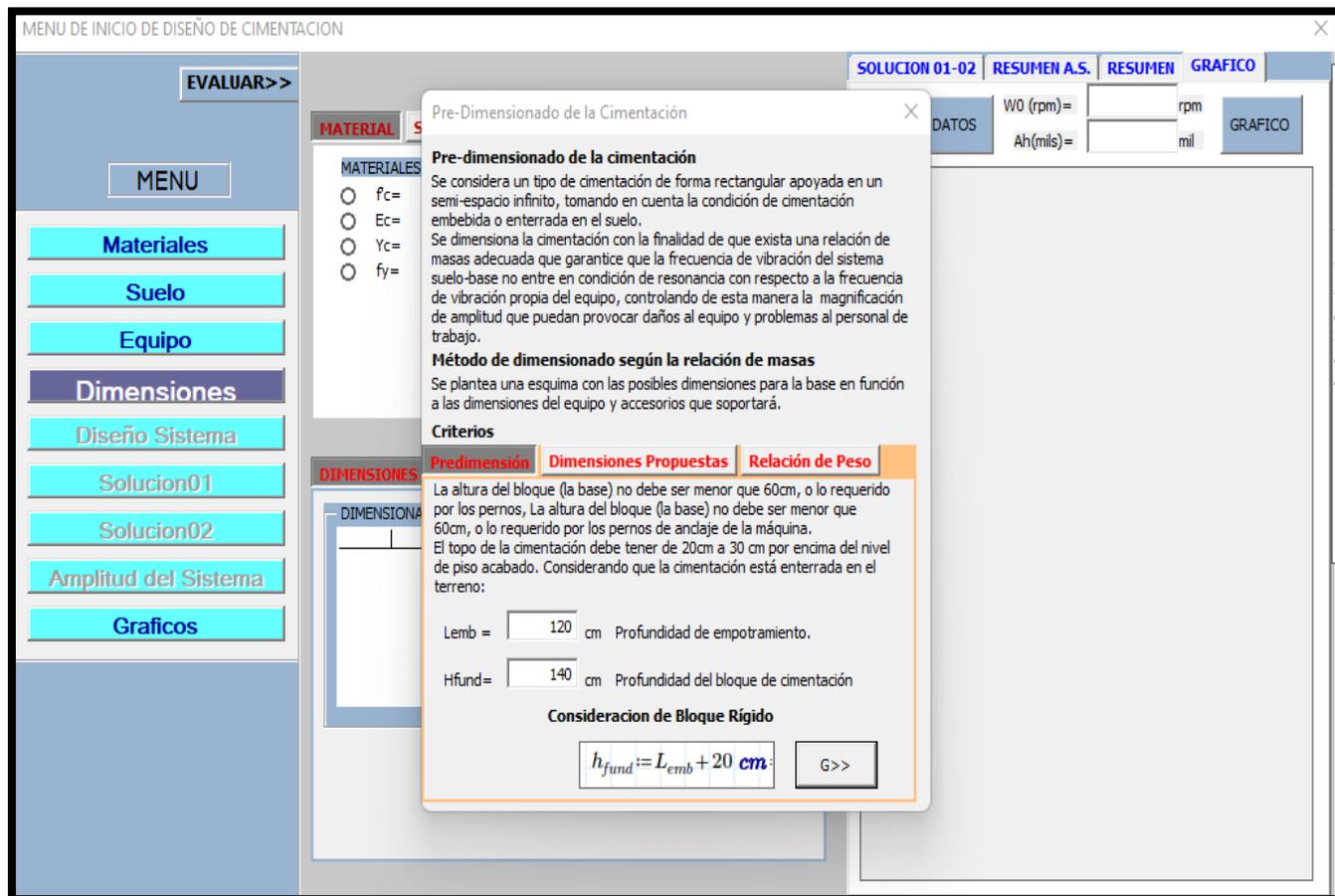
Interfaz para el Ingreso de Datos del Equipo



Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 23

Interfaz para Pre-Dimensionamiento de la Altura de la Cimentación



Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 24

Ingreso de Dimensiones de la Cimentación

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMENTACION

EVALUAR >>

Pre-Dimensionado de la Cimentación

Pre-dimensionado de la cimentación
 Se considera un tipo de cimentación de forma rectangular apoyada en un semi-espacio infinito, tomando en cuenta la condición de cimentación embebida o enterrada en el suelo.
 Se dimensiona la cimentación con la finalidad de que exista una relación de masas adecuada que garantice que la frecuencia de vibración del sistema suelo-base no entre en condición de resonancia con respecto a la frecuencia de vibración propia del equipo, controlando de esta manera la magnificación de amplitud que puedan provocar daños al equipo y problemas al personal de trabajo.

Método de dimensionado según la relación de masas
 Se plantea una esquema con las posibles dimensiones para la base en función a las dimensiones del equipo y accesorios que soportará.

Criterios

Predimensionación Dimensiones Propuestas Relación de Peso

L= 5 m Largo del Bloque de Cimentación
 B= 3 m Ancho del Bloque de Cimentación
 B2= 1.9 m Ancho del Bloque de Cimentación Base
 Lemb= 1.2 m Profundidad de Empotramiento
 hfund= 0.8 m Profundidad del Bloque de Cimentación
 hfund2= 0.8 m Profundidad del Bloque de Cimentación Base

EVALUAR DIMENSIONES

hreq= 0.77 $h_{req} > 0.6 m + \frac{L}{30}$

Los resultados mostrados cumplen con los requisitos mínimos requeridos:
 EL DIMENSIONAMIENTO ES CORRECTO Hfun>Hreq

SOLUCION 01-02 RESUMEN A.S. RESUMEN GRAFICO

CARGAR DATOS W0 (rpm)= rpm GRAFICO
 Ah(mils)= mil

NO- ACERO

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 25

Verificación de la Relación de Peso

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMENTACION

EVALUAR >>

Pre-Dimensionado de la Cimentación

Pre-dimensionado de la cimentación

Se considera un tipo de cimentación de forma rectangular apoyada en un semi-espacio infinito, tomando en cuenta la condición de cimentación embebida o enterrada en el suelo.

Se dimensiona la cimentación con la finalidad de que exista una relación de masas adecuada que garantice que la frecuencia de vibración del sistema suelo-base no entre en condición de resonancia con respecto a la frecuencia de vibración propia del equipo, controlando de esta manera la magnificación de amplitud que puedan provocar daños al equipo y problemas al personal de trabajo.

Método de dimensionado según la relación de masas

Se plantea una esquma con las posibles dimensiones para la base en función a las dimensiones del equipo y accesorios que soportará.

Criterios

Predimensión **Dimensiones Propuestas** **Relación de Peso**

Se debe tomar en cuenta que los soportes para las bombas centrífugas, compresores centrífugos y otros equipos sujetos a vibraciones considerables tendrán una relación de peso de fundación de concreto armado a peso del equipo de 3:1 para equipos centrífugos y 5:1 para equipos recíprocos. En el ejemplo tomaremos como referencia una relación cercana a 5:1

$\gamma_c =$ kgf/cm³

$\gamma_s =$ kN/m³

$W_f =$ kN

$W_c =$ kN

$W_f/W_c = 6.506$

EVALUAR Y CARGAR

if $\frac{W_f}{W_c} \geq 5$, LA RELACION DE PESO ES CORRECTO

SOLUCION 01-02 RESUMEN A.S. RESUMEN GRAFICO

CARGAR DATOS W_0 (rpm)= rpm **GRAFICO**

A_h (mils)= mil

NO- ACERO

Imbebido de la cimentación
 ra de fundación
 nsion de zapata
 ancho de la cimentacion

 uration de la Base
 a Base de cimentacion

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 26

Verificación del Radio Equivalente

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIM

EVALUAR

MENU

Materiales

Suelo

Equipo

Dimensiones

Diseño Sistema

Solucion01

Solucion02

Amplitud del Sistema

Graficos

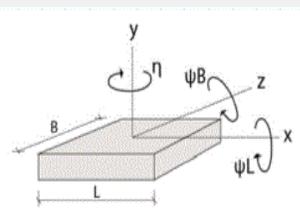
Diseño del Sistema Suelo - Cimentación

Se analiza el sistema planteado con el bloque de cimentación propuesto, con el fin de garantizar la estabilidad del sistema, controlando los efectos de resonancia y amplitud de desplazamiento, para lo cual se aplica el siguiente método.

Método de análisis

Cálculo de Impedancia del Sistema

Esta impedancia se determina en el sentido vertical y las dos direcciones horizontales (v, u), así como, las rotaciones en torno a cada uno de los ejes ortogonales (ψ_L, ψ_B, η). Se determina la impedancia en todas las direcciones de traslacionales ($u=x, v=y, w=z$) y rotacionales (ψ_L, ψ_B, η) como se muestra en la siguiente figura:



DATOS

CARGAR DATOS

N.A.S. **RESUMEN** **GRAFICO**

$\eta =$ rpm

$s =$ mil **GRAFICO**

$\omega_0 = 78.542$ rad/s

$L = 5$ m

$B = 3$ m

$V_s = 190$ m/s

$\rho = 1.573904$ N.S2/m4

$G = 56817.94$ kN/m2

$u = 0.45$

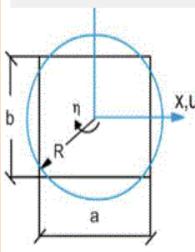
Calcular

Radio Equivalente

Frecuencia Adimensional **Coficiente de Razon de Rigidez**

Condicional $L/B < 2$

Condicional; $L/B = 1.66666666666667$



Evaluar

EVALUAR

$R_{uv} = 2.185$ m

$R_{\psi_L} = 1.945$ m

$R_{\psi_B} = 2.512$ m

$R_{\eta} = 1.588$ m

Figura 2. Radio equivalente de la cimentación

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 27

Cálculo de los Coeficientes

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMEN
 EVALUAR
 MENU
 Materiales
 Suelo
 Equipo
 Dimensiones
 Diseño Sistema
 Solucion01
 Solucion02
 Amplitud del Sistema
 Graficos

Diseño del Sistema Suelo - Cimentación

Se analiza el sistema planteado con el bloque de cimentación propuesto, con el fin de garantizar la estabilidad del sistema, controlando los efectos de resonancia y amplitud de desplazamiento, para lo cual se aplica el siguiente método.

Método de análisis
 Cálculo de Impedancia del Sistema

Esta impedancia se determina en el sentido vertical y las dos direcciones horizontales (v, u1,u2), así como, las rotaciones en torno a cada uno de los ejes ortogonales (ψ_L, ψ_B, η). Se determina la impedancia en todas las direcciones de traslacionales (u = x, v = y, w = z) y rotacionales (ψ_L, ψ_B, η) como se muestra en la siguiente figura:

DATOS

CARGAR DATOS

$\omega_0 = 78.542$ rad/s
 L = 5 m
 B = 3 m
 Vs = 190 m/s
 $\rho = 1.573904$ N.S2/m4
 G = 56817.94 kN/m2
 u = 0.45

Calcular

n) = rpm
 s) = mil
 GRAFICO

Radio Equivalente

Frecuencia Adimensional	Coefficiente de Razon de Rigidez
Coefficiente de razón de rigidez	
$k_v = \frac{4 \cdot G \cdot R_c}{(1 - \mu)}$	Razón de rigidez vertical
$k_{u,v} = \frac{8 \cdot G \cdot R_c}{(2 - \mu)}$	Razón de rigidez en ambas direcciones horizontales.
$k_{\psi_L} = \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi_L}^2}{3(1 - \mu)}$	Razón de rigidez rotacional (rotación ψ_L)
$k_{\psi_B} = \frac{8 \cdot G \cdot R_{\psi_B}^2}{3(1 - \mu)}$	Razón de rigidez rotacional (rotación ψ_B)
$k_{\eta} = \frac{16 \cdot G \cdot R_{\eta}^2}{3}$	Razón de rigidez torsional (rotación η)

Rv =	2.1851	m
Ru =	2.1851	m
RL =	1.9454	m
RB =	2.5115	m
Rn =	2.2807	m
av =	0.903	.
au =	0.903	.
al =	0.804	.
aB =	1.038	.
an =	0.943	.
kv =	902930.0553	kN/m
ku =	640789.0715	kN/m
kl =	2028234.9772	m ³ kN
KB =	4364063.6965	m ³ kN
kn =	3594915.6621	m ³ kN

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 28

Solución 1: Sin Considerar los Efectos del Embebido del Cimiento

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMENTACION

EVALUAR>>

SOLUCION 01-02 RESUMEN A.S. RESUMEN GRAFICO

Solución 01 sin considerar efectos de embebido del cimiento

SOLUCIÓN 01: Solución sin considerar efectos de embebido del cimiento, por Veletsos.

Funciones de impedancia sin considerar embebido del cimiento

Para aplicar las funciones de impedancia que permiten determinar por coeficientes de rigidez dinámica y amortiguamiento del sistema para un caso sin embebido de la cimentación, se requiere estimar los siguientes factores, los cuales fueron propuestos por Veletsos y Verbir, en función del coeficiente de Poisson del suelo.

	U=0	U=0,33	U=0,45	U=0,50
α	0.775	0.65	0.6	0.6
β_1	0.525	0.5	0.45	0.4
β_2	0.8	0.8	0.8	0.8
β_3	0	0	0.023	0.27
γ_1	0.25	0.35	0	0
γ_2	1	0.8	0	0
γ_3	0	0	0	0.17
γ_4	0.85	0.75	0	0.85

u= 0.45 **CALCULAR>>>>**

Vs=190
 ys=15.44
 P=1.573904179408
 G=56817.94087661
 u=0.45
 B=0.05
 f=78.542

a1= 0.6
 b1= 0.45
 b2= 0.8
 b3= 0.023
 y1= 0.103
 y2= 0.235
 y3= 0.12
 y4= 0.821

CARGAR VALORES

kv_adj_1=	743546.74	kl
Cv_adj_1=	9565.666	kl
ku_adj_1=	606071.12	kl
Cu_adj_1=	5236.159	kl
kwL_adj_1=	1841057.1	kl
CwL_adj_1=	4553.212	kl
kwB_adj_1=	4189360.3	kl
CwB_adj_1=	13892.661	kl
kn_adj_1=	2941615.1	kl
Cn_adj_1=	9465.723	kl

Imp. Vertical **Imp. Horizontal** **Imp. Rotacional WL** **Imp. Rotacional WB** **Imp. Torsional**

Impedancia Torsional (Rotación η):

$$k'_\eta = \frac{16 \cdot G \cdot R_\eta^3}{3} \cdot (A + i \cdot \alpha_{0\eta} \cdot B)$$

Para el cálculo de la impedancia torsional se utiliza los coeficientes b_1 y b_2 definidos por Veletsos y Nair (1974) como:

$$B := \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}{1 + (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}$$

$$A := 1 - \frac{b_1 \cdot (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}{1 + (b_2 \cdot \alpha_{0\eta})^2}$$

A=	0.8368
B=	0.1306
knr=	3008171.7414
kni=	442639.6138
Cnr=	5635.7059
kn_adj_1=	2941615.1721
Cn_adj_1=	9465.7226

Despreciando el embebido del cimiento:

$$k_{\eta R} := \frac{16 \cdot G \cdot R_\eta^3}{3} \cdot A$$

$$k_{\eta i} := \frac{16 \cdot G \cdot R_\eta^3}{3} \cdot (\alpha_{0\eta} \cdot B) \quad c_\eta := \frac{k_{\eta i}}{f}$$

Considerando el amortiguamiento del material:

$$k_{\eta, adj, 1} := k_{\eta R} - (2 \cdot \beta \cdot c_{\psi B} \cdot f)$$

$$c_{\eta, adj, 1} := c_\eta + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{\eta R}}{f} \right)$$

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 29

Solución 2: Considerando los Efectos del Embebido del Cimiento

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMENTACION

EVALUAR>>

MATERIAL SUELO EQUIPO

MATERIALES

SOLUCION 01-02 RESUMEN A.S. RESUMEN GRAFICO

CARGAR DATOS W0 (rpm)= rpm Ah(mils)= mil GRAFICO

MENU

Materiales

Suelo

Equipo

Dimensiones

Diseño Sistema

Solucion01

Solucion02

Amplitud del Sistema

Graficos

Solución considerando los efectos de embebido del cimiento, por Veletsos y Verbic

SOLUCION 02: considerando los efectos de embebido del cimiento, por Veletsos y Verbic

Funciones de impedancia considerando embebido del cimiento
Se aplican las funciones de impedancia planteadas por Veletsos y Verbic (1973) las cuales toman en cuenta que parte de la cimentación se encuentra enterrada en el suelo.

Imp. Vertical Imp. Horiz. Imp. Rot. WL Imp. Rot. WB Imp. Torcional CARGAR AL VALOR

Impedancia torsional (rotación η):

$$k'_{e\eta} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot (S_{\eta 1} + i \cdot \alpha_{0\eta} \cdot S_{\eta 2})$$

$$k_{e\eta R} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot S_{\eta 1} \quad k_{e\eta i} := G \cdot R_{\eta}^2 \cdot L_{emb} \cdot (\alpha_{0\eta} \cdot S_{\eta 2})$$

Rigidez dinámica para rotación η sin considerar el amortiguamiento del material embebido.

$$c_{e\eta} := \frac{k_{e\eta i}}{f}$$

Considerando el amortiguamiento del material de embebido:

$$k_{e\eta,adj,2} := k_{e\eta R} - (2 \cdot \beta \cdot c_{e\eta} \cdot f) \quad c_{e\eta,adj,2} := c_{e\eta} + \left(2 \cdot \beta \cdot \frac{k_{e\eta R}}{f} \right)$$

Suelo Cohesivo
 Suelo Granular

kv_adj_2=	142 ▲
Cv_adj_2=	548
ku_adj_2=	214
Cu_adj_2=	866
kwl_adj_2=	607
Cwl_adj_2=	557
kwb_adj_2=	994
Cwb_adj_2=	115
kn_adj_2=	339
Cn_adj_2=	331

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 30

Cálculo de la Solución del Sistema

MENU DE INICIO DE DISEÑO DE CIMENTACION

EVALUAR>>

MENU

- Materiales
- Suelo
- Equipo
- Dimensiones
- Diseño Sistema
- Solucion01
- Solucion02
- Amplitud del Sistema
- Graficos

MATERIAL **SUELO** **EQUIPO**

MATERIALES

- $f_c = 210$ kgf/cm²
- $E_c = 218819.78886$ kgf/cm²
- $Y_c = 2400$ kgf/m³
- $f_y = 4200$ kgf/cm²

SOLUCION 01-02 **RESUMEN A.S.** **RESUMEN** **GRAFICO**

CAGAR SOLUCION 1-2

$kv_adj_1 + kv_adj_2 =$	886386.369	kN
$Cv_adj_1 + Cv_adj_2 =$	15052.082	kN
$ku_adj_1 + ku_adj_2 =$	820353.393	kN
$Cu_adj_1 + Cu_adj_2 =$	13901.26	kN
$kwL_adj_1 + kwL_adj_2 =$	2448810.169	kN
$CwL_adj_1 + CwL_adj_2 =$	10129.12	kN
$kwB_adj_1 + kwB_adj_2 =$	5184167.209	kN
$CwB_adj_1 + CwB_adj_2 =$	25492.157	kN
$kn_adj_1 + kn_adj_2 =$	6334997.958	kN
$Cn_adj_1 + Cn_adj_2 =$	42600.552	kN

DIMENSIONES **DISEÑO DE SISTEMA** **DISEÑO- ACERO**

ACI 207.2R-95 **ACI 318 - 99** **ACI 351.3R-18**

Verificar que la densidad del acero de refuerzo sea mayor a 50kgf/m³; Para ello se calcula el Peso total del acero de refuerzo WAs :
Evaluamos que $WAs/V > 50kgf/m^3$,

ACERO CALCULADO

EVALUAR

Resultados:
Ambas caras,
ambas direcciones

Conclusiones

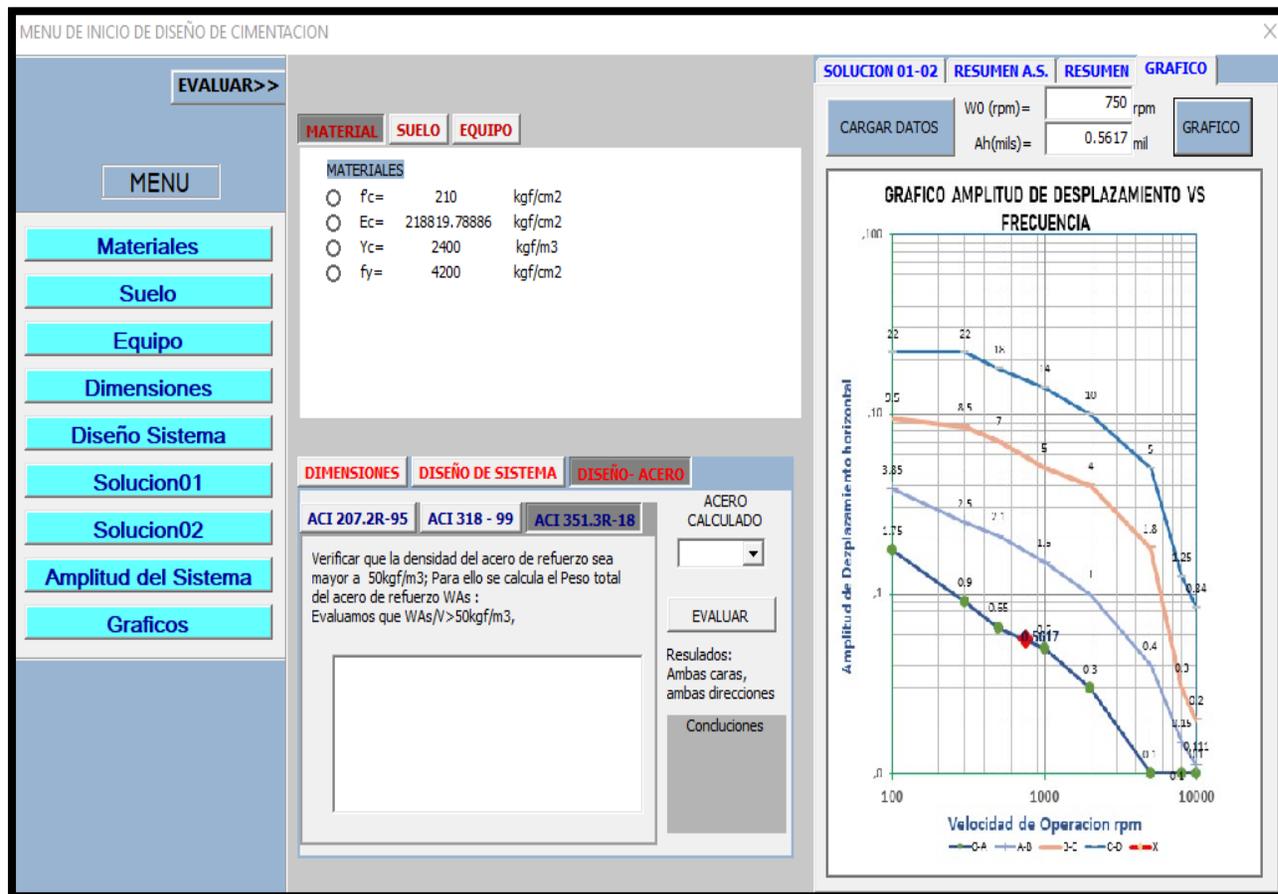
RESULTADO FINAL Coeficiente de Amortiguamiento, R=

$kv_adj_1 + kv_adj_2 =$	886386.369	kN
$Cv_adj_1 + Cv_adj_2 =$	15052.082	kN
$(Cv_adj_1 + Cv_adj_2)_R =$	7526.04	kN
$ku_adj_1 + ku_adj_2 =$	820353.393	kN
$Cu_adj_1 + Cu_adj_2 =$	13901.26	kN
$(Cu_adj_1 + Cu_adj_2)_R =$	6950.63	kN
$kwL_adj_1 + kwL_adj_2 =$	2448810.169	kN
$CwL_adj_1 + CwL_adj_2 =$	10129.12	kN
$(CwL_adj_1 + CwL_adj_2)_R =$	5064.56	kN
$kwB_adj_1 + kwB_adj_2 =$	5184167.209	kN
$CwB_adj_1 + CwB_adj_2 =$	25492.157	kN
$(CwB_adj_1 + CwB_adj_2)_R =$	12746.08	kN
$kn_adj_1 + kn_adj_2 =$	6334997.958	kN
$Cn_adj_1 + Cn_adj_2 =$	42600.552	kN
$(Cn_adj_1 + Cn_adj_2)_R =$	21300.28	kN

Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

Figura 31

Gráfico de Amplitud de Desplazamiento vs Frecuencia



Fuente: Elaboración Propia del Programa Visual Basic

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Ámbito

El ámbito de desarrollo de la investigación se basa en el reglamento ACI351.3R-18, para conocer el diseño de cimentaciones en las máquinas vibrantes que se ubican en la región Huánuco.

3.2. Población

Para poder realizar la presente investigación el universo o población estuvo constituido por las diferentes máquinas vibrantes en general, las cuales se mencionaron anteriormente.

3.3. Muestra

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que en nuestra ciudad no se puede ubicar en su totalidad a los tipos de máquinas vibrantes, por lo que se tomó como muestra los datos que se puedan recolectar de la máquina vibrante de tipo rotativa.

3.4. Nivel y tipo de estudio

La presente investigación es de nivel descriptivo debido a que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y el proceso de los fenómenos de manera en que se sepa cómo funcionan los hechos en el presente (Tamayo, 2004) de esta manera poder sistematizar el diseño de cimentación en máquinas vibrantes según el reglamento ACI 351.3R-18.

Así también la investigación es de tipo aplicada ya que persigue fines más directos e inmediatos, evaluando los recursos humanos o naturales para su mejor aprovechamiento (Sabino, 1992), por ello la aplicación de esta investigación nos podrá permitir llevar las conclusiones teóricas a la vida real, como es el caso del planteamiento del diseño de cimentaciones según el reglamento ACI 351.3R-18 en máquinas vibrantes.

3.5. Diseño de investigación

La presente investigación es de diseño no experimental, ya que se relaciona con la búsqueda empírica y sistemática en donde no se tiene el control directo de las variables independientes, debido a que sus manifestaciones ya han ocurrido o a que son inherentemente no manipulables, a su vez se hacen inferencias sin intervención directa sobre las relaciones entre las variables para el diseño de cimentación según el reglamento ACI 351.3R-18 en máquinas vibrantes (Kerlinger & Lee, 2002).

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos

3.6.1. Método

El desarrollo de la investigación es en base al método hipotético - deductivo que a partir de la observación de casos particulares se plantea un problema. A través de un proceso de inducción, este problema remite a una teoría. A partir del marco teórico y mediante un razonamiento deductivo se intenta validar empíricamente la teoría para llegar a una conclusión específica (Guillen Valle & Valderrama Mendoza, 2013).

3.6.2. *Técnicas*

Observación directa: cuando no es posible realizar un experimento, ya sea porque técnicamente no se pueden manipular las variables o porque es muy costoso hacerlo, la manera inmediatamente sustituta es estudiar las variables en su contexto natural a través de observación directa.

Análisis documental: constituye el estudio de las principales normativas nacionales y extranjeras para elaborar una manual que incluya una hoja de cálculo para el diseño de cimentaciones de máquinas vibratorias, a fin de automatizar su procedimiento, a la vez de servir como protocolo para futuros diseños e investigaciones.

3.6.3. *Instrumentos*

El instrumento utilizado en la investigación fue la documentación, en donde se realizó el registro de la información recabada referente a las máquinas vibrantes de rotación.

Así también se tuvo como instrumento la lista de cotejo en donde se registró las características, aspectos, etc. de las máquinas vibrantes de tipo rotativas con el fin de obtener la mayor información posible para la sistematización del diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes.

3.7. **Validación y confiabilidad del instrumento**

La validación de instrumentos se realizó en base al análisis documental del reglamento ACI351.3R-18 y otros documentos relacionados a la investigación que existen en nuestro país; para ello, se utilizó la lista de cotejo, donde se hizo la comparación, verificando de esta manera las características, beneficios, entre otros puntos importantes, con la finalidad de que se logre la

sistematización del diseño de cimentaciones según el reglamento ACI351.3R-18 en máquinas vibrantes.

La confiabilidad de los instrumentos mencionados en el párrafo anterior se fundamenta a través de la aplicación de los datos obtenidos con la lista de cotejo para el correcto procesamiento y análisis de datos.

3.8. Procedimiento

Obtenida la información necesaria de la bibliografía estudiada, se procedió a interpretar los conceptos y procedimientos que fueron plasmados en una hoja de cálculo desarrollada en un software: Visual Basic de Excel, Mathcad y otros según la necesidad de la investigación.

3.9. Tabulación y análisis de datos

Para la tabulación y el análisis de los datos obtenidos se utilizó a la estadística descriptiva como base, y presentada a través de fórmulas y capturas del análisis realizado de la comparación tanto del diseño estático como el dinámico mediante la metodología de Veletsos y Verbic (recomendada por el ACI-351-18), para ello se estimaron valores relacionados a ello.

3.10. Consideraciones éticas

Para la presente investigación se utilizó información general y pública referente al diseño de cimentaciones según el reglamento ACI351.3R-18 en máquinas vibrantes, con el fin de llegar las conclusiones presentadas en el trabajo, por lo que no se necesitó autorización para el uso de datos de ninguna entidad, así mismo la investigación busca mejorar el diseño de cimentaciones que existe en nuestro país con nuevos conocimientos para futuras investigaciones.

CAPÍTULO IV: RESULTADO

Realizado el análisis dinámico de la máquina vibratoria con una frecuencia de operación $\omega_0 = 750 \text{ rpm}$ con peso propio de $W_c = 7230 \text{ kgf}$, se obtuvo los siguientes resultados:

Dirección Vertical:

Impedancia = Rigidez + Amortiguamiento

Rigidez: $k_{v_final} = 886304.9 \text{ kN/m}$

Amortiguamiento: $c_{v_final} = 15056.213 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * s$

Amplitud: $A_v = 1.0961 * 10^{-5} \text{ m}$

Dirección Horizontal:

Impedancia = Rigidez + Amortiguamiento

Rigidez: $k_{u_final} = 820325.072 \text{ kN/m}$

Amortiguamiento: $c_{u_final} = 13905.135 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * s$

Amplitud: $A_u = 1.213 * 10^{-5} \text{ m}$

Rotación φ_L :

Impedancia = Rigidez + Amortiguamiento

Rigidez: $k_{\varphi_L_final} = 2321544.47 \text{ kN/m}$

Amortiguamiento: $c_{\varphi_L_final} = 9969.853 \text{ kN} * \text{m} * s$

Amplitud: $A_{\varphi_L} = 4.377 * 10^{-6} \text{ m}$

Rotación φ_B :

Impedancia = Rigidez + Amortiguamiento

Rigidez: $k_{\varphi_B_final} = 4382605.97 \text{ kN/m}$

Amortiguamiento: $c_{\varphi_B_final} = 24478.295 \text{ kN} * \text{m} * \text{s}$

Amplitud: $A_{\varphi_B} = 2.13 * 10^{-6} \text{ m}$

Rotación η :

Impedancia = Rigidez + Amortiguamiento

Rigidez: $k_{\eta_final} = 6513691.607 \text{ kN/m}$

Amortiguamiento: $c_{\eta_final} = 35319.901 \text{ kN} * \text{m} * \text{s}$

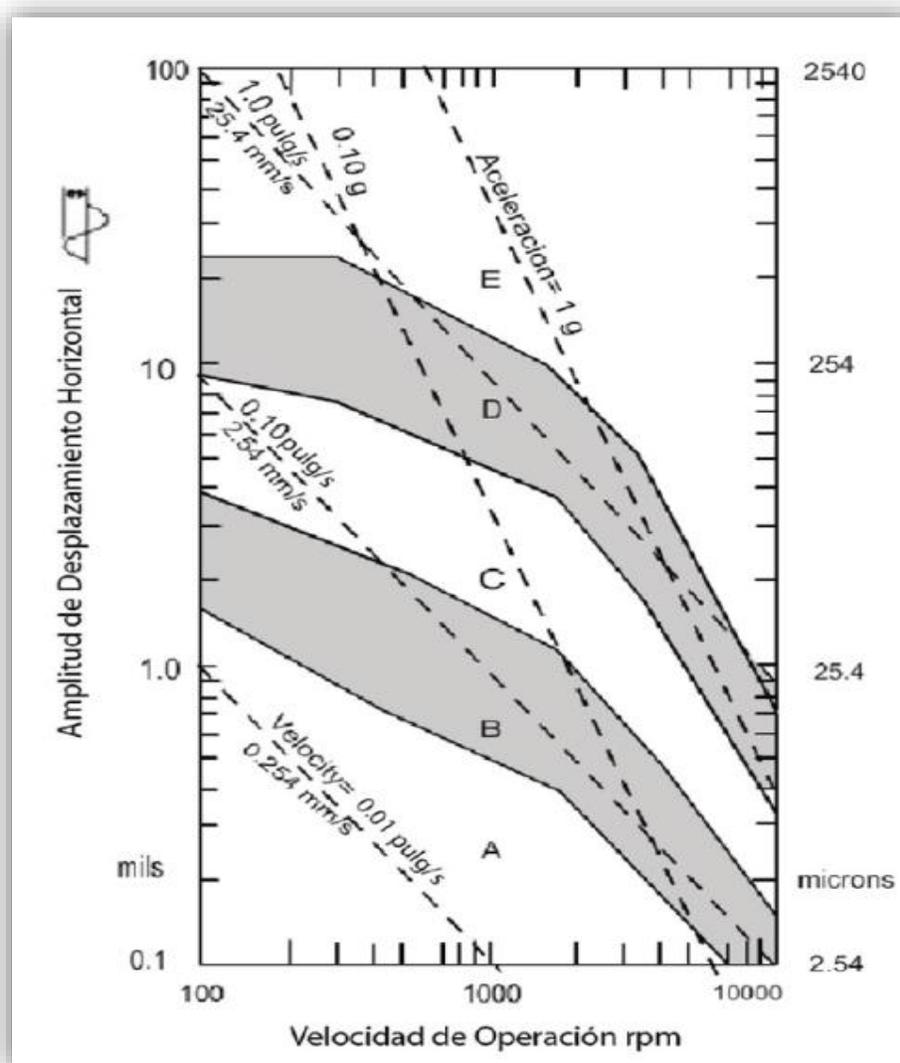
Amplitud: $A_{\eta} = 1.4 * 10^{-6} \text{ m}$

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Al verificar estos valores de Amplitud mediante la gráfica de Amplitud de Desplazamiento vs Frecuencia, para una frecuencia de operación de $\omega_0 = 750 \text{ rpm}$, se obtiene para que las cargas dinámicas aplicadas en las direcciones analizadas no se esperan daños importantes en el equipo con el sistema de cimentación propuesto.

Figura 32

Gráfico de Amplitud de Desplazamiento vs Frecuencia



Fuente: (ACI, 2018)

CONCLUSIONES

1. Las dimensiones que se obtuvo para la cimentación son de dos bloques de un peralte de 0.8m cada una, ancho de 3.9m y 1.9m; y un largo de 5m cada una.
2. Se evidencia que el diseño estático complementa al diseño dinámico debido a que con el diseño estático podemos estimar las dimensiones y con el diseño dinámico verificarlas.
3. Se verifica que la frecuencia natural del sistema bloque – suelo se encuentra fuera del límite de 0.8 a 1.2 veces la frecuencia de operación del equipo, alejándose con esto de los efectos de resonancia en todas las direcciones de análisis.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

1. Para la presente investigación se estimaron valores que en un diseño real se deberán obtener mediante ensayos geofísicos, tal es el caso de la velocidad de onda de corte.
2. La metodología empleada para el diseño fue la de Veletsos y Verbic; la cual es recomendada por el ACI-351-18; sin embargo, se recomienda la validación y calibración con los programas comerciales tales como DynaN, SAP 2000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beer, F. P., Johnston, R. E., & Cornwell, P. J. (2010). *Mecánica Vectorial Para Ingenieros* (novena ed.). MCGRAW-HILL. Obtenido de <https://seguiremosestudiandoingenieriacivil.files.wordpress.com/2017/06/mecanica-vectorial-para-ingenieros-dinamica-9th.pdf>
- Bimbrera Díaz, J. M. (2018). *Análisis y diseño de cimentaciones para maquinaria* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000772169
- Braja M., D. (2013). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras* (Cuarta ed.). Pearson Educación. Obtenido de https://issuu.com/gustavochochongalcivar/docs/p__ginas_desde220599291-dinamica-de/6
- Comité ACI 351. (2018, 14 febrero). *Informe sobre cimientos para equipos dinámicos*. Instituto Americano del Concreto. Obtenido de <https://www.concrete.org/>
- Guillen Valle, O. R., & Valderrama Mendoza, S. R. (2013). *Guía Para Elaborar La Tesis Universitaria Escuela De Posgrado*. Ando Educando.
- Herrera Valencia, R. F. (2011). *Comportamiento Del Sistema Suelo-Fundación Sometido A Cargas Dinámicas* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica De Valparaíso]. Repositorio Institucional, Valparaíso - Chile. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.28240.30728>
- Jiménez Juárez, J. (2014). *Diseño de cimentación sometida a vibración inducida por bomba centrífuga horizontal imbil ubicada en la caldera de planta Maple Etanol* [Tesis de

- grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional, Piura - Perú. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/562>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigacion del Comportamiento*. McGRAW HILL.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006, 5 Marzo). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*. Diario el Peruano. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Monachello Araujo, F., & Moreno López, B. D. (2013). *Diseño de bloques de cimentación para máquinas dinámicas* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/19440>
- Paz, M. (1992). *Dinámica Estructural: Teoría y Cálculo*. Reverté, S.A. Obtenido de <https://books.google.com.cu/books?id=FeOP4m-oH2QC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación*. Panapo.
- Salazar Contreras, J. C. (2013). *Cálculo y diseño de cimentaciones para equipos y maquinaria presentes en una facilidad de producción petrolera* [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional, Sangolquí - Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6251>
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (cuarta ed.). Limusa.

TESIS: "SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES"

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES		DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	METODOLOGÍA	
¿Cómo es el diseño de cimentaciones según el reglamento ACI 351.3R-18 en máquinas vibrantes?	Determinar cómo es el diseño de cimentaciones según el reglamento ACI 351.3R - 18 en máquinas vibrantes.	INDEPENDIENTE	Diseño de cimentaciones	Estudio de suelos	Profundidad de cimentación	M (metros)	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Diseño: No experimental</p> <p>Ámbito: Región de Huánuco</p> <p>Población: Las máquinas vibrantes en general</p> <p>Muestra: Las máquinas vibrantes de tipo rotativa.</p>	
					Capacidad de carga	Kgf/cm2		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	DEPENDIENTE	Reglamento ACI 351.3R-18	Normas estructurales	De acuerdo al País	-		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo es el diseño de cimentaciones para máquinas vibrantes en el Perú? • ¿Cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas estáticas? • ¿Cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas dinámicas? 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar cómo es el diseño de cimentaciones para máquinas vibrantes en el Perú. • Analizar cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas estáticas. • Analizar cómo es el diseño de cimentaciones en máquinas vibrantes considerando las cargas dinámicas. 				Cimentaciones de máquinas vibrantes	Cargas estáticas		Kgf
						Cargas dinámicas		Kgf



ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL DE TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 02 días del mes de agosto de 2022, siendo las 9.00 am, se dará cumplimiento a la Resolución Virtual N°328-2021-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°671-2022-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 10.OCT.2022 (Fijando fecha y hora de sustentación virtual de tesis), en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, para lo cual, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N° 0734-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación Virtual de PPP, Trabajos de Investigación y Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto público presencial de tesis titulada: **SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES**, para optar el Título de Ingeniero Civil de los Bachilleres **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ** y **Adomin ROMAN JURADO** de la carrera profesional de Ingeniería Civil.

Finalizado el acto de sustentación virtual de tesis, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
JIMÉNEZ FERNÁNDEZ Ingrid Angélica	Aprobado	14	Bueno
ROMAN JURADO Adomin	Aprobado	14	Bueno

Dándose por finalizado dicho acto a las: del mismo día 02/08/2022 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES:


VICTOR MANUEL GOICOCHEA VARGAS
 PRESIDENTE


JIM ARTURO RIVERA VIDAL
 SECRETARIO


CHARLES JIAMMY ALCEDO DÍAZ
 VOCAL



RESOLUCIÓN VIRTUAL N°671-2022-UNHEVAL-FICA-D

Huánuco, 22 de julio de 2022

VISTO: La solicitud virtual enviada por correo, de fecha 20.JUL.2022, de los bachilleres de Ingeniería Civil **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ y Adomin ROMAN JURADO**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis;

CONSIDERANDO:

Que, con solicitud virtual enviada por correo, de fecha 20.JUL.2022, de los bachilleres de Ingeniería Civil **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ y Adomin ROMAN JURADO**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis titulada: **SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES**;

Que, con Resolución N°328-2021-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 08.JUL.2021, se designa la Comisión de Revisión y Evaluación de tesis de los bachilleres de Ingeniería Civil **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ y Adomin ROMAN JURADO**, a los docentes: Presidente: Dr. Víctor Manuel Goicochea Vargas, Secretario; Mg. Jim Arturo Rivera Vidal, Vocal; Mg. Charles Jiammy Alcedo Diaz y Accesitario: Mg. Reynaldo Suarez Landauro;

Que, Constancia de Revisión y aprobación de tesis, del Dr. Víctor Manuel Goicochea Vargas, con oficio N°09-2022-J.A.R.V. del Mg. Jim Arturo Rivera Vidal y con Carta N°s/n-2022/Mg.CHJAD del Mg. Charles Jiammy Alcedo Diaz, dan la conformidad a la tesis de los bachilleres de Ingeniería Civil **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ y Adomin ROMAN JURADO**;

Que, mediante Resolución Consejo Universitario No 734 – 2022 – UNHEVAL, de fecha 07 de marzo del 2022 en el Título VI - Procedimiento de la Sustentación y Obtención del Grado o Título en su capítulo IV – título III – Art. 45° Una vez que los miembros de Jurado de Tesis informen al Decano acerca de la suficiencia del trabajo de tesis para su sustentación, el interesado presentará una solicitud dirigida al Decano pidiendo se fije hora, lugar y fecha para el acto de sustentación.;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano por Ley Universitaria N° 30220 y por el Estatuto de la UNHEVAL;

SE RESUELVE:

- 1° **SEÑALAR** fecha y hora para la sustentación virtual de la tesis titulada **SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES** de los bachilleres de Ingeniería Civil **Ingrid Angélica JIMÉNEZ FERNÁNDEZ y Adomin ROMAN JURADO**, para el **jueves 02 agosto 2022 a horas 9.00 am**, en la plataforma virtual, por los considerandos anotados.

Regístrese, comuníquese y archívese.



V. Goicochea
Dr. Víctor Manuel Goicochea Vargas
DECANO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

N°089-2022- DI/FICA

La directora de investigación de la Facultad de ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis titulada “**SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES**” del (os) Bachiller (s) **JIMENEZ FERNANDEZ INGRID ANGELICA, ROMAN JURADO ADOMIN** en Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 27 % verificable en el Reporte de Originalidad del software antiplagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 20 de diciembre del 2022



.....
Dra. Ana María Matos Ramírez
Directora de Investigación FICA

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS_V2.pdf

RECUENTO DE PALABRAS

12937 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

96 Pages

FECHA DE ENTREGA

Dec 1, 2022 2:57 PM GMT-5

RECUENTO DE CARACTERES

69368 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.6MB

FECHA DEL INFORME

Dec 1, 2022 2:58 PM GMT-5**● 27% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 26% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 15% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado
----------	-------------------------------------	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------

Pregrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en SUNEDU)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en SUNEDU)

Nombre del Programa de estudio	
Grado que otorga	

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	JIMENEZ FERNANDEZ, INGRID ANGELICA						
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte	<input type="checkbox"/>	C.E.	<input type="checkbox"/>	Nro. de Celular: 945411757
Nro. de Documento:	70907029				Correo Electrónico:	Anjifer_8@hotmail.com	

Apellidos y Nombres:	ROMAN JURADO, ADOMIN						
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte	<input type="checkbox"/>	C.E.	<input type="checkbox"/>	Nro. de Celular: 944167352
Nro. de Documento:	42281894				Correo Electrónico:	Roman_y2k@hotmail.com	

Apellidos y Nombres:							
Tipo de Documento:	DNI	<input type="checkbox"/>	Pasaporte	<input type="checkbox"/>	C.E.	<input type="checkbox"/>	Nro. de Celular:
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>				
Apellidos y Nombres:	QUINTANILLA HERRERA, ELISA RAQUEL			ORCID ID:	0000-0003-0442-0486			
Tipo de Documento:	DNI	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasaporte	<input type="checkbox"/>	C.E.	<input type="checkbox"/>	Nro. de documento:	22527428

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	GOICOCHEA VARGAS, VÍCTOR MANUEL
Secretario:	RIVERA VIDAL, JIM ARTURO
Vocal:	ALCEDO DÍAZ, CHARLES JIAMMY
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	SUAREZ LANDAURO, REYNALDO

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los datos requeridos completos)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)

SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES SEGÚN EL REGLAMENTO ACI 351.3R-18 EN MÁQUINAS VIBRANTES

b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.

d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.

e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.

f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.

g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.

h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)				2022			
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	X	Tesis Formato Artículo		Tesis Formato Patente de Invención		
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional		Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos		
	Trabajo Académico		Otros (especifique modalidad)				
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	DISEÑO		DINÁMICO		CIMENTACIONES		
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	X	Condición Cerrada (*)				
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:				
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):					SI	NO	X
Información de la Agencia Patrocinadora:							

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.



7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma:			
Apellidos y Nombres:	JIMENEZ FERNANDEZ, INGRID ANGELICA		Huella Digital
DNI:	70907029		
Firma:			
Apellidos y Nombres:	ROMAN JURADO, ADOMIN		Huella Digital
DNI:	42281894		
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Fecha: 07/08/2022			