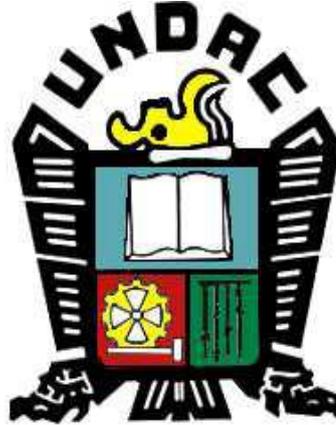


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA  
DETERMINAR EL RIESGO SÍSMICO DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y MEDICINA EN EL CAMPUS DE PUCAYACU UNDAC 2018**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. VICENTE ARTICA, IVAN MICHEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL.**

**ASESOR:**

**Arq° José German Ramírez Medrano**

**Cerro de Pasco, setiembre de 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA  
DETERMINAR EL RIESGO SÍSMICO DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y MEDICINA EN EL CAMPUS DE PUCAYACU UNDAC 2018**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. VICENTE ARTICA, IVAN MICHEL**

**SUSTENTADO Y PROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS**

---

**DOCTOR HILDEBRANDO ANIVAL CONDOR GARCIA  
PRESIDENTE**

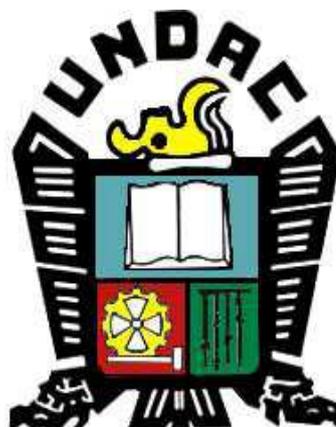
---

**MAGISTER MARCO ANTONIO SURICHAQUI HIDALGO  
MIEMBRO**

---

**INGENIERO EDER GUIDO ROBLES MORALES  
MIEMBRO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA  
DETERMINAR EL RIESGO SÍSMICO DEL PABELLÓN DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y MEDICINA EN EL CAMPUS DE PUCAYACU UNDAC 2018**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. VICENTE ARTICA, IVAN MICHEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**Ingeniero Civil.**

**ASESOR:**

**Arq° José German Ramírez Medrano**

**Cerro de Pasco, setiembre de 2018**

**Dedico esta investigación a mi hijo, porque verlo cada mañana me da fuerzas para hacer todo lo que no podría sin su existencia.**

## RESUMEN

La investigación genera una metodología simple para determinar el riesgo sísmico del pabellón de Ingeniería de minas y de medicina en el campus Pucayacu de la UNDAC. Para ello se ha analizado las características técnicas, así como los errores arquitectónicos, constructivos y estructurales de viviendas construidas informalmente.

La mayoría de las edificaciones antiguas carecen de diseño arquitectónico, estructural y se construyen con materiales de baja calidad. Además, estas edificaciones son construidas generalmente por los mismos pobladores de la zona, quienes no poseen los conocimientos, ni medios económicos necesarios para una buena práctica constructiva. En el caso de la UNDAC se tiene como antecedente la construcción de dicha edificación en los años 70 por lo que a la actualidad es necesario determinar si existe riesgo sísmico.

En el capítulo I se definirá el problema de investigación, mientras que el capítulo II se indicará algunos conceptos para entender sobre la vulnerabilidad sísmica, en el capítulo III se mencionará la metodología de la investigación indicando los alcances del proyecto, en el capítulo IV se mencionará la descripción del proyecto, en el capítulo V se explicará la aplicación y determinación de la vulnerabilidad sísmica, en el Capítulo VI se mencionará los resultados de la aplicación, en el capítulo VII se mencionará las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

## **ABSTRACT**

The research generates a simple methodology to determine the seismic risk of the Mine Engineering and Medicine pavilion at the Pucayacu campus of the UNDAC. To this end, the technical characteristics have been analyzed, as well as the architectural, constructive and structural errors of informally constructed homes.

Most of the old buildings lack architectural and structural design and are built with low quality materials. In addition, these buildings are generally built by the inhabitants of the area themselves, who do not have the knowledge, the economic means necessary for a good constructive practice. In the case of the UNDAC, the construction of this building in the 70s is a precedent; therefore, it is necessary to determine if there is a seismic risk.

In chapter I the problem of research is defined, chapter II shows some concepts to understand about seismic vulnerability, chapter III mentions research information indicating the scope of the project, in chapter IV the description of the project will be mentioned, in chapter V the application and determination of the seismic utility will be explained, in chapter VI the results of the application will be mentioned, in chapter VII the conclusions and recommendations of the present investigation will be mentioned.

## INDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCION .....	10
CAPÍTULO I.....	11
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	12
1.4. OBJETIVOS .....	13
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	13
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	13
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.6. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE INVESTIGACIÓN .....	14
1.7. LIMITACIONES.....	14
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. ANTECEDENTES.....	16
2.2. BASES TEÓRICOS – CIENTÍFICOS .....	23
2.3. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD.....	27
2.4. GENERALIDADES.....	29
2.5. FENÓMENOS GEOLÓGICOS.....	29
2.5.1. <i>Sismos</i> .....	29
2.5.2. <i>Orígenes De Los Sismos</i> .....	30
2.5.3. <i>Característica De Los Movimientos Sísmicos</i> .....	31
2.5.4. <i>Erupciones volcánicas</i> .....	33
2.5.5. <i>Tsunamis</i> .....	35
2.6. DESLIZAMIENTO POR SUELOS INESTABLES.....	36
2.7. FENÓMENOS HIDROMETEOROS LÓGICOS.....	36
2.7.1. <i>Huracanes</i> .....	36
2.7.2. <i>Lluvias torrenciales</i> .....	37
2.7.3. <i>Penetración del río</i> .....	37
2.8. DESLIZAMIENTO POR SATURACIÓN DEL SUELO.....	37
2.8.1. <i>Propiedades geotécnicas del suelo</i> .....	38
2.8.1.1. <i>Licuación</i> .....	38
2.8.1.2. <i>Suelo arcilloso</i> .....	38
2.8.1.3. <i>Talud inestable</i> .....	38
2.9. INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA.....	39
2.9.1. <i>Suelo – cimentación</i> .....	41
2.9.1.1. <i>Clasificación de las cimentaciones</i> .....	41
2.9.2. <i>Interacción inercial</i> .....	42
2.9.3. <i>Interacción cinemática</i> .....	43
2.9.4. <i>Análisis sísmico espectral</i> .....	44
2.10. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	45

2.11.	DESCOMPOSICIÓN DEL MOVIMIENTO SUELO – ESTRUCTURA.....	46
2.12.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	46
2.12.1.	<i>Procedimiento</i> .....	46
2.12.2.	<i>Proceso</i> .....	47
2.12.3.	<i>Normas</i> .....	47
2.12.4.	<i>Normalización</i> .....	47
2.12.5.	<i>Certificación</i> .....	48
2.12.6.	<i>Proyecto de construcción</i> .....	48
2.12.7.	<i>Ingeniería Estructural</i> .....	48
2.12.8.	<i>Vulnerabilidad</i> .....	49
2.12.9.	<i>Sismo</i> .....	49
2.13.	HIPÓTESIS .....	49
2.14.	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES .....	50
2.14.1.	<i>Variable independiente</i> .....	50
2.14.2.	<i>Variable dependiente</i> .....	50
CAPÍTULO III.....		52
METODOLOGÍA.....		52
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	52
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	53
3.3.1.	<i>Población</i> .....	53
3.3.2.	<i>Muestra</i> .....	53
3.4.	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	53
3.6.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	54
CAPÍTULO IV .....		55
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL PABELLÓN DE ING. MINAS Y MEDICINA EN EL CAMPUS DE PUCAYACU - UNDAC .....		55
4.1.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	55
4.1.1.	<i>Análisis Estático</i> .....	55
4.1.2.	<i>Calculo De Masas De Pesos</i> .....	55
4.1.3.	<i>Calculo De Masas De Pesos</i> .....	56
4.1.4.	<i>Regularidad De La Edificación</i> .....	57
4.1.5.	<i>Evaluación De La Estructura</i> .....	57
4.2.	INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA .....	58
4.2.1.	<i>Método d.d. Barkan – o.a. Savinov</i> .....	58
4.2.2.	<i>Método dinámico v.a. Ilichev</i> .....	61
4.2.3.	<i>Método dinámico a.e. Sargian</i> .....	68
4.3.	ANÁLISIS DE SUELO .....	73
CAPÍTULO V.....		77
RESULTADO DE LA APLICACIÓN.....		77
5.1.	MODELADO ESTRUCTURAL.....	77
5.1.1.	<i>Pilares estructurales</i> .....	77
5.1.2.	<i>Vigas</i> .....	77
5.1.3.	<i>Sistemas de vigas</i> .....	78

5.1.4.	<i>Tornapuntas</i> .....	78
5.1.5.	<i>Vigas de celosía</i> .....	78
5.1.6.	<i>Armazón estructural</i> .....	78
5.1.7.	<i>Muros estructurales</i> .....	78
5.1.8.	<i>Cimentación</i> .....	78
5.1.9.	<i>Forjados estructurales</i> .....	79
5.1.10.	<i>Modelado de hormigón</i> .....	79
5.1.11.	<i>Refuerzo</i> .....	79
5.2.	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL</b> .....	79
5.2.1.	<i>Antes del Mantenimiento del Pabellón</i> .....	80
5.2.2.	<i>Después del Manteamiento del Pabellón</i> .....	82
5.3.	<b>INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA</b> .....	83
5.4.	<b>TIPOS DE SUELO</b> .....	85
<b>CAPITULO VII</b> .....		<b>90</b>
<b>DISCUSIONES</b> .....		<b>90</b>
6.1.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	90
6.2.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	94
6.3.	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	95
6.4.	<b>ANEXOS</b> .....	96
<b>FOTOGRAFÍAS DEL MANTEAMIENTO QUE INCREMENTA CARGAS EN LA ESTRUCTURA</b> .....		<b>96</b>

## INTRODUCCION

El Perú forma parte del cinturón de fuego del Pacífico, por consiguiente, la costa peruana está en una zona de alta actividad tectónica y sísmica. Los terremotos de gran intensidad azotaron en repetidas ocasiones las ciudades ubicadas en esta región. Los sismos más recientes ocurridos en la costa central-norte fueron Chimbote el 31 de mayo de 1970 y en Lima el 03 de octubre de 1974. En definitiva, los terremotos de gran intensidad volverán a afectar las ciudades costeras (Kuroiwa 2002). Es necesario conocer el estado en que se encuentran las edificaciones de nuestra región especialmente las de mayor riesgo

Con los resultados se busca plantear mejoras en su estructuración y proceso constructivo, con el propósito de procurar disminuir la vulnerabilidad sísmica de este tipo de edificaciones en el futuro. La población estudiantil de la UNDAC se incrementó con el transcurrir de los años, lo cual generó un crecimiento poco controlado y planificado del área de la Ciudad Universitaria.

La población Universitaria con la necesidad de incrementar las aulas a decidido trasladar a sus facultades de minas y medicina al campus de Pucayacu a sabiendas que la edificación es antigua no se ha determinado su vulnerabilidad sísmica en tal sentido es necesario determinar el riesgo para poder habitar en mencionada edificación.

## Capítulo I

### El Problema De Investigación

#### 1.1. Determinación del problema

Entre los riesgos de renovar Edificaciones viejas está la presencia de materiales peligrosos, vapores de productos químicos tóxicos, polvo y líneas activas de servicios de gas o electricidad, así como potenciales fallas estructurales.

##### Riesgos por pintura con plomo

Antes de 1978, el plomo se usaba como pigmento y agente de secado en las pinturas a base de aceite. Estas pinturas que contienen plomo pueden entrañar un riesgo para la salud si se ingieren.

### Riesgos por servicios públicos

Las líneas activas de servicio público en edificios, tales como gas natural y electricidad son unos de los principales riesgos de renovar casas viejas. En casi todos los proyectos de renovación no se corta la electricidad, para poder usar temporalmente luces y herramientas eléctricas sin necesidad de generadores portátiles. Durante la demolición es imperativo cortar el suministro de energía eléctrica. Muchas veces resulta difícil estar 100 por ciento seguro de cómo diversos dispositivos están conectados al circuito eléctrico, especialmente en las viviendas más viejas donde los propietarios o contratistas menos calificados pudieron haber hecho renovaciones sin cumplir con los códigos correspondientes. En caso de duda, asegúrese de comprobar todos los dispositivos para garantizar que no hay corriente eléctrica antes de comenzar cualquier tarea de demolición.

## **1.2. Formulación del problema**

### **Problema General**

¿Cuál es el riesgo sísmico al Evaluar la Vulnerabilidad Estructural del pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018?

## **1.3. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el riesgo sísmico al Evaluar el Modelado Estructural del pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018?

- ¿Cuál es el riesgo sísmico al Evaluar la Interacción Suelo Estructura del pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018?
- ¿Cuál es el riesgo sísmico al Evaluar el Tipo de Suelo del pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018?

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

- Evaluar la Vulnerabilidad Estructural para determinar el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar El Modelado Estructural para determinar el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018
- Evaluar la Interacción Suelo estructura para determinar el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018
- Evaluar el Tipo de Suelo para determinar el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018

#### **1.5. Justificación del Problema**

La presente investigación tiene como fin mejorar determinar la sostenibilidad estructural del proyecto, identificando la vulnerabilidad sísmica del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina.

Dichos ambientes han sido remodelados y por ser edificaciones antiguas existe una incertidumbre de saber si existe la estabilidad estructural ya que albergara a mas de 300 estudiantes, por tal motivo es importante determinar la sostenibilidad estructural de dichos ambientes.

### **1.6. importancia y alcances de investigación**

La evaluación estructural determinando la vulnerabilidad se requiere para investigar la capacidad de estructuras existentes ante sollicitaciones nuevas o existe incertidumbre en su estructura. Su importancia se basa en:

- Edificios existentes que cambian de uso
- Edificios antiguos sin disponibilidad de planos
- Edificios que han soportado sismos (informes post sismo)
- Asesoría a clientes e inversionistas en la evaluación de edificaciones existentes, respecto a la seguridad estructural.
- Evaluación estructural de edificaciones existentes para contemplar su estado respecto a las normas vigentes.
- Visitas a las edificaciones existentes y solución a problemas en obras.

### **1.7. Limitaciones**

Los límites de esta investigación son:

- Análisis del sistema Eléctrico
- Otras edificaciones de diferente uso al de servicio educativo

## Capítulo II

### Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes

Análisis De La Vulnerabilidad Sísmica De Las Viviendas Informales En La Ciudad De Trujillo

Autor: Johan Edgar Laucata Luna

La investigación genera una metodología simple para determinar el riesgo sísmico de viviendas informales de albañilería confinada en la ciudad de Trujillo. Para ello se ha analizado las características técnicas, así como los errores arquitectónicos, constructivos y estructurales de viviendas construidas informalmente. La mayoría de las viviendas informales carecen de diseño arquitectónico, estructural y se construyen con materiales de baja calidad. Además, estas viviendas son construidas generalmente por los mismos pobladores de la zona, quienes no poseen los conocimientos, ni medios económicos necesarios para una buena

práctica constructiva. Para recolectar la información para este trabajo de tesis se encuestaron 30 viviendas en 02 distritos de la ciudad de Trujillo, que se seleccionaron por sus características morfológicas y por la presencia de viviendas informales de albañilería. La información de campo se recolectó en fichas de encuesta, en las que se recopiló datos de ubicación, proceso constructivo, estructuración, y calidad de la construcción. Posteriormente el trabajo de gabinete se procesó la información en fichas de reporte donde se resume las características técnicas, elaborando un análisis sísmico simplificado por medio de la densidad de muros, determinando la vulnerabilidad y peligro y riesgo sísmico de las viviendas encuestadas. Luego con la información obtenida se detalló los principales defectos constructivos encontrados en las viviendas encuestadas. Los resultados obtenidos contribuyeron a la elaboración de una cartilla para la construcción y mantenimiento de las viviendas de albañilería confinada de la costa peruana, zona de alto peligro sísmico.

Donde Concluyo:

- La ciudad de Trujillo sufrió durante su historia varios eventos naturales, entre sismos e inundaciones. El fenómeno del Niño, los constantes sismos, la cercanía al mar y el suelo arenoso, generan un ambiente de riesgo permanente.
- El Porvenir y Víctor Larco son distritos altamente poblados y representativos de Trujillo, de características morfológicas diferentes. En ambos distritos se construye a través de la construcción informal y

la autoconstrucción. Los recursos limitados de los propietarios, incidieron en la adquisición de materiales de baja calidad y contratación de mano de obra no capacitada.

- Los materiales utilizados en la construcción de las viviendas encuestadas son de regular a deficiente calidad. Existe un inadecuado control de calidad sobre los materiales. Las unidades de albañilería artesanales utilizadas en todas las viviendas, poseen una baja resistencia, una alta variabilidad dimensional y una gran absorción de agua. Esto es debido a la falta de uniformidad de la cocción de las unidades de albañilería de origen artesanal.
- La calidad de la mano de obra es regular a mala. Esto es generado por la poca capacitación y reducida inversión de los propietarios en mano de obra capacitada. Se observa la poca supervisión durante el proceso constructivo, inclusive en los proyectos asesorados por el Banmat, donde la supervisión es escasa.
- Los problemas estructurales encontrados en la mayoría de las viviendas poseen tabiques sin arriostre, siendo un problema importante al interior de la vivienda. Además en las azoteas donde se observó tabiques a media altura sin ningún tipo de arriostre, generando un peligro latente durante un sismo pudiendo afectar el escape de los moradores. Ninguna de las viviendas posee una junta sísmica. Además las losas de techo están a desnivel en zonas con pendiente, siendo un riesgo de daño entre las viviendas en un evento sísmico.

- Se encontró una mala distribución de los elementos estructurales en la vivienda. Debido a una falta de orientación de los constructores y diseñadores. La rigidez de las viviendas es mayor en el sentido perpendicular a la calle presentando una mayor densidad de muros. En cambio en el sentido de la calle existe una insuficiente cantidad de muros para soportar un evento sísmico. Los daños en estos muros puede afectar importantemente en la estructura de la vivienda.
- Los altos valores de densidad de muros en la dirección perpendicular a la fachada encontrados, están muy por encima de lo requerido. Esto ha demostrado que es la falta de conocimiento técnico y asesoría oportuna de profesionales, la causa principal que exista la deficiencia en la otra dirección. Existen viviendas que han tenido asesoría en la etapa de diseño, pero en algunos diseños no se ha considerado la sismorresistencia de la vivienda. En otros casos ha faltado una adecuada supervisión durante la construcción resultando una la construcción distinta al diseño original de la vivienda.
- La construcción informal en Trujillo ante un sismo severo podrían colapsar la mayoría de sus viviendas ante un sismo severo. De acuerdo a los resultados obtenidos en los reportes de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad Sísmica Estructural En Viviendas Sociales, Y Evaluación Preliminar De Riesgo Sísmico En La Región Metropolitana

Autor: Natalia Andrea Silva Bustos

El objetivo principal de esta tesis es estimar el riesgo sísmico en una muestra de viviendas sociales construidas entre los periodos 1980 y 2001, distribuidas en 12 comunas de la Región Metropolitana (RM). Para ello se abordan, en un análisis extenso, los dos factores involucrados, vulnerabilidad y peligro sísmico desde la perspectiva de la ingeniería y sismología aplicada respectivamente. La vulnerabilidad se abordó mediante dos enfoques: 1) asignación de clases de vulnerabilidad según distribución de daños dados por la Escala MSK-64; y 2) cálculo del Índice de densidad de muros (índice de primer nivel). Para ambas metodologías, se empleó el catastro detallado de daños experimentados tras el terremoto del 03/03/1985 (Ms 7.8). Se optó por emplear para el análisis cuantitativo de vulnerabilidad el índice de densidad de muros normalizado por número de pisos  $(d/n)\%$  propuesto por Meli (1991), principalmente por dos razones: a) ha sido concebida para este tipo de estructuras (albañilería reforzada) y ha sido adaptada a la realidad peruana, y b) permite una evaluación masiva de estructuras dado que requiere información estructural básica. Se establece una relación entre este índice y el grado de daño observado en las viviendas, verificando los límites anteriormente propuestos y calibrados por Küpfer (1993). Se recomienda esta metodología para esta tipología pues permite estimar de buena manera, y en primer orden, el comportamiento sísmico esperado ante un evento de intensidades entre VI y VIII. Se propone un  $(d/n)\%$  de 1.15 para el cual se esperaría un nivel de daño leve (G0 y G1). Se optó por establecer límites conservadores, es decir, que el grado de daño esperado sea mayor que el observado, subestimando la real respuesta

de las viviendas sociales. Se evaluó el peligro sísmico en la RM, abordándolo mediante los enfoques probabilístico y determinístico. En el primero, se emplea la metodología propuesta por Algermissen & Perkins (1976), caracterizando las tres fuentes sismogénicas presentes en Peru Central, mediante relaciones de Gutenberg Richter (G-R) y leyes de atenuación, obteniendo isosistas para distintos periodos de retorno de interés. Se incorpora además, el efecto de sitio, que amplifica hasta en un grado la intensidad según el tipo de suelo dado por la geología superficial (Leyton et al. 2010). Se obtiene que el efecto conjunto y el aporte individual de la fuente interplaca thrust, son las que generan las mayores intensidades en la zona, observando que para la cuenca de Santiago, la presencia de las fuentes cortical cordillerana (dada su cercanía), e intraplaca de profundidad intermedia, son influyentes. El enfoque determinístico generó los escenarios más desfavorables y creíbles a la vez para las fuentes inter e intraplaca, y para el caso cortical se barajan distintos largos de ruptura de la Falla San Ramón, dejando en evidencia la importancia de dicho sistema de fallas. Se observa que un análisis probabilístico, a grandes periodos de retorno, tiende a asemejarse a los resultados obtenidos mediante la metodología determinística. Se propone, como alternativa a la distribución dada por la Escala MSK, una relación funcional dependiente de la amenaza sísmica (intensidades del enfoque probabilista, para 475 años de periodo de retorno) y de la vulnerabilidad (índice de densidad de muros), que estime el riesgo sísmico expresado a través del grado de daño promedio esperado, obteniéndose escenarios para los conjuntos habitacionales

considerados. En este sentido, el escenario más severo se obtiene producto del efecto conjunto de las fuentes sismogénicas (IMM levemente superiores a IX, considerando efecto de sitio), el que genera cerca de un 25% de nivel de daño leve (G0 y G1) en las viviendas estudiadas, y cerca de un 50% de nivel de daño grave (G4 y G5), comprometiendo estas últimas su nivel de habitabilidad, consideración hecha a partir del nivel de daño severo, G3.

#### Donde Concluye:

Uno de los primeros comentarios que la autora pretende destacar, es el beneficio de las herramientas SIG para la elaboración de mapas de riesgo. Esta técnica ampliamente usada a nivel mundial, permite no solo recolectar información y datos georeferenciados (para conocer sus distribuciones espaciales), sino que además agregar ordenadamente capas de información de diferente naturaleza (geología, ingeniería, economía, demografía, etc.), favoreciendo un análisis integrado de las variables que se ven involucradas en todo estudio de riesgo, permitiendo además generar escenarios dinámicos a los cuales se les puede actualizar información, a medida que esta se va construyendo, haciendo más robustas las bases de datos y por ende más confiables los estudios generados, para usos como por ejemplo en planificación territorial. En relación a la creación y empleo de los arboles lógicos, se comenta que es posible extender el árbol incorporando un nuevo nodo que indique la función de densidad de probabilidad empleada para el análisis de PS, considerando por ejemplo tres ramas: Poisson, Weibull Truncada y

Weibull paramétrica. Se deja planteada esta recomendación para trabajos futuros en los que se pueda caracterizar mejor las últimas dos metodologías. Se asume, entonces, que los arboles antes presentados son representativos de la primera metodología probabilística, que emplea la función de densidad de Poisson. Otro nodo que se aconseja incluir es la modelación de las fuentes, pues se puede considerar la grilla propuesta por Gudmunson & Sambridge (1998) (con un menor peso asociado, dada su resolución mundial) y la rama de la referencia dada por Tassara (2006), la que tendría una mayor probabilidad asociada debido a la escala continental empleada y a las técnicas geofísicas y de mecanismos focales con los cuales se construyó la grilla de isopropundidades del slab subductado. Esta elección a la que se enfrenta quien realice el estudio de PS, modifica los escenarios generados, producto de las diferencias en la ubicación de la zona de contacto, kilómetros que no son despreciables para las leyes de atenuación empleadas.

## **2.2. Bases teóricas – Científicos**

El Perú forma parte del cinturón de fuego del Pacífico, por consiguiente, la costa peruana está en una zona de alta actividad tectónica y sísmica. Los terremotos de gran intensidad azotaron en repetidas ocasiones las ciudades ubicadas en esta región. Los sismos más recientes ocurridos en la costa central-norte fueron Chimbote el 31 de mayo de 1970 y en Lima el 03 de octubre de 1974. En definitiva, los terremotos de gran intensidad volverán a afectar las ciudades costeras (Kuroiwa 2002).

Es necesario conocer el estado en que se encuentran las viviendas de la región de la costa, especialmente las de mayor riesgo como son las viviendas autoconstruidas. Con los resultados se busca plantear mejoras en su estructuración y proceso constructivo, con el propósito de procurar disminuir la vulnerabilidad sísmica de este tipo de viviendas en el futuro

En muchos países en desarrollo, las viviendas informales son construidas sin asesoramiento técnico ni profesional. Estas viviendas muchas veces presentan serios problemas respecto a su ubicación, configuración estructural y proceso constructivo, que las hacen muy vulnerables ante los sismos (Flores 2002, Blondet et al. 2003).

La vulnerabilidad sísmica es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones realizadas por el hombre durante un sismo. La vulnerabilidad refleja la falta de resistencia de una edificación frente a los sismos (Bommer et al. 1998) y depende de las características del diseño de la edificación, de la calidad de materiales y de la técnica de construcción (Kuroiwa 2002). El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimiento sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido. El peligro también puede incluir otros efectos que el mismo sismo genera, como derrumbes y licuefacción de suelos (Bommer et al. 1998). El riesgo sísmico es el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica (Bonett 2003, Barbart 1998). También, el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, que de forma general se

puede expresar como:  $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$  (Fourier d'Albe 1988, Kuroiwa 2002). Esta evaluación de riesgo es en forma individual para cada estructura. Cuando se desea calcular el riesgo sísmico de una determinada zona, entonces la ecuación del riesgo sísmico se ve afectada por la densidad poblacional:  $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Costo}$  (Bommer et al. 1998). En este caso el riesgo sísmico es medido en términos de pérdidas de vidas o económicas.

La exposición es el número de personas o viviendas de la zona, o el valor productivo del comercio del lugar. El costo está relacionado al número de personas en cada vivienda o valor monetario de reparación de cada vivienda (Bommer et al. 1998). En la actualidad, los procedimientos y herramientas para el análisis de la vulnerabilidad y peligro sísmico se encuentran muy avanzados. Las teorías para el análisis de la vulnerabilidad van desde técnicas directas de campo, basada en observaciones, hasta técnicas probabilísticas con análisis computacionales no lineales de las estructuras (Bonett 2003). Las teorías para el análisis del peligro sísmico involucra la evaluación de fuentes sismogénicas del área de estudio (Sarria 1995). En este trabajo se propone una metodología simple para evaluar de forma rápida el riesgo sísmico en viviendas de albañilería confinada. En base a la ecuación propuesta por Fourier d'Albe (1988) y a lo sustentado por Kuroiwa (2002), se ha establecido al riesgo sísmico como la suma de la evaluación de la vulnerabilidad y del peligro sísmico:  $\text{Riesgo} = (0,5 \times \text{Vulnerabilidad}) + (0,5 \times \text{Peligro})$ . El riesgo sísmico ha sido dividido en tres

niveles: alto, medio y bajo. La metodología fue aplicada a 270 viviendas ubicadas en 5 ciudades de la costa peruana: Chiclayo, Trujillo, Lima, Ica y Mollendo. Aunque no se siguió una metodología estadística para seleccionar las viviendas encuestadas, se asume que las construcciones en estas ciudades son representativas de toda la costa. En la evaluación de la vulnerabilidad (alta, media o baja) se ha considerando el análisis de la densidad de muros, la calidad de mano de obra y materiales, y la estabilidad de tabiques y parapetos

La calidad de mano de obra y de materiales (buena, regular, o mala calidad) fueron evaluados directamente por la persona que realizó el levantamiento de información en campo. La evaluación de la estabilidad de parapetos y tabiques se basa en la comparación del momento actuante debido a cargas perpendiculares al plano del muro (San Bartolomé 1998) y el momento resistente paralelo al plano del muro. En la evaluación del peligro sísmico (alto, medio o bajo) se está considerando el análisis de la sismicidad, del tipo de suelo y de la topografía de la zona sobre la que está construida la vivienda. En la metodología planteada, la sismicidad y tipo de suelo se clasifica de acuerdo a la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030 (MTC 2003), donde se establece que la costa es una zona de sismicidad alta. La evaluación de la topografía (plana, media o pronunciada) es realizada durante el trabajo de campo. Con la evaluación de la vulnerabilidad y peligro sísmico es posible determinar si el riesgo es alto, medio o bajo.

El riesgo sísmico alto significa que la vivienda sufrirá daños importantes ante un sismo raro (0,4g). Existe gran probabilidad que la vivienda colapse ya que no tiene adecuada densidad de muros y se encuentra sobre suelo blando. El riesgo sísmico medio significa que la vivienda tiene aceptable densidad de muros y se encuentra sobre un suelo rígido o flexible. Los muros de la vivienda podrían sufrir daños menores y algunos parapetos podrían colapsar parcial o totalmente. El riesgo sísmico bajo significa que la vivienda tiene adecuada densidad de muros y la calidad de construcción es regular a buena. La vivienda se encuentra sobre suelo rígido sin pendiente y solo podría sufrir el colapso parcial o total de los parapetos. Los resultados obtenidos de la evaluación del riesgo sísmico serán indicadores del comportamiento sísmico y de la calidad constructiva de las viviendas informales de la costa peruana. A nivel mundial, y en especial en Latinoamérica, existen cartillas que muestran el adecuado proceso constructivo de viviendas. La finalidad de las cartillas es que a través de ellas se enseñe la forma correcta de construcción a las personas auto constructoras, quienes no tienen posibilidades económicas de contratar a un profesional (Taucer F y Papanikolaou 2003). En este trabajo también se ha desarrollado una cartilla de recomendaciones técnicas constructivas y de mantenimiento para viviendas sismo resistentes de albañilería confinada

### **2.3. Metodologías De Evaluación De Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad sísmica estructural está asociada a la susceptibilidad de los elementos o los componentes estructurales de sufrir daño debido a un

sismo. Este daño sísmico estructural, comprende el deterioro físico de aquellos elementos que forman parte del sistema resistente. Según el Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT, 1993) de Italia, la multiplicidad de factores que deben ser estudiados desde el punto de vista de la vulnerabilidad conduce a 3 tipos diversos de metodología de evaluación:

- Directa: Definida de acuerdo a la propensión de un elemento aislado (simple o complejo) de sufrir colapso. Por ejemplo, la vulnerabilidad de un edificio, de un viaducto o de un asentamiento urbano.
- Inducida: Definida de acuerdo a los efectos de crisis de la organización del territorio generados por uno de sus elementos físicos. Por ejemplo, la crisis del sistema de transporte debido a la obstrucción de una autopista.
- Diferida: De acuerdo a los efectos que se manifiestan en las fases inmediatamente sucesivas al evento, capaces de modificar el comportamiento de la población de un asentamiento durante la emergencia.

Existen otros enfoques de evaluación de vulnerabilidades, por ejemplo:

- Predefinida: Se estima en función de las variables que intervienen en el diseño y construcción, como son las bases de cálculo, los métodos constructivos, mano de obra, inspección, entre otros aspectos
- Observada: Se estima utilizando la base estadística de los daños causados por terremotos pasados

En los capítulos siguientes, se observará que la metodología de vulnerabilidad seleccionada, es una mezcla de los últimos dos enfoques mencionados.

#### **2.4. Generalidades**

Una inspección preliminar de la zona donde está ubicada la infraestructura educativa provee información rápida sobre el impacto general que podrían causar las amenazas.

En este proceso se debe observar el terreno alrededor de la edificación con la finalidad de identificar fallas o anomalías en el suelo o de taludes cercanos, espejos de agua próximos a la infraestructura que puedan elevar el nivel freático, entre otros. Este punto de la evaluación no es susceptible a medición, ni forma parte del cálculo del nivel de seguridad. Sin embargo, sirve para valorar adecuadamente cada una de las variables, considerando el entorno y contexto del área donde está ubicado.

Es necesario analizar esta información para evaluar la seguridad de la infraestructura educativa en su entorno de amenazas y debe ser tomada en cuenta al momento de establecer el grado de seguridad de los aspectos evaluados.

#### **2.5. Fenómenos geológicos.**

##### **2.5.1. Sismos.**

Son el resultado de movimientos de la corteza terrestre, que se generan de formaciones en las rocas del interior de la tierra y acumulan energía que es liberada súbitamente en forma de ondas que sacuden la superficie.

### **2.5.2. Orígenes De Los Sismos**

Con el objeto de entender el fenómeno sísmico conviene recordar dos puntos asociados: La corteza terrestre es muy delgada en relación con el tamaño del globo terrestre. Los conocimientos actuales indican que las únicas partes sólidas del planeta son la corteza y el núcleo interno.

El material que forma las capas subyacentes a la primera se encuentran en estado más o menos plástico, según su profundidad y composición. La corteza terrestre, que descansa sobre el manto superior de material plástico (magma) tiene apenas un espesor medio de 30 km, con un mínimo de 10 y un máximo de 80 km. Como se sabe, el radio medio de la tierra es de aproximadamente 6,370 km, por lo tanto, la relación entre el radio del planeta y el espesor medio de la corteza es de 210. Así, el radio es doscientas diez veces mayor que el espesor medio de la última.

La escala humana del tiempo es corta al compararla con la escala geológica. A partir de la primera, esperamos que el suelo sea firme como una roca, pero resulta que el suelo tiembla e inclusive puede abrirse, elevarse o hundirse. En la escala de tiempo geológica se vería el movimiento a la deriva de los continentes, la migración de pedazos inmensos de corteza, la aparición y la desaparición de cordilleras y la

elevación o hundimiento del lecho marino. En la escala humana, estos cataclismos se ven como en cámara muy lenta puesto que, generalmente, somos testigos de sólo una de las manifestaciones más temidas; los terremotos. Son muchos y muy variados los fenómenos que provocan los sismos tales como: impactos de meteoritos, eventos volcánicos, explosiones tanto naturales como causadas por el hombre, colapsos de formaciones geológicas y, principalmente, los que tienen como origen el movimiento propio del planeta en su evolución (terremotos de origen tectónico).

### **2.5.3. Característica De Los Movimientos Sísmicos**

El punto dónde se inicia la ruptura de una falla recibe el nombre de Foco centro o hipocentro. Su proyección sobre la superficie terrestre se denomina epifoco o epicentro. Las distancias desde el foco o el epicentro hasta el lugar de observación del sismo son las distancias focal y epicentral respectivamente.

La liberación súbita de energía en la zona de ruptura de una falla provoca la propagación de ondas de cuerpo, las cuales al alcanzarla superficie de la corteza y reflejarse en ella originan ondas de superficie. Las ondas de cuerpo se producen debido a las de formaciones longitudinales (de compresión) o transversales (de corte) de la roca. Estas viajan alejándose de la falla y su amplitud generalmente se atenúa con la distancia. Las ondas longitudinales se transmiten por compresión directa

y se transmite a mayor velocidad; éstas son las que se registran en primer lugar en una estación sismográfica, por ello, se les llama primarias o de forma simplificada, ondas P.

Por otro lado, las transversales se deben a efectos de cortante y por ser captadas después de las ondas se les llama secundarias, o bien, ondas S. Se representa esquemáticamente la forma en que se transmiten las ondas P y S. Hay varias clases de ondas de superficie, las de mayor importancia dentro de la ingeniería son las ondas L (ondas de Love) y las K (ondas de Rayleigh). Las ondas L tienen lugar en las formaciones estratificadas y vibran en un plano paralelo a la superficie de la tierra y perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda. Por su parte, K se transmiten en un plano perpendicular al borde de la tierra.

El registro de las ondas sísmicas permite caracterizar al temblor que las produjo, así como estudiar aspectos relacionados con la estructura interna de la tierra. Asimismo, la diferencia en tiempo entre la llegada de las ondas P y las ondas S permite calcular la distancia epicentral. Las diferentes velocidades de transmisión, así como la manera en que son reflejadas dentro de las capas internas de la tierra han permitido establecer teorías sobre la estructura interna del planeta. Por ejemplo, las ondas S, por su naturaleza, no se transmiten en líquidos, ya que éstos no tienen resistencia al correr, por lo que al observar que en el núcleo externo de la tierra estas ondas no se envían, se infiere que su estado es similar al de un líquido.

Las Ondas sísmicas se generan en la zona de ruptura y se extienden en todas direcciones, por lo que en un punto cualquiera podría existir una combinación particular de ellos. No se puede establecer que un temblor sea oscilatorio o trepidatorio con base en lo que las personas hayan sentido en un lugar particular. R1 movimiento del terreno durante un terremoto tiene seis componentes (tres de traslación y tres de rotación).

Al caracterizar un sismo, se deben distinguir los parámetros generales y los locales. Entre los primeros están la localización, el tipo de falla que lo causó y la energía que liberó, los parámetros locales incluyen el tipo y tiempo de arribo de las ondas sísmicas que determinaron ciertos niveles de aceleración, velocidad y desplazamiento del terreno.

De particular importancia son los valores máximos y las direcciones de estas cantidades. Recuérdese que la teoría de Newton indica que la fuerza es igual a la masa por la aceleración, por lo que contar con datos de la aceleración del terreno causada por un temblor, permite estimar las fuerzas que se producen en las estructuras. A su vez, lo anterior ayuda a discernir el poder destructivo de un sismo en un lugar específico. En el apartado siguiente se describen de manera general algunas de las formas de medir un terremoto.

#### **2.5.4. Erupciones volcánicas.**

La temperatura, composición, viscosidad y elementos disueltos en el magma, como así también la cantidad de productos volátiles que

acompañan a la erupción volcánica, son los factores fundamentales de los cuales depende el tipo de explosividad.

Las erupciones explosivas se caracterizan por la liberación violenta de chorros de gas y cenizas. Estas erupciones se producen cuando la viscosidad y el contenido de sílice es muy elevado (magma ácido), este tipo de magma retiene una gran cantidad de gases, lo cual provoca un aumento de la presión interna, que da lugar a fuertes explosiones.

Así mismo, y teniendo en consideración los mecanismos más destacados del proceso eruptivo, científicos en vulcanología también han efectuado la clasificación de las erupciones en los siguientes tres tipos: magmáticas, freatomagmáticas y freáticas:

**ERUPCIONES MAGMÁTICAS:** Este tipo de erupciones, tal como su nombre lo indica, se producen cuando el magma (roca fundida) emerge a la superficie, ya sea en forma de lava o ceniza y piedra pómez.

Existen varios tipos de erupciones magmáticas: pliniana, peleana, vulcaniana, estromboliana, hawaiana e islándica o fisural, las mismas están ilustradas.

**ERUPCIONES FREATOMAGMÁTICAS:** Son erupciones volcánicas impulsadas por la interacción directa entre el magma y el agua. Tienen lugar en el mar, lagos o aguas subterráneas. Existen tres tipos principales de erupciones freatomagmáticas: las surtseyanas, las submarinas y las subglaciares.

**ERUPCIONES FREÁTICAS:** Las erupciones freáticas ocurren cuando el magma, cuya temperatura es extrema (600°C- 1.170°C), toma contacto de manera indirecta con un volumen de agua, provocando su brusco calentamiento y generando vapor a muy alta presión.

El calor generado en el suelo o en la superficie que contiene agua, produce la evaporación del agua muy rápidamente que deriva en vapor de muy alta presión, causando una gran explosión de vapor, agua, ceniza, bloques y bombas. A diferencia de todas las erupciones anteriores no existe, en general, ascenso de magma.

#### **2.5.5. Tsunamis.**

El término tsunami es japonés; internacionalmente se usa para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Es una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto; a las costas pueden arribar con gran altura y provocar efectos destructivos: pérdida de vidas y daños materiales. La gran mayoría de los tsunamis se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del Océano Pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino.

En la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, ocasionada por un sismo. En el transcurso del siglo veinte, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico. Otros agentes causales menos frecuentes han sido: erupciones de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos, deslizamientos submarinos y explosiones nucleares.

## **2.6. Deslizamiento por suelos inestables.**

Movimiento lento o rápido de material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca) pendiente abajo, debido a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales u otro factor que genere un desequilibrio en la ladera.

## **2.7. Fenómenos hidrometeoros lógicos.**

### **2.7.1. Huracanes.**

El huracán es el más severo de los fenómenos meteorológicos conocidos como ciclones tropicales. Estos son sistemas de baja presión con actividad lluviosa y eléctrica cuyos vientos rotan antihorariamente (= en contra de las manecillas del reloj) en el hemisferio Norte. Un ciclón tropical con vientos menores o iguales a 62 km/h es llamado depresión tropical. Cuando los vientos alcanzan velocidades de 63 a 117 km/h se

llama tormenta tropical y, al exceder los 118 km/h, la tormenta tropical se convierte en huracán.

### **2.7.2. Lluvias torrenciales.**

Son lluvias intensas que pueden venir acompañadas de relámpagos, rayos y truenos. Pueden inundar rápidamente áreas planas o cóncavas (como valles, hondonadas o zonas bajas de la ciudad) produciendo estancamiento de aguas; pero también pueden ocasionar (en zonas con pendiente pronunciada) flujos de alta velocidad con grandes volúmenes de agua y posibles deslizamientos.

### **2.7.3. Penetración del río.**

Las penetraciones de mares, ríos y lagos en terrenos secos son fenómenos que se producen por fuertes marejadas o desbordes de los ríos y lagos. Muchas inundaciones causadas por este fenómeno son parte del comportamiento normal de los ríos, es decir, de su régimen de aguas, ya que es habitual que en invierno aumente la cantidad de agua e inunde los terrenos cercanos a la orilla.

Las penetraciones de mar o de río pueden ocasionar diferentes efectos, dependiendo principalmente del tipo de suelo, la topografía de la zona y la ubicación de las comunidades.

## **2.8. Deslizamiento por saturación del suelo.**

Movimiento lento o rápido de material superficial de una ladera, debido a la presencia extrema de humedad.

## **2.8.1. Propiedades geotécnicas del suelo.**

### **2.8.1.1. Licuación.**

La licuefacción (o licuación) es un fenómeno típico de suelos saturados del tipo arenas finas y flojas y limos mal graduados, que ocurre cuando estos se someten a acciones dinámicas y que consiste en una pérdida de fuerza y rigidez debido a que la presión del agua aumenta de forma rápida hasta el punto de que las partículas quedan sueltas, se mueven libremente y pierden la capacidad de transmisión de esfuerzos. Su nombre deriva del hecho de que en ese momento el suelo se comporta como si se tratara de un líquido.

### **2.8.1.2. Suelo arcilloso.**

Las arcillas depositadas por el viento guardan entre sus partículas grandes vacíos, por lo que un pequeño incremento de humedad puede destruir (la ligazón entre ellas, perdiendo cohesión o disolviéndose, ocasionando hundimientos. Por otro lado, suelos arcillosos, secos o compactos, al ser humedecidos se hinchan, es decir que incrementa significativamente su volumen, levantando entre otras cosas losas y muros con pocas cargas.

### **2.8.1.3. Talud inestable.**

La estabilidad de un talud depende de las características geológicas del terreno, del tipo de material que lo constituye, de la inclinación de la pendiente, de las condiciones hidrológicas y climáticas y de la intensidad sísmica en la zona.

También puede influir, la presencia de rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería. Los taludes inestables son considerados una potencial amenaza ya que se relacionan directamente con los fenómenos de remoción en masa.

## **2.9. Interacción suelo – estructura.**

La interacción sísmica suelo estructura como: "cuando la base es considerada como un semi-espacio elástico y la acción sísmica como un proceso ondulatorio, se resolvieron varios problemas de difracción de ondas en la cimentación, el cual ha determinado el carácter de la acción sísmica en la edificación" (Villareal, 2006).

La interacción sísmica suelo estructura: "Otra orientación más cercana a los métodos ingenieriles, se relación con determinados parámetros de rigidez de la cimentación, que se determinan en base a investigaciones experimentales o procesos teóricos - experimentales, que consideran el carácter ondulatorio de la acción sísmica." (Villareal D. G., interacción suelo estructura en edificios altos, 2007)

La interacción sísmica suelo estructura como: "el lograr que el suelo de fundación interactúe de manera conjunta con la estructura, nos permite obtener resultados que describe el verdadero comportamiento de este frente a un evento sísmico, mediante la utilización de los parámetros que nos brinda el estudio de mecánica de suelos y que muchas veces algunos de ellos no se toman en cuenta en un modelamiento común que no considera interacción". (León, 2007).

El término "interacción suelo estructura es utilizado hoy en día para caracterizar las situaciones donde el comportamiento de una estructura no puede ser evaluado de modo preciso sin considerar también el comportamiento del suelo en contacto y de su interface". (Gabriel, 2012).

Dependiendo de la posición del periodo de la estructura con respecto al pico en el espectro de respuestas, los efectos de interacción pueden ser favorables o desfavorables; resultando en general benéfico para estructuras con periodo mayor a la dominante y perjudiciales en caso contrario. (Rocha P. y., 2011), Citado en (Solano, 2011).

Segundo, la presencia de la cimentación modifica el movimiento en la base, filtrando los componentes de alta frecuencia de la excitación. La cimentación experimenta un desplazamiento horizontal promedio, debido a que la cimentación al ser más rígida no puede deformarse como el suelo, así como una componente de capeco. Este movimiento de cuerpo rígido resulta en aceleraciones que varían a lo largo de la altura del edificio (causando fuerzas inerciales), a diferencia de las aceleraciones presentadas en el caso base empotradas. (Wolf, 2011).

Tercero, las fuerzas inerciales aplicadas a la estructura conducirán a un momento de volteo y un cortante transversal en la base. Esto provocara la deformación del suelo generando una vez más la modificación de los movimientos en el sistema completo. (Wolf, 2011)

El lograr que el suelo de fundación interactúe de manera conjunta con la estructura nos permite obtener resultados que describen el verdadero

comportamiento de este frente a un evento sísmico, mediante la utilización de los parámetros que nos brinda el estudio de mecánica de suelos y que muchas veces algunos de ellos no se toman en cuenta en un modelamiento común que no considera interacción. (Abanto, 2004).

### **2.9.1. Suelo – cimentación.**

El suelo o terreno desde la selección de la implantación de la zapata hasta como soporte del Edificio juega un papel determinante, bien como elemento estructural-soporte de lo que se le coloca encima, bien como material aprovechable para terraplenes y/o rellenos, bien incluso como material de construcción en diques, presas u otras obras de tierras comunes en nuestras Obras.

La cimentación constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que soporta una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y que las deformaciones producidas en éste sean admisibles para la estructura. (E.U.I.T.A.C.R).

#### **2.9.1.1. Clasificación de las cimentaciones.**

Una primera clasificación divide las cimentaciones en dos grupos:

- Superficiales: cuando el nivel de cimentación es inferior a cuatro veces la dimensión menor del cimientto.

Profundas: cuando el nivel es superior a diez veces la dimensión menor.

Entre ambos grupos evidentemente hay gran cantidad de casos intermedios. Dentro de las cimentaciones superficiales nos encontramos a su vez los diferentes tipos que aparecen en las figuras

### **2.9.2. Interacción inercial.**

Referente a la cita textual, (Soriano A., Modificación del movimiento, 1989) señala:

El caso más simple de interacción suelo estructura se da cuando la cimentación, esto es, la zona de contacto terreno estructura, es pequeña y superficial; pequeña, de manera que puede considerarse puntual respecto a las longitudes de ondas sísmicas que lo van a solicitar y superficial, de manera que no exista una zona de terreno que tenga que guardar cierta compatibilidad de deformaciones con el movimiento de la estructura en otra zona que no sea puntual.

(Soriano A., Modificación del Movimiento, 1989) Explica la teoría de interacción inercial como "si el terreno no es infinitamente rígido, los esfuerzos que se generan en la cimentación provocaran una deformación variable, es decir un movimiento que obligara al punto de unión y a su entorno próximo a moverse de manera distinta al movimiento del campo libre"

Define la interacción inercial como "el alargamiento del periodo fundamental, la modificación del amortiguamiento y la reducción de la ductilidad, con respecto a los valores que tendría la estructura supuesta sobre base rígida" (Rocha P. y., 2011).

(solano, 2012) Define interacción inercial como "La interacción inercial se modela por medio de las funciones de impedancia del suelo (rigideces y amortiguamiento del conjunto suelo - cimentación dependientes de las frecuencias) y mediante el análisis del sistema suelo estructura completo con matrices de rigidez, amortiguamiento y masa que contienen todos los elementos del sistema".

### **2.9.3. Interacción cinemática.**

(Soriano, 1978) Define la interacción cinemática como "Normalmente, las cimentaciones están suficientemente enterradas y son de extensión tal que las hipótesis que se hace en los apartados precedentes para suponerla puntual y en superficie". referente a la cita textual, (solano, 2012) señala:

La interacción cinemática se refiere a la diferencia entre el movimiento de campo libre y la excitación efectiva de la base, y es especialmente importante para cimentaciones enterradas. En este efecto se origina por que la rigidez de la cimentación le impide ajustarse a las deformaciones del suelo causado por el movimiento de campo libre, generándose un fenómeno de difracción de ondas que modifica el movimiento del suelo en la proximidad del cimientto. La superposición de las ondas incidentes y reflejadas por la superficie del terreno con las ondas difractadas es la razón principal de este efecto. Depende de la geometría de la cimentación, la estratificación del subsuelo y la naturaleza de la excitación sísmica.

Define la interacción cinemática como "la interacción cinemática se manifiesta en una reducción de los movimientos de traslación de la cimentación, fenómeno conocido como filtrado de la excitación sísmica, así como la generación de cabeceo y torsión de la cimentación" (Wong, 1987), citado en (Solano, 2012).

#### **2.9.4. Análisis sísmico espectral.**

Para describir el análisis sísmico aplicado en edificaciones es importante analizar los conceptos físicos como normativos de nuestra presente norma.

En el modelo físico el edificio vibra junto con el suelo de fundación. El límite entre el modelo y el medio externo, sucede en el suelo de fundación y será mayor la influencia cuando el suelo blando y la edificación rígida; en un inicio elástico no - lineal, luego elastoplástico como consecuencia de la acumulación de los daños en el proceso de cambio hasta los estados límites, exceptuándose en la carga sísmica de cálculo la aplicación de superposición. (Villareal, 2006).

En el modelo de cálculo normativo no existe el suelo de fundación. El modelo está orientado solo a describir el trabajo de la edificación. La base de fundación se toma como un medio externo absolutamente rígido – mesa vibratoria, en la cual la cimentación esta empotrada en la base; se analiza la edificación como linealmente elástica, no considerándose el cambio de los parámetros del modelo en el proceso de acumulación de daños desde un inicio hasta el final de la acción sísmica y se orienta al

cálculo de las reacciones sísmicas de la edificación por la adición de las formas de vibración libre de su modelo linealmente elástico por el principio de superposición. (Villareal, 2006).

(Villareal, 2006;) Fundamentalmente son tres errores conceptuales presentes en la norma de diseño sismo resistente por el método espectral, los cuales traen consigo el peligro en la aplicación de dicha norma en el análisis y diseño de edificaciones o construcciones especiales. El primero, es el uso del modelo lineal invariable desde un inicio hasta el final de la acción sísmica; el segundo es la aplicación de la aceleración sísmica del suelo, como una medida normativa de la intensidad del sismo; la tercera es la falta de comprobación práctica e insuficiente fundamento del coeficiente empírico normativos, utilizados para medir la tuerza sísmica.

#### **2.10. Diseño estructural.**

(Abanto, 2004) El diseño de estructuras en general está basado en un delicado balance entre resistencia y capacidad de deformación de una estructura. De esta forma, las estructuras que tienen mayor resistencia son capaces de soportar las fuerzas y deformaciones inducidas por eventos sísmicos, comportándose en el rango lineal, esto es, sin daño permanente de los componentes estructurales principales. Por otra parte, estructuras que tienen una mayor capacidad de deformación son diseñadas para soportar un sismo a través de la disipación de energía que resulta de la generación de trabajo en la plastificación de los elementos estructurales.

Tal disipación está asociada al daño permanente de la estructura. Sin embargo, debido a razones de costo, este último procedimiento es preferido hoy en día frente al aumento de resistencia necesario para mantener a una estructura elástica.

### 2.11. Descomposición del movimiento suelo – estructura.

El movimiento total de un sistema estructural es considerando como la suma del movimiento de cuerpo rígido de la cimentación, el movimiento debido a la flexibilidad del suelo y los desplazamientos generados por la flexibilidad de la estructura. (Wolf, 2011).

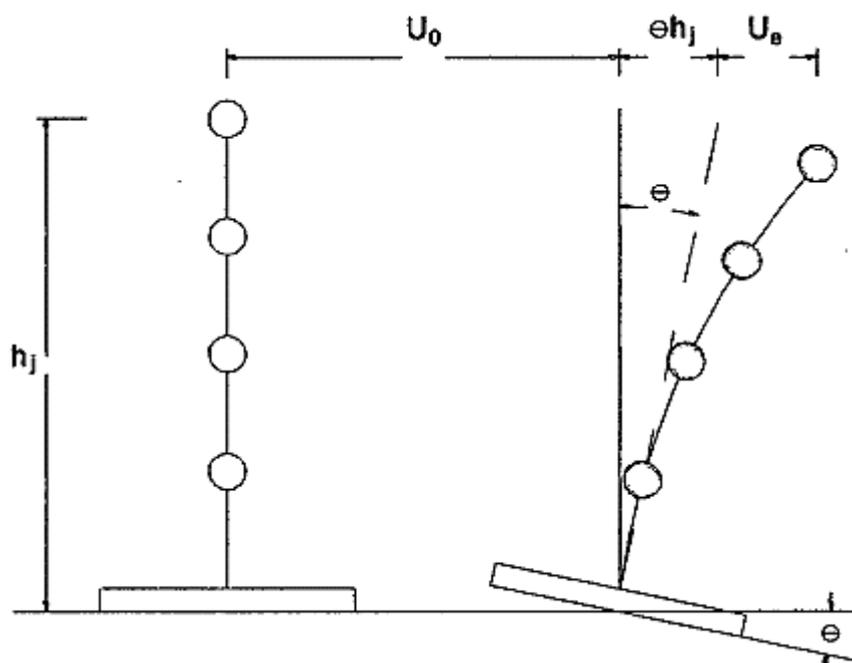


Imagen 1. Campantes del desplazamiento horizontal

### 2.12. Definición de Términos

#### 2.12.1. Procedimiento

manera o forma especificada de realizar una actividad. Por lo general es el listado de una serie de pasos claramente definidos, disminuyendo la probabilidad de errores o accidentes.

#### **2.12.2. Proceso**

es la forma y orden de ejecutar las actividades o procedimientos de una tarea, en especial trata de prever la calidad del producto de dicho proceso. Se puede señalar que el uso de los procedimientos escritos podría mejorar enormemente el resultado de los procesos.

#### **2.12.3. Normas**

es un documento que establece las condiciones mínimas que debe reunir un producto o servicio para que sirva al uso al que está destinado, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que establece; para usos comunes y repetidos; reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados. Las normas son un instrumento de transferencia de tecnología, aumentan la competitividad de las empresas y mejoran y clarifican el comercio internacional.

#### **2.12.4. Normalización**

consiste en la elaboración, difusión y aplicación de normas. La normalización de las diversas herramientas de gestión así como las de calidad, favorece el progreso técnico, el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida. Para el caso de esta tesis estudiaremos la normalización de las herramientas de gestión utilizadas en la industria.

#### **2.12.5. Certificación**

la certificación es la forma de demostrar que una empresa cumple con los requisitos de la norma.

#### **2.12.6. Proyecto de construcción**

Es una célula o parte de un todo que conforma la organización o empresa, en este caso particular sería una parte de la gerencia de operaciones de una empresa constructora. Su característica empresarial es operar con autonomía a base de objetivos y resultados. Dentro de esa autonomía debe poder perfeccionar y propiciar el perfeccionamiento del personal humano que la compone, así como planear su futuro y programar sus actividades de acuerdo a sus estrategias para alcanzar sus objetivos

#### **2.12.7. Ingeniería Estructural**

La ingeniería estructural es una rama clásica de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de la parte estructural en elementos y sistemas estructurales tales como edificios, puentes, muros (incluyendo muros de contención), presas, túneles y otras obras civiles. Su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes y funcionales. En un sentido práctico, la ingeniería estructural es la aplicación de la mecánica de medios continuos para el diseño de estructuras que soporten su propio peso (cargas muertas), más las cargas ejercidas por el uso (cargas vivas), más las cargas producidas por eventos de la naturaleza, como vientos, sismos, nieve o agua.

### **2.12.8. Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad de las edificaciones está directamente relacionada a los conceptos de arquitectura sustentable, construcciones seguras, análisis de riesgo y gestión integral de costos/beneficios. El nivel de vulnerabilidad de una edificación se define como el riesgo de recibir daños a causa de amenazas naturales, humanas o tecnológicas.

### **2.12.9. Sismo**

Es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos, impactos de asteroides o cometas, o incluso pueden ser producidas por el ser humano al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas

### **2.13. Hipótesis**

Evaluar la Vulnerabilidad Estructural determina el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu  
UNDAC 2018

### Hipótesis Específicas

- Evaluar el Modelado Estructural determina el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018
- Evaluar la Interacción Suelo estructura determina el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018
- Evaluar el Tipo de Suelo determina el riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018

#### **2.14. Identificación de las variables**

##### **2.14.1. Variable independiente**

La variable independiente: “Modelado Estructural, Interacción Suelo Estructura, Tipo de Suelos”

##### Dimensiones

- Modelado Estructural
- Interacción Suelo Estructura
- Tipos de Suelo

##### **2.14.2. Variable dependiente**

La variable dependiente es: Vulnerabilidad de la estructura

### Dimensiones

- Resultados Alcanzados
- Seguridad
- Durabilidad de la Estructura

## Capítulo III

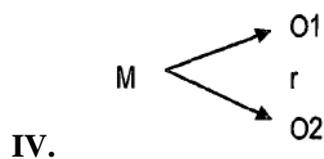
### Metodología

#### 3.1. Tipo de investigación

El nivel de investigación en el presente trabajo de investigación es Descriptivo y Explicativo. Analizamos el efecto producido por la acción y manipulación de las variables Independientes sobre la dependiente

#### 3.2. Diseño de la investigación

Es no experimental, por ser una investigación descriptiva, el diseño que se utilizó en la presente investigación es descriptivo para lo cual se muestra el siguiente esquema:



- O1 : Evaluación de la vulnerabilidad sísmica.
- O2 : Riesgo de desastres. Finales.
- M : Muestra.
- r : Relación

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

- Infraestructuras de Edificaciones en General

#### **3.3.2. Muestra**

Pabellón de Medicina y Minas campus Pucayacu UNDAC

### **3.4. métodos de la investigación**

Cuantitativo - Cualitativo de datos estadístico.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Obtención de datos en Campo
- Sistema de análisis de Datos Computacional
- Encuesta - Cuestionario

Las técnicas serán: Preparar las mediciones obtenidas siendo analizadas correctamente, medir el proceso de vincular conceptos abstractos con indicadores empíricos, mediante clasificación y/o cuantificaciones y medir las variables contenidas en la hipótesis.

Ya que es una investigación experimental, los instrumentos serán hojas de papel, donde se determinarán los trabajos realizados en campo y serán analizados mediante software de computadora (Excel y SAP2000)

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Al recolectar los datos se tiene los siguientes procesamientos y análisis de datos:

- Estadístico
- Estructural
- Diagramas de Momentos y evaluación de estructuras

## **Capítulo IV**

### **Vulnerabilidad estructural del Pabellón de Ing. Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu - UNDAC**

#### **4.1. Análisis estructural.**

##### **4.1.1. Análisis Estático.**

Se efectuó un análisis estructural estático para poder comprobar que el contante en la base determinada por el método dinámico no sea menor que el 80% del cortante lineal por el método estático del pabellón de las Facultades de Ingeniería de Minas y de la Facultad de Medicina Humana.

##### **4.1.2. Calculo De Masas De Pesos**

Se efectuó el Metrados de cargas de la estructura se consideró los pesos unitarios y cargas mínimas repartidas de la Norma E 0.20, para el presente análisis de tesis.

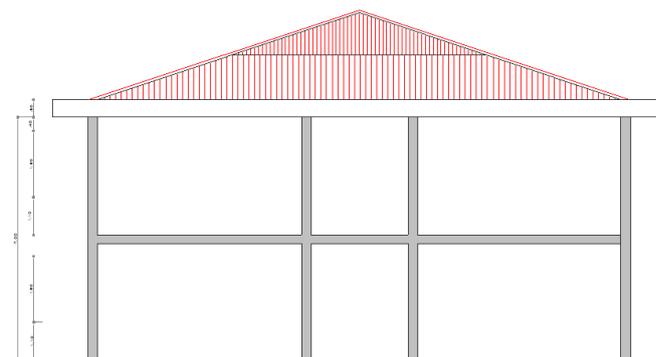


Imagen 2. Cargas verticales por piso

Peso de la edificación  $\{P\} = 97\ 4.24\ \text{Tn}$

El peso (P) se calculó adicionando a la carga permanente y total de la edificación el 50% de la carga viva, considerando una edificación de categoría A.

#### 4.1.3. Cálculo De Masas De Pesos

Para el cálculo de rigidez lateral se tomó en consideración las fórmulas de Mutto y Wilburt, las que se consideran para un análisis estático, teniendo en cuenta el empotramiento de la base.

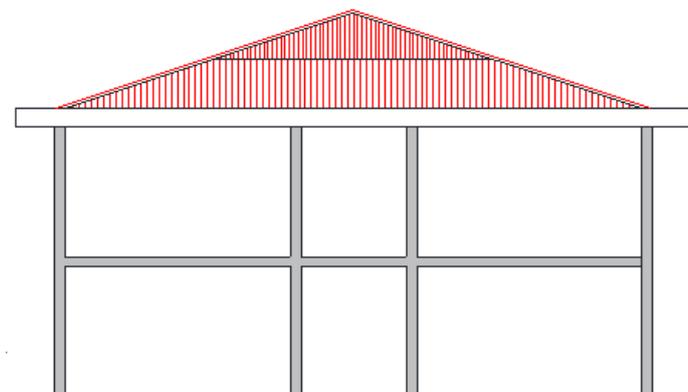


Imagen 3. Rigideces laterales en dirección del eje X-X

#### 4.1.4. Regularidad De La Edificación

Se presentan las verificaciones de la regularidad de la estructura en la altura y en planta, según lo indicado en el Art. 11 de la Norma E.030.

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN	PISO	I		II		Obs.
	PARAMETROS	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	
PISO FLEXIBLE	Rigidez Lateral	476.47	240.96	332.65	209.59	Cumple
IRREGULARIDAD DE MASAS	Masas (Tn)	289.43		284.25		Cumple
IRREGULARIDAD GEOMETRICA	Area Planta (m2)	353.44		353.44		Cumple
DISCONTINUIDAD DEL SISTEMA	Elementos Verticales	No		No		Cumple

IRREGULARIDAD EN PLANTA	PISO	I		II		Obs.
IRREGULARIDAD TORSIONAL	Desplazamiento (mm)	22.8	12	49.2	27.6	Cumple
ESQUINA ENTRANTES	Longitud	33.7		33.7		Cumple
DISCONTINUIDAD DEL DIAFRAGMA	Area Total	15.2		15.2		Cumple

Tabla 1. Configuración estructural (Fuente: Propio)

#### 4.1.5. Evaluación De La Estructura

De la norma sismo resistente (E.030) se tiene los siguientes factores para la evaluación de la cortante basal sísmica:

- Factor de zona (Z) : 0.3
- Parámetros de suelo :  $S1 = T_p(s) = 0.4$ ;  $S= 1$
- Categoría de Edificación (U) : 1.5
- Periodo fundamental :  $T = \frac{h_n}{C_r}$
- T : periodo fundamental de la estructura
- $H_n$  : Altura total de la edificación = 12.61 m
- C : r: coeficiente para estimar el periodo = 35
- $T = \frac{12.61}{35} = 0.3603$
- Factor de amplificación sísmica :  $C = 2.5\left(\frac{T_p}{T}\right); < 2.5$
- $C = 2.5\left(\frac{0.4}{0.3603}\right) = 2.78 = 2.5$

- Coeficiente de reducción sísmica (R) : 8
- Luego:  $V = \frac{ZUCS}{R} V = \frac{0.3*1.5*2.5*1}{8} * 974.24 TN = 137 TN$

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado para estructuras regulares.

$$V_{estatico} = 0.80x(137tn) = 109.6 tn$$

## 4.2. Interacción Suelo - Estructura

A fin de obtener un comportamiento más cercano a la realidad, se ha incluido la interacción suelo estructura en el análisis estructural, para lo cual detallaremos los parámetros necesarios para el desarrollo de la investigación.

### 4.2.1. Método d.d. Barkan – o.a. Savinov

Asumimos  $C_o=3.00 \text{ kg/cm}^3$  (roca), cuando  $P_o= 0.2 \text{ kg/cm}^2$ .  
Calculamos la magnitud de la presión estática del suelo "p" para cada

$$\text{zapata, } P = \frac{974240+333120}{10.61*+97.16*1} = 6786.2 \left(\frac{kg}{m^2}\right)$$

$$\text{De la formula, calculamos } D_o, D_o = \frac{1-0.28}{1-0.5*0.28} * 3.00 = 2.51 \left(\frac{kg}{m^2}\right)$$

Ahora calculamos los coeficientes  $C_z$ ,  $C_x$ ,  $C_\varphi$ , para las zapatas

combinadas por la fórmula,  $C_z = C_o(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A})\sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$

$$C_z = 3.00(1 + \frac{2(1.4 + 7.58)}{1 \times 10.61})\sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 14880 \frac{T}{m^3}$$

$$C_x = D_o(1 + \frac{2(a + b)}{\Delta.A})\sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_x = 2.51(1 + \frac{2(1.4 + 7.58)}{1 \times 10.61})\sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 12450 \frac{T}{m^3}$$

$$C_\varphi = C_o(1 + \frac{2(a + 3b)}{\Delta.A})\sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_{\varphi x} = 3.00(1 + \frac{2(1.4 + 3 * 7.58)}{1 \times 10.61})\sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 30671 \frac{T}{m^3}$$

$$C_{\varphi y} = 3.00(1 + \frac{2(1.4 + 1.4 * 7.58)}{1 \times 10.61})\sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 17797 \frac{T}{m^3}$$

Determinamos los coeficientes de rigidez  $K_z$ ,  $K_x$ ,  $K_\varphi$ . para las zapatas

combinadas por la fórmula:

$$K_z = C_z A$$

$$K_z = 14880 * 10,61 = 157877 T/m$$

$$K_x = C_x A$$

$$K_x = 12450 * 10,61 = 132091 T/m$$

$$K_{\varphi} = C_x I$$

$$K_{\varphi x} = 30671 * \frac{1.40 * 7.58^3}{12} = 1558412 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = 30671 * \frac{7.58 * 1.40^3}{12} = 3084 \text{ T/m}$$

Ahora calculamos los coeficientes  $C_z$ ,  $C_x$ ,  $C_{\varphi}$ , para la cimentación del muro:

$$C_z = C_o \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A}\right) \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_z = 3.00 \left(1 + \frac{2(34.7 + 2.80)}{1 \times 97.16}\right) \sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 9792 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

$$C_x = D_o \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A}\right) \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_x = 2.51 \left(1 + \frac{2(34.7 + 2.8)}{1 \times 97.16}\right) \sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 8192 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi} = C_o \left(1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta.A}\right) \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}}$$

$$C_{\varphi x} = 3.00 \left(1 + \frac{2(34.7 + 3 * 2.8)}{1 \times 97.16}\right) \sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 10429 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

$$C_{\varphi y} = 3.00 \left(1 + \frac{2(34.7 * 3 + 2.8)}{1 \times 10.61}\right) \sqrt{\frac{0.6786}{0.2}} = 17686 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

Determinamos los coeficientes de rigidez  $K_z$ ,  $K_x$ ,  $K_\varphi$ , para los cimientos del muro por la fórmula:

$$K_z = C_z A$$

$$K_z = 9792 * 97,16 = 951390 \text{ T/m}$$

$$K_x = C_x A$$

$$K_x = 8192 * 97,16 = 795935 \text{ T/m}$$

$$K_\varphi = C_x I$$

$$K_{\varphi x} = 10429 * \frac{34.70 * 2.8^3}{12} = 662011 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = 10429 * \frac{2.8 * 34.70^3}{12} = 172422854 \text{ T/m}$$

#### 4.2.2. Método dinámico v.a. Ilichev

Mediante este método se prosigue a calcular las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales

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

$$C_1 = \sqrt{\frac{(1 - 0.28) \cdot 4707267}{(1 + 0.28) * (1 - 2 * 0.28) * 2.8540}} = 1452 \text{ m/s}$$

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

$$C_2 = \sqrt{\frac{4707267}{2(1 + 0.28) * 2.8540}} = 803 \text{ m/s}$$

Calculamos los coeficientes de rigidez por la de continuación cuando

$$\mu = 0.28.$$

$\mu$	$b_{0z1}$	$k_{0z1}$	$m_{0z}$	$b_{0z2}$	$k_{0z2}$
0.25	5.34	21.80	2.80	6.21	7.50
0.35	6.44	26.30	3.12	6.90	8.40
0.45	10.53	43.00	3.29	7.50	9.20
$\mu$	$b_{0\varphi1}$	$k_{0\varphi1}$	$m_{0\varphi}$	$b_{0\varphi2}$	$k_{0\varphi2}$
0.25	1.36	5.60	1.00	1.60	7.50
0.35	1.63	6.70	1.03	1.70	7.90
0.45	2.50	10.70	0.84	1.60	7.30
$\mu$	$b_{0x1}$	$k_{0x1}$	$m_{0x}$	$b_{0x2}$	$k_{0x2}$
0.25	3.10	12.40	1.80	5.20	7.60
0.35	3.10	12.40	1.90	5.70	8.30
0.45	3.10	12.40	2.10	6.40	9.20

Tabla 2. Valores coeficientes de rigidez

$$k_{0z1} = 23.15 \quad k_{0\varphi1} = 5.93 \quad k_{0x1} = 12.4$$

$$k_{0z2} = 7.77 \quad k_{0\varphi2} = 7.62 \quad k_{0x2} = 7.81$$

Ahora cuando  $\mu = 0.28$ , calculamos.

$\mu$	$b_{1z1}$	$k_{1z1}$	$m_{1z}$	$b_{1z2}$	$k_{1z2}$
0.25	0.87	3.56	0.56	0.62	2.88
0.35	1.06	4.34	0.62	0.78	3.50
0.45	1.81	7.41	0.69	0.78	3.72
$\mu$	$b_{1\varphi1}$	$k_{1\varphi1}$	$m_{1\varphi}$	$b_{1\varphi2}$	$k_{1\varphi2}$
0.25	0.22	1.16	0.12	0.12	1.34
0.35	0.28	1.41	0.16	0.12	1.81
0.45	0.50	1.97	0.16	0.12	1.81
$\mu$	$b_{1x1}$	$k_{1x1}$	$m_{1x}$	$b_{1x2}$	$k_{1x2}$
0.25	0.53	2.09	0.28	0.75	1.53
0.35	0.53	2.09	0.31	0.84	1.87
0.45	0.53	2.09	0.37	0.84	1.91

Tabla 3: Valores coeficientes de rigidez 2

$$k_{1z1} = 3.79 \quad k_{1\varphi1} = 1.24 \quad k_{1x1} = 2.09$$

$$k_{1z2} = 3.10 \quad k_{1\phi2} = 1.48 \quad k_{1x2} = 1.63$$

Determinamos los coeficientes cuando  $\psi = 35^\circ$ , en la fórmula:

$$Y = Y_o + Y_1 \cdot \tan \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

En zapatas combinadas.

$$k_{z1} = 23.15 + 3.79 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 31.79$$

$$k_{z2} = 7.77 + 3.10 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 14.84$$

El coeficiente equivalente  $k_z$  lo calculamos por la siguiente fórmula:

$$k_z = \frac{k_1 * k_2}{k_1 + k_2}$$

$$k_z = \frac{31.79 * 14.84}{49.79 + 14.84} = 10.12$$

Ahora determinamos el valor del coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme:

$$k_{x(z)} = (C_2)^2 * \rho * k_{x(z)} * a, \text{ si; } \alpha = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Para zapatas combinadas:

$$k_z = 803^2 * 0.29 * 10.12 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}} = 3477702 \frac{T}{m}$$

Para cimiento de muro:

$$k_z = 803^2 * 0.29 * 18.33 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}} = 19061645 \frac{T}{m}$$

Análogamente, calculamos los coeficientes  $k_{x1}$  y  $k_{x2}$ :

En zapatas combinadas:

$$k_{x1} = 12.4 + 2.09 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 17.17$$

$$k_{x2} = 7.81 + 1.63 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 11.53$$

En cimentaciones de muro:

$$k_{x1} = 12.4 + 2.09 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 26.83$$

$$k_{x2} = 7.81 + 1.63 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 19.06$$

En este caso, el coeficiente equivalente  $k_x$  será igual a la suma de los coeficientes calculados anteriormente:

En zapatas combinadas:

$$k_x = 17.17 + 11.53 = 29.70$$

En cimentaciones de muro:

$$k_x = 26.83 + 19.06 = 65.72$$

Ahora calculamos el coeficiente de rigidez de desplazamiento elásticos uniforme, a través de la fórmula:

$$k_x = 803^2 * 0.29 * 29.70 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}} = 10206299 \frac{T}{m}$$

En cimentaciones de muro:

$$k_x = 803^2 * 0.29 * 65.72 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}} = 68343223 \frac{T}{m}$$

Luego calculamos por la fórmula:

$$k_{\varphi 1} = 5.93 + 1.24 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 8.76$$

$$k_{\varphi 2} = 7.62 + 1.48 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 11.00$$

En cimentación de muro:

$$k_{\varphi 1} = 5.93 + 1.24 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 14.49$$

$$k_{\varphi 2} = 7.62 + 1.48 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 17.83$$

Luego el coeficiente equivalente  $k_{\varphi}$  será:

En zapatas combinadas:

$$k_{\varphi} = \frac{8.76 * 11.00}{8.76 + 11.00} = 4.88$$

En cimentación de muro:

$$k_{\varphi} = \frac{14.49 * 17.83}{14.49 + 17.83} = 8.00$$

En consecuencia, el coeficiente de rigidez de compresión elástica

no uniforme lo calculamos por la siguiente fórmula:

$$k_{\varphi} = (C_2)^2 * \rho * k_{\varphi} * a^3$$

En zapatas combinadas:

$$k_{\varphi} = (803)^2 * 0.29 * 4.88 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}}^3 = 5663660 \text{ T/m}$$

En cimentación de muro:

$$k_{\varphi} = (803)^2 * 0.29 * 8.00 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}}^3 = 257291551 \text{ T/m}$$

En forma análoga calculamos las masas  $m_z$ ,  $m_x$ ,  $m_{\varphi}$  cuando  $\varphi = 0.28$

$$m_{0z} = 2.90 \quad m_{0x} = 1.83 \quad m_{0\varphi} = 1.01$$

$$m_{1z} = 0.59 \quad m_{1x} = 0.29 \quad m_{1\varphi} = 0.13$$

Luego:

En zapatas combinadas:

$$m_z = 2.90 + 0.59 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 4.25$$

$$m_x = 1.83 + 0.29 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 2.49$$

$$m_{\varphi} = 1.01 + 0.13 * \tan(35) \sqrt{\frac{10.61}{1}} = 1.31$$

En cimentación de muros:

$$m_z = 2.90 + 0.59 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 6.97$$

$$m_x = 1.83 + 0.29 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 3.83$$

$$m_{\varphi} = 1.01 + 0.13 * \tan(35) \sqrt{\frac{97.16}{1}} = 1.91$$

Entonces calculamos por las fórmulas:

$$M_{x(z)} = \rho \cdot a^3 \cdot m_{x(z)}$$

$$M_{\varphi} = \rho \cdot a^5 \cdot m_{\varphi}$$

En zapatas combinadas:

$$M_z = 0.29 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}}^3 * 4.25 = 7.65 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

$$M_x = 0.29 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}}^3 * 2.49 = 4.48 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

$$M_{\varphi} = 0.29 * \sqrt{\frac{10.61}{\pi}}^3 * 1.31 = 7.96 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

En cimentación de muros:

$$M_z = 0.29 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}}^3 * 6.97 = 347.65 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

$$M_z = 0.29 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}}^3 * 3.83 = 191.03 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

$$M_z = 0.29 * \sqrt{\frac{97.16}{\pi}}^3 * 1.91 = 2947.29 \frac{T \cdot s^2}{m}$$

#### 4.2.3. Método dinámico a.e. Sargian

$$K_x = \frac{28.8 * (1 - \mu^2) * \rho * C_2^2 * \sqrt{A}}{\pi * (7 - 8\mu)}$$

En zapatas combinadas:

$$K_x = \frac{28.8 * (1 - 0.28^2) * 0.29 * 803^2 * \sqrt{10.61}}{\pi * (7 - 8 * 0.28)} = 1081098 \frac{T}{m}$$

En cimentación de muro:

$$K_x = \frac{28.8 * (1 - 0.28^2) * 0.29 * 803^2 * \sqrt{97.16}}{\pi * (7 - 8 * 0.28)} = 3271530 \frac{T}{m}$$

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

En zapatas combinadas:

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52 * 0.29 * 803^2 * \left(\frac{1.40 * 7.58^3}{12}\right)}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.28) * \sqrt{10.61}} = 19474125 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52 * 0.29 * 803^2 * \left(\frac{7.58 * 1.40^3}{12}\right)}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.28) * \sqrt{10.61}} = 664317 \text{ T/m}$$

En cimentación de muro:

$$K_{\varphi x} = \frac{8.52 * 0.29 * 803^2 * \left(\frac{34.70 * 2.80^3}{12}\right)}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.28) * \sqrt{97.16}} = 8039700 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = \frac{8.52 * 0.29 * 803^2 * \left(\frac{2.80 * 34.70^3}{12}\right)}{\sqrt{\pi} * (1 - 0.28) * \sqrt{97.16}} = 1234760440 \text{ T/m}$$

$$K_x = \frac{\rho * C_2^2 * \sqrt{A}}{\phi * (1 - \mu^2)}$$

En zapatas combinadas:

$$K_x = \frac{0.29 * 1452^2 * \sqrt{10.61}}{0.833 * (1 - 0.28^2)} = 2594188 \text{ T/m}$$

En cimentación de muro:

$$K_x = \frac{0.29 * 1452^2 * \sqrt{97.16}}{0.833 * (1 - 0.28^2)} = 7850322 \text{ T/m}$$

MÉTODO DINÁMICO NORMA RUSA SNIP 2.02.05-87

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

En zapatas combinadas:

$$C_z = 1.5 * 480000 * \left(1 + \sqrt{\frac{10}{10.61}}\right) = 1418996 \text{ T/m}^3$$

En cimentación de muro:

$$C_z = 1.5 * 480000 * \left(1 + \sqrt{\frac{10}{97.16}}\right) = 950987 \text{ T/m}^3$$

Luego determinamos los coeficientes de desplazamiento uniforme, compresión elástica no uniforme y desplazamiento elástico no uniforme:

En zapatas combinadas:

$$C_x = 0.7C_z = 0.7 * 1418996 = 993297.2 \text{ T/m}^3$$

$$C_\varphi = 2C_z = 2 * 1418996 = 2837992 \text{ T/m}^3$$

$$C_\psi = C_z = 1418996 \text{ T/m}^3$$

En cimentación de muros:

$$C_x = 0.7C_z = 0.7 * 950987 = 665691 \text{ T/m}^3$$

$$C_\varphi = 2C_z = 2 * 950987 = 1901974 \text{ T/m}^3$$

$$C_\psi = C_z = 950987 \text{ T/m}^3$$

A través de las fórmulas calculamos los coeficientes de rigidez:

En zapatas combinadas:

$$K_z = C_z A = 1418996 * 10.61 = 15055548 \text{ T/m}$$

$$K_x = C_x A = 993297.2 * 10.61 = 150538881 \text{ T/m}$$

$$K_\varphi = C_\varphi I_\varphi$$

$$K_{\varphi x} = 2837992 * \left( \frac{1.4 * 7.58^3}{12} \right) = 144200104 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = 2837992 * \left( \frac{7.58 * 1.4^3}{12} \right) = 4919072 \text{ T/m}$$

$$K_\psi = C_\psi I_\psi$$

$$K_{\varphi x} = 1418996 * \left( \frac{1.4 * 7.58^3}{12} + \frac{7.58 * 1.4^3}{12} \right) = 74559588 \text{ T/m}$$

En cimentación de muros:

$$K_z = C_z A = 950987 * 97.16 = 92397897 \text{ T/m}$$

$$K_x = C_x A = 665691 * 97.16 = 64678537 \text{ T/m}$$

$$K_\varphi = C_\varphi I_\varphi$$

$$K_{\varphi x} = 1901974 * \left( \frac{34.7 * 2.8^3}{12} \right) = 120733251 \text{ T/m}$$

$$K_{\varphi y} = 1901974 * \left( \frac{2.8 * 34.7^3}{12} \right) = 18542563950 \text{ T/m}$$

$$K_{\psi} = C_{\psi} I_{\psi}$$

$$K_{\varphi x} = 950987 * \left( \frac{34.7 * 2.8^3}{12} + \frac{2.8 * 34.7^3}{12} \right) = 9331648601 \text{ T/m}$$

Coefficientes de rigidez para zapatas combinadas

Modelo dinámico	$K_x$ (T/m)	$K_y$ (T/m)	$K_z$ (T/m)	$K_{\varphi x}$ (T/m)	$K_{\varphi y}$ (T/m)	$K_{\varphi z}$ (T/m)
Barkan	132091	132091	157877	1558412	30847	
lichev	10206299	10206299	3477702	56636660	56636660	
Sargsian	1081098	1081098	2594188	19474125	664317	
Norma Rusa	10538881	10538881	15055548	144200104	4919072	745595588

Tabla 4. Coeficientes de rigidez para zapatas combinadas

Coefficientes de Rigidez para cimiento de muro

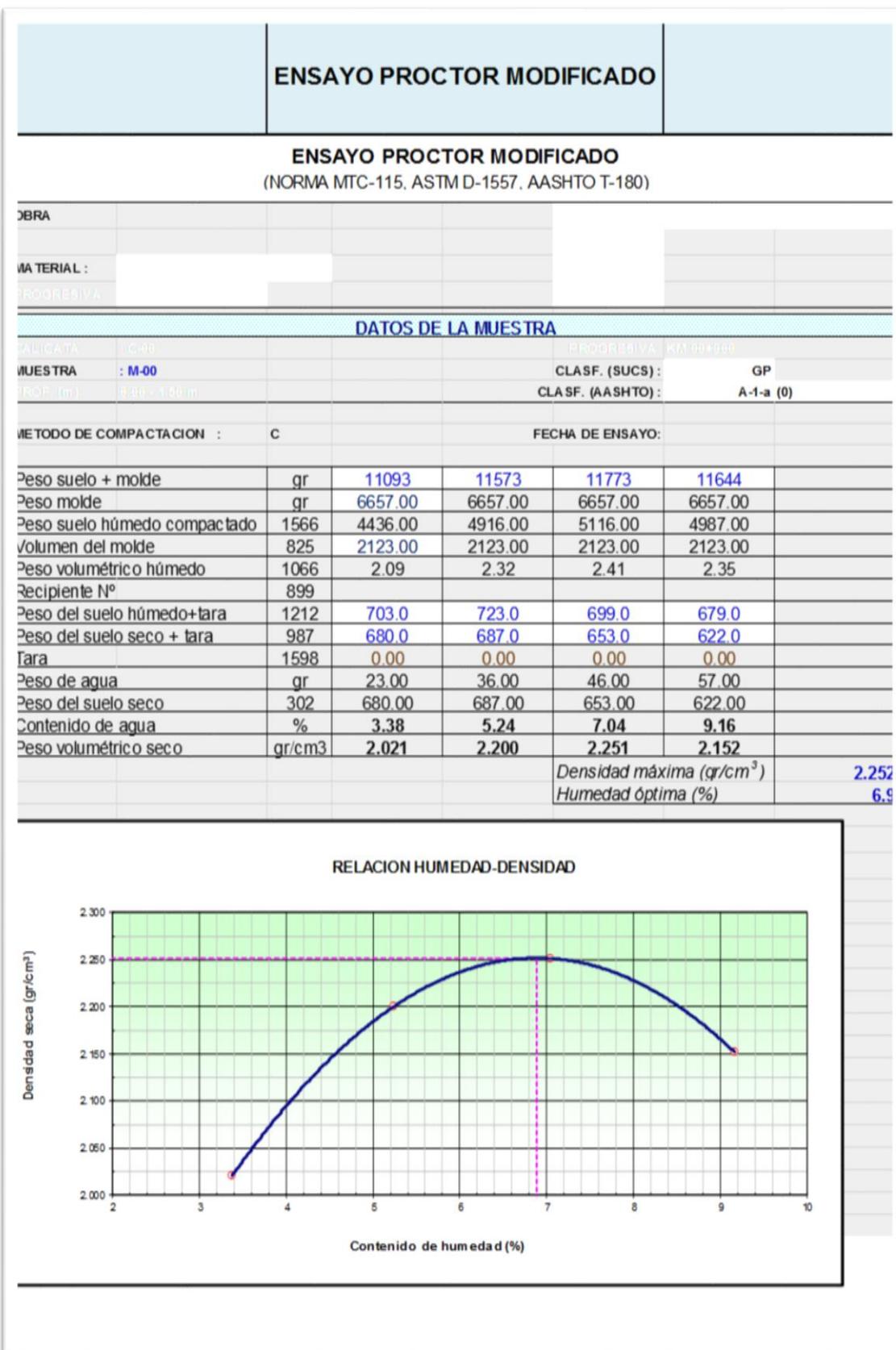
Modelo dinámico	$K_x$ (T/m)	$K_y$ (T/m)	$K_z$ (T/m)	$K_{\varphi x}$ (T/m)	$K_{\varphi y}$ (T/m)	$K_{\varphi z}$ (T/m)
Barkan	795935	795935	951390	662011	172422854	
lichev	68343223	68343223	19061645	257291551	257291551	
Sargsian	3271530	3271530	7850322	8039700	1234760440	
Norma Rusa	64678537	64678537	92397897	120733251	1854256395	933164860

Tabla 5. Coeficientes de Rigidez para cimiento de muro

	$M_x$ (Ts <sup>2</sup> /m)	$M_y$ (Ts <sup>2</sup> /m)	$M_z$ (Ts <sup>2</sup> /m)	$M_{\varphi x}$ (Ts <sup>2</sup> /m)	$M_{\varphi y}$ (Ts <sup>2</sup> /m)	$M_{\psi x}$ (Ts <sup>2</sup> /m)
<i>Zapatas combinadas</i>	4.48	4.48	7.65	7.96	7.96	22.18
<i>Cimentación de muro</i>	191.03	191.03	347.65	2947.29	2947.29	19292

Tabla 6. Coeficientes de Momentos Flector

### 4.3. Análisis de Suelo



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
 (NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D422)

OBRA

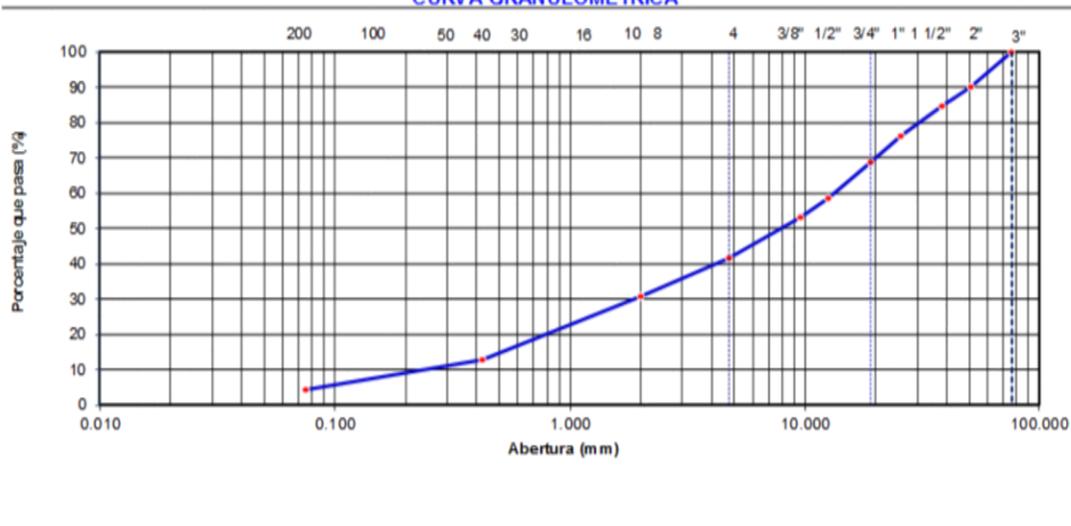
MATERIAL

## DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA	T	TAMAÑO MAXIMO	: 3 "
MUESTRA		Peso inicial seco	: 12868 g
PROF (m)	0.00 a 0.50m	Peso lavado seco	: 12780.0 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
4"	101.600				100.0		
3"	76.200		0.0	0.0	100.0		Contenido de Humedad (%): 6.8
2"	50.800	1252	9.7	9.7	90.3		Límite Líquido (LL): 19
1 1/2"	38.100	701	5.4	15.2	84.8		Límite Plástico (LP): 15
1"	25.400	1118.0	8.7	23.9	76.1		Índice Plástico (IP): 4
3/4"	19.000	941.0	7.3	31.2	68.8		Clasificación (SUCS): GP
1/2"	12.500	1303.0	10.1	41.3	58.7		Clasificación (AASHTO): A-1-a
3/8"	9.500	706.0	5.5	46.8	53.2		Índice de Grupo: (0)
Nº 4	4.750	1511.0	11.7	58.5	41.5		Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360		0.0	58.5	41.5		Descripción (SUCS): Grava pobremente gradada con arena
Nº 10	2.000	223.0	10.6	69.2	30.8		
Nº 16	1.190		0.0	69.2	30.8		Módulo de Fineza: 2.8
Nº 20	0.840		0.0	69.2	30.8		Materia Orgánica: NP
Nº 30	0.600		0.0	69.2	30.8		
Nº 40	0.425	376.0	17.9	87.1	12.9		OBSERVACIONES:
Nº 50	0.300		0.0	87.1	12.9		
Nº 80	0.177		0.0	87.1	12.9		Grava 2" - Nº 4: 48.8
Nº 100	0.150		0.0	87.1	12.9		Arena Nº4 - Nº 200: 37.1
Nº 200	0.075	182.0	8.7	95.8	4.2		Finos < Nº 200: 4.2
< Nº 200	FONDO	88.0	4.2	100.0	0.0		

## CURVA GRANULOMETRICA



**LIMITES DE CONSISTENCIA  
PARA LA MALLA N°40**

**LIMITES DE CONSISTENCIA-PASA LA MALLA N°40**  
(NORMA MTC E-110, E-111, AASHTO T-89, T-90, ASTM D 4318)

OBRA	
MATERIAL	
PROGRESIVA	

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA	1 T	TAMAÑO MAXIMO : N° 40
MUESTRA	: M-00	
PROF. (m)	0.00 - 1.50 m	

**LIMITE LIQUIDO**

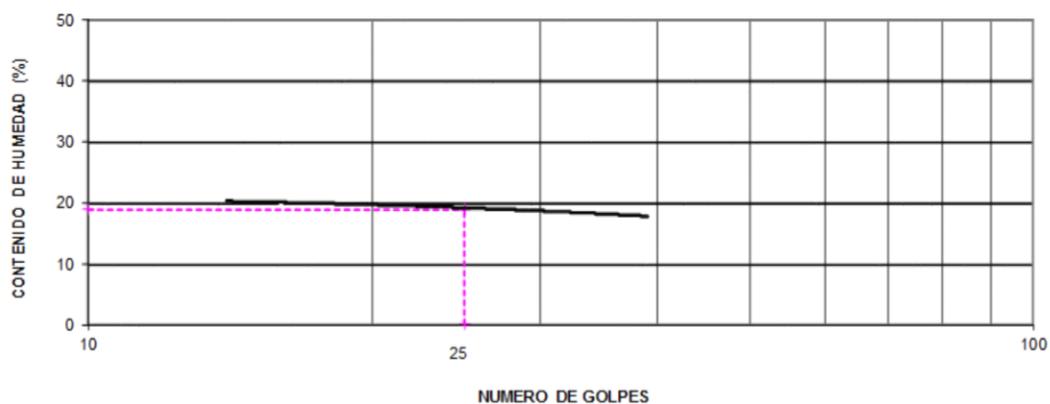
N° TARRO		20	13	6
PESO TARRO + ε	(g)	41.32	40.77	40.02
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	35.73	35.54	35.13
PESO DE AGUA	(g)	5.59	5.23	4.89
PESO DEL TARR	(g)	8.21	7.81	8.75
PESO DEL SUEL	(g)	27.5	27.7	26.4
CONTENIDO DE F	(%)	20.3	18.9	18.5
NUMERO DE GOI		16	25	34

**LIMITE PLASTIC**

**1598**

N° TARRO		7	2	
PESO TARRO + ε	(g)	9.22	8.18	0.0
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	8.99	8.07	0.0
PESO DE AGUA	(g)	0.2	0.1	0.0
PESO DEL TARRO	(g)	7.51	7.34	0.0
PESO DEL SUEL	(g)	1.5	0.7	0.0
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	15.2	14.3	0.0

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E-107, E-108 AASHTO T-27, ASTM D-422)

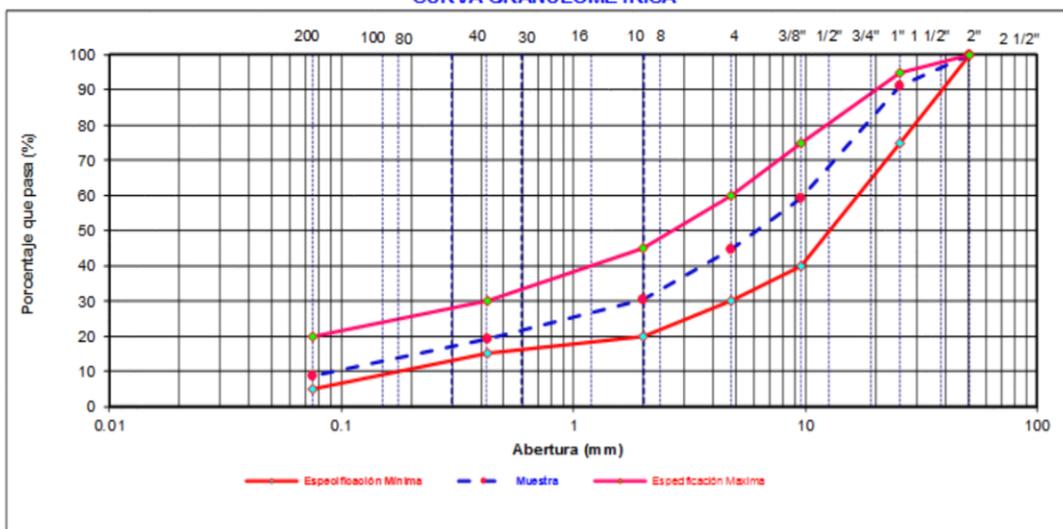
OBRA		CERTIFICADO
MATERIAL	: Base y Sub Granular	TECNICO
CANTERA		ING. RESPONSABLE
		FECHA

### DATOS DE LA MUESTRA

GRUCATA	TAMAÑO MAXIMO	:	2"
MUESTRA	Nº-00	Peso inicial seco	10995 g
PROF. (m)	0.00 - 1.50 m	Peso lavado seco	10887.0 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION "B"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
2 1/2"	76.200		0.0	0.0	100.0		Contenido de Humedad (%): 6.9
2"	50.800		0.0	0.0	100.0	100	Límite Líquido (LL): 20
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0		Límite Plástico (LP): NP
1"	25.400	954	8.7	8.7	91.3	75 95	Índice Plástico (IP): NP
3/4"	19.000	1335	12.1	20.8	79.2		Clasificación (SUCS): GP - GM
1/2"	12.500	1418	12.9	33.7	66.3		Clasificación (AASHTO): A-1-a
3/8"	9.500	782	7.1	40.8	59.2	40 75	Índice de Grupo: (0)
Nº 4	4.750	1596	14.5	55.3	44.7	30 60	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360						Descripción (SUCS): Grava pobremente gradada con limo y arena
Nº 10	2.000	176.0	14.3	69.7	30.3	20 45	
Nº 16	1.190						Módulo de Fineza: 2.8
Nº 20	0.840						Materia Orgánica: N.P
Nº 30	0.600						
Nº 40	0.425	136.0	11.1	80.7	19.3	15 30	OBSERVACIONES:
Nº 50	0.300						
Nº 80	0.177						Grava 2" - Nº 4: 55.0
Nº 100	0.150						Arena Nº4 - Nº 200: 35.0
Nº 200	0.075	129.0	10.5	91.2	8.8	5 20	Finos < Nº 200: 8.8
< Nº 200	FONDO	108.0	8.8	100.0	0.0		

### CURVA GRANULOMETRICA



## **Capítulo V**

### **Resultado de la Aplicación**

#### **5.1. Modelado Estructural**

Para el modelado estructural se ha utilizado productos CSI ya que tiene la siguiente sección de análisis en comparación a los demás:

##### **5.1.1. Pilares estructurales**

Utilice las herramientas de pilares estructurales para añadir elementos portantes verticales en los modelos de construcción.

##### **5.1.2. Vigas**

Utilice las herramientas de vigas para añadir elementos estructurales portantes a modelos de construcción.

### **5.1.3. Sistemas de vigas**

Utilice las herramientas de Sistema de vigas para añadir un elemento de armazón estructural que contenga varias vigas individuales colocadas en paralelo en un modelo de construcción.

### **5.1.4. Tornapuntas**

Utiliza herramientas de Tornapunta para añadir miembros diagonales que estén conectados a las vigas y las columnas.

### **5.1.5. Vigas de celosía**

Utilice la herramienta Viga de celosía para añadir una viga de celosía al modelo de construcción de acuerdo con el diseño y otros parámetros especificados en el tipo de familia de viga de celosía seleccionado.

### **5.1.6. Armazón estructural**

Aprenda a trabajar con elementos de estructura para facilitar el modelado de su proyecto.

### **5.1.7. Muros estructurales**

Cree un muro estructural combinado de arriostramiento, carga o estructural.

### **5.1.8. Cimentación**

Cree cimentaciones para el modelo de construcción usando cimentaciones de muro, cimentaciones aisladas y losas de cimentación.

#### **5.1.9. Forjados estructurales**

Utilice la herramienta Forjado estructural para añadir forjados estructurales a un modelo de construcción.

#### **5.1.10. Modelado de hormigón**

Aquí aprenderá a unir elementos de hormigón en Revit y a mostrarlos en vistas.

#### **5.1.11. Refuerzo**

Utilice las herramientas de refuerzo para añadir refuerzos como armaduras, barras de refuerzo o mallazos en anfitriones válidos como vigas, muros, cimentaciones, forjados estructurales y pilares de hormigón.

### **5.2. Análisis Estructural**

Las construcciones basadas en estructuras de Concreto son objeto de una importante y creciente atención por parte de la comunidad científica debido a variados motivos, como la preponderancia que este material tiene como parte de las construcciones existentes, y su continua utilización en nuevas estructuras.

Es por ello que para la evaluación de la vulnerabilidad de estas estructuras se requiere una estimación fiable de la resistencia residual, que permita estudiar la seguridad real de tales construcciones, especialmente ante acciones horizontales, para analizar y optimizar el diseño y la planificación de técnicas de operaciones de reparación y/o refuerzo.

Por lo tanto, resulta clara la importancia que tiene el desarrollo de metodologías para el análisis de estructuras de mampostería, que permitan la predicción de su comportamiento, incluyendo los rangos lineal y no lineal hasta alcanzar la falla, con una adecuada identificación de los posibles mecanismos de falla. Además, las tendencias actuales de diseño sísmico de estructuras, basadas en el desempeño estructural, requieren conocer con cierto nivel de detalle el comportamiento no lineal hasta alcanzar altos niveles de deformación lateral.

Para nuestro caso se ha evaluado en dos ocasiones la estructura:

- Antes del Mantenimiento del Pabellón
- Después del Mantenimiento del Pabellón.

### **5.2.1. Antes del Mantenimiento del Pabellón**

Antes que la UNDAC tenía la necesidad de incrementar su capacidad de alumnos en relación a las facultades de Ing. De Minas y la Facultad de Medicina, existía un pabellón en el Campus de Pucayacu que a la vista de cualquier poblador era inhabitable, sin embargo el análisis del Ing. Civil era la necesidad de decidir si esta infraestructura es habitable.



Imagen que fue Antes del Mantenimiento del Pabellón

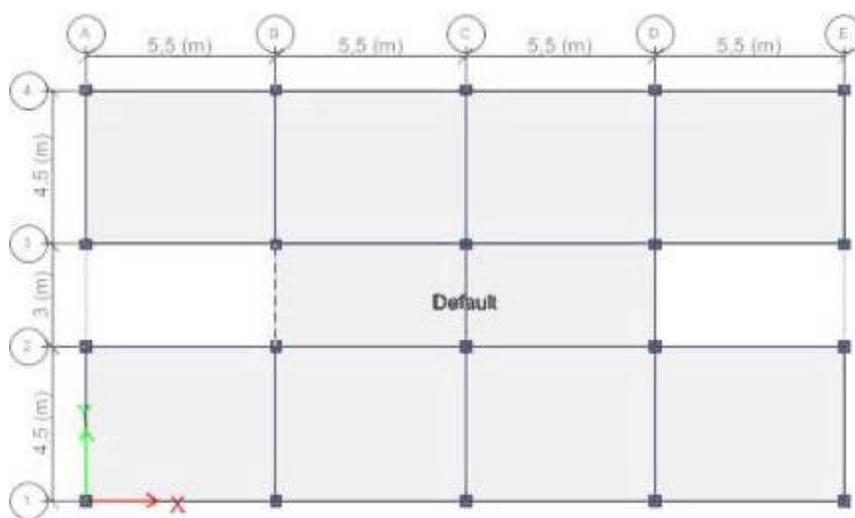


Imagen del Modelamiento que fue Antes del Mantenimiento del Pabellón

Obteniendo los Siguietes Resultados:

Descripción	En modelo	En campo
<b>Resistencia a la Compresión del Concreto mínima</b>	186 kg/cm <sup>2</sup>	275 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Momento Máximo</b>	110 Tn-m	145 Tn-m
<b>Distancia entre Centro de Masa y Centro de Gravedad</b>	0.2 cm	

<b>Peso de la Edificación</b>	115 Tn	
<b>Factor Z</b>	0.3	
<b>Parámetro de Suelo S</b>	1	
<b>Categoría de la Edificación</b>	1.5	
<b>Factor de Amplificación Sísmica</b>	2.5	
<b>Fuerza cortante en la Base del edificio</b>	125 Tn	

Determinando en base al análisis estructural que la estructura existente aun es habitable ya que los parámetros de resistencia del concreto aún están por encima de lo diseñado.

### 5.2.2. Después del Manteamiento del Pabellón



Imagen después del Mantenimiento del Pabellón

Obteniendo los Siguietes Resultados:

<b>Descripción</b>	<b>En modelo</b>	<b>En campo</b>
<b>Resistencia a la Compresión del Concreto mínima</b>	232.5 Kg/cm <sup>2</sup>	275 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Momento Máximo</b>	137.5 Tn-m	145 Tn-m
<b>Distancia entre Centro de Masa y Centro de Gravedad</b>	0.2 cm	
<b>Peso de la Edificación</b>	124.2 tn	
<b>Factor Z</b>	0.3	
<b>Parámetro de Suelo S</b>	1	
<b>Categoría de la Edificación</b>	1.5	
<b>Factor de Amplificación Sísmica</b>	2.5	
<b>Fuerza cortante en la Base del edificio</b>	136.2 Tn	

Determinando en base al análisis estructural que la estructura existente aun es habitable ya que los parámetros de resistencia del concreto aún están por encima de lo diseñado.

### **5.3. Interacción Suelo Estructura**

El Perú es un país altamente sísmico y según la clasificación mundial le corresponde 9 grados en la escala Mercalli Modificada. Cerca de 18 millones de peruanos viven en zonas sísmicas y están expuestos a las constantes amenazas de ocurrencias de sismos. Cabe indicar, que en investigaciones sísmicas, aún están lejos de poder resolver el peligro sísmico, el cual se incrementa y al que están expuestos cotidianamente.

El objetivo de la presente investigación es la elaboración de una metodología de uso y aplicación de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura, considerando la flexibilidad y las propiedades inerciales de los suelos, para el cálculo de edificaciones con zapatas aisladas ante la acción sísmica.

En tal sentido en base a los datos obtenidos en el modelamiento estructural se ha obtenido lo siguiente:

Los centros de masas se ubicarán en el centroide del área en planta de cada nivel, sin embargo, la Norma de Diseño Sismorresistente E030 señala que para tomar en cuenta que podría presentarse una excentricidad accidental, el centro de masas de cada nivel debe desplazarse una distancia del 5% de la dimensión perpendicular a la dirección de análisis. Es, por ello, que corremos el centro de masas las siguientes distancias:

- $e_x = 0,05 \cdot 12,6 = 0,63\text{m}$  (excentricidad accidental en el eje OX)
- $e_y = 0,05 \cdot 20,4 = 1,02\text{m}$  (excentricidad accidental en el eje OY)

Respecto a las masas inerciales, se calcularon las masas traslacionales y rotacionales:

De acuerdo a los datos de entrada y la modelación de la edificación, se muestran los modelos espaciales de cálculo para el edificio sin considerar la flexibilidad de la base de fundación y considerando la flexibilidad de la misma

El programa SAP2000 permite un análisis sísmico dinámico por combinación modal espectral empleando la fórmula denominada COMPLETE QUADRATIC COMBINATION (CQC) la cual incluye el amortiguamiento de la estructura. Se consideró un amortiguamiento del 5% del crítico.

El programa SAP2000 dispone de 3 ejes coordenados mutuamente perpendiculares entre si, denominados 1, 2 y 3; siendo este último paralelo al eje OZ positivo. La orientación de los ejes 1 y 2 se da por medio de un ángulo  $\alpha$  positivo según la regla de la mano derecha.

En base al programa SAP2000 se elaboró una forma de modelación de la edificación con zapatas aisladas, considerando la flexibilidad de la base de fundación, para el cálculo sísmico por la Norma Peruana E030 y bajo la acción de acelerogramas, en tal sentido resulto:

Por la Norma Peruana E030, la flexibilidad de la base de fundación, cuando  $\alpha=90^\circ$  permite el incremento de los desplazamientos máximos del centro de masas en el eje OX hasta 32,7% y en el eje OY hasta 32,5%; disminución de las fuerzas axiales máximas hasta 18,2%; disminución de las fuerzas cortantes máximas hasta 17,5% y disminución de los momentos flectores máximos hasta 28,9%. En tal sentido la interacción del suelo con la estructura identifica que el tipo de suelo favorece a la estructura para disipar las energías de cada tipo de carga.

#### **5.4. Tipos de Suelo**

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla No 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Se describirán a continuación los diferentes grupos referentes a suelos gruesos.

### SUELOS GRUESOS.

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo. El significado es:

- Gravas y suelos en que predominan estas. Símbolo genérico, G (gravel).
- Arenas y suelos arenosos. Símbolo genérico S (sand).

Las gravas y las arenas se separan con la malla No 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla No 200) no pasa la malla No 4, y es del grupo genérico S, en caso contrario.

### LAS GRAVAS Y LAS ARENAS SE SUBDIVIDEN EN CUATRO TIPOS.

Grupos GW y SW. Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). Para cumplir con los requisitos de estos grupos se garantiza en la práctica especificando que el contenido de partículas finas no sea mayor de un 5% en peso.

La graduación se juzga por medio de los coeficientes de uniformidad y curvatura. Para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4; mientras que el de curvatura

debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad será mayor que 6, en tanto el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.

Grupos GP y SP. Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded).

Son de apariencia uniforme o presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios; deben satisfacer los requisitos señalados, en lo referente al contenido de partículas finas (máximo 5%), pero no cumplen los requisitos de graduación indicados para su consideración como bien graduados.

Dentro de esos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de gravas y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

Grupos GM y SM. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del sueco mo y mjala).

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo – deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12%, en peso, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre nula y media; es decir, es requisito que los

límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla No 40 abajo de la línea A o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4.

Grupos GC y SC. Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (clay).

Como en el grupo anterior, el contenido de finos debe ser mayor que 12%, en peso, y por las mismas razones expuestas para los grupos GM y SM. Sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pasa la malla No 40 sobre la línea A, teniéndose además, la condición que el índice plástico sea mayor que 7.

A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el sistema unificado los considera casos de frontera, adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo, un símbolo GP-GC indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las

partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande.

En base a los cálculos se ha determinado que el suelo que soporta la Estructura es SW Arena Bien gradado (tamaños de partícula diversos) que por sugerencia de nuestra norma debería ser un SW o superior, en tal sentido beneficia en la durabilidad y estabilidad de la estructura.

## **Capítulo VII**

### **Discusiones**

#### **6.1. Conclusiones**

La ciudad de Pasco a lo largo de los años no ha sufrido incidentes de sismos u otros desastres naturales, sin embargo, por la cercanía a la Selva central o a la misma capital ha sido remecido por sismos con pequeñas magnitudes. Los materiales utilizados en la construcción de edificaciones en años pasados no han sido como actualmente utilizamos con las tecnologías de incrementar la resistencia y mejorar la durabilidad del concreto, por lo tanto, existe un inadecuado control de calidad sobre los materiales y el diseño de edificaciones antiguas. Sin embargo, al analizar el modelo estructural en base al Software SAP2000, analizar la interacción suelos estructura, y analizar el tipo de suelo de cimentación se ha determinado que la estructura a la actualidad es estable y puede soportar las cargas solicitadas, en tal sentido se puede emitir una conclusión general de que al

evaluar la vulnerabilidad estructural hemos determinado el riesgo sísmico, Siendo el riesgo muy bajo ya que lo solicita es inferior a lo que existe en la edificación del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018.

Del proyecto evaluado, y de la investigación realizada se puede emanar las siguientes conclusiones:

- La ingeniería estructural es una rama clásica de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de la parte estructural en elementos y sistemas estructurales tales como edificios, puentes, muros (incluyendo muros de contención), presas, túneles y otras obras civiles. Su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes y funcionales. En un sentido práctico, la ingeniería estructural es la aplicación de la mecánica de medios continuos para el diseño de estructuras que soporten su propio peso (cargas muertas), más las cargas ejercidas por el uso (cargas vivas), más las cargas producidas por eventos de la naturaleza, como vientos, sismos, nieve o agua. Para el modelamiento estructural es llevar todos los datos de campo hacia un modelo digitalizado en un software de análisis estructural que en nuestro caso ha sido SAP2000, determinado que el concreto que debiera utilizarse en el pabellón en estudio es de  $232/\text{cm}^2$ , determinando en base a pruebas no destructivas como el esclerómetro un concreto promedio de  $275 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , por lo que la estructura soportara las cargas solicitadas. Determinado que Evaluar el Modelado Estructural determino el bajo

riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018

- Se conoce como interacción suelo estructura a la modificación del movimiento de terreno en la base de la estructura) provocado por la presencia de la estructura. Existe una mayor interacción en la medida en la que el movimiento en la base de la estructura se ve más modificado por la presencia de la estructura. En términos generales, los factores que afectan la interacción dinámica suelo-estructura se pueden clasificar en Características de la superestructura, cimentación, suelo o movimiento del terreno. Existe una creencia generalizada en el sentido de que la interacción suelo-estructura provoca un aumento en la respuesta estructural, esto es, que perjudica a la estructura, sin embargo, esto no es cierto. La interacción suelo estructura puede ser benéfica para la estructura. Por ejemplo, en el caso de plantas nucleares, si se compara un análisis sísmico considerando interacción suelo-estructura con otro análisis que desprecia esta interacción, normalmente la interacción resulta en una disminución de la respuesta. De modo que la respuesta sísmica de una estructura puede aumentar o disminuir como resultado de la interacción suelo-estructura. En otros casos aunque el desplazamiento total del sistema suelo-cimentación- superestructura se ve incrementado, la distorsión deformación) estructural se ve disminuida, al concentrarse parte de dicha deformación en la cimentación para nuestro caso según la la Norma Peruana E030, la

flexibilidad de la base de fundación, cuando  $\alpha=90^\circ$  permite el incremento de los desplazamientos máximos del centro de masas en el eje OX hasta 32,7% y en el eje OY hasta 32,5%; disminución de las fuerzas axiales máximas hasta 18,2%; disminución de las fuerzas cortantes máximas hasta 17,5% y disminución de los momentos flectores máximos hasta 28,9%. En tal sentido la interacción del suelo con la estructura identifica que el tipo de suelo favorece a la estructura para disipar las energías de cada tipo de carga. Por lo tanto, Evaluar la Interacción Suelo estructura determina el bajo riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018

- Para poder entender como el suelo puede modificar la respuesta de la estructura, antes es necesario considerar lo que sucede en el caso de una estructura cimentada en un suelo con gran rigidez, o sea en roca, se debe determinar el tipo de suelo que es, en este caso se ha determinado analizar mediante el método SUCS a sabiendas que lo recomendado para estructuras de edificaciones sea un suelo arena bien graduado o superior, ya que las edificaciones son diseñadas con zapatas aisladas, al realizar los estudios de suelos en los laboratorios de Ing. Civil de la UNDAC se ha determinado un suelo SW, en tal sentido Evaluar el Tipo de Suelo determina el bajo riesgo sísmico del Pabellón de Ingeniería de Minas y Medicina en el Campus de Pucayacu UNDAC 2018 ya que esta dentro de los márgenes recomendados por nuestra norma.

## 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda investigar a profundidad el problema de las edificaciones informales en la ciudad de Pasco, las cuales presentan muchas variables y factores no cuantificables. Esta investigación es un estudio preliminar para aproximarse al estado actual de dichas edificaciones antiguas
- Se invita a investigar las motivaciones de los propietarios, de ocupar o no el asesoramiento de profesionales para el diseño y construcción de sus Edificaciones. Con el fin de lograr soluciones apropiadas para reducir la informalidad.
- Se ve necesario un reforzamiento masivo de estas viviendas existentes para reducir la vulnerabilidad sísmica. Para este cometido se debe proponer soluciones económicas, de fácil implementación y que pueda ser acogidas por los propietarios actuales. Estos programas deberían ser complementados con incentivos del estado. Ya que una de las causas de la informalidad es los bajos recursos económicos de los propietarios en el caos de viviendas mal construidas
- Se ve necesaria una mayor capacitación tanto de los trabajadores que construyen viviendas, como los propietarios y clientes finales de estas edificaciones. Y permitir conocer los principales defectos constructivos y de mantención de las viviendas que se debe evitar.

- Se recomienda desarrollar un estudio comparativo de costos en estructuración de edificaciones. Para demostrar que tan incidente es proporcionar mejor densidad de muros en la dirección paralela a la fachada sobre los ya existentes en la dirección perpendicular

### **6.3. Referencia Bibliográfica**

- 2002 Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería. Lima: Capitulo Peruano ACI.
- DUEÑAS HUAROTO, Michael Edinson 2006 Estudio preliminar del comportamiento sísmico de las autoconstrucciones en Lima. Tesis de Magister en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados
- FLORES DE LOS SANTOS, Roberto Ángel 2002 Diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- 2007 Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda: sistema de consulta de resultados censales. Lima: INEI. Consulta:11/10/2012. <  
<http://desa.inei.gob.pe/censos2007/tabulados/>>
- KUROIWA, Julio 2002 Reducción de Desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza. Lima: PNUD.

- MOSQUEIRA MORENO, Miguel Ángel y Sabino Nicola TARQUE RUIZ 2005 Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana. Tesis de Magister en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados.
- LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS (LEDI)-PUCP 2004 Verificación del cumplimiento de especificaciones técnicas en ladrillos de arcilla fabricados a nivel nacional - Zona Costa. Lima: Sencico.

#### **6.4. Anexos**

##### **Fotografías del Manteamiento que incrementa cargas en la estructura**



Desmontaje de Pisos Machihembrados



Desmontaje de Pisos Machihembrados



Demolición de Pisos para incorporar otros con mayor densidad.



Colocación de nuevas ventanas mas densas.



Colocación de nuevas ventanas más densas.



Incremento de concreto en tarrajes que aumentan el peso de la estructura.



Colocación de nuevas ventanas más densas.



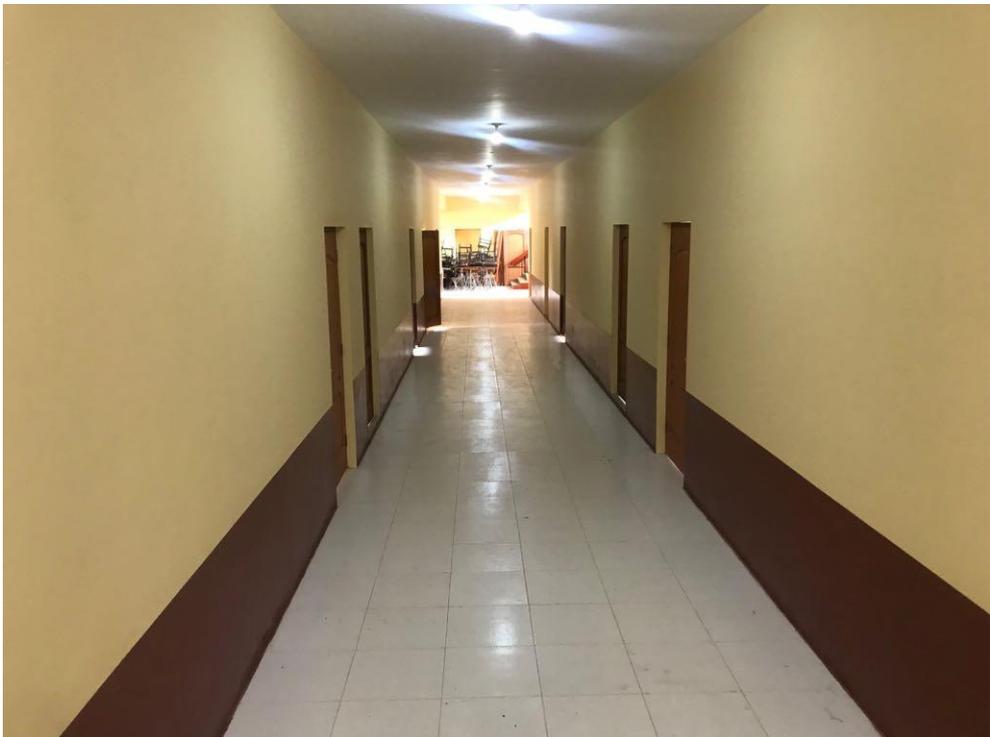
Colocación de concreto en diversas partes de la edificación que incrementa el peso de concreto,



Ambientes ya culminados que modifican las solicitudes de carga.



Ambientes ya culminados que modifican las solicitudes de carga.



Pasadizos con mayores cargas al diseño inicial



Pasadizos con mayores cargas al diseño inicial



Pasadizos con mayores cargas al diseño inicial



Pasadizos con mayores cargas al diseño inicial