

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Miguel Peralta Salas, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS
MOYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
GUSTAVO
ADOLFO ROJAS
MOYA (FIRMA)
Fecha: 2020.11.25
16:23:42 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Miguel Peralta Salas.
Profesor Lector

ANGEL
HUMBERTO
NAVARRO
MORA (FIRMA)

Firmado digitalmente
por ANGEL HUMBERTO
NAVARRO MORA
(FIRMA)
Fecha: 2020.11.23
07:29:33 -06'00'

Ing. Ángel Navarro Mora.
Profesora Guía

MAURICIO
ESTEBAN ARAYA
RODRIGUEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por MAURICIO
ESTEBAN ARAYA
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.11.25
13:29:06 -06'00'

Ing. Mauricio Araya Rodríguez.
Profesor Observador

**Propuesta de instrumentación
acelerográfica para el edificio de
Emergencias del Hospital
Calderón Guardia (Torre Sur)**

Abstract

The Costa Rican Social Security Fund (C.C.S.S) has a seismic safety program through which they monitor the dynamic behavior of some of its hospital sites by means of seismic instrumentation using strong motion accelerographs. The main objective of this work is to make a proposal that shows types of accelerographs, their respective optimal locations and associated costs for the emergency building of the Calderón Guardia Hospital located in San José, Costa Rica.

For this, a computational model of the structure was carried out to evaluate its dynamic response, the main vibration modes were analyzed and then the types of instruments and precise locations were determined to record the respective movements the best way possible.

On the other hand, due to the limited information regarding on how to make a seismic instrumentation in a building using strong motion accelerographs, a methodological guide was prepared that presents basic recommended guidelines for this purpose, as well as its respective data processing. This work is an application of this guide.

Key words: Seismic instrumentation of buildings, accelerograph, methodological guide, modal analysis, dynamic response.

Resumen

La Caja Costarricense de Seguro Social (C.C.S.S) cuenta con un programa de seguridad sísmica a través del cual se monitorea el comportamiento dinámico de algunas de sus sedes hospitalarias por medio de instrumentación sísmica: acelerógrafos de movimiento fuerte. El objetivo principal del presente trabajo es realizar una propuesta que muestre tipos de acelerógrafos, sus respectivas ubicaciones óptimas y costos asociados para el edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia ubicado en San José, Costa Rica.

Para esto se realizó un modelo computacional de la estructura que evalúa su respuesta dinámica. Se analizó los principales modos de oscilación y, finalmente, se determinó los tipos de instrumentos y ubicaciones precisas para registrar de la mejor manera los respectivos movimientos.

Por otro lado, debido a la poca información con respecto a cómo realizar una instrumentación sísmica en un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, se elaboró una guía metodológica que muestra los lineamientos básicos recomendados para dicho propósito, así como su respectivo procesamiento de datos. El presente trabajo es una aplicación de dicha guía.

Palabras clave: instrumentación sísmica de edificios, acelerógrafo, guía metodológica, análisis modal, respuesta dinámica.

Propuesta de instrumentación acelerográfica para el Edificio de Emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur)

JOSÉ PABLO PACHECO MASÍS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre del 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico	6
Metodología	14
Resultados	29
Análisis de los resultados	38
Conclusiones.....	43
Recomendaciones	45
Apéndices	46
Anexos	104
Referencias	114

Prefacio

El monitoreo de la respuesta dinámica de estructuras civiles en tiempo real por medio del uso de acelerógrafos de movimiento fuerte es una práctica que ha tomado importancia a nivel global. Esto se debe a que por medio de registros acelerográficos es posible evaluar la salud estructural de las mismas, calibrar modelos computacionales para obtener representaciones más realistas en cuanto al comportamiento dinámico, mejorar lineamientos presentes en códigos regionales enfocados al análisis y diseño estructural y detectar anomalías a tiempo para agilizar y tomar mejores decisiones con el fin de resguardar de la mejor manera la vida de las personas. Este último punto se vuelve primordial en edificios con altos niveles de ocupación como, por ejemplo hospitales, y aumenta su importancia en zonas con actividad sísmica importante, tal es el caso de Costa Rica. Por esta razón la Caja Costarricense de Seguro Social (C.C.S.S) a través de su programa de seguridad sísmica ha ido instrumentando sus respectivas sedes hospitalarias.

El edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur), es un centro médico ubicado en la provincia capital San José, Costa Rica, lo cual lo convierte en un edificio con una importante demanda de atención médica y alta ocupación. A partir de aquí nace la necesidad de monitorear el comportamiento de este por medio del uso de acelerógrafos de movimiento fuerte.

El objetivo principal del proyecto es realizar una propuesta de instrumentación sísmica que muestre los tipos de acelerógrafos y puntos óptimos para su respectiva ubicación, de manera que registre movimientos de la estructura, ya sea por vibraciones ambientales o ante eventuales sismos, se incluye, además, una aproximación general de los costos respectivos.

También se elaboró una guía que presenta lineamientos básicos para instrumentar sísmicamente un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte y recomendaciones que se deben considerar para la instalación, procesamiento de datos, mantenimiento y estimación de costos. Este trabajo es una aplicación de dicha guía.

Agradecimientos y dedicación

Agradezco profundamente al Ingeniero Ángel Navarro por brindarme orientación, conocimientos y asesoramiento durante el desarrollo del proyecto, al Ingeniero Javier Castro de la CCSS por brindarme la oportunidad y lineamientos para desarrollar el presente trabajo, al Ingeniero Juan de Dios López por compartir sus conocimientos en cuanto al uso de los programas computacionales y, en general, a toda la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica por ser pilares indiscutibles en mi proceso de formación profesional.

Dedico este trabajo a mis padres: Grettel Masís Jiménez y Francisco Pacheco Meneses por formar mis principios y brindarme la oportunidad de acceder a una educación.

Resumen ejecutivo

El monitoreo de la respuesta dinámica de edificios ante eventos externos como sismos o bien por vibraciones ambientales por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte es una práctica que ha tomado fuerza a nivel mundial ya que permite evaluar la salud estructural en tiempo real, calibrar modelos computacionales, optimización de códigos de análisis y diseño estructural. En estructuras que presentan altos niveles de ocupación se convierte en una herramienta muy útil para resguardar la vida de sus ocupantes, tal es el caso de centros hospitalarios.

La C.C.S.S cuenta con un programa de seguridad sísmica, el cual monitorea la salud estructural, en tiempo real, de sus hospitales (convenio con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica). Sin embargo, actualmente, no todos se encuentran instrumentados.

El edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia es un centro médico de cuatro niveles con un sótano, ubicado en la provincia de San José, lo cual lo convierte en uno de los hospitales con mayor ocupación y por ende de los más importantes a nivel nacional. Su construcción fue desarrollada en el año 2002, debido a sus años en servicio se convierte en prioridad monitorear su comportamiento para identificar anomalías que puedan afectar su funcionamiento. Por esta razón, el objetivo principal del presente proyecto consistió en realizar una propuesta que muestre los puntos más adecuados para colocar acelerógrafos de movimiento fuerte en la estructura.

Como primer objetivo específico se desarrolló una guía metodológica que muestre lineamientos básicos a considerar para determinar tipos y ubicación adecuada de acelerógrafos de movimiento fuerte con el fin de

ser instalados en edificaciones para monitorear su comportamiento dinámico, así como sugerencias en cuanto a los procesos de instalación, mantenimiento y estimación de costos. Esto debido a que, la información disponible en cuanto a lineamientos para instrumentar edificios sísmicamente es escasa tanto a nivel global como en Costa Rica.

Tomando como referencia los pasos expuestos en la guía, como segundo objetivo específico se desarrolló un modelo computacional tridimensional de la estructura a partir del cual se realizó un análisis modal. Este análisis permite obtener de manera teórica los principales modos de vibración de la estructura con sus respectivas formas modales, de esta manera, fue posible definir una serie de puntos distribuidos en los diferentes niveles del edificio que, al instalar acelerógrafos de movimiento fuerte, permiten registrar en tiempo real sus movimientos y monitorear su actividad en tiempo real. Esta escogencia corresponde al tercer objetivo específico.

El modelo computacional fue realizado preliminarmente utilizando el software Revit de la familia de Autodesk para modelar geoméricamente el edificio y luego se vinculó con Robot Structural Analysis (RSA) de la misma marca, para el respectivo análisis modal de la estructura. Lo anterior es posible debido a que al modelar usando Revit, el programa automáticamente va generando un modelo analítico de barras y paneles conectados por medio de nodos. Este modelo analítico es el que va a ser transferido al software de análisis estructural (RSA) para asignarle las propiedades de análisis a cada elemento.

Una vez realizado el análisis modal, se tomó en consideración los modos que presentarán una mayor cantidad de masa participativa, estos son los que aproximan de mejor manera el posible movimiento real que presenta el edificio y son la base para proponer los puntos más adecuados para instalar los acelerógrafos de movimiento fuerte.

Es importante destacar que la cantidad y distribución de los acelerógrafos varían dependiendo de dos objetivos principales:

- **Monitorear:** en este caso, los parámetros dinámicos por obtener son básicos utilizados, generalmente, para detectar comportamientos atípicos en donde no es necesario precisiones muy altas. Este es el objetivo principal de la CCSS.
- **Analizar:** se requiere una respuesta dinámica con formas modales y frecuencias muy precisa, la cual puede ser utilizada para calibrar modelos estructurales, analizar el comportamiento de diafragmas flexibles, entre otros.

Con respecto a los tipos de acelerógrafos existen tres tipos:

- **Uniaxial:** capaz de registrar el movimiento en una dirección, construido con sensores de un solo eje.
- **Biaxial:** capaz de registrar el movimiento en dos direcciones, construido con sensores de dos ejes.
- **Triaxial:** capaz de registrar el movimiento en tres direcciones, construido con sensores de tres ejes.

A lo largo de los años tanto los acelerógrafos uniaxiales como biaxiales han perdido posicionamiento en el mercado debido a que los triaxiales tienen mayor precisión y los precios no varían mucho por lo que es preferible tener tres componentes que puedan ser utilizados en el futuro, es por esto que se consideró proponer triaxiales.

Los modos principales obtenidos son tres: traslacional sobre el eje **x**, traslacional sobre el eje **y** y rotacional alrededor del eje **z**. Cabe destacar que debido a metodologías diferentes utilizadas por RSA para calcular el porcentaje de masa participativa rotacional, no fue posible determinar la importancia de dicho modo, es por esto que es recomendable, posteriormente, realizar una instrumentación temporal que permita verificar la importancia de la rotación global y el modelo en general, para esto se recomienda utilizar el documento adjunto en el presente trabajo que muestra recomendaciones al respecto.

Debido a que los dos principales modos son traslacionales, se propuso colocar tres acelerógrafos triaxiales lo más cercano al centro de rigidez, alineados verticalmente y distribuidos en el sótano, el último nivel con diafragma rígido y un nivel intermedio (Nivel 3). Adicionalmente se incluyó un cuarto acelerógrafo ubicado en el nivel 3, posicionado en una bodega al extremo del piso, esto con el fin de registrar movimientos rotacionales (de ser el caso que se verifique su importancia).

En cuanto a los costos, se realizó una estimación general basada en tres cotizaciones solicitadas a las marcas Guralp, Kinematics y Reftek, en donde se consideró tanto el monto de los equipos como un porcentaje aplicado al monto de los instrumentos equivalente a la mano de obra de instalación. Debido a que los equipos Reftek cuentan con los permisos necesarios para el envío de datos en tiempo real a los servidores de la Universidad de Costa Rica, los acelerógrafos utilizados para instrumentar los centros hospitalarios de la CCSS son de dicha marca, de igual forma se realizó dos cotizaciones con los otros fabricantes para tener un punto comparativo.

Por último, los sitios escogidos para ubicar los acelerógrafos corresponden a puntos preliminares debido a que no fue posible realizar visitas al sitio para verificar la accesibilidad de estos, por lo que quedan sujetos a cambios posteriores.

Introducción

La C.C.S.S cuenta con un programa de seguridad sísmica el cual vela por la estabilidad estructural de sus centros hospitalarios, resguardando la vida de sus ocupantes. Para esto, dicha institución busca monitorear en tiempo real la respuesta dinámica de sus edificios a través de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte; sin embargo, solamente una parte de sus sedes están, en la actualidad, instrumentadas.

El edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia es un centro médico clase A ubicado en la provincia de San José, lo cual lo convierte en uno de los hospitales con mayor ocupación y por ende de los más importantes a nivel nacional. Su construcción fue desarrollada en el año 2002, debido a sus años en servicio se convierte en prioridad monitorear su comportamiento para identificar anomalías que puedan afectar su funcionamiento. Por esta razón el objetivo principal del presente proyecto consistió en realizar una propuesta que muestre los puntos más adecuados para colocar acelerógrafos de movimiento fuerte, con el fin de registrar y procesar su movimiento provocado por condiciones naturales o por fuerzas externas como sismos.

Tanto a nivel de Costa Rica como global existe poca información acerca de cómo realizar una instrumentación sísmica en edificios instalando acelerógrafos de movimiento fuerte, reduciéndose únicamente a la metodología propuesta por Esquivel & Schmidt (2016) para ejecutar y procesar mediciones de vibraciones ambientales. Por lo tanto, se planteó un primer objetivo específico que considera realizar una guía que muestre lineamientos básicos para determinar tipos y ubicación adecuada de acelerógrafos de movimiento fuerte con el fin de ser instalados en edificaciones, así como sugerencias en cuanto a los procesos de instalación, mantenimiento y estimación de costos.

De esta manera, la metodología descrita en la guía se implementó para desarrollar la propuesta de instrumentación del edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur).

Con base en esta línea de desarrollo, se propone un segundo objetivo específico: realizar un modelo computacional tridimensional de la estructura. Inicialmente se creó un modelo geométrico que utiliza el programa de modelación arquitectónica Revit de la compañía Autodesk, el cual, a su vez, genera de manera automática un modelo analítico que puede ser importado en el programa Robot Structural Analysis (RSA) de la misma familia. Seguidamente, a través de éste se realizó un análisis modal obteniendo así sus modos principales de vibración con sus respectivas formas modales.

De esta manera, se consolida un tercer objetivo específico el cual consistió en evaluar la respuesta modal obtenida, para determinar los modos con mayor relevancia y a partir de ellos proponer tipos y ubicaciones adecuadas para instalar los respectivos acelerógrafos. También, se realizó una estimación general de los costos asociados tanto a la compra de los equipos como a la respectiva instalación.

En cuanto a antecedentes, se contó con un estudio de suelos realizado por la empresa Castro & de la Torre S.A en el año 2008 para el terreno sobre el cual se encuentran construidos los edificios de lavandería y nutrición y Torre Este, siendo este el mismo sobre el cual se encuentra el edificio en estudio. Sin embargo, se utilizó los datos del edificio de nutrición ya que es el que colinda con Torre Sur, por lo que los datos son más representativos.

Alcance y limitaciones

El alcance consistió en realizar una guía que presente lineamientos básicos por considerar al instrumentar un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, de manera que se pueda implementar para realizar una propuesta que muestre tipos y ubicación adecuada de instrumentos que se instalarán en el edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur), de manera que su comportamiento dinámico pueda ser monitoreado en tiempo real. En cuando a las limitaciones se presentaron las siguientes:

- Desconocimientos de nuevos programas computacionales implementados para la modelación estructural del edificio.
- Metodologías de trabajo utilizadas en RSA que presenta resultados que no son útiles para el alcance del proyecto.
- No poder realizar medición de vibraciones ambientales para calibrar el modelo y obtener una respuesta modal que represente más la realidad.
- Poca información con respecto al tema de instrumentación sísmica de edificios.

Marco Teórico

Dinámica de estructuras

La dinámica bajo el contexto de mecánica se refiere al estudio de cuerpos o partículas en movimiento y puede dividirse en dos campos: cinemática la cual estudia solamente la geometría del movimiento y la cinética que estudia las fuerzas que los provocan (Reyes, 1998). Esto quiere decir que el objetivo de la dinámica se centra en estudiar el comportamiento de un cuerpo en respuesta a factores que alteren su estado de equilibrio inicial, lo cual resulta de mucha utilidad en varios campos de estudio como es el caso de la ingeniería sísmica y estructural.

La dinámica estructural se puede definir como el análisis mecánico de construcciones civiles que estudia el efecto de acciones externas que producen vibraciones (Hurtado Gómez , 2000). En general, el comportamiento dinámico de estructuras civiles se ve regido por tres propiedades intrínsecas de ellos:

- **Masa:** difiere del peso de un objeto, según Reyes (1998) “La masa, m , es una medida de la cantidad de materia. El peso, w , es una medida de la fuerza necesaria para impartir una aceleración dada a una masa, (...). Por lo tanto, el peso w que tiene una masa m en la tierra, al nivel del mar, es igual al producto $w = mg$.”, es decir la masa es la cantidad de materia que posee un cuerpo en la tierra bajo la influencia de la gravedad.
- **Rigidez:** corresponde a la fuerza generalizada necesaria para producir un desplazamiento generalizado unitario fijando el resto de los grados de libertad (Gómez Chávez, 2007)

- **Amortiguamiento:** consiste en el proceso mediante el cual la amplitud de la vibración libre disminuye de manera constante (Chopra, 2014). Sin embargo, es una propiedad que no es de interés en el estudio presente por razones que se explicarán más adelante.

Estas tres componentes son insumos necesarios para representar la respuesta dinámica de una estructura ante excitaciones externas (por ejemplo sismos) o bien por vibraciones ambientales. Siguiendo los principios plasmados en las Leyes de Newton junto con las propiedades de masa, rigidez y amortiguamiento, dicho movimiento está regido por una ecuación diferencial llamada Ecuación de Movimiento.

Ecuación de movimiento

La figura 1 representa una estructura idealizada formada por un pórtico conformado por dos columnas sin masa con rigidez finita y una viga en la parte superior con masa y rigidez infinita el cual, solamente puede tener un movimiento traslacional en la dirección x , es decir, solo tiene habilitado un grado de libertad y está sometida a una fuerza externa representada por $p(t)$ que produce un desplazamiento u . También se representa su respectivo diagrama de cuerpo libre.

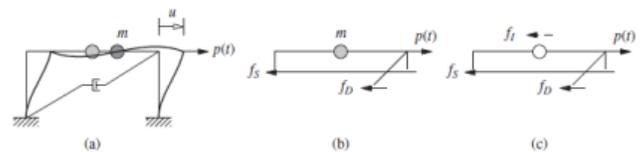


Figura 1. Estructura de un grado de libertad excitada por una fuerza externa. Fuente: (Chopra, 2014).

El sistema representado en la figura 1 (a) es regido por un comportamiento armónico oscilatorio, por lo que es equivalente estudiarlo

con los mismos principios de un sistema como el mostrado en la figura 2, en donde una fuerza externa $p(t)$ produce un desplazamiento u en una masa m fijada a una pared por dos componentes en paralelo opuestos al movimiento; un amortiguador c y un resorte k .

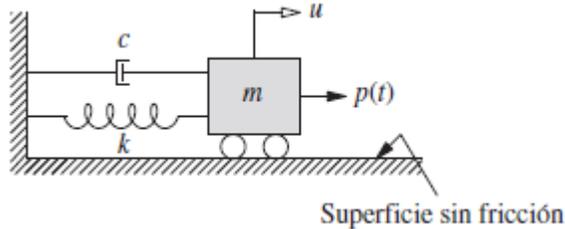


Figura 2. Sistema de un grado de libertad excitado por una fuerza externa. Fuente: (Chopra, 2014).

Bajo la acción de la fuerza externa, las condiciones del sistema se describen mediante el desplazamiento, la velocidad y la aceleración (Chopra, 2014), de esta manera la excitación externa se contrarresta debido a la acción de tres fuerzas en dirección contraria al movimiento provocado: inercial f_I (originada por la masa m y la aceleración del sistema a), elástica f_S (surge de la rigidez k y el desplazamiento u) y de amortiguamiento f_D (por el coeficiente de amortiguamiento c y la velocidad v), tal y como se representa en el diagrama de cuerpo libre de la figura 1 (c) logrando así, equilibrio dinámico. De esta manera se obtiene:

$$ma + cv + ku = p(t)$$

Ecuación de Movimiento ante excitación externa

El comportamiento generado por la respuesta de la ecuación de movimiento es de tipo armónico. La fuerza externa puede ser provocada por distintos tipos de excitación, por ejemplo, en el análisis estructural de obras civiles, en Costa Rica, se prioriza el estudio de respuestas dinámicas provocadas por la excitación del terreno, es decir inducida por sismos. Teniendo en cuenta que “un sistema al que se le introduce movimiento en sus cimientos es equivalente a un sistema con su base fija al cual se le aplica una fuerza igual a la masa del sistema multiplicada por el negativo de la aceleración del terreno” (Reyes, 1998) y que tanto la aceleración como la velocidad corresponden a derivadas del desplazamiento se

obtiene:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$$

Ecuación de movimiento ante excitación de la base

Para alcanzar la respuesta dinámica de una estructura ante condiciones naturales se debe simular su movimiento sin tener en cuenta una excitación externa y prescindiendo de un amortiguamiento. Por lo general, el amortiguamiento es una variable muy complicada de medir, según Chopra (2014) “En general, es imposible definir cuantitativamente este mecanismo de disipación de energía local. Por esta razón, la matriz de amortiguamiento no puede ser evaluada analíticamente de una manera similar a las matrices de masa y rigidez”. De esta manera la Ecuación de Movimiento se transforma como:

$$m\ddot{u} + ku = 0$$

Ecuación de Movimiento en vibración libre

De esta forma se obtiene la Ecuación de Movimiento para vibración libre de un sistema de un grado de libertad, la cual por medio de un análisis modal representa los modos naturales de vibración por medio de frecuencias y formas modales. Es importante aclarar que dicha ecuación es válida solo para estructuras ancladas al suelo llamadas de amortiguamiento clásico, por lo tanto, no es aplicable a estructuras con algún tipo de sistema que la separe del terreno como aisladores sísmicos.

Los edificios, evidentemente, cuentan con una cantidad muy grande de grados de libertad distribuidos en todos los componentes dotados de masa en la estructura. Sin embargo, en muchos casos, los entresijos de las edificaciones presentan rigidez muy elevada en comparación con otros elementos por lo que suelen considerarse como cuerpos infinitamente rígidos lo cual según Reyes (1998) implica que las propiedades inerciales se pueden expresar en el centro de masa del cuerpo. De esta manera, se obtiene un modelo que simplifica de manera importante los grados de libertad, como se observa en la figura 3.

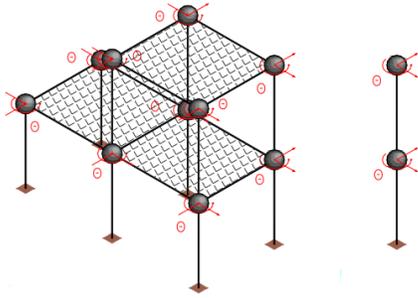


Figura 3. Modelo simplificado de un pórtico. Fuente: (Barbat, Oller, & Vielma, 2005)

Las ecuaciones de movimiento mostradas son aplicables de igual forma para estudiar sistemas de múltiples grados de libertad, con la única variable de que al tratarse de diferentes posibles movimientos en varias direcciones, los valores de masa y rigidez pasan a representarse de forma matricial.

Análisis modal

La solución de la ecuación de movimiento con el fin de realizar un análisis modal se transforma en un problema de valores y vectores propios, representado de la forma:

$$[K - \omega^2 M] \hat{u} = 0$$

Problema de valores y vectores propios

En donde \mathbf{K} , \mathbf{M} , ω^2 y \hat{u} corresponden a la matriz de rigidez, matriz de masa, frecuencias angulares de vibración libre (autovalores) y vectores de desplazamiento modal (autovectores) respectivamente. Dicha ecuación tiene dos soluciones, sin embargo una solución no trivial es posible únicamente cuando el denominador determinante se desvanece (Penzien & Clough, 2003), es decir, que la obtención de las vibraciones libres del sistema solo son posibles cuando:

$$[K - \omega^2 M] = 0$$

Ecuación característica.

A esta solución no trivial se le conoce como ecuación característica y a partir de ella se obtienen frecuencias asociadas a cada grado de libertad, en donde cada una de ellas está asociada a un modo de vibrar. Chopra (2014) menciona que una estructura no amortiguada se

sometería a un movimiento armónico simple, sin cambiar de forma modificada, si la vibración libre iniciase por las distribuciones de desplazamiento adecuadas en los diversos grados de libertad. Esto quiere decir que para poder estudiar las formas naturales de vibrar de una estructura se supone una condición en donde se impone un desplazamiento inicial $\mathbf{u}(0)$ apropiado y se libera de forma tal que su movimiento sea armónico, cada suposición de éstas que produzca un movimiento oscilatorio corresponde a un modo de vibrar, el cual tiene asociado una frecuencia angular ω y un vector de desplazamiento modal \hat{u} .

El periodo natural de vibración \mathbf{T} de un sistema corresponde al tiempo requerido para completar un ciclo de movimiento armónico en cada deformación particular del sistema, en donde cada deformada es llamada modo natural de vibración (Chopra, 2014), la cual es inversamente proporcional a la frecuencia de tal manera que:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

Periodo de vibración correspondiente a un modo de vibrar n

Al conocer la relación de proporcionalidad inversa entre la frecuencia y el periodo, se entiende que la frecuencia más baja corresponde al periodo más alto y viceversa, por lo general los resultados de un análisis modal se ordenan de manera tal que el primer modo sea el de mayor periodo (menor frecuencia) y los siguientes van disminuyendo.

Los vectores de desplazamiento \hat{u} son adimensionales y, solamente, reflejan las formas modales, por lo que se normalizan de manera tal que se le asigna un vector unitario a un nivel de la estructura y los vectores de los restantes pisos tienen valores en función del inicial. Algunas veces, se toma como referencia unitaria el techo (Chopra, 2014) ya que en la mayoría de casos es el nivel con mayor desplazamiento, sin embargo, cualquier nivel puede ser usado como referencia y los resultados no se afectan. Lo anterior se representa, gráficamente, en la figura 4.

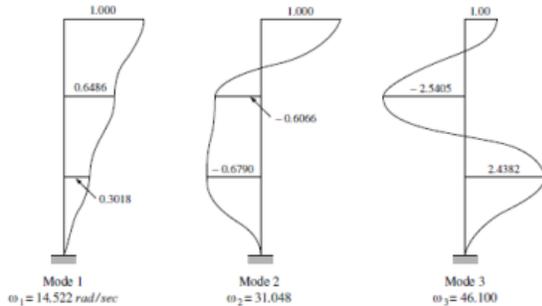


Figura 4. Vectores de desplazamiento normalizados respecto al nivel techo. Fuente: (W. Clough & Penzien, 2003)

Las estructuras poseen una cantidad significativa de grados de libertad cada una asociada a una ecuación de movimiento, por tanto, para analizarlas se requiere de modelos matemáticos computacionales que procesan las soluciones más rápido en comparación con un proceso manual.

Los análisis modales son de gran utilidad para aproximar el comportamiento dinámico de las estructuras ante fuerzas externas como sismos, utilizando el método de análisis modal espectral. Otra aplicación útil es utilizar dichos resultados como insumo principal para proponer instrumentación sísmica a un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte y, posteriormente, monitorear su comportamiento.

Instrumentación de edificios

La evaluación de la respuesta dinámica de estructuras expuestas a sismos por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte es un insumo muy importante para mejorar prácticas de diseño por medio de la optimización de códigos de análisis y diseño estructural, monitorear la salud estructural en tiempo real, permite mejorar prácticas constructivas, de manera que se pueda disminuir el riesgo sísmico en edificios, ya que dichas mediciones proveen suficiente información acerca de la respuesta dinámica para poder ser comparada con las predichas por modelos matemáticos o bien para explicar las razones de posibles daños en estructuras (Çelebi, 2000).

Los acelerógrafos por su parte (figura 5) son instrumentos que permiten registrar aceleraciones y representarlas en un gráfico denominado (acelerograma). Estos utilizan acelerómetros internos los cuales son mucho menos sensibles que los sismómetros activándose solamente ante movimientos fuertes, dejando por fuera del acelerograma señales muy débiles que no afectarán la integridad estructural del edificio (SRC, 2014). A pesar de esto mantienen un grado de susceptibilidad para registrar vibraciones ambientales.



Figura 5. Acelerógrafo triaxial. Fuente: Nanometrics

Tipos de acelerógrafos

Existen muchas empresas dedicadas a la fabricación y distribución de modelos de acelerógrafos de movimiento fuerte, los cuales como cualquier otro dispositivo electrónico ofrecen al usuario diferentes tipos de facilidades tecnológicas y costos, sin embargo todos ellos se rigen bajo el mismo principio de funcionamiento y pueden ser categorizados en tres tipos:

- **Uniaxial:** capaz de registrar el movimiento en una dirección, construido con sensores de un solo eje.
- **Biaxial:** capaz de registrar el movimiento en dos direcciones, construido con sensores de dos ejes.
- **Triaxial:** capaz de registrar el movimiento en tres direcciones, construido con sensores de tres ejes.

Tanto los acelerógrafos uniaxiales como biaxiales, a lo largo de los años, han perdido posicionamiento en el mercado, según Van Der Weth (2020) dado que un componente

significante de los instrumentos es el digitalizador, los precios no varían de forma importante entre uno y otro, son más fáciles de manejar y el rendimiento es mejor con los acelerógrafos triaxiales, pues los sensores biaxiales y uniaxiales limitan los casos en los que se pueden utilizar.

Objetivos para instrumentar un edificio

Existen múltiples razones para registrar respuestas dinámicas de sistemas estructurales, sin embargo a través del uso de acelerógrafos de movimiento fuerte pueden verse resumidas en dos:

- **Monitorear:** en este caso, los parámetros dinámicos por obtener son básicos generalmente para detectar comportamientos atípicos en donde no es necesario precisiones muy altas.
- **Analizar:** se requiere una respuesta dinámica con formas modales y frecuencias muy precisas, las cuales pueden ser utilizadas para calibrar modelos estructurales, analizar el comportamiento de diafragmas flexibles, entre otros.

Instrumentación sísmica en el mundo

A nivel mundial existen varios programas de monitoreo estructural por medio de instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte como lo es el caso del Programa de Instrumentación de Movimiento Fuerte de California (CSMIP, por sus siglas en inglés) el cual según el DOC (s.f.), ha permitido, desde 1972, obtener información relevante de la respuesta dinámica de estructuras ante sismos. Dicha información ha sido facilitada a ingenieros, sismólogos, gobiernos locales y personal de atención de emergencias, de tal manera que se facilite y canalice apropiadamente la información para mejorar códigos de diseño estructural, respuestas ante emergencias, entre otros. Otros ejemplos de programas de

instrumentación se presentan en Taiwan con el Programa de Instrumentación de Movimiento Fuerte de Taiwan (TSMIP, por sus siglas en inglés) o bien en Nueva Zelanda por medio del proyecto GeoNet.

En Costa Rica, en la actualidad, no existe un programa de instrumentación de edificios para fines de registro de movimiento fuerte con aval gubernamental. Sin embargo, la Universidad de Costa Rica por medio del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS), ofrece estos servicios para el público en general y cuenta con convenios con diferentes entidades como lo es el Ministerio de Educación Pública (MEP), Cruz Roja, Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), entre otros, con el fin de monitorear en tiempo real la respuesta dinámica de las respectivas sedes o estructuras de dichas instituciones.

Por otro lado, en cuanto a la reglamentación, el Código Sísmico de Costa Rica 2010, revisión 2014 (CSCR 2010/2014), menciona en el capítulo 16 que todo edificio nuevo en Zonas III y IV con área mínima de 5000 m² y 10 pisos o más debe instrumentarse con un acelerógrafo triaxial en la base y si supera los 20 pisos se debe colocar otro igual a nivel de techo (azotea o nivel anterior al techo) alineado verticalmente con el primero.

Cantidad y ubicación de acelerógrafos

La ubicación adecuada de los acelerógrafos tiene una dependencia directa del objetivo primordial de la instrumentación sísmica (monitorear o analizar) y de la geometría de la estructura. Es decir, la configuración de ubicación de los acelerógrafos varía dependiendo de la información y precisión que se quiere obtener a partir de las mediciones.

En el caso en que la razón principal sea monitorear, la cantidad de acelerógrafos va a ser menor y la ubicación más uniforme, esto se debe a que la información que extrae la respuesta dinámica se concentra en obtener periodos y en algunos casos información básica para tener una idea básica de los primeros modos de vibración.

También, si se trata de una estructura que mantiene regularidad tanto en altura como en planta la cantidad de instrumentos por utilizar puede ser mínima, ya que, probablemente, se puede obviar movimientos rotacionales.

Por otro lado, si se quiere registrar información suficiente para reconstruir una respuesta dinámica con precisiones muy altas, de manera tal que sirva para calibrar o verificar modelos computacionales o bien si se trata de estructuras irregulares en altura y planta provocando modos de vibración importantes con formas complicadas, es decir si el objetivo es analizar, la cantidad de instrumentos por utilizar va a ser mayor junto con una configuración de distribución más amplia que permita obtener información más detallada.

El CSMIP, sugiere seis modelos base para el posicionamiento de acelerógrafos los cuales se muestran en la figura 6. Por otro lado, Çelebi (2000) muestra otras configuraciones las cuales denominó instrumentaciones extensivas (figura 7), enfocadas a registrar respuestas en edificios de manera muy precisa. El cuadro 1 muestra un resumen que categoriza cada una de estas distribuciones propuestas con relación al objetivo principal, así como respuestas esperadas que se pueden registrar a través de ellas.

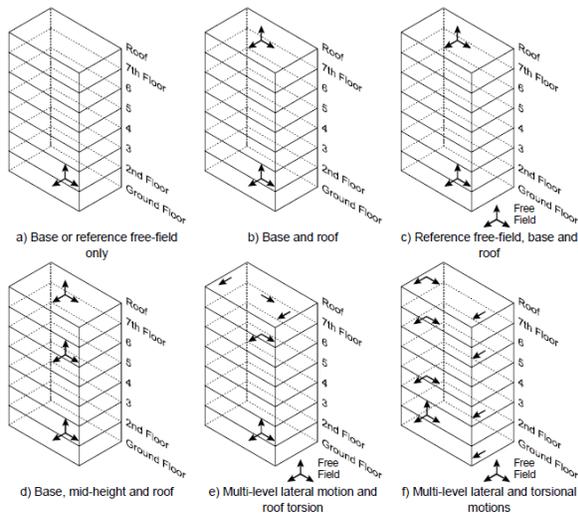


Figura 6. Distribución de instrumentación sugerida por el CSMIP. Fuente. (Deam & Cousins, 2002)

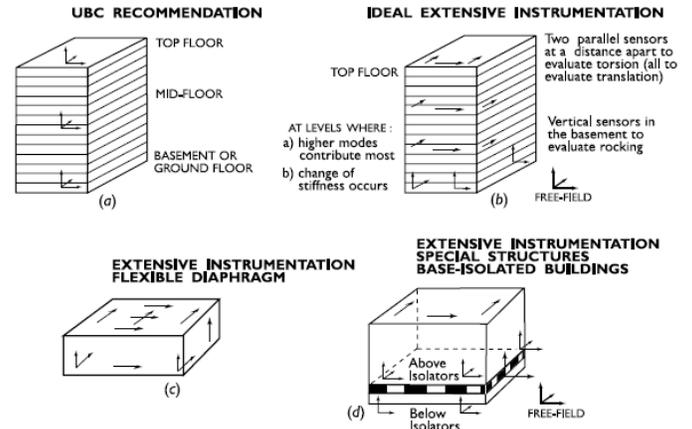


Figura 7. Esquemas extensivos de instrumentación sísmica Fuente. (Çelebi, 2000)

Cuadro 1. Explicación de esquemas propuestos para ubicación de acelerógrafos de movimiento fuerte.		
Objetivo	Figura	Resultados esperados
Monitorear	6a) Base o estación de campo libre de referencia*	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones
	6b) Base y techo	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones y techo en direcciones ortogonales
	6c) Base y techo con estación de campo libre de referencia*	
	6d) y 7a) Base, nivel intermedio y techo	Configuración ideal de monitoreo ya que permite obtener parámetros dinámicos en tres niveles de referencia y tener una idea general de las formas modales traslacionales
	6e) Movimientos laterales en múltiples niveles, torsion en techos y estación de campo libre*	Al igual que las figuras 3d y 4a representa una configuración ideal para registrar movimientos traslacionales, sin embargo de ser requerido monitorear movimientos torsionales se recomienda ubicar un instrumento más en el extremo del techo o nivel intermedio en una de las dos direcciones horizontales
Analizar	6f) Movimientos laterales y torsionales en múltiples niveles con estación de campo libre*	Se obtiene respuesta dinámica de movimientos traslacionales y rotacionales con precisiones altas
	7b) Instrumentación extensiva con estación de campo libre*	Registra respuesta dinámica de entrepisos flexibles para reconstruir su comportamiento de manera precisa
	7c) Instrumentación extensiva para diafrámas flexibles	
	7d) Instrumentación extensiva enfocada a estructuras con bases aisladas, con estación de campo libre	Registra el comportamiento de bases aisladas en estructuras asiladas sísmicamente
*Estación de campo libre. Se utiliza para estudiar la interacción suelo-estructura, sin embargo en zonas urbanas, esto puede ser un problema debido a la densidad de instalaciones construidas.		

Por otro lado, Rojahn (1976) recomienda colocar los acelerógrafos lo más cerca del centro de rigidez previsto o conocido para poder registrar movimientos traslacionales y un tercer acelerógrafo uniaxial en paralelo al muro de

cortante más distanciado para el registro de movimientos torsionales, lo cual se representa en la figura 8.

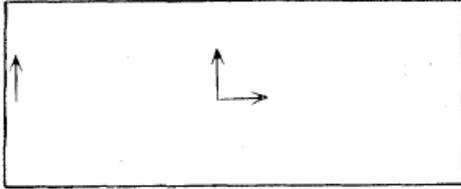


Figura 8. Ubicación en planta de instrumentación. Fuente. (Rojahn, 1976)

Procesamiento de datos

Inicialmente los datos obtenidos de las mediciones a partir de la instrumentación corresponden a aceleraciones obtenidas en una ventana de tiempo de medición, activada en el momento que se amplifica el movimiento del suelo producto de un sismo o por vibraciones ambientales, en las direcciones ortogonales. Estas mediciones al ser graficadas en función del tiempo se obtiene lo que se conoce como un acelerograma. Un ejemplo de un registro de este tipo se muestra en la figura 9, haciendo referencia al terremoto de El Centro en el Valle Imperial ubicado al sureste de California.

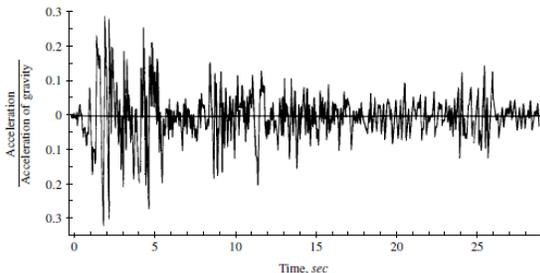


Figura 9. Acelerograma del terremoto El Centro, Valle Imperial, California, 1940. Fuente. (Penzien & Clough, 2003)

En primera instancia los registros acelerográficos obtenidos deben ser corregidos y filtrados. Esquivel & Schmidt (2016) describen este proceso por medio de un diagrama de flujo el cual se muestra en la figura 10.

Primeramente, se hace una inspección visual para eliminar incongruencias en los registros producto de golpes, vibraciones por maquinaria, entre otros. Luego, se procede a realizar correcciones de las señales, filtrando las mismas entre los 0.3 Hz y los 30 Hz, los cuales son límites utilizados, ampliamente, en el procesamiento de registro de vibraciones

ambientales en estructuras (Dominguez, 2012). El rango de valores de filtrado de frecuencias presentados, con anterioridad, suelen variar, por ejemplo, Çelebi (2000) muestra valores típicos de 50Hz; luego se aplica una disminución gradual llamada **taper**, al inicio y final de la señal para que empiece y termine en cero.

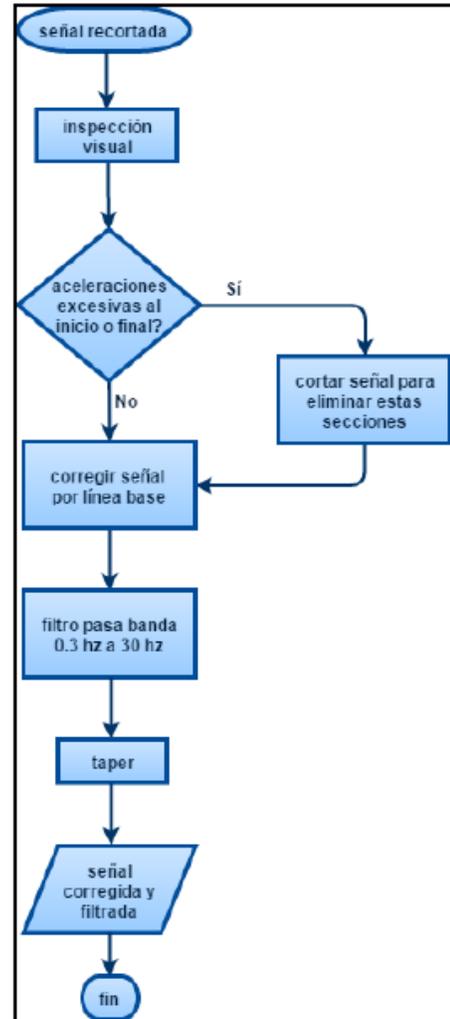


Figura 10. Corrección y filtrado de señal. Fuente: (Esquivel & Schmidt, 2016)

Una vez obtenido un registro corregido y filtrado, se procede a obtener la transformada de Fourier la cual genera los espectros que llevan el mismo nombre y las funciones de transferencia respectivas. Según Reyes (1998), "El contenido frecuencial de los movimientos sísmicos se puede identificar convirtiéndolo del dominio del tiempo al dominio de frecuencia, por medio de un procedimiento que consiste en representarlo por

medio de series de Fourier”, quiere decir que los acelerogramas, por lo general, representan las señales muy complejas de manera que no es posible la obtención de frecuencias de manera directa. La transformada de Fourier convierte la señal del dominio del tiempo al dominio de frecuencia descomponiendo las señales en representaciones sinusoidales con frecuencias constantes y fáciles de visualizar, de esta manera se compilan obteniendo gráficas como la mostrada en la figura 11, en donde cada pico de respuesta corresponde a frecuencias del registro inicial.

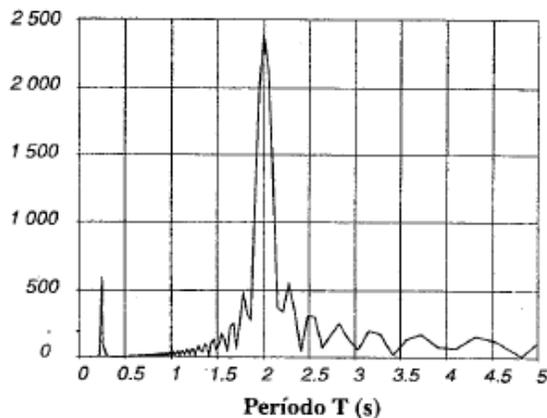


Figura 11. Ejemplo típico de un espectro de Fourier. Fuente. (Reyes, 1998).

Según Dominguez (2012), “La función de transferencia nos sirve para encontrar la relación de amplitudes que tienen dos señales.”, de esta manera es posible comparar dos señales para eliminar datos registrados por accidentes. En la figura 12 se observa el espectro de Fourier y función de transferencia para un mismo punto de medición.

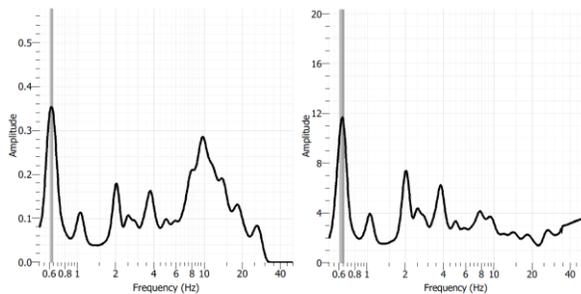


Figura 12. Espectro de Fourier (Izquierda) y función de transferencia (Derecha) para un mismo punto. Fuente. (Esquivel & Schmidt, 2016)

Una vez obtenidos los registros, la selección de las frecuencias fundamentales se puede obtener utilizando metodologías como el “peak peaking”, se identifica los picos de respuesta de los espectros de Fourier y funciones de transferencia, correspondientes a las frecuencias y por ende a periodos fundamentales.

Para realizar el proceso descrito se implementan softwares especializados en interpretación de registros acelerográficos, como lo es, por ejemplo, el mencionado en la metodología de Esquivel & Schmidt (2016) Geopsy. No obstante, en el mercado existe gran variedad de programas enfocados a la interpretación de este tipo de señales. De igual manera, otra alternativa es realizarlo mediante funciones del sistema de cómputo numérico Matlab.

Metodología

Uno de los objetivos específicos de la investigación consistió en realizar una guía metodológica que propone pasos por seguir para instrumentar un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte (Ver apéndice 4), la cual se utilizó para realizar la propuesta para el caso en particular del edificio de emergencias del Hospital Calderón Guardia.

Información del edificio

El Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia es uno de los centros de atención médica más importantes de la Caja Costarricense de Seguro Social, se divide en cuatro edificaciones correspondientes a un edificio principal, otro de nutrición y ropería, Torre este (enfocado a aumentar la capacidad de atención) y Torre Sur (Edificio de Emergencias). La propuesta del presente trabajo se enfoca hacia este último, ubicado en la Provincia de San José, Cantón San José, Distrito del Carmen en Barrio Aranjuez. En la figura 13 se muestra una imagen satelital de la ubicación.



Figura 13. Ubicación Edificio de Emergencias (Torre Sur), Hospital Calderón Guardia. Fuente. Google Earth Pro.

Sistema arquitectónico

El edificio cuenta con un sótano el cual cumple la función de parqueo, tiene una altura de 3.9m, seguido de cuatro niveles con alturas de 4.3m y por último una distancia de 3.5m entre el último nivel y el techo para un total de 20.3m. Cabe destacar que el nivel de sótano al ser un parqueo cuenta con acceso y salida de vehículos, presentando un área mayor que los demás niveles por encima del NT.

En cuanto a los acabos el edificio posee pisos tipo vinilo, excepto en los baños los cuales son cerámicos, los cielorasos son de fibra mineral con un cambio en la sección continua al núcleo de ascensores Luxalon y, por último, las divisiones livianas corresponden a una combinación entre paneles de gypsum y paredes tipo convitec.

Sistema estructural

El CSCR 2010/2014 en el capítulo cuatro, sección 4.2, clasifica los sistemas estructurales

según sus propiedades geométricas, físicas y estructurales en cuatro tipos: marco, dual, muro, voladizo y otros. Para que una edificación sea considerada de tipo dual, debe resistir las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismoresistentes constituidos por: 1) marcos de concreto reforzado, acero o madera y 2) muros de concreto o de mampostería, marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera, lo cual aplica al edificio Torre Sur el cual está conformado por marcos y muros de concreto reforzado. Por otro lado, la sección del sótano cuenta con dos rampas para el ingreso y salida de vehículos así como muros perimetrales que colindan con el terreno.

El sistema de cimentación corresponde a placas corridas por debajo de los muros estructurales con una profundidad de 2 metros, anchos que varían entre 2 y 3.5 metros y vigas de amarre ubicadas entre las columnas.

Los entresijos corresponden a un sistema de vigas pretensadas y orientadas en una dirección horizontal, conectadas por medio de bloques de concreto y con sobrelosa de 5cm.

Diseño arquitectónico y estructural

El diseño arquitectónico de la estructura estuvo a cargo del Arq. Roberto Vargas Cercas ex funcionario de la CCSS con ayuda de los dibujantes Cristian Elizondo y César Arroyo.

Para el diseño estructural se realizó un análisis tanto dinámico como estático basado en el Código Sísmico de Costa Rica en su antigua versión del año 1986, el cual estuvo a cargo de la empresa consultora “CONDISA Consultoría y Diseños S.A”, en donde la Ingeniera Silvia Gamboa y el Ingeniero Ronald Steinvorth fueron los profesionales encargados.

Antecedentes

Estudios previos

En el año 2008 la empresa “Castro & de la Torre S.A” realizó un estudio geotécnico y de mecánica de suelos para las construcciones de los edificios

Torre Este y nutrición y ropería, los cuales están ubicados dentro del mismo terreno, sin embargo tal y como se señala en la figura 13 el edificio de nutrición colinda con la estructura en estudio, por lo que se tomaron los datos de este.

El estudio consistió en “determinar la estratigrafía, consistencia y capacidad de soporte del subsuelo, así como la realización de pruebas especiales de laboratorio, para apoyar la toma de decisiones sobre el proyecto” (Castro & De La Torre S.A. , 2008), para lo cual se desarrolló un total de diez perforaciones en el terreno usado para la construcción del edificio de Nutrición, distribuidos uniformemente de la manera que se muestra en la figura 14.

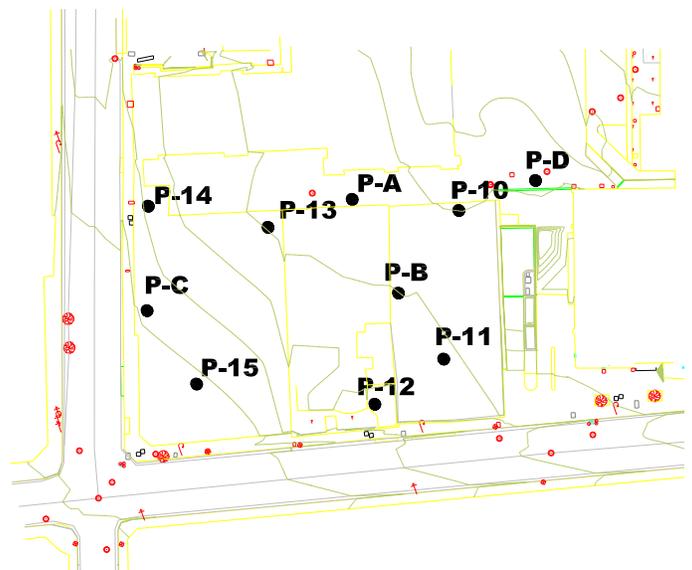


Figura 14. Distribución de perforaciones para el edificio de Lavandería y Nutrición del Hospital Calderón Guardia. Fuente. (Castro & De La Torre S.A. , 2008).

De las perforaciones mostradas en la figura 14, los puntos 10, 12 y 13 (cada una asociada a un rango de profundidad diferente) son de gran interés ya que a partir de ellos se realizaron pruebas triaxiales para determinar propiedades mecánicas del suelo, dentro de los cuales se encuentra el módulo de balasto horizontal y vertical (Módulo de reacción) utilizado para modelar la cimentación de manera que se tome en cuenta la interacción suelo-estructura.

Intervenciones

Actualmente, se realiza una intervención a nivel de sótano en el costado sur del edificio, en donde se construye un túnel que conecta el edificio de Emergencias con el otro lado de la calle con un terreno que colinda con el centro de acopio. El proyecto tiene como finalidad facilitar el trasiego de insumos, materiales, movilización de funcionarios, entre otros.

Según Albán (2020), Ingeniero en Construcción que forma parte del equipo de trabajo de la intervención mencionada, el sistema constructivo en términos globales consta de tres partes:

- Readecuación Estructural entre Torre Sur y Túnel: diseñado por el consultor Ing. Miguel Cruz y ejecutado por Estructuras S.A.
- Túnel prefabricado: diseñado, construido e instalado por Productos de Concreto (PC).
- Obras estructurales y civiles de conexión de Túnel con el Centro de Acopio: diseñado por el consultor Ing. Miguel Cruz y ejecutado por Estructuras S.A.

En la figura 15 se muestra un esquema representativo de la ubicación del túnel.

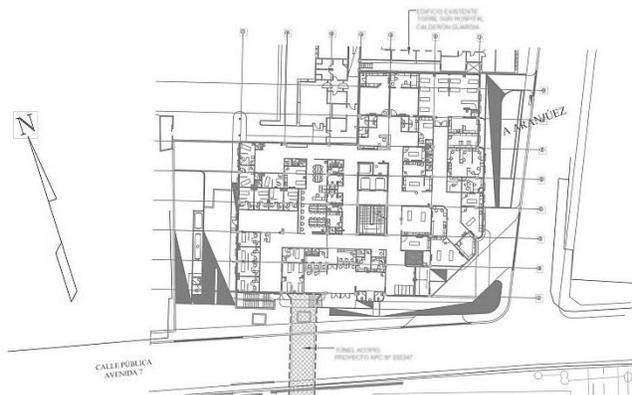


Figura 15. Plano conjunto de intervención de túnel. Fuente. (Albán, 2020)

Sin embargo, los nuevos ductos no están integrados de forma estructural con el edificio existente, esto se puede observar en la figura 16 la cual muestra que existe una separación entre los nuevos muros estructurales y el nivel superior.

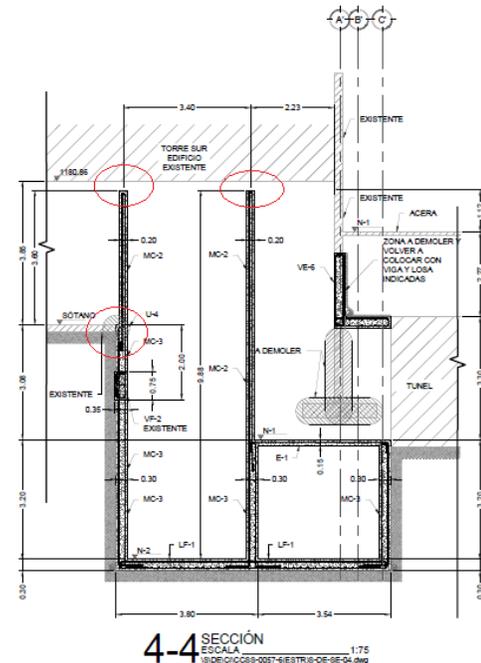


Figura 16. Sección transversal de ducto de túnel con el edificio existente. Fuente. (Albán, 2020).

Debido a esto la nueva estructura de comunicación entre Torre Sur y el Centro de acopio no se integró en el modelo. La modelación del muro perimetral del sótano donde se conecta dicho túnel y la cimentación correspondiente tampoco se modeló, dejando solamente un buque en la ubicación indicada.

Objetivo de la instrumentación

Existen dos enfoques para instrumentar un edificio los cuales son: monitorear o analizar que mantienen fuerte dependencia con la distribución y cantidad de acelerógrafos. En el caso de la Torre Sur, el objetivo fue determinado por la CCSS, indicando que la finalidad de la instrumentación con acelerógrafos de movimiento fuerte es monitorear la estructura.

Modelado y análisis modal

El modelo computacional fue realizado, preliminarmente, utilizando el programa Revit de la familia de Autodesk para modelar la geometría del edificio para luego vincular con Robot Structural Analysis (RSA) de la misma marca y ejecutar el análisis modal de la estructura. Lo anterior es posible debido a que al modelar usando Revit, el programa automáticamente va generando un modelo analítico de barras y paneles conectados por medio de nodos. Este modelo analítico se transfirió al programa de análisis estructural (RSA) para asignarle las propiedades de análisis a cada elemento tal y como se detalla en las siguientes secciones. Se decidió realizar el flujo de trabajo descrito ya que al trabajar de forma preliminar la geometría es más simple verificar y corregir las conexiones de todos los elementos y que no se afecten los resultados del análisis modal durante el proceso, en comparación con el haber realizado, directamente, el modelo en RSA. Ahora bien, al ser dos programas de la misma familia la vinculación e interoperabilidad es más fluida, lo que hace que en ambos casos el modelo esté actualizado. Por otro lado, al contar con el modelo geométrico se puede utilizar como base para completar la modelación arquitectónica de manera más detallada en otro proyecto a futuro.

El modelo geométrico resultante a partir de Revit se muestra en la figura 17.

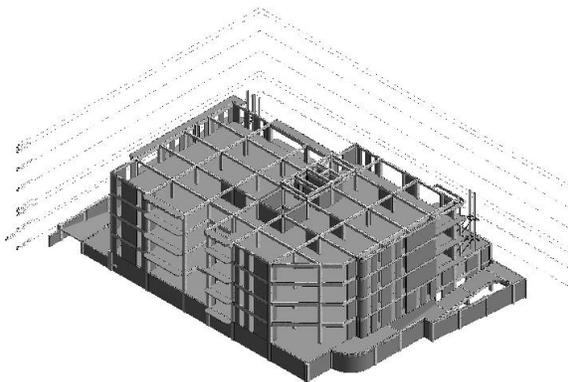


Figura 17. Modelo geométrico preliminar del Edificio de Emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur).

Una vez completado el proceso de vinculación entre Revit y RSA, se procedió a la asignación de elementos analíticos, con sus respectivas propiedades y la aplicación de cargas.

Definición de materiales

Tanto los sistemas de marcos (vigas y columnas) como los muros de cortante y losas son de concreto reforzado. La resistencia a la compresión (f'_c) especificada en los planos para estos elementos es de $280 \frac{kg}{cm^2}$, debido a que no se cuenta con estudios que involucren pruebas destructivas que muestren resistencias reales (pruebas de compresión a cilindros por ejemplo), se utilizó este valor para todos los elementos estructurales. Por otro lado, el módulo de elasticidad para concretos de peso normal según la norma ACI (2014) se calcula utilizando la ecuación:

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \frac{kg}{cm^2}$$

Módulo de elasticidad

El peso unitario del concreto utilizado corresponde a $2400 \frac{kg}{m^3}$, la relación que existe entre la deformación plástica transversal y longitudinal (Módulo de Poisson μ) suele oscilar entre 0.15 y 0.2, por lo que se utilizó 0.2 y por último el módulo de corte (G) se calcula con los valores de Módulo de Poisson y Módulo de elasticidad, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E_c}{2(1 + \mu)}$$

Módulo de corte

Sistema de marcos

Para las vigas y las columnas se utilizó las herramientas específicas para cada una con las que cuenta RSA, esto más que todo sirve para facilitar el flujo de trabajo y diferenciarlos, sin embargo analíticamente ambos son elementos tipo barra.

En cuanto a las secciones transversales de vigas y columnas, éstas fueron tomadas de los planos estructurales originales. En algunos casos

en las láminas se mostraba secciones de columnas con las mismas dimensiones pero identificadas como tipologías diferentes, esto porque el refuerzo estructural varía. En este caso, al tratarse de un análisis modal, no es de interés verificar las capacidades de los elementos por lo que el acero de refuerzo no fue tomado en cuenta, de esta forma los elementos fueron categorizados solamente por las dimensiones geométricas de la sección.

El edificio en estudio cuenta con columnas de secciones transversales consideradas irregulares las cuales no coinciden con figuras geométricas simétricas, que RSA trae por defecto. Al momento de vincular el modelo geométrico en el programa, el inconveniente presentado es que RSA no reconoce dichas secciones. Existen varias formas de solucionar este problema, una de ellas sería crear cada sección en particular para posteriormente asignarlas a cada columna, aunque es una solución bastante exacta el procedimiento se vuelve tedioso y largo. Por otro lado una segunda solución y la utilizada en este caso fue sustituir dichas columnas por otras con secciones transversales parecidas y comunes con propiedades muy similares que provoquen diferencias insignificantes en cuanto a su inercia. En la figura 18 se observa las tres secciones irregulares presentes en el edificio.

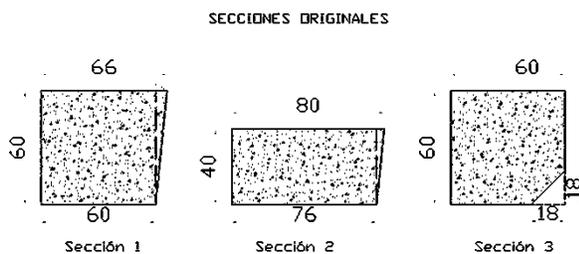


Figura 18. Secciones de columnas irregulares.

Se observa en la figura 18, que las secciones corresponden a figuras geométricas compuestas que con facilidad pueden sustituirse por las secciones de la figura 19.

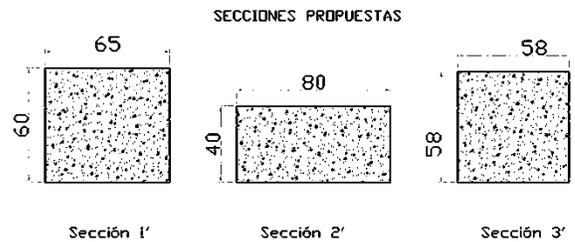


Figura 19. Secciones propuestas para sustitución de columnas irregulares.

Para poder determinar sus diferencias en inercia se procede a utilizar el Teorema de Steiner (conocido también como Teorema de ejes paralelos) para las columnas irregulares, el cual según Llopis & Gasque (s.f.) “se emplea para calcular el momento de inercia de un sistema material respecto de cualquier eje, a partir del momento de inercia respecto del eje paralelo al primero que pase por el centro de gravedad y de la distancia entre ambos ejes”. Las inercias de las secciones comunes se obtienen al aplicar fórmulas sencillas predeterminadas por poseer geometría conocida.

En el cuadro 2 se muestra un resumen de los resultados de las inercias de las secciones tanto irregulares como las propuestas para su sustitución (apéndice 1 para el desarrollo de los cálculos realizados), así como las diferencias mínimas porcentuales entre ambas, lo cual justifica la sustitución y la continuación del análisis modal con las nuevas secciones.

Cuadro 2. Diferencias porcentuales entre inercias de secciones compuestas y sus respectivas sustituciones			
Sección compuesta	Sección sustituida	Diferencia % Ix	Diferencia % Iy
1	1'	1.82%	2.64%
2	2'	1.75%	2.28%
3	3'	0.94%	0.94%

Creación de espesores

Al momento de crear paneles como lo son los muros y losas, es necesario asignarles espesores los cuales van a ser los encargados de darle las propiedades de rigidez y será utilizado también para el cálculo del peso propio. Existen dos tipos de espesores habilitados: Homogéneo, asignado

a paneles simples con sección constante o variable a lo largo de algún eje y ortotrópico, referido a elementos que tienen discontinuidad en su rigidez en diferentes direcciones, tal es el caso de las losas con viguetas pretensadas. Es importante recalcar que “La ortotropía reconoce las diferencias de rigidez en las direcciones mutuamente perpendiculares, pero no reconoce la falta de uniformidad del material” (Autodesk, 2020), esto quiere decir que al asignar las propiedades geométricas (figura 20) para una losa con viguetas pretensada por ejemplo, el programa crea una losa uniforme de un espesor equivalente con diferencias en las rigideces.

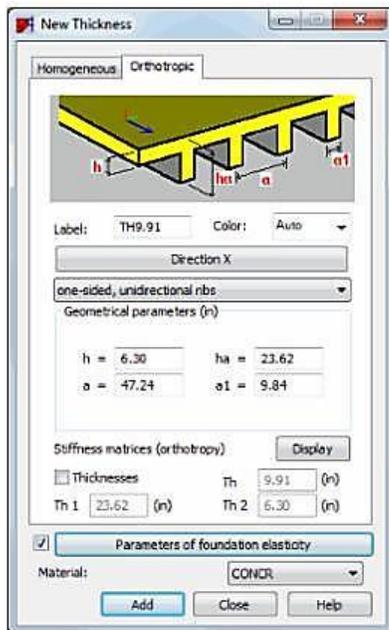


Figura 20. Asignación de espesores ortotrópicos.

Muros

Para los muros primero se definió espesores del tipo homogéneo y su respectiva modelación se realizó por medio de elementos tipo Shell, los cuales toman en cuenta todos los grados de libertad aportando rigidez en los mismos, también permiten la discretización del panel en elementos más pequeños, los cuales aproximan soluciones que convergen para dar una respuesta global más precisa del panel principal.

Los tipos de muros fueron tomados de los planos estructurales originales los cuales tienen espesores de 300mm, 250mm y 225mm

distribuidos en los diferentes niveles. De la misma forma que el sistema de marcos, no se tomó en cuenta el acero de refuerzo.

Por otro lado, el mallado o discretización se realizó por medio de cuadrados de 0.5m de lado. En el apartado “Determinación de tamaño de mallado para muros” de la metodología se justifica dicha selección.

Entrepisos

Los entrepisos son sistemas de viguetas pretensadas orientadas en una sola dirección, con sobrelosas de 5cm y bloques de concreto entre viguetas tal y como se muestra en la figura 21.

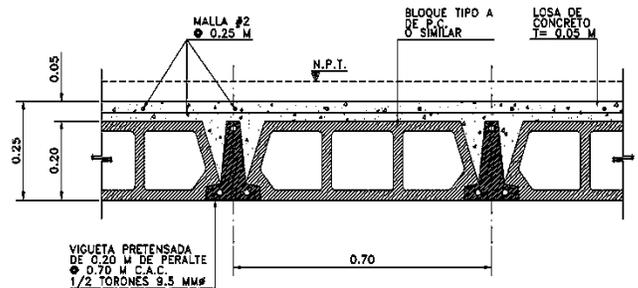


Figura 21. Sección de sistema pretensado de entrepiso.

Por esta razón, se asignó un espesor de tipo ortotrópico que tomara en cuenta las diferencias de rigidez al asignarle las propiedades geométricas correspondientes, tal y como se muestra en la figura 20.

Seguidamente, se definió la forma en que los entrepisos van a distribuir las cargas gravitacionales producto del peso propio, cargas vivas y sobrecargas muertas, así como la conexión rígida de sus nodos. A diferencia de los muros de corte, las losas de entrepiso se modelaron como elementos tipo membrana, los cuales cuentan con 3 grados de libertad por nodo, dos de desplazamientos en su plano y otro de giro alrededor del vertical (Orrego, 2017), esto quiere decir que solo soportaría fuerzas a lo largo de su plano y rotacional alrededor del eje perpendicular al plano, por lo que no se toma en cuenta el comportamiento a flexión en el eje vertical. En este sentido, las respectivas cargas gravitacionales se transmiten a los elementos

soportantes como vigas de entrepiso, muros y columnas en una dirección la cual es rígida por la dirección de las viguetas. En la figura 22 se muestra la herramienta utilizada en RSA para definir dichas propiedades.

Por otro lado, se consideró la conexión entre los nodos ubicados en el nivel de cada sistema de entrepiso como rígidos en las direcciones horizontales y rotacional alrededor del eje vertical, esto quiere decir que todos los nodos que estén ubicados en un mismo nivel y conectados por medio de una losa de entrepiso en común tendrán desplazamientos iguales en dichas direcciones.

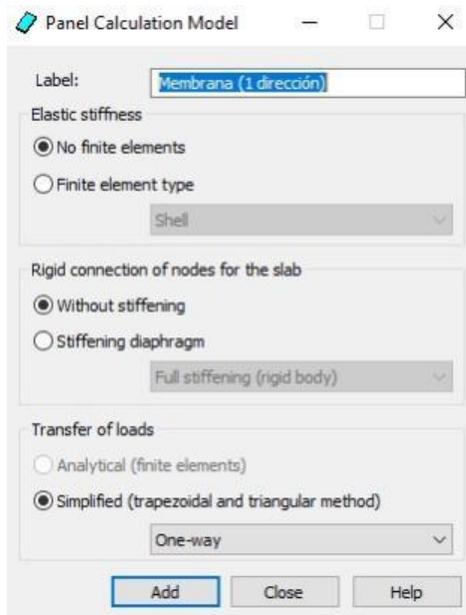


Figura 22. Modelo de cálculo de panel

La figura 22, evidencia que la conexión rígida entre los nodos del entrepiso está desactivada, esto se debe a que al utilizar esta herramienta se crea un diafragma por defecto que solamente selecciona los nodos perimetrales del nivel, lo cual es incorrecto ya que todos los nodos correspondientes a los elementos internos no serían vinculados (López, 2020). También, al generar una conexión rígida entre nodos, sus movimientos se rigen en función de un “nodo maestro”, el cual debe ser colocado en el centro de masa del nivel correspondiente, sin embargo utilizando la herramienta de generación automática de diafragmas rígidos mencionada, el programa coloca el nodo maestro más bien en el centro geométrico.

Por lo tanto, se utilizó una herramienta propia de RSA llamada “Rigid Link” que permite asignar diafragmas rígidos de forma manual. Para esto se crearon “nodos maestros” que coincidieran con las coordenadas de los centros de masa de cada nivel y que tuvieran libertad de movimiento en los ejes horizontales y rotación alrededor del eje vertical, seguidamente se seleccionó todos los nodos vinculados al nivel correspondiente (tanto perimetrales como internos) los cuales se denominan “nodos esclavos” por lo que sus movimientos serán rígidos en función del nodo maestro. Para simular el comportamiento rígido de la losa en las direcciones mencionadas se bloqueó dichos grados de libertad (horizontales y rotacional sobre el eje vertical) a cada nodo esclavo, esto quiere decir que las cargas se van a aplicar de forma proporcional a los nodos esclavos de manera tal que éstos tengan desplazamientos iguales en dichos grados de libertad, simulando así el comportamiento deseado en cada entrepiso. En la figura 23, se muestra un ejemplo de la asignación de diafragma rígido por medio de la herramienta “Rigid Link” para el segundo nivel.

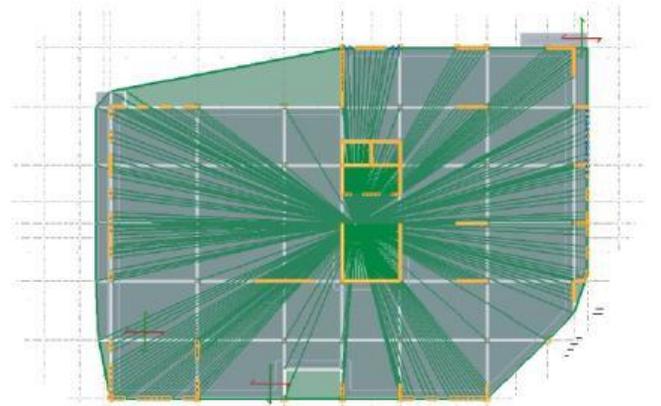


Figura 23. Diafragma rígido del nivel 2.

Techo

A diferencia de las losas de entrepiso, los techos de la Torre Sur presentan comportamientos flexibles por lo que para ésta sección se calculó el peso de sus elementos estructurales, incluidas cerchas, largueros, cinchas, vigas de acero y cubierta (detalles tomados de planos estructurales). Luego de esto se asignó elementos tipo “Cladding” correspondientes a

superficies sin espesor por lo que no aportan peso, los cuales tienen la función de distribuir las cargas aplicadas hacia las barras, paneles y soportes adyacentes (Autodesk, 2020). En el cuadro 3 se muestra un resumen de la carga de techo considerada y aplicada a los “Claddings”. En el apéndice 2, se detalla la memoria de cálculo de las cargas de techo.

Cuadro 3. Resumen carga de techo	
Elemento	Peso (kg)
Cerchas	3951.72
Largueros	6336.04
Cinchas	175.60
Vigas de acero	1517.69
Cubierta	8459.30
Total	20440.36
Área techo (m²)	1458.5
Carga techo (kg/m²)	14.01

Para asignar las direcciones de distribución de carga de los “claddings” se tomó en consideración la planta estructural de techos (ver figura 24), la cual muestra que no hay existencia de clavadores por lo que las cargas la toman los largueros y las distribuyen hacia las cerchas que a su vez se apoyan sobre las vigas.

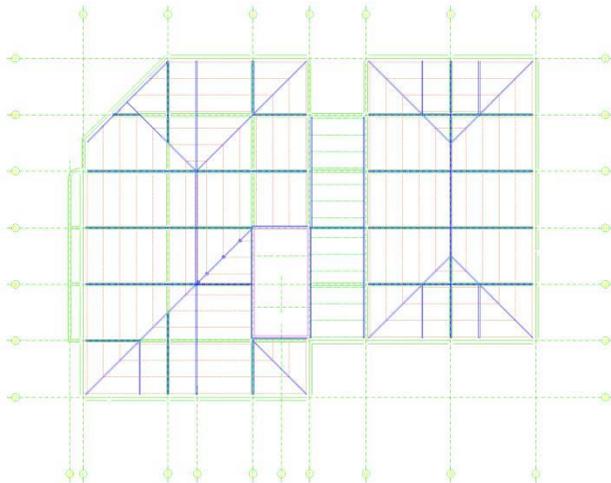


Figura 24. Configuración de elementos de techo

En la figura 24 los elementos azules corresponden a las cerchas y las líneas delgadas rojas a los largueros.

Cimentación

Las vigas de amarre fueron modeladas con elementos tipo frame y para las placas corridas elementos tipo Shell con espesor definido. Para tomar en cuenta la interacción suelo-estructura, fue necesario considerar parámetros de elasticidad del suelo, más específicamente el módulo de reacción o coeficiente de balasto **k**, que asocia la tensión transmitida al terreno por una placa rígida con la deformación o la penetración de la misma en el suelo...el cual se obtiene mediante un simple ensayo de carga sobre el terreno (Leoni, s.f.). Al definir el espesor de la cimentación, se asigna estos coeficientes de balasto tanto horizontal como vertical al elemento, lo cual se puede observar en la figura 25 como “parámetros de elasticidad del suelo”. El valor de módulo de reacción se obtuvo de las pruebas triaxiales realizadas por Castro & de La Torre S.A sobre el terreno colindante de Torre Sur, donde se sitúa el edificio de ropería y nutrición, mostrados en la figura 14 y el cuadro 4.

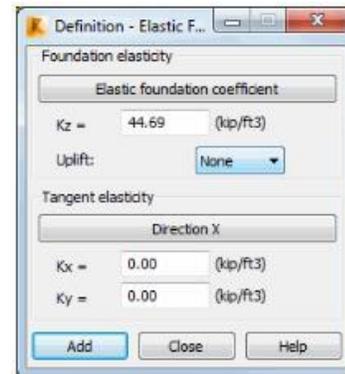


Figura 25. Asignación de coeficientes de balasto.

Cuadro 4. Resultados de pruebas triaxiales									
Tipo de obra	Perforación	Profundidad	N	Ø	C	E	μ	G	Eb
	#	Metros (m)	spt		Kg/cm ²	kPa		kPa	kN/m ³
Torre Este	P-3	5,40-5,85	12	14	0,92	7758	0,52	2564	37020
Torre Este	P-8	2,25-2,70	3	8	0,86	2542	0,51	842	17489
Torre Este	P-8	6,75-7,20	3	9	0,88	5901	0,52	1951	37894
Edificio Nutrición	P-10	3,60-3,85	9	15	0,89	9406	0,51	3119	48926
Edificio Nutrición	P-12	5,40-6,92	14	17	1,07	10865	0,51	3606	91424
Edificio Nutrición	P-13	3,60-4,05	8	12	1,48	18473	0,51	6133	85725
Nomenclaturas:									
Nspt = Sistema de penetración estándar, valor más cercano a la extracción del shelby.									
Ø = Ángulo de fricción interna total									
E = Módulo de elasticidad o de Young									
μ = Módulo de Poisson									
G = Módulo de cortante									
Eb = Módulo de balasto horizontal y vertical, o Módulo de reacción									

Fuente. (Castro & De La Torre S.A. , 2008)

Cada uno de los tres puntos de medición del edificio de nutrición tiene asociado un módulo de reacción diferente, esto se debe a que están en rangos con profundidades distintas. La cimentación se encuentra ubicada a 5.9m por debajo del NT, por lo que se utilizó el coeficiente de balasto del punto **P-12** el cual muestra un rango de profundidad que coincide con este.

Muros de sótano

Estos fueron modelados asignando su respectivo espesor y usando elementos tipo Shell. Sin embargo, al ser muros que están ubicados en el sótano, de igual manera que la cimentación tendrán interacción con el suelo. Para tomar en cuenta esto, se siguió el mismo procedimiento utilizado en la modelación de la cimentación, solamente que en ésta ocasión se utilizó el módulo de balasto correspondiente al punto **P-10** de las pruebas triaxiales mostradas en el cuadro 4, esto se debe a que los muros se encuentran ubicados en un rango que va desde el nivel superficial del terreno (NT) hasta la base del sótano ubicada a 3.9m por debajo del NT.

Por otro lado la interacción entre el suelo y los muros se dará perpendicular a la cara de los paneles, es decir, en las direcciones horizontales. Debido a esto los valores de módulo de reacción se asignaron en estas direcciones.

Losas en voladizo

El edificio cuenta con losas en voladizo, por lo que a razón de simplificar el modelo no se realizó la respectiva modelación, sin embargo para no desprestigiar el aporte de sus masas se asignó cargas distribuidas equivalentes sobre las vigas que las soportan. En el cuadro 5 se muestra las características geométricas y el cálculo de las respectivas cargas.

Cuadro 5. Cargas distribuidas de losas					
Losa	largo (m)	Ancho (m)	(Espesor)	Carga (kgf)	Carga distribuida (kgf/m)
1	6	1.5	0.15	3240	540
2	9	1.5	0.15	4860	540
3	15	1.5	0.15	8100	540

Escaleras

El edificio cuenta con dos escaleras de emergencia iguales, ubicadas en los niveles 1 y 2. Según se muestra en la figura 26, en la parte superior se encuentran desligadas de la estructura, por lo que al incluirlas en el modelo se pueden generar modos locales de poca relevancia para el estudio. Para tomar en consideración las masas, se calculó el peso tributario y se asignó las cargas en los respectivos puntos de apoyo. En ambos casos las escaleras se apoyan en los entresijos. Por otro lado, la escalera del nivel 1 se encuentra apoyada sobre una losa, mientras que la del nivel 2 lo hace directamente sobre el terreno, por lo que en este último caso se desprestigia el peso de dichos puntos.

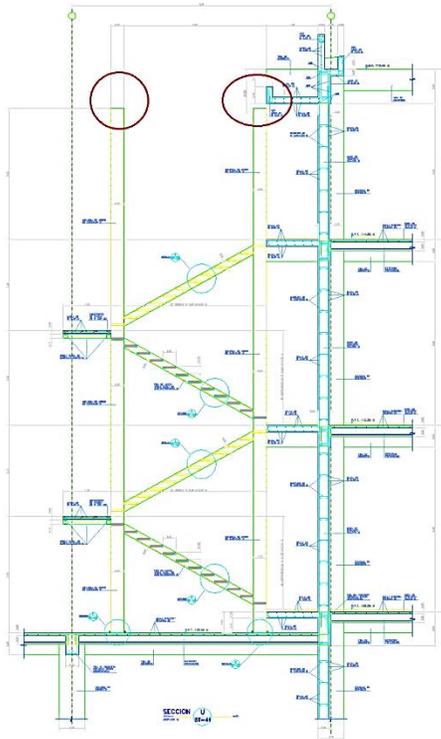


Figura 26. Detalle de escaleras de emergencia

Por otro lado, la escalera principal también se encuentra desligada de los muros (figura 27) conectando solamente con las vigas de entrepiso (figura 28), en el apéndice 3 se adjunta una fotografía del sitio donde se muestra lo anterior. Debido a esto se calculó el peso tributario por nivel de la escalera principal y se asignó como carga distribuida sobre las vigas de entrepiso.

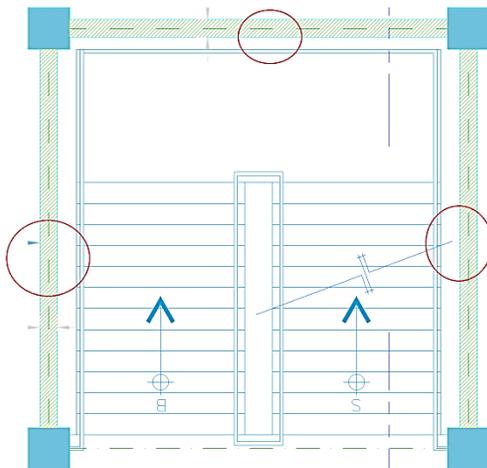


Figura 27. Detalle en planta de escalera principal

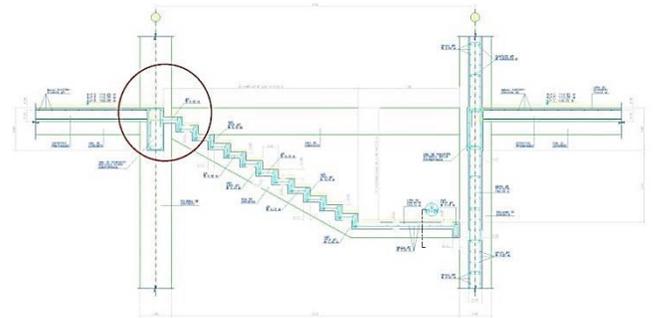


Figura 28. Detalle transversal de escalera principal

En el apéndice 2 se muestra el detalle de los cálculos de las cargas distribuidas equivalentes tanto para las escaleras de emergencia como principal.

Rampas

Actualmente, la estructura cuenta con dos rampas que comunican el sótano con las calles colindantes en el extremo sur y este, las cuales son de concreto reforzado. Se modelaron como paneles inclinados y debido a que su comportamiento se va a regir por la aplicación de cargas tanto verticales como laterales, se usó elementos tipo Shell.

Tamaño de elementos finitos

El tamaño de elementos puede ser definido en RSA indicando la cantidad de divisiones o bien ingresando de forma manual su magnitud. En este caso, se asignó directamente el tamaño de los elementos ya que el edificio cuenta con paneles que varían sus dimensiones teniendo unos más largos que otros, por lo que al indicar la cantidad de divisiones el tamaño varía entre un panel y otro, perdiendo uniformidad. Según Kosakowski & Gaweda (2015), en estas situaciones seleccionar la magnitud del elemento hace que el mallado de los diferentes elementos

sea lo más coherente tanto de forma individual como grupal.

Existen dos factores muy importantes por considerar al momento de discretización y seleccionar un adecuado tamaño de elemento.

- **Relación de aspecto:** debe ser lo más aproximado a una unidad, entre más se cumpla esta condición el porcentaje de error en desplazamientos va disminuyendo (Bhavikatti, 2004), tal y como se observa en la figura 29.

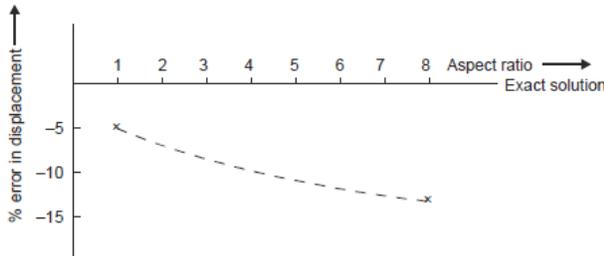


Figura 29. Efecto de la relación de aspecto en los resultados de desplazamiento. Fuente. (Bhavikatti, 2004).

Al asignar una dimensión de elemento finito en RSA se “genera una malla de elementos similar a un cuadrado, cuyos lados son de la dimensión asignada” (Autodesk, 2020) es decir, trata de mantener una relación de aspecto lo más cercano a uno.

- **Cantidad de elementos:** entre más cantidad de elementos la solución cada vez es más exacta, sin embargo, el programa al estar sometido a desarrollar más soluciones se compromete la memoria y tiempo computacional. Por otro lado si se usa una cantidad de elementos menor pasa lo contrario, menos tiempo computacional pero una solución menos exacta. Por lo que se debe procurar que exista un balance entre ambos.

Para esto, se procedió a realizar una prueba en donde se modeló uno de los muros más grandes del edificio (con dimensiones de 9m de largo x 3,9m de alto y espesor de 30cm) mostrado en la figura 30, al cual se le asignó una carga lateral, mientras se variaba el tamaño de los elementos finitos.

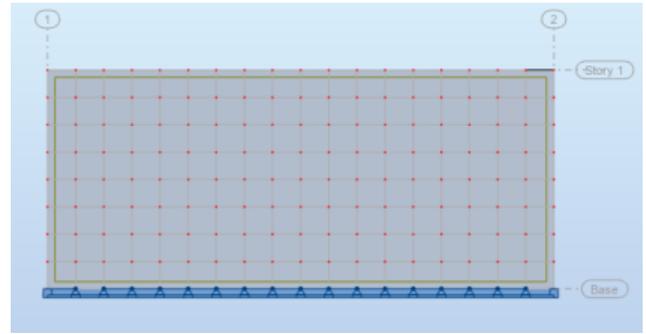


Figura 30. Mallado final muro de prueba

Se tomó como referencia la variación de los desplazamientos de un mismo nodo conforme el mallado se hacía más denso, de esta manera cuando los resultados comenzaron a converger mostrando poca diferencia entre ellos, se tiene una base más clara del tamaño ideal que aproxime una solución adecuada, tal y como se muestra en la figura 31. De esta forma se eligió un tamaño de elemento de 50cm en donde los resultados son satisfactorios y la demanda computacional es aceptable.

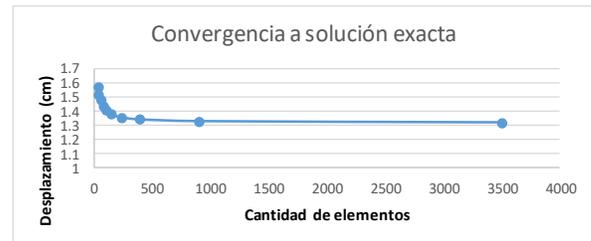


Figura 31. Convergencia de resultados según mallado para elementos finitos.

Asignación de cargas

Las cargas a las que va a estar expuesta la estructura se categorizan en cargas muertas o permanentes y cargas vivas. También, se encuentran las cargas accidentales como por ejemplo sismos, viento, empuje de terreno, entre otros, las cuales debido a que no es de interés para el presente proyecto, no se tomaron en cuenta.

Carga muerta

Las cargas muertas o permanentes corresponden al peso propio de los componentes estructurales y los pesos adicionales de los elementos que no forman parte del sistema sismo-resistente pero que de igual manera aportan masa a la estructura de manera permanente. RSA toma las propiedades de densidad de los materiales y automáticamente calcula el peso propio de la estructura, mientras que para las cargas adicionales o sobrecargas muertas, se utilizó los planos arquitectónicos los cuales muestran el detalle de los acabados. También para aproximar el peso de estos elementos se utilizó el documento “Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras” del año 2010 de Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés), el cual presenta una lista de tipos de acabados con una aproximación del peso unitario. En el cuadro 6 se muestra un resumen de las cargas adicionales aplicadas a cada nivel del edificio Torre Sur.

Cuadro 6. Cargas muertas adicionales				
Nivel	Tipo	Detalle	Carga (kg/m ²)	Carga aplicada (kg/m ²)
Nivel 1 (101.75)	Pisos	Vinil	5	5
	Cielos	Fibra Mineral	5.1	5.1
	Paredes livianas	Gypsum	40	59
		Convitec	78	
	Instalaciones electromecánicas	-	20	20
Total N1				89.1
Nivel 2 (106.05)	Pisos	Vinil	5	5
	Cielos	Fibra Mineral	5.1	8.05
		Gypsum	11	
	Paredes livianas	Gypsum	40	59
		Convitec	78	
Instalaciones electromecánicas	-	20	20	
Total N2				92.05
Nivel 3 (110.35)	Pisos	Vinil	5	5
	Cielos	Fibra Mineral	5.1	8.05
		Gypsum	11	
	Paredes livianas	Gypsum	40	59
		Convitec	78	
Instalaciones electromecánicas	-	20	20	
Total N3				92.05
Nivel 4 (114.65)	Pisos	Vinil	5	5
	Cielos	Fibra Mineral	5.1	5.1
		Gypsum	40	
	Paredes livianas	Gypsum	40	59
		Convitec	78	
Instalaciones electromecánicas	-	20	20	
Total N4				89.1

Debido a que el documento de la ASCE (2010) incluye materiales comúnmente usados a nivel global, no vienen detalles tan específicos como cerramientos en convitec. Debido a esto se usó la ficha técnica directamente del fabricante

para obtener el valor de la respectiva carga, la cual se adjunta en el anexo 1.

Carga viva

La carga viva o temporal corresponde al peso variable a la que está expuesta la estructura, por ejemplo maquinaria, tránsito de personas, entre otros. Es recomendable verificar estas cargas visitando el sitio para determinar las condiciones de servicio reales a las que está expuesto el edificio, sin embargo debido a no poder realizar visitas se utilizó las cargas vivas mínimas según el tipo de ocupación recomendadas en el capítulo 6 del CSCR 2010/2014, los cuales se muestran en la figura 32.

Destino del piso	Carga temporal (kg/m ²)
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con peso intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

Figura 32. Cargas temporales unitarias mínimas. Fuente: (CSCR, 2010/2014)

En la figura 32 se muestra que para edificios con ocupación de hospitales se recomienda utilizar un mínimo de carga temporal de 200 kg/m².

Factores de participación

Los factores de participación son multiplicadores que determinan el porcentaje que se considera en el análisis modal de los casos de carga al transformarlos a masas. El CSCR 2010/2014 menciona en el capítulo 6, que para la determinación de la carga sísmica el peso de cada nivel debe ser su peso permanente más una fracción de su carga temporal, es decir, que el

factor de participación para la carga muerta es uno, sin embargo debido a que es muy poco probable que cualquier estructura en algún momento determinado se encuentre ocupada a un cien por ciento de su capacidad, el factor de participación para las cargas vivas son más bajos y varían en función de sus condiciones de servicio. Para el caso de edificios el CSCR 2010/2014 sugiere utilizar un 15%. Estos factores se asignaron utilizando la herramienta “Conversión de cargas a masas” mostrada en la figura 33.

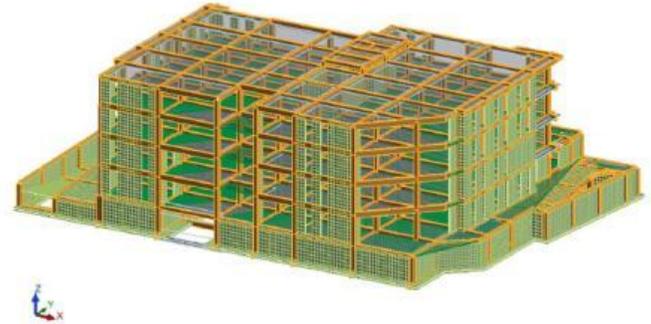


Figura 34. Modelo analítico final de Edificio de Emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur).

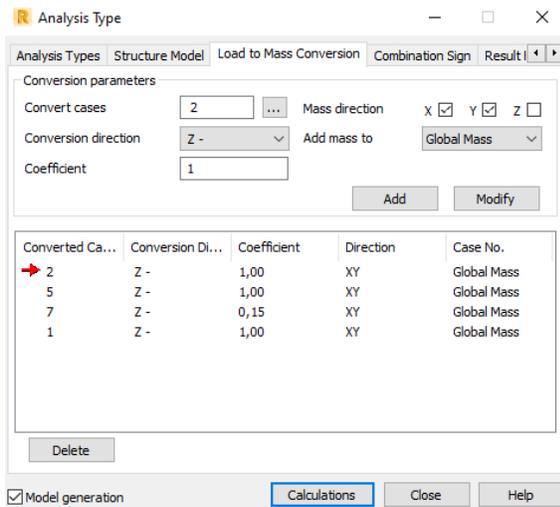


Figura 33. Factores de participación.

En la figura 33 se observa que la dirección de conversión corresponde a la dirección de la gravedad la cual hace referencia al eje **z** negativo según las coordenadas globales asignadas. Luego, la dirección de aplicación de las masas luego de ser convertidas, corresponde a los grados de libertad en los que se espera el comportamiento dinámico, los cuales para el caso en estudio son los ejes horizontales **x** y **y**. Por último, se determina que se asigne a la masa global de la estructura.

Modelo final

Una vez definidos los elementos estructurales así como la respectiva asignación de cargas se obtuvo el modelo analítico mostrado en la figura 34.

Parámetros de análisis modal

Existen ciertos parámetros que hay que determinar antes de correr el análisis modal, los cuales se muestran en la figura 35.

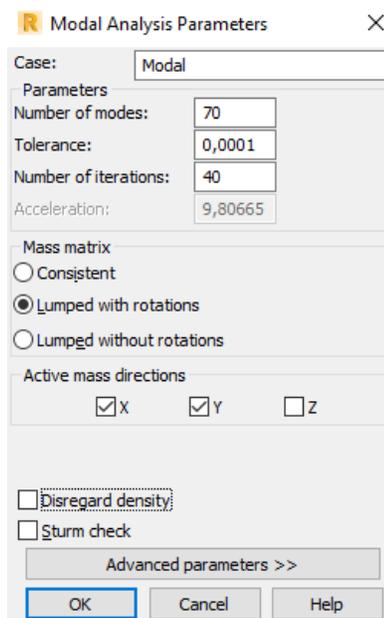


Figura 35. Parámetros de análisis modal.

Para la cantidad de modos tomados en cuenta, el CSCR 2010/2014 menciona en el capítulo 7, que el número de modos deber ser tal que el porcentaje de masa acumulada en las direcciones ortogonales sea de al menos un 90 por ciento, criterio que se alcanza a partir del modo sesenta y cuatro. A pesar de que la finalidad del respectivo análisis no es diseñar, al contar con una masa participativa que alcanza

dicho límite se descarta la posibilidad de no haber tomado en cuenta modos importantes.

Las matrices de masas pueden ser estimadas de tres maneras, según Autodesk (2020) en el manual técnico define dichas matrices de la siguiente manera:

- **Consistente:** matriz consistente considerando los grados de libertad rotacional
- **Concentrada con rotaciones:** Matriz diagonal considerando los grados de libertad rotacional
- **Concentrada sin rotaciones:** matriz diagonal sin considerar los grados de libertad rotacional

También se menciona que al utilizar una matriz de masa concentrada se requiere menos esfuerzo computacional que una consistente y los resultados proveen aproximaciones bastante aceptables, por lo que se utilizó este tipo de matriz contemplando rotaciones.

Por otro lado, la dirección activa de la masa hace referencia al mismo parámetro definido en la herramienta de la figura 33, por lo que se asignó de igual manera las direcciones **x** y **y**.

Finalmente, se encuentra la opción de “Ignorar la densidad” la cual fue seleccionada debido a que el peso propio fue considerado en los casos de carga, de lo contrario se estaría tomando en cuenta dos veces.

Verificación de resultados

En primera instancia se realizó una comprobación preliminar del periodo uno del modo fundamental. Para esto el capítulo 7, del CSCR 2010/2014 menciona que para sistemas tipo dual con sistemas duales de marcos y muros estructurales, marcos arriostrados o muros de mampostería, siendo este el caso del edificio Torre Sur según lo explicado en la metodología, el primer periodo fundamental se puede aproximar utilizando la ecuación:

$$T = 0.08 N$$

Aproximación de periodo fundamental

En donde:

T: Primer periodo fundamental (segundos)

N: Número de pisos totales

Por otro lado, se calculó manualmente la masa asociada a cada nivel del edificio, así como las coordenadas del centro de masa y centro de rigidez.

Según el CSCR 2010/2014, el centro de masa corresponde al punto geométrico de un nivel donde se localiza la resultante de las fuerzas gravitacionales. Inicialmente se definió un sistema de coordenadas global cuyo origen coincida con el utilizado en RSA, de tal manera que exista un punto de comparación. Luego de esto las coordenadas se calcularon utilizando las ecuaciones mostradas a continuación, tomando en consideración el peso de los entrepisos y las masas contributivas de la mitad de los elementos verticales tanto por encima como por debajo del nivel en estudio.

$$CM_x = \frac{\sum w_i * x_i}{\sum w_i}$$

$$CM_y = \frac{\sum w_i * y_i}{\sum w_i}$$

Cálculo de coordenadas de centro de masa

En donde:

w_i: masa de cada elemento i.

x_i: coordenada en la coordenada global **x** del centroide de cada elemento i.

y_i: coordenada en la coordenada global **y** del centroide de cada elemento i.

Con respecto al centro de rigidez según el CSCR 2010/2014, corresponde al punto geométrico de un nivel en el cual la aplicación de una fuerza horizontal produce solo traslación sin rotación de la masa que le está asociada, cuando se impiden los desplazamientos de los demás niveles. Para el cálculo manual se mantuvo el mismo origen de coordenadas globales utilizado para el centro de masa, de manera que el cálculo se realizó de acuerdo con las ecuaciones:

$$CR_x = \frac{\sum k_{y_i} * x_i}{\sum k_{y_i}}$$

$$CR_y = \frac{\sum k_{x_i} * y_i}{\sum k_{x_i}}$$

Cálculo de coordenadas de centro de rigidez

En donde:

k_{y_i}: rigidez en la dirección **y** de cada elemento i.

kx_i : rigidez en la dirección x de cada elemento i .
 x_i : coordenada en la coordenada global x del centroide de cada elemento i .
 y_i : coordenada en la coordenada global y del centroide de cada elemento i .

Ubicación y tipos de acelerógrafos

Para determinar la ubicación adecuada de acelerógrafos, se tomó en cuenta el objetivo principal de la propuesta: monitorear. A partir de esto se selecciona una distribución uniforme con una cantidad de instrumentos que no fuera extensiva. Como ayuda se utilizó los esquemas mostrados en las figuras 6, 7 y 8.

Por otro lado, se realizó un análisis de los modos representativos del edificio. Para lo cual se incluye solamente los modos con porcentajes de masa participativa importante que predicen de manera más confiable los posibles movimientos del edificio. En el caso de los movimientos rotacionales, RSA muestra los resultados de porcentajes de forma poco representativa como se explica más adelante, por lo que se consideró analizar las excentricidades para tener una idea de la posibilidad de existir rotaciones.

De esta manera, se seleccionó los niveles y puntos en donde se esperan registros que muestren las frecuencias de los modos escogidos, así como los tipos de acelerógrafos más adecuados.

Luego de esto, se utilizó las plantas arquitectónicas de los niveles escogidos para ser instrumentados y se realizó esquemas de ubicación de acelerógrafos, seleccionándose espacios que estén aislados de manera que no sean manipulados ni que se vean afectados por agentes externos como maquinaria o golpes.

Costos

Los costos asociados fueron desglosados en dos partes: costos directos que incluyen el monto asociado a los equipos y sus respectivos accesorios y costos indirectos relacionados con la mano de obra técnica de instalación.

Para la determinación de los costos directos, se contactó con el personal del LIS, de manera que se solicitó información y recomendaciones de proveedores con los que hayan trabajado. Una vez obtenidos los contactos, se solicitó cotizaciones de los equipos escogidos a las marcas Guralp, Kinematics y Reftek, a quienes se les comentó brevemente el proyecto y la esquematización escogida de manera que complementaran las ofertas con recomendaciones. Con lo anterior, las cotizaciones recibidas pueden presentar algunas variaciones sustentadas por sugerencias de los respectivos fabricantes.

En cuanto a la determinación de los costos indirectos, se solicitó información al LIS, debido a que cuentan con amplia experiencia en la implementación de acelerógrafos. Según Esquivel (2020) investigador del LIS, "la última estimación que se había hecho era de que el costo de instalación como un único rubro conteniendo lo que usted me indica era del 10% del costo de los equipos". Por lo que se utilizó dicho porcentaje para tener una idea a grandes rasgos de este rubro.

Resultados

Análisis modal

Una vez finalizada la etapa de modelamiento del edificio, se procedió a realizar el respectivo análisis modal. La gran mayoría de modos representan vibraciones locales, solo los tres primeros modos y el modo dieciséis son de relevancia, por lo que se toma en cuenta hasta este último. En los cuadros 7 y 8 se presenta los valores de periodos y masas participativas respectivamente.

Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (seg)
1	3.78	0.26
2	4.07	0.25
3	5.02	0.20
4	7.13	0.14
5	7.36	0.14
6	8.29	0.12
7	8.77	0.11
8	9.36	0.11
9	9.67	0.10
10	10.16	0.10
11	10.38	0.10
12	11.13	0.09
13	11.68	0.09
14	11.88	0.08
15	12.16	0.08
16	13.63	0.07

Modo	Participación UX (%)	Participación UY (%)	Participación RZ (%)	Acum UX (%)	Acum UY (%)	Acum RZ (%)
1	7.56	37.27	0.00	7.56	37.27	0.00
2	36.16	8.33	0.00	43.72	45.60	0.00
3	0.90	1.11	0.01	44.61	46.71	0.01
.
.
.
16	0.20	20.56	0.02	50.90	71.06	0.02
.
.
.
64	1.40	0.68	0.00	90.09	91.80	0.07

Modos principales

Se presentan los principales modos de vibración con sus respectivas formas modales.

Modo 1

El primer modo de vibración corresponde un movimiento traslacional paralelo al eje **y** global, con un periodo de 0.26 segundo, siendo este el modo de vibración fundamental presente en la estructura. En las figuras 36 y 37 se presenta sus deformadas con vistas laterales y en planta respectivamente.

Modo 2

El segundo modo corresponde a un movimiento traslacional paralelo al eje **x**, con un periodo de 0.25 segundos. En las figuras 38 y 39 se presenta sus deformadas con vistas laterales y en planta respectivamente.

Modo 3

El tercer modo corresponde a un movimiento rotacional alrededor del eje z , con un periodo de 0.20 segundos. En las figuras 40, 41 y 42 se presenta sus deformadas con vistas laterales y en planta respectivamente.

Modo 16

El modo dieciséis corresponde a un movimiento traslacional paralelo al eje y , con un periodo de 0.07 segundos. En la figura 43 se presenta su deformada con vista lateral.

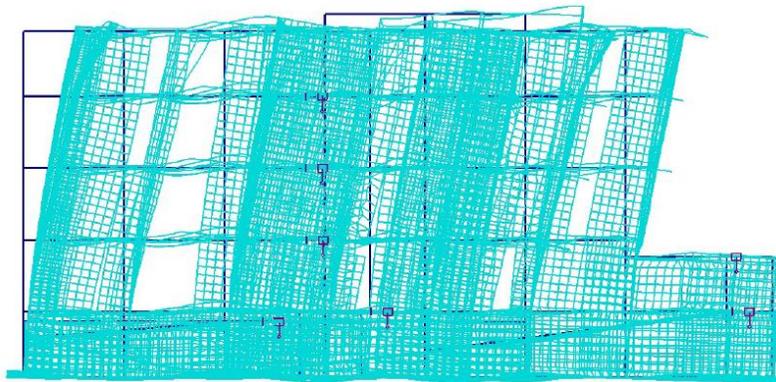


Figura 36. Vista lateral sobre el eje y del modo 1

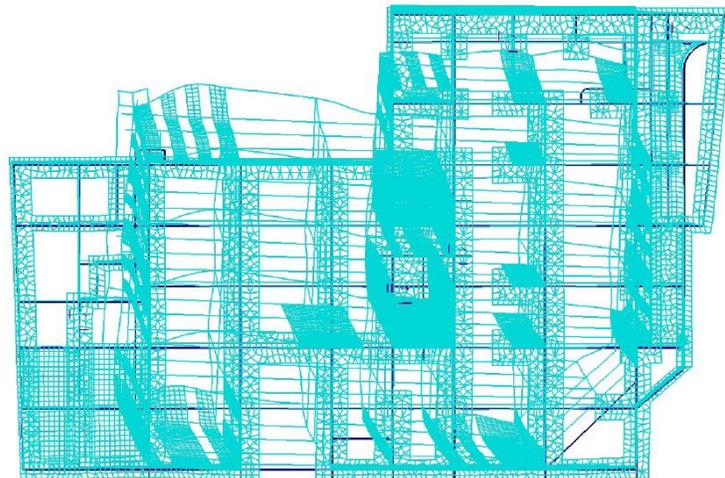


Figura 37. Vista superior del modo 1

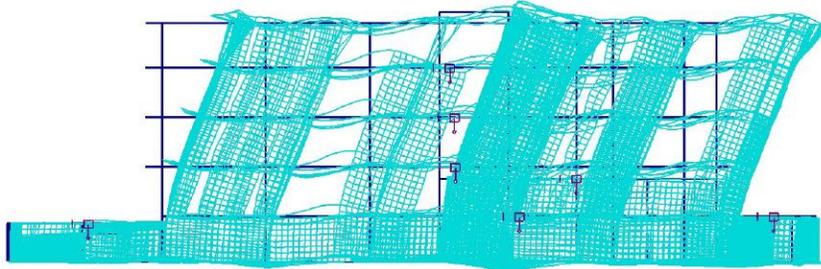


Figura 38. Vista lateral sobre el eje x del modo 2

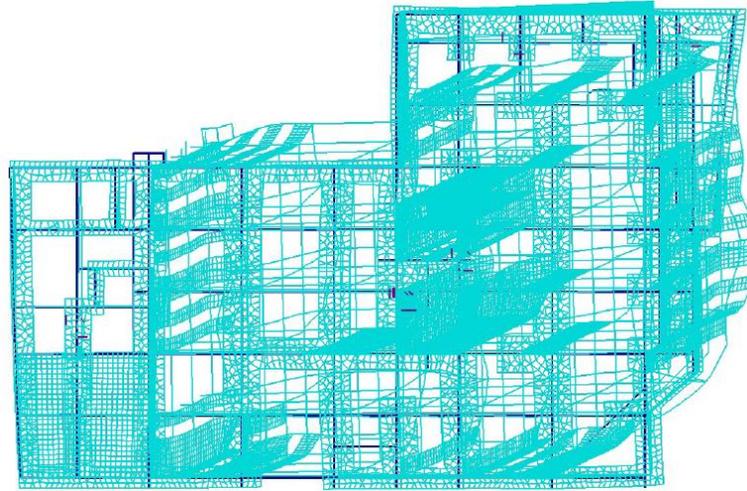


Figura 39. Vista superior del modo 2

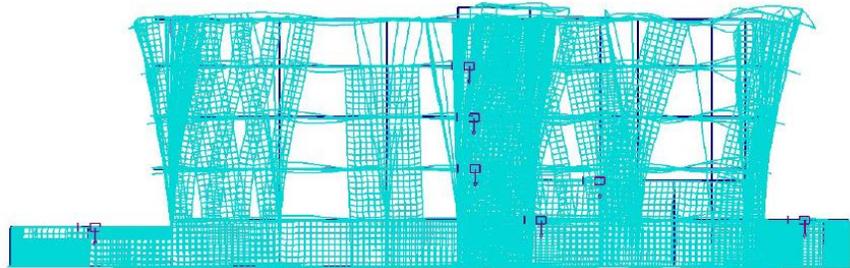


Figura 40. Vista lateral sobre el eje x del modo 3

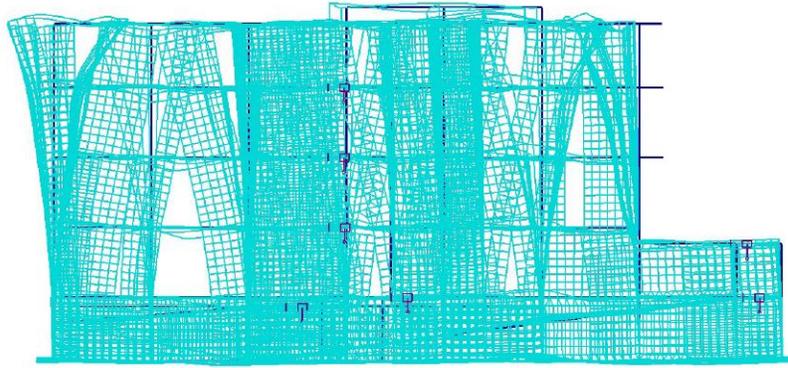


Figura 41. Vista lateral sobre el eje y del modo 3

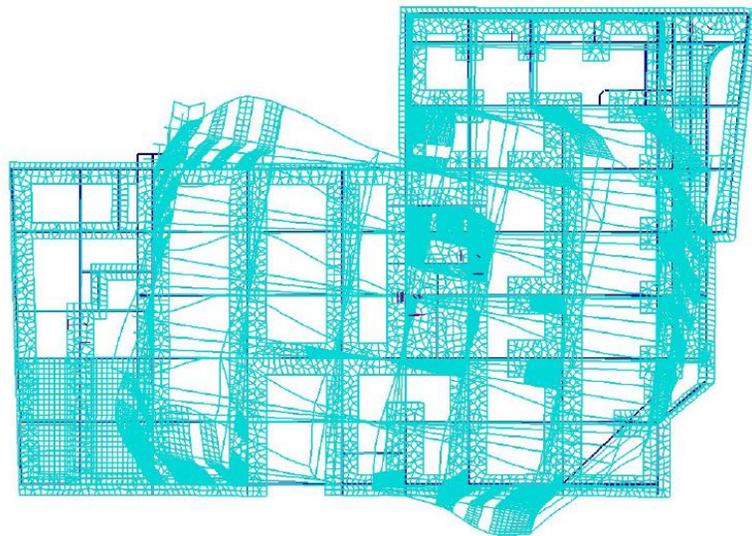


Figura 42. Vista superior del modo 3

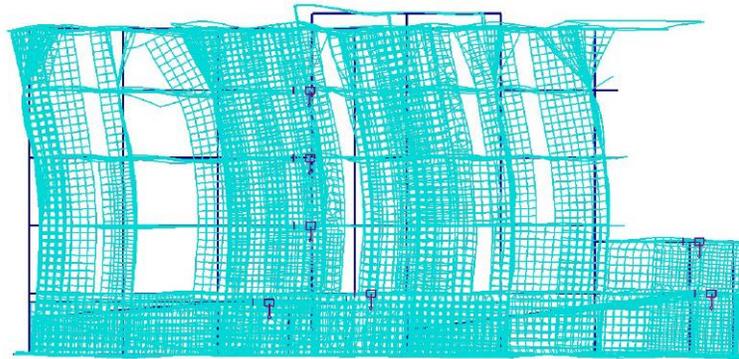


Figura 43. Vista lateral sobre el eje y del modo 16.

Verificación de resultados

El edificio en estudio cuenta con un número total de cuatro pisos, por lo que al usar los lineamientos del CSCR2010/2014 mencionados en la metodología se obtiene un periodo fundamental de 0.32 segundos. Se observa que el periodo obtenido en el cuadro 7 es de 0.26 segundos.

Por otro lado, en el cuadro 9 se muestra las masas calculadas tanto de manera manual como a través de RSA, de igual forma el cuadro 10 se presenta un resumen comparativo entre los centros de masa calculados manualmente y los centros de masa calculados por RSA. En el apéndice 2 se adjunta la respectiva memoria de cálculo.

Nivel	Masa Propia (kgf)	Cálculo Robot (kgf)	% Diferencia
1	1502789.78	1564503.87	3.94%
2	1102656.631	1048613.89	-5.15%
3	1040310.421	995097.15	-4.54%
4	978783.855	930419.59	-5.20%

Nivel	Cálculo manual		Cálculo Robot		Diferencia (%)	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (%)	y (%)
1	42.91	21.08	42.61	20.82	0.70%	1.24%
2	39.48	17.75	38.36	17.82	2.83%	0.37%
3	39.22	17.60	38.52	17.81	1.78%	1.20%
4	39.18	17.67	38.19	17.81	2.53%	0.82%

Con respecto al centro de rigidez, en el cuadro 11 se muestra los valores obtenidos del centro de rigidez calculados de forma manual y comparándolo con los obtenidos por medio de RSA. En el apéndice 2 se adjunta la respectiva memoria de cálculo.

Nivel	Cálculo manual		Cálculo Robot		Diferencia (m)	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (%)	y (%)
1	42.93	22.50	41.22	15.04	3.98%	33.16%
2	36.86	18.29	37.29	18.22	1.17%	0.38%
3	41.88	17.92	45.39	17.80	8.38%	0.67%
4	38.25	17.30	39.52	17.39	3.32%	0.52%

Ubicación y tipos de acelerógrafos

Se utilizó la distribución propuesta en la figura 6d ubicando tres acelerógrafos de tipo triaxiales en el sótano, el último nivel y un nivel intermedio el cual corresponde al piso tres. Estos se ubicaron alineados de manera vertical en el cuarto eléctrico que se encuentra detrás de los ascensores el cual representa un lugar aislado cerca del centro de rigidez para registrar movimientos traslacionales.

Adicionalmente, se propuso un acelerógrafo triaxial en la bodega que se ubica más al extremo del piso tres para registrar movimientos torsionales (de ser el caso que se demuestre la importancia del modo rotacional).

Los esquemas de ubicación para el sótano, nivel tres y último se muestran en las figuras 44, 45 y 46 respectivamente.

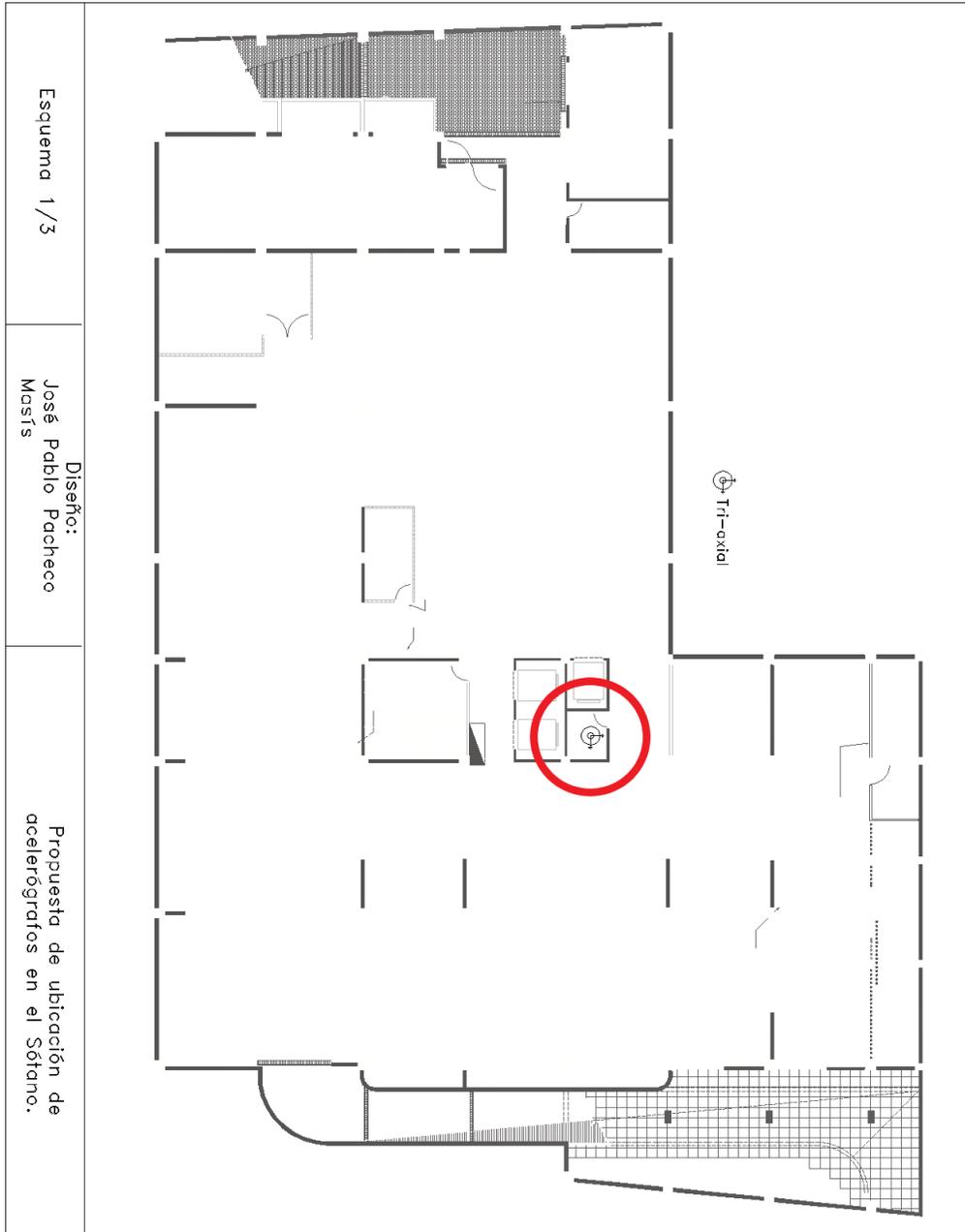


Figura 44. Esquema de ubicación de acelerógrafos, nivel de sótano.

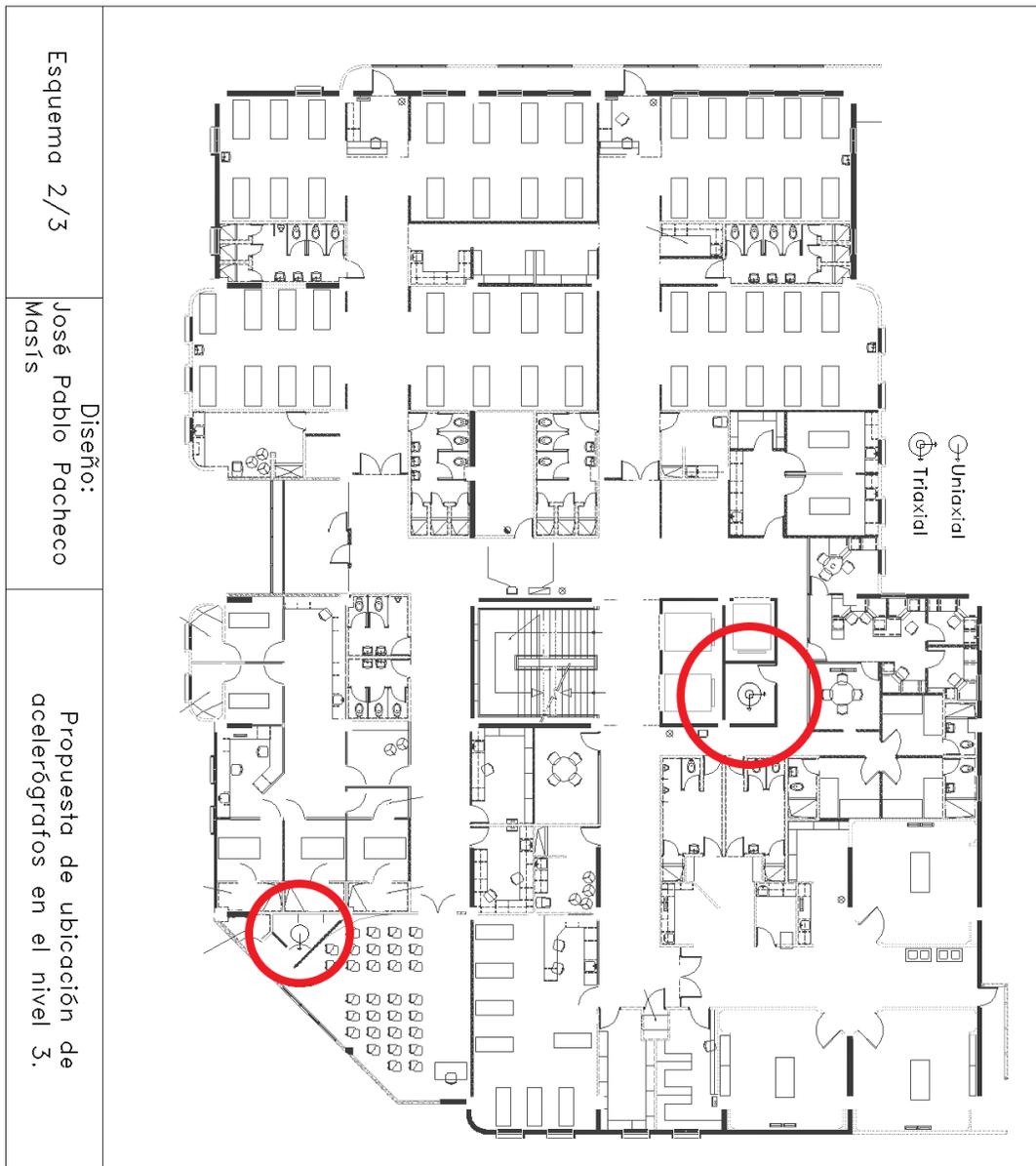


Figura 45. Esquema de ubicación de acelerógrafos, nivel tres.

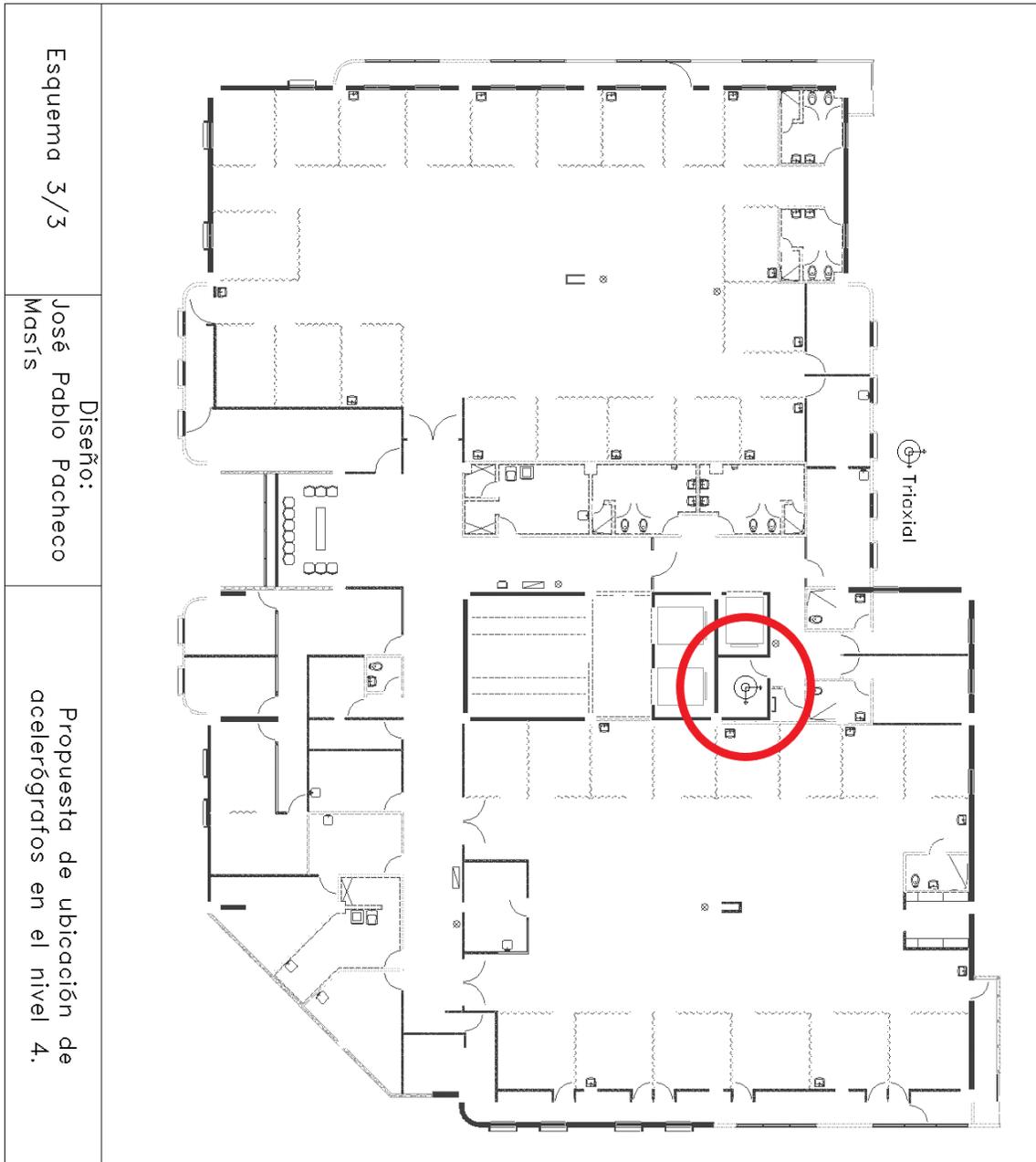


Figura 46. Esquema de ubicación de acelerógrafos, nivel cuatro

Costos

A continuación se presenta una estimación de costos que incluye el monto asociado a los equipos, a la instalación y un porcentaje de imprevistos para cada cotización recibida.

En el caso de Guralp, se recibió una oferta con cuatro acelerógrafos de tipo triaxial, en el cuadro 12 se muestra el respectivo resumen.

Cuadro 12. Costo aproximado equipo Guralp			
Costos Directos			
Productos	Cantidad	Modelo	Costo (\$)
Acelerógrafo triaxial	4	Fortimus	\$ 68,324.00
Costos Indirectos			
Detalle			Costo (\$)
Mano de obra técnica de instalación			\$ 6,832.40
Total			\$ 75,156.40

Reftek por su parte, sugirió utilizar un sistema multicanal con capacidad para 12 sensores, adjuntando de igual manera tres sensores triaxiales y uno uniaxial (este último para movimientos rotacionales). El resumen respectivo se muestra en el cuadro 13

Cuadro 13. Costo aproximado equipo Reftek			
Costos Directos			
Productos	Cantidad	Modelo	Costo (\$)
Sistema multicanal de 12 sensores	1	130-MC 12A	\$ 43,908.98
Sensor tri-axial	3	147A-01-03	
Sensor uni-axial	1	147A	
Costos Indirectos			
Detalle			Costo (\$)
Mano de obra técnica de instalación			\$ 4,390.90
Total			\$ 48,299.88

Finalmente, Kinometrics ofreció dos acelerógrafos triaxiales para ubicar en el sótano y último nivel y para el nivel tres un tercer acelerógrafo triaxial con la diferencia que cuenta con un sensor extra uniaxial para ubicar en el extremo. El resumen se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Costo aproximado equipo Kinometrics			
Costos Directos			
Productos	Cantidad	Modelo	Costo (\$)
Acelerógrafo triaxial	2	Etna 2	\$ 30,505.00
Acelerógrafo triaxial + uniaxial	1	Obsidian	
Costos Indirectos			
Detalle			Costo (\$)
Mano de obra técnica de instalación			\$ 3,050.50
Total			\$ 33,555.50

Análisis de los resultados

Verificación de resultados

Inicialmente se puede observar que el periodo a través de RSA muestra un valor bajo debido a que al ser una estructura con poca altura, gran área en planta y cantidad importante de muros de corte se convierte en una estructura muy rígida haciendo que los periodos disminuyan, por otro lado la suposición del periodo según el CSCR 2010/2014 es de 0.6 segundos mayor, esto se debe a que el método utilizado es una aproximación preliminar muy conservadora ya que solo toma en cuenta la cantidad de pisos.

Debido a esto, se realizó un cálculo manual de las masas asociadas a cada entrepiso. En el cuadro 9 se observa que las diferencias porcentuales con respecto a las masas calculadas a través de RSA son bajas con un valor máximo de 5.20 % en el nivel 4, esto quiere decir que la masas para cada piso consideradas en el análisis modal por el programa son las correctas. También, se observa en el cuadro 10 que las coordenadas del centro de masa calculadas de manera manual son muy parecidas a las reportadas por RSA con diferencias máximas de 2.53% en la coordenada **x** en el nivel 4, valores que fundamentan la veracidad del comportamiento dinámico del edificio a través del modelo.

Por otro lado, al referirse al centro de rigidez se puede notar en el cuadro 11 que existen diferencias considerables en la coordenada **y** del nivel uno y la coordenada **x** del nivel tres, esto se debe a la metodología utilizada por RSA para calcular los centros de rigidez. Según Autodesk (2020) en el manual técnico de

RSA, las coordenadas del centro de rigidez se calculan por medio de las ecuaciones:

$$R_x = \frac{\sum (X_i * I_{xi})}{\sum (I_{xi})}$$

$$R_y = \frac{\sum (Y_i * I_{yi})}{\sum (I_{yi})}$$

Cálculo de coordenadas de centro de rigidez según metodología usada por RSA

En donde:

X_i, Y_i: coordenadas en **x** y **y** respectivamente, del centro de rigidez el elemento **i** en el sistema de coordenadas global.

I_{xi}, I_{yi}: momento de inercia del elemento **i** alrededor de su eje central (centro de gravedad) paralelo al eje **x** y **y** global respectivamente.

Es decir, RSA solamente toma en cuenta las propiedades geométricas de los elementos verticales, lo cual no es apropiado debido a que las rigideces de los materiales tienen un aporte importante. Con el fin de corroborar que las variaciones obtenidas corresponden al uso de diferentes metodologías, se calculó el centro de rigidez de todo el edificio nuevamente de manera manual, con la variante de que ésta vez se usó la metodología implementada en RSA, obteniendo los resultados del cuadro 15.

Nivel	Cálculo manual		Cálculo Robot		Diferencia (%)	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (%)	y (%)
1	40.14	18.71	41.22	15.04	2.69%	19.62%
2	37.05	18.21	37.29	18.22	0.65%	0.05%
3	45.02	17.96	45.39	17.80	0.82%	0.89%
4	38.94	17.58	39.52	17.39	1.49%	1.08%

El cuadro 15 evidencia que las diferencias entre las coordenadas x para el nivel tres son muy bajas, también se aprecia que la diferencia de la coordenada y para el nivel uno disminuyó drásticamente de 33.16% a 19.62%, asimilándose más a los resultados presentados en RSA. Es importante recalcar que dicha diferencia en realidad corresponde a una distancia de 3.66m, la cual sigue siendo aceptable ya que la dimensión mayor en la coordenada y para el nivel 1 es de 44.75m y los cálculos son aproximaciones.

Análisis modal

Se observa en el cuadro 8 que los valores de masas participativas rotacionales R_z son prácticamente nulos, inclusive en el tercer modo el cual es el torsional (Ver deformada en las figuras 40, 41 y 42), esto se debe también a la manera de cálculo por medio de la cual trabaja RSA.

Generalmente, los resultados de masas rotacionales son reportados en las coordenadas del centro de masa, obteniendo así el porcentaje de participación. Este principio es utilizado en múltiples programas de análisis estructural, como lo es el caso de ETABS o SAP2000 en donde en su manual de referencia de análisis mencionan que “los factores de participación modal y los diversos porcentajes de participación modal para las aceleraciones R_x , R_y y R_z son reportados en el centro de masa de la estructura. Esto hace que los factores y porcentajes de participación modal sean más significativos debido a que no incluyen contribución de las aceleraciones traslacionales” (CSI, 2016).

Para comprender la metodología utilizada en RSA se acudió al manual técnico, sin embargo este no cuenta con una explicación sobre el cálculo de porcentaje de masa rotacional.

Según Pulak (2020), el componente de masa torsional (momento de inercia torsional) es considerado para las:

1. Cuando el “modelo de cálculo de panel” sin elementos finitos y con diafragma rígido es utilizado para el panel.
2. Solo es considerado para el peso propio de la losa de entrepiso cuando se incluye directamente en el análisis modal.

3. No es considerado para ninguna carga adicional aplicada al panel y transformado a masas, tampoco para el peso propio transformado a masa.

De tal manera que en el primer punto, la herramienta “modelo de cálculo de panel” (Ver figura 22) determina la conexión rígida entre nodos y la manera en que las cargas serán distribuidas. Para el sistema de entrepiso, el análisis por elementos finitos no fue considerado y la determinación de diafragma rígido no fue generada de forma automática, sino usando la herramienta “rigid link”, por las razones explicadas en la metodología.

Con respecto al segundo punto, el peso propio de la estructura fue estimado como un caso de carga y factor de participación igual a uno, por lo que si se refiere a los parámetros de análisis modal como menciona Pulak (2020), se duplicaría la masa. El peso propio se consideró como caso de carga ya que es la única forma de poder visualizar el comportamiento de la estructura ante el mismo de manera individual, lo cual resulta útil para descartar anomalías en elementos o error en conexiones.

Por último, con respecto al punto tres, todos los casos de carga creados (incluyendo el peso propio) que son transformados a masas no son considerados en los cálculos de los valores de masa participativa en R_z . Según Pulak (2020), esto se debe a que dichas masas resultado de la conversión de cargas a masas no se concentran de manera puntual con sus respectivos momentos de inercia, sino que se distribuyen a través de áreas tributarias a los elementos de soporte (columnas y muros), sin los componentes rotacionales. El comportamiento rotacional global se obtiene por la acción traslacional en apropiadas distancias del centro de masa. Por estas razones RSA no muestra masas participativas.

Modos principales

Para poder determinar la importancia de un modo oscilatorio se recurre a los porcentajes de masa participativa asociadas a cada uno y a sus representaciones gráficas. La gran mayoría de modos corresponden a movimientos locales debido a su bajo periodo y porcentaje de masa participativa. Luego de revisar cada uno se determinó que los primeros tres modos y el modo

traslacional dieciséis son los que pueden representar mejor el comportamiento dinámico del edificio y servir como base para la propuesta de ubicación de acelerógrafos.

Generalmente, en estructuras que no presenten irregularidades graves, se espera que los primeros tres modos sean dos traslacionales en las direcciones horizontales y uno rotacional, debido a que la estructura cumple con esto según se aprecia en el cuadro 16, efectivamente los primeros comportamientos cumplen con lo esperado.

El primer modo corresponde al modo fundamental, en el caso en estudio se observa que este corresponde a un modo traslacional paralelo al eje horizontal **y** tal y como se observa en la figura 36, lo cual es de esperarse debido a que las cargas gravitacionales se distribuyen en esta dirección por la orientación de las viguetas de entrepiso. También, todos los niveles por encima del nivel de terreno tienen un mayor aporte de masa en dirección **y** ya que el sistema estructural es ligeramente más extenso en ésta dirección. Por otro lado la distribución de los muros de corte aportan mayor rigidez a la estructura en la dirección **x**, por ésta razón el comportamiento principal se da en la dirección del modo uno. En cuanto al periodo se obtiene un valor de 0.26 segundos el cual es coherente debido a que se trata de un edificio muy rígido debido a su poca altura, gran área en plantas y una cantidad importante de muros de corte, generando frecuencias altas o bien periodos bajos. La masa participativa para este caso es de un 37.27 por ciento, un valor alto que determina la importancia por el cual fue considerado para determinar la posición de los acelerógrafos.

Seguidamente, el segundo modo corresponde de igual manera a un modo traslacional, ésta vez orientado en la dirección **x** tal y como se observa en la figura 38. La masa participativa corresponde a un 36.16 por ciento, siendo este ligeramente menor que el primer modo lo cual se debe a las configuraciones geométricas y rigidez de la estructura descritas, de igual manera, es un valor importante por lo cual fue considerado para la determinación de la distribución de instrumentos. Para este caso el periodo fue de 0.25 segundos siendo prácticamente el mismo que en la dirección **y**, variando apenas en 0.01 en su magnitud.

Según lo descrito, es de esperarse que el comportamiento dinámico de la estructura sea el mismo en ambas direcciones traslacionales.

Con respecto al modo tres, corresponde a un modo torsional con un periodo de 0.20 segundos. Para poder determinar su importancia se consideró la masa participativa, la cual según el cuadro 8 corresponde a un valor de 0.01 por ciento, sin embargo debido a las metodologías de trabajo de RSA explicadas con anterioridad al inicio de esta sección, los valores calculados no incluyen el peso propio ni cargas adicionales, lo que refleja porcentajes prácticamente nulos, por lo que no es un buen indicativo para determinar la relevancia del modo. Como segunda alternativa se revisó las excentricidades en cada nivel para identificar si existen irregularidades importantes que aumenten la posibilidad de que el edificio presente rotaciones. Para esto, se utilizó las coordenadas de centro de masa y rigidez calculadas manualmente partiendo de la rigidez de los elementos verticales, según lo establece el (CSCR 2010/2014). En el cuadro 16 se puede observar dichos resultados.

Nivel	Coordenadas CM (m)		Coordenadas CR (m)		Dimensión mayor (m)		Excentricidades (%)	
	x	y	x	y	x	y	ex	ey
	1	42.91	21.08	42.93	22.50	56.60	44.75	0.04%
2	39.48	17.75	36.86	18.29	50.93	36.00	5.14%	1.49%
3	39.22	17.60	41.88	17.92	50.93	37.50	5.23%	0.86%
4	39.18	17.67	38.25	17.30	50.93	37.50	1.83%	0.97%

El (CSCR 2010/2014) indica en el capítulo cuatro, que un edificio es irregular cuando en algún nivel las excentricidades en cada dirección ortogonal exceden un 5% la dimensión en planta en la respectiva dirección. Según los valores mostrados en el cuadro 16 el edificio no cuenta con excentricidades mayores a dicho porcentaje en la dirección **y**. Sin embargo, en la dirección **x**, en los niveles dos y tres se supera en 0.14% y 0.23% respectivamente, lo cual es prácticamente despreciable y debido a que estos cálculos son simples aproximaciones el edificio puede seguir clasificando como regular. Por lo anterior, se puede determinar a groso modo que el edificio disminuye sus posibilidades de sufrir rotaciones, sin embargo, el hecho que el edificio sea regular en planta no descarta la posibilidad de que exista comportamiento rotacional importante, debido a que las condiciones reales de la estructura, años de servicio, reparaciones y/o modificaciones por las

que haya pasado pueden afectar dicho comportamiento.

Evidentemente el uso de diferentes metodologías con las que trabaja RSA y el hecho de no haber podido realizar una calibración del modelo a través de medición de pruebas ambientales, no fue posible determinar de manera confiable la importancia del tercer modo rotacional, es por esto que se recomienda realizar medición de vibraciones ambientales para verificar si la rotación en el edificio es importante y a partir de esto decidir si se incluye o no el acelerógrafo uniaxial ubicado al extremo del nivel 4 en la instrumentación permanente. Para esto se sugiere seguir los lineamientos propuestos en la guía metodológica desarrollada como parte de los objetivos específicos, la cual se adjunta en el apéndice 1.

Luego, el modo dieciséis corresponde a un movimiento traslacional sobre el eje **y** con una masa participativa importante de 20.56 por ciento, sin embargo según se observa en el cuadro 7 el periodo es sumamente bajo con un valor correspondiente a 0.07. Debido a que el primer modo es de igual manera traslacional sobre el eje **y** pero con una masa y periodo más importantes, sería redundante considerar ambos.

Ubicación de acelerógrafos

La ubicación de acelerógrafos mantiene una dependencia directa de los principales modos considerados. Ya que se espera que los movimientos traslacionales sean los de mayor relevancia y que el objetivo primordial de la CCSS es monitorear se procuró proponer una distribución que no sea muy extensiva pero que dé registros suficientes para que el monitoreo se desarrolle de manera adecuada. Basándose en las configuraciones básicas preliminares mostradas en las figuras 6 y 7, siempre es recomendable colocar un acelerógrafo en la base para obtener respuesta del movimiento de fundaciones. Otro punto escogido fue el último piso de manera que al estar ubicado en la parte más alta, sus amplitudes van a ser mayores lo que brinda más información en las señales. Finalmente, se decidió colocar un acelerógrafo

en un nivel intermedio de manera que se obtenga registros que puedan ser comparados con las otras dos ubicaciones y representen de mejor manera los modos.

Los acelerógrafos propuestos al inicio fueron considerados biaxiales en las direcciones horizontales, ya que la componente vertical sirve solo para medir vibraciones a lo largo de dicho eje, por ejemplo, para registrar el comportamiento de las losas, lo cual no es de interés para la CCSS. Sin embargo, durante el proceso de cotización los proveedores sugirieron considerar triaxiales debido a que la precisión es mayor y presentan menos complejidad de instalación. Por otro lado, a pesar que las componentes verticales no son útiles en el presente estudio, pueden llegar a serlo en futuros proyectos con la ventaja que el equipo se encuentra instalado, por lo tanto se terminó considerando triaxiales.

Finalmente, se propuso un acelerógrafo uniaxial extra ubicado en el nivel intermedio seleccionado y lo más cercano a un extremo alejado hasta donde sea posible, esto para poder considerar los movimientos rotacionales según la figura 8.

A pesar de tener incertidumbre respecto a la importancia del tercer modo torsional, se propone este acelerógrafo extra ya que luego de seguir la recomendación de instrumentar temporalmente el edificio para la medición de vibraciones ambientales y de ser el caso que la rotación sea de interés, se cuenta con una ubicación y la respectiva cotización, de no ser importante la torsión global simplemente se excluye.

Es importante destacar que el nivel tres fue escogido como nivel intermedio para la colocación del acelerógrafo triaxial y uniaxial (de ser necesario) porque es el que presenta mayor excentricidad junto con el nivel dos, sin embargo a mayor altura los movimientos generalmente son mayores.

Debido a que la finalidad primordial es registrar movimientos traslacionales, se procuró colocar los instrumentos lo más cercano al centro de rigidez, para esto se usó los planos arquitectónicos originales para ubicar un espacio que no se vea afectado por vibraciones externas (personas, maquinarias) y que esté ubicado lo más cercano del centro de rigidez de cada nivel. Dichos puntos se encuentran muy cerca del ascensor, por lo que se propuso colocarlos en los

cuartos eléctricos detrás de este, tal y como se observa en los esquemas mostrados en las figuras 44, 45 y 46.

El punto más alejado del nivel tres que cumple las condiciones de cuarto aislado para la ubicación del sensor uniaxial, corresponde a una bodega la cual se observa en la figura 45.

La accesibilidad de los puntos propuestos no se pudo verificar ya que solamente se pudo realizar una visita a campo, la cual fue antes de decidir la ubicación de los acelerógrafos. Por esta razón, las ubicaciones quedan sujetas a cambios posteriores.

respondió que por temas de conectividad suelen utilizar Reftek debido a que, como los equipos están conectados en tiempo real a los servidores de la Universidad de Costa Rica, se debe tener una serie de permisos a nivel de red para el envío de datos. Estos permisos varían dependiendo de la marca de los acelerógrafos, con la CCSS ya se ha logrado que haya comunicación entre servidores utilizando dicha marca. A pesar de esto se realizó cotizaciones con diferentes proveedores para poder tener un punto de comparación respecto a la viabilidad económica de los equipos.

Costos

Se puede observar en los cuadros 2, 3 y 4 que las cotizaciones varían dependiendo de cada proveedor. Primeramente la marca Guralp cotizó cuatro acelerógrafos triaxiales esto debido a que los instrumentos uniaxiales y biaxiales no son muy comerciales, también el asesor de ventas sugirió que la componente vertical puede ser útil para futuros experimentos, sin embargo al ser todos los acelerógrafos triaxiales los precios se elevan siendo la cotización más cara.

La marca Kinematics ofreció una solución la cual incluye dos acelerógrafos triaxiales y un tercer acelerógrafo triaxial con un canal extra de manera que se pueda conectar el episensor (uniaxial). Esta configuración representa con exactitud la propuesta presentada y por no mostrar componentes extra el precio se reduce llegando, prácticamente, a la mitad del precio ofrecido por Guralp y al mismo tiempo el más bajo de los tres.

Para finalizar, la marca Reftek ofrece un sistema multicanal de 12 sensores, de manera que varios sensores pueden ser conectados al sistema principal para tener un registro más completo, la cotización incluye la cantidad de sensores propuestos y se encuentra en un punto intermedio entre los precios dados por las otras dos marcas.

Es importante destacar que los encargados de realizar la respectiva instalación de acelerógrafos en el edificio Torre Sur es el personal del LIS, esto debido al convenio mencionado en la Metodología, por lo que se les hizo una consulta acerca de cuál marca suelen trabajar con la CCSS, a lo cual Esquivel (2020)

Conclusiones

1. Se elaboró una guía metodológica que presenta lineamientos básicos por seguir sobre cómo instrumentar sísmicamente un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte y recomendaciones a considerar para la instalación, procesamiento de datos, mantenimiento y estimación de costos.
2. La propuesta se realizó siguiendo la guía metodológica desarrollada como parte de los objetivos específicos.
3. Se propone colocar tres acelerógrafos de tipo triaxial ubicados en el nivel de sótano, tres y último (cuatro), alineados verticalmente en un punto cercano del centro de rigidez, debido a que los dos primeros modos son traslacionales en los ejes x y y .
4. Adicionalmente, se propone un acelerógrafo uniaxial ubicado en el nivel tres en un extremo accesible debido a que el tercer modo es rotacional alrededor del eje z (de ser el caso que se corrobore la importancia de este).
5. No fue posible determinar la importancia del modo rotacional en el comportamiento del edificio debido a la las metodologías de trabajo utilizadas por el programa Robot Structural Analysis al determinar la masa participativa rotacional y el cálculo de los centros de rigidez.
6. Los modos principales corresponden a movimientos traslacionales sobre los ejes horizontales, por lo que la propuesta va orientada a registrar este comportamiento.
7. La cantidad de modos que se tomen en cuenta debe ser igual a la cantidad necesaria para alcanzar porcentajes de masa participativas en las direcciones ortogonales mayores a 90%, sin embargo como la finalidad no es diseñar se redujo el número para apreciar mejor los modos relevantes.
8. La instrumentación propuesta va enfocada a monitorear el comportamiento dinámico del edificio en vez de analizar, por lo que se utilizó una distribución de acelerógrafos uniforme y no muy extensiva.
9. Los cuartos escogidos para ubicar los acelerógrafos corresponden a puntos preliminares debido a que no fue posible realizar visitas a sitios para verificar la accesibilidad de estos, por lo que quedan sujetos a cambios posteriores.
10. Los costos calculados corresponden a aproximaciones globales debido a que el monto de los costos indirectos se basó en un porcentaje facilitado por el personal del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.
11. Debido a que los equipos Reftek cuentan con los permisos necesarios para el envío de datos en tiempo real a los servidores de la Universidad de Costa Rica, los acelerógrafos utilizados para instrumentar los centros hospitalarios de la CCSS son de dicha marca, de igual forma se realizó dos cotizaciones con Kinematics y Guralp, para tener un punto comparativo.
12. Los acelerógrafos de tipo biaxial y uniaxial son poco utilizados, por lo que

siguiendo las sugerencias de los proveedores se decidió utilizar triaxial.

Recomendaciones

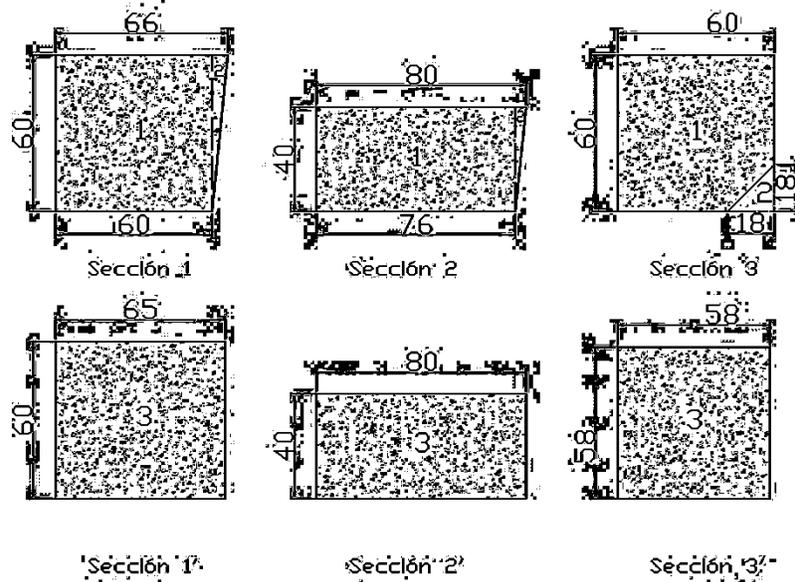
1. Realizar pruebas de vibración ambiental en la estructura para obtener registros que permitan verificar la importancia del tercer modo rotacional.
2. Realizar una calibración del modelo a través de medición de vibraciones ambientales por medio de instrumentación sísmica utilizando una distribución extensiva de acelerógrafos de movimiento fuerte para verificar la veracidad de los resultados obtenidos del modelo computacional.
3. Realizar un presupuesto que incluya una sección más detallada en cuanto a costos indirectos, de ésta manera se tiene un monto final más cercano a la realidad.
4. Realizar un estudio de suelos directamente sobre el terreno en el que está construido el edificio Torre Sur, si bien el estudio del terreno colindante es una buena aproximación, cabe la posibilidad que las propiedades mecánicas puedan tener cambios importantes.
5. Verificar en campo la accesibilidad de los aposentos escogidos para ubicar los acelerógrafos, así como el respectivo aislamiento de manera que los registros no presenten interferencias por factores externos como maquinaria o personas.
6. Realizar pruebas para verificar el estado de los elementos estructurales, por ejemplo, por medio de pruebas a compresión del concreto de manera que pueda ser calibrado el modelo y aproximar más a la realidad el comportamiento dinámico.
7. Utilizar la guía metodológica para instrumentar edificios adjunta en el presente trabajo al realizar pruebas de vibración ambiental para tener una adecuada orientación acerca de las ubicaciones más precisas.

Apéndices

Apéndice 1. Justificación de cambios de sección

Con el fin de justificar la sustitución de columnas presentes en el edificio con secciones transversales irregulares (configuración geométrica basada de secciones más simples y conocidas), por otras más simples se presenta un ejemplo típico que muestra el procedimiento aplicado para demostrar que las columnas originales y sus respectivas sustituciones tienen una diferencia porcentual en sus inercias mínima, lo cual no tiene impactos que alteren de forma significativa los resultados del análisis. El procedimiento presentado a continuación fue aplicado al resto de secciones que presentaron el mismo inconveniente.

Es importante recordar que las inercias dependen directamente de la ubicación tanto del centro de gravedad (centroide) y de la magnitud de sus componentes. Las tres secciones irregulares y sus respectivas sustituciones serían:



Secciones compuestas y sus sustituciones.

Primeramente se debe tomar en cuenta que para poder calcular los momentos de inercia de las secciones compuestas se recurre al Teorema de Steiner (o de los ejes paralelos), descrito en la metodología del presente documento, cuya ecuación para cada eje se vería como:

$$I_{\bar{x}} = I_x + A * dy^2$$
$$I_{\bar{y}} = I_y + A * dx^2$$

Donde “I_x” ó “I_y” corresponden a la inercia de cada elemento simple que compone la figura compuesta, “dy” ó “dx” se refiere a la distancia que hay entre el centroide de cada sección simple con respecto al centroide de la sección compuesta tanto en “y” como en “x” respectivamente y “A” corresponde al área de cada sección simple. Las inercias de secciones más simples como cuadrados y triángulos se conocen por fórmulas conocidas y generalizadas, así como sus respectivos centroides:

Área momento de inercia		
<p>Rectángulo</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{12}$ $\bar{I}_y = \frac{b^3h}{12}$ $\bar{I}_{xy} = 0$ $I_x = \frac{bh^3}{3}$ $I_y = \frac{b^3h}{3}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{4}$ </p>	<p>Círculo</p> <p> $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Media parabólica complementaria</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{37bh^3}{2100}$ $I_x = \frac{bh^3}{21}$ $\bar{I}_y = \frac{b^3h}{80}$ $I_y = \frac{b^3h}{5}$ $\bar{I}_{xy} = \frac{b^2h^2}{120}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{12}$ </p>
<p>Triángulo rectángulo</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}$ $\bar{I}_y = \frac{b^3h}{36}$ $\bar{I}_{xy} = -\frac{b^2h^2}{72}$ $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3h}{12}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{24}$ </p>	<p>Semicírculo</p> <p> $\bar{I}_x = 0.1098R^4$ $\bar{I}_{xy} = 0$ $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{8}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Media parábola</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{8bh^3}{175}$ $I_x = \frac{2bh^3}{7}$ $\bar{I}_y = \frac{19b^3h}{480}$ $I_y = \frac{2b^3h}{15}$ $\bar{I}_{xy} = \frac{b^2h^2}{60}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{6}$ </p>
<p>Triángulo isósceles</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}$ $\bar{I}_y = \frac{b^3h}{48}$ $\bar{I}_{xy} = 0$ $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3h}{8}$ $I_{xy} = 0$ </p>	<p>Cuarto de círculo</p> <p> $\bar{I}_x = \bar{I}_y = 0.05488R^4$ $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{16}$ $\bar{I}_{xy} = -0.01647R^4$ $I_{xy} = -\frac{R^4}{8}$ </p>	<p>Sector circular</p> <p> $I_x = \frac{R^4}{8}(2\alpha - \sin 2\alpha)$ $I_y = \frac{R^4}{8}(2\alpha + \sin 2\alpha)$ $I_{xy} = 0$ </p>
<p>Triángulo</p> <p> $\bar{I}_x = \frac{bh^3}{36}$ $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $\bar{I}_y = \frac{bh}{36}(a^2 - ab + b^2)$ $I_y = \frac{bh}{12}(a^2 + ab + b^2)$ $\bar{I}_{xy} = \frac{bh^2}{72}(2a - b)$ $I_{xy} = \frac{bh^2}{24}(2a + b)$ </p>	<p>Cuarto de elipse</p> <p> $\bar{I}_x = 0.05488ab^3$ $I_x = \frac{\pi ab^3}{16}$ $\bar{I}_y = 0.05488a^3b$ $I_y = \frac{\pi a^3b}{16}$ $\bar{I}_{xy} = -0.01647a^2b^2$ $I_{xy} = -\frac{a^2b^2}{8}$ </p>	

Momentos de inercia de secciones

Para poder utilizar el teorema de los ejes paralelos es importante recordar también la forma de calcular el centroide de las figuras compuestas, las cuales son el resultado de sumar el producto de los componentes tanto en “y” como en “x” de cada sección que compone la figura compuesta y sus respectivas áreas dividiéndolo por la suma del área de las mismas. Dicho de otra forma:

$$\bar{y} = \frac{\sum \bar{y}_i A_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}_i A_i}{\sum A_i}$$

De esta manera, luego aplicar el Teorema de Steiner para cada eje y sección que compone cada columna irregular, se suman sus resultantes en "x" y en "y", obteniendo así la inercia final de la sección transversal de la columna irregular en estudio.

Tomando como ejemplo típico la sección 1 y su respectiva sustitución, la sección 1', calculando sus respectivas inercias tanto en "y" como en "x" y comparando sus diferencias de forma porcentual se obtiene:

Sección 1

- Sección original (1):

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Ix0 (cm ⁴)	Iy0 (cm ⁴)	Centroide x (cm)	Centroide y (cm)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)
1	60	60	3600	1080000	1080000	30	30	1082975.207	1103325.62
2	6	60	360	36000	360	2	20	65752.06612	233616.1983
Σ			3960					1148727.273	1336941.818

Centroide x Sección compuesta (cm)	Centroide y Sección compuesta (cm)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)
27.45	29.09	1148727.3	1336941.8

- Sección propuesta (1'):

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)	Diferencia porcentual (x)	Diferencia porcentual (y)
3	65	60	3900	1170000	1373125	1148727.273	1336941.818	1.82%	2.64%

La determinación de la justificación de sustitución de las restantes columnas se basó en el mismo principio y metodología descrita anteriormente. Sus respectivos cálculos se muestran en las siguientes tablas:

Sección 2

- Sección original (2):

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Ix0 (cm ⁴)	Iy0 (cm ⁴)	Centroide x (cm)	Centroide y (cm)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)
1	76	40	3040	405333.33	1463253.33	38	20	405671.11	1473471.11
2	4	40	160	7111.11	71.11	1.33	13.33	13528.89	194208.89
Σ			3200					419200	1667680

Centroide x Sección compuesta (cm)	Centroide y Sección compuesta (cm)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)
36.17	19.67	419200	1667680

- Sección propuesta (2'):

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)	Diferencia porcentual (x)	Diferencia porcentual (y)
3	80	40	3200	426666.67	1706666.7	419200.00	1667680.00	1.75%	2.28%

Sección 3

- Sección original (3):

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)}	Área (cm ²)	Ix0 (cm ⁴)	Iy0 (cm ⁴)	Centroide x (cm)	Centroide y (cm)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)
1	60	60	3600	1080000.00	1080000.00	30	30	1094136.99	1094136.99
2	18	18	324	2916.00	2916.00	6.00	6.00	-159993.69	-159993.69
Σ			3924					934143.3048	934143.3048

Centroide x Sección compuesta (cm)	Centroide y Sección compuesta (cm)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)
28.02	28.02	934143.3	934143.3

- Sección original (3')

Secciones involucradas	b (cm)	h (cm)}	Área (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Ix Sección compuesta (cm ⁴)	Iy Sección compuesta (cm ⁴)	Diferencia porcentual (x)	Diferencia porcentual (y)
3	58	58	3364	943041.33	943041.33	934143.3048	934143.3048	0.94%	0.94%

Apéndice 2. Memorias de cálculo

Cálculo de centro de masa y rigidez

Cálculo manual de centro de masa correspondiente al nivel 1.

Nivel 1 (101.75)										
Elemento	b (m)	a (m)	h trib(m)	Vol(m ³)	wi (ton)	xi (m)	yi (m)	wi*xi (ton*m)	wi*yi (ton*m)	
A-7 (-)	1.00	0.60	1.95	1.17	2.81	13.40	0.00	37.63	0.00	
A-7 (+)	-	-	-	0.61	1.46	13.40	0.00	19.55	0.00	
B-7 (-)	1.00	0.60	1.95	1.17	2.81	13.40	6.00	37.63	16.85	
B-7 (+)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	13.40	6.00	24.89	11.15	
C-7 (-)	1.00	0.60	1.95	1.17	2.81	13.40	12.00	37.63	33.70	
C-7 (+)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	13.40	12.00	24.89	22.29	
C'-7	0.60	0.60	1.95	0.70	1.68	13.40	16.50	22.58	27.80	
D-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	18.00	47.47	63.76	
D'-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	20.20	47.47	71.56	
E-7 (-)	1.00	0.60	1.95	1.17	2.81	13.40	24.00	37.63	67.39	
E-7 (+)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	13.40	24.00	24.89	44.58	
F-7 (-)	1.00	0.60	1.95	1.17	2.81	13.40	30.00	37.63	84.24	
F-7 (+)	-	-	-	0.61	1.46	13.40	30.00	19.55	43.77	
A-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	0.00	79.35	0.00	
B-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	6.00	79.35	21.25	
C-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	12.00	79.35	42.51	
D-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	18.00	79.35	63.76	
E-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	24.00	79.35	85.02	
F-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	30.00	79.35	106.27	
A-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	0.00	111.23	0.00	
B-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	6.00	111.23	21.25	
C-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	12.00	111.23	42.51	
D-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	18.00	111.23	63.76	
E-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	24.00	111.23	85.02	
F-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	30.00	111.23	106.27	
A-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	0.00	132.49	0.00	
B-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	6.00	132.49	21.25	
C-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	12.00	132.49	42.51	
D-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	18.00	132.49	63.76	
E-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	24.00	132.49	85.02	
F-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	30.00	132.49	106.27	
G-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	36.00	132.49	127.53	
H-4	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	37.40	42.00	116.33	130.64	
I-4	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	37.40	44.75	116.33	139.19	
A-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	0.00	153.74	0.00	
B-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	6.00	153.74	21.25	
C-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	12.00	153.74	42.51	
D-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	18.00	153.74	63.76	
E-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	24.00	153.74	85.02	
F-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	30.00	153.74	106.27	
G-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	36.00	153.74	127.53	
H-3	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	43.40	42.00	134.99	130.64	
I-3	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	43.40	44.75	134.99	139.19	
G-2'	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	36.00	153.74	127.53	
H-2'	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	43.40	42.00	134.99	130.64	
I-2'	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	43.40	44.75	134.99	139.19	
A-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	0.00	185.62	0.00	
B-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	6.00	185.62	21.25	
C-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	12.00	185.62	42.51	
D-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	18.00	185.62	63.76	
E-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	24.00	185.62	85.02	
F-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	30.00	185.62	106.27	
G-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	36.00	185.62	127.53	
H-1'	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	55.40	42.00	172.32	130.64	
I-1'	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	55.40	44.75	172.32	139.19	
B-1" (-)	0.50	0.50	1.95	0.49	1.17	58.61	6.00	68.57	7.02	
B-1" (+)	0.58	0.58	2.15	0.72	1.74	58.61	6.00	101.74	10.41	
G-1"	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	58.61	36.00	207.62	127.53	
A-1	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	61.40	0.00	151.04	0.00	
B-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	6.00	217.50	21.25	
C-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	12.00	217.50	42.51	
D-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	18.00	217.50	63.76	
E-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	24.00	217.50	85.02	
F-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	30.00	217.50	106.27	
G-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	36.00	217.50	127.53	
H-1	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	61.40	42.00	190.98	130.64	
I-1	0.60	0.60	3.60	1.30	3.11	61.40	44.75	190.98	139.19	
H-0"	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	64.45	42.00	96.52	62.90	
C-0'	0.60	0.60	1.95	0.70	1.68	66.03	12.00	111.25	20.22	
D-0'	0.60	0.60	1.95	0.70	1.68	66.03	18.00	111.25	30.33	
E-12	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	67.96	24.00	101.78	35.94	
F-12	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	68.55	30.00	102.66	44.93	
G-12	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	69.14	36.00	103.54	53.91	
H-12	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	69.73	42.00	104.43	62.90	
I-12	0.80	0.40	1.95	0.62	1.50	70.00	44.75	104.83	67.02	

COLUMNAS

	7-6-A	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	17.90	0.00	58.00	0.00
	7-6-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	6.00	92.79	31.10
	7-6-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	12.00	92.79	62.21
	7-6-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	18.00	92.79	93.31
	7-6-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	24.00	92.79	124.42
	7-6-F	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	17.90	30.00	58.00	97.20
	6-5-A	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	26.90	0.00	87.16	0.00
	6-5-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	6.00	139.45	31.10
	6-5-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	12.00	139.45	62.21
	6-5-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	18.00	139.45	93.31
	6-5-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	24.00	139.45	124.42
	6-5-F	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	26.90	30.00	87.16	97.20
	5-4-A	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	34.40	0.00	74.30	0.00
	5-4-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	6.00	118.89	20.74
	5-4-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	12.00	118.89	41.47
	5-4-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	18.00	118.89	62.21
	5-4-E	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	24.00	118.89	82.94
	5-4-F	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	34.40	30.00	74.30	64.80
	4-3-A	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	0.00	87.26	0.00
	4-3-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	6.00	139.62	20.74
	4-3-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	12.00	139.62	41.47
	4-3-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	18.00	139.62	62.21
	4-3-E	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	30.00	139.62	103.68
	4-3-G	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	36.00	139.62	124.42
	4-3-H	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	42.00	139.62	145.15
	4-3-I	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	44.75	87.26	96.66
	3-2-A	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	47.90	0.00	155.20	0.00
	3-2-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	6.00	248.31	31.10
	3-2-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	12.00	248.31	62.21
	3-2-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	18.00	248.31	93.31
	3-2-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	24.00	248.31	124.42
	3-2-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	30.00	248.31	155.52
	3-2-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	36.00	248.31	186.62
	3-2-H	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	42.00	248.31	217.73
	3-2-I	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	47.90	44.75	155.20	144.99
	2-1-A	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	56.90	0.00	184.36	0.00
	2-1-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	6.00	294.97	31.10
	2-1-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	12.00	294.97	62.21
	2-1-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	18.00	294.97	93.31
	2-1-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	24.00	294.97	124.42
	2-1-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	30.00	294.97	155.52
	2-1-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	36.00	294.97	186.62
	2-1-H	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	42.00	294.97	217.73
	2-1-I	0.30	0.50	9.00	1.35	3.24	56.90	44.75	184.36	144.99
	1-0-A	0.30	0.50	6.04	0.91	2.17	63.72	7.94	138.55	17.26
	1-0-B	0.30	0.50	3.57	0.54	1.29	64.25	12.00	82.57	15.42
	1-0-C	0.30	0.50	3.20	0.48	1.15	64.43	18.00	74.22	20.74
	1-0-D	0.30	0.50	6.90	1.04	2.48	65.47	42.00	162.63	104.33
	1-12-I	0.30	0.50	8.60	1.29	3.10	66.42	44.75	205.62	138.55
	A-B-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	3.00	28.94	6.48
	A-B-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	3.00	48.38	6.48
	A-B-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	3.00	67.82	6.48
	A-B-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	3.00	80.78	6.48
	A-B-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	3.00	93.74	6.48
	A-B-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	3.00	113.18	6.48
	A-B-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	3.00	132.62	6.48
	B-C-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	9.00	28.94	19.44
	B-C-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	9.00	48.38	19.44
	B-C-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	9.00	67.82	19.44
	B-C-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	9.00	80.78	19.44
	B-C-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	9.00	93.74	19.44
	B-C-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	9.00	113.18	19.44
	B-C-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	9.00	132.62	19.44
	B-C-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	68.03	10.94	142.62	23.63
	C-D-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	15.00	28.94	32.40
	C-D-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	15.00	48.38	32.40
	C-D-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	15.00	67.82	32.40
	C-D-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	15.00	80.78	32.40
	C-D-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	15.00	93.74	32.40
	C-D-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	15.00	113.18	32.40
	C-D-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	15.00	132.62	32.40
	C-D-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	15.00	135.71	32.40
	C-D-0'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	66.03	15.00	142.62	32.40
	D-E-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	21.00	28.94	45.36
	D-E-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	21.00	48.38	45.36
	D-E-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	21.00	67.82	45.36
	D-E-4 (1)	0.30	0.80	3.02	0.72	1.74	37.40	19.51	65.06	33.94
	D-E-4 (2)	0.30	0.50	2.98	0.45	1.07	37.40	22.51	40.12	24.15
	D-E-3 (1)	0.30	0.80	3.02	0.72	1.74	43.40	19.51	75.50	33.94
	D-E-3 (2)	0.30	0.50	2.98	0.45	1.07	43.40	22.51	46.56	24.15
	D-E-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	21.00	113.18	45.36
	D-E-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	21.00	132.62	45.36
	D-E-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	21.00	135.71	45.36
	D-E-0'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	66.03	21.00	142.62	45.36
	E-F-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	27.00	28.94	58.32
	E-F-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	27.00	48.38	58.32
	E-F-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	27.00	67.82	58.32
	E-F-4 (1)	0.30	0.50	2.48	0.37	0.89	37.40	25.24	33.39	22.53
	E-F-4 (2)	0.30	0.80	3.52	0.84	2.03	37.40	28.24	75.83	57.26
	E-F-3 (1)	0.30	0.50	2.48	0.37	0.89	43.40	25.24	38.75	22.53
	E-F-3 (2)	0.30	0.80	3.52	0.84	2.03	43.40	28.24	87.99	57.26
	E-F-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	27.00	113.18	58.32
	E-F-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	27.00	132.62	58.32
	E-F-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	27.00	135.71	58.32
	E-F-0'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	66.03	27.00	142.62	58.32
	F-G-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	33.00	80.78	71.28
	F-G-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	33.00	93.74	71.28
	F-G-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	33.00	113.18	71.28
	F-G-1 (1)	0.30	0.80	3.10	0.74	1.79	61.40	31.55	109.64	56.34
	F-G-1 (2)	0.30	0.50	2.90	0.44	1.04	61.40	34.55	64.10	36.07
	F-G-12	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	68.84	33.00	148.69	71.28
	G-H-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	39.00	80.78	84.24
	G-H-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	39.00	93.74	84.24
	G-H-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	39.00	113.18	84.24
	G-H-1	0.30	0.65	6.00	1.17	2.81	61.40	39.00	172.41	109.51
	G-H-12	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	69.43	39.00	149.97	84.24
	H-I-4	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	37.40	43.37	37.03	42.94
	H-I-3	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	43.40	43.37	42.97	42.94
	H-I-2	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	52.40	43.37	51.86	42.94
	H-I-1	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	61.40	43.37	60.75	42.94
	H-I-0"	0.30	0.57	2.75	0.47	1.13	62.83	43.37	70.91	48.95
	H-I-0'	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	64.45	43.37	63.81	42.94
	H-I-12	0.30	0.50	2.75	0.41	0.99	69.87	43.37	69.17	42.94

VIGAS

MUROS	A-7-1	0.30	48.00	1.95	28.08	67.39	37.40	0.00	2520.46	0.00
	A-7-6 (+) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	14.15	0.00	27.38	0.00
	A-7-6 (+) 2	0.25	3.60	2.15	1.94	4.64	17.90	0.00	83.13	0.00
	A-7-6 (+) 3	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	21.65	0.00	41.89	0.00
	A-3-2 (+) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	44.15	0.00	85.43	0.00
	A-3-2 (+) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	46.70	0.00	72.29	0.00
	A-3-2 (+) 3	0.25	3.90	2.15	2.10	5.03	50.45	0.00	253.81	0.00
	C-5 (-)	0.25	6.10	1.95	2.97	7.14	31.40	12.00	224.10	85.64
	C-5 (+)	0.25	6.10	2.15	3.28	7.87	31.40	12.00	247.09	94.43
	C-4-3 (-)	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	40.40	12.00	283.61	84.24
	C-4-3 (+)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	40.40	12.00	312.70	92.88
	C-2'-2 (-)	0.25	3.20	1.95	1.56	3.74	50.80	12.00	190.20	44.93
	C-2'-2 (+)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	12.00	209.70	49.54
	C-1-0" (-)	0.30	1.43	1.95	0.84	2.01	62.12	12.00	124.71	24.09
	C-1-0" (+)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	12.00	114.59	22.14
	D-2'-2 (-)	0.25	3.20	1.95	1.56	3.74	50.80	18.00	190.20	67.39
	D-2'-2 (+)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	18.00	209.70	74.30
	D-1-0" (-)	0.30	1.43	1.95	0.84	2.01	62.12	18.00	124.71	36.14
	D-1-0" (+)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	18.00	114.59	33.20
	D'-4-3 (-) 1	0.25	0.90	1.95	0.44	1.05	37.85	21.02	39.86	22.13
	D'-4-3 (+) 1	0.25	0.90	2.15	0.48	1.16	37.85	21.02	43.94	24.40
	D'-4-3 (-) 2	0.25	1.80	1.95	0.88	2.11	40.40	21.02	85.08	44.27
	D'-4-3 (+) 2	0.25	1.80	2.15	0.97	2.32	40.40	21.02	93.81	48.81
	D'-4-3 (-) 3	0.25	0.90	1.95	0.44	1.05	42.95	21.02	45.23	22.13
	D'-4-3 (+) 3	0.25	0.90	2.15	0.48	1.16	42.95	21.02	49.86	24.40
	E-4-3 (-)	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	40.40	24.00	283.61	168.48
	E-4-3 (+)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	40.40	24.00	312.70	185.76
	E-1-0" (-)	0.30	1.43	1.95	0.84	2.01	62.11	24.00	124.70	48.19
	E-1-0" (+)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.11	24.00	114.57	44.27
	E-0"-12	0.30	1.93	1.95	1.13	2.71	66.99	24.00	181.52	65.03
	F-7-4	0.30	24.00	1.95	14.04	33.70	25.40	30.00	855.88	1010.88
	F-7-6 (+) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	14.15	30.00	27.38	58.05
	F-7-6 (+) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	16.70	30.00	25.85	46.44
	F-7-6 (+) 3	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	19.10	30.00	29.57	46.44
	F-7-6 (+) 4	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	21.65	30.00	41.89	58.05
	F-2'-2 (-)	0.25	3.20	1.95	1.56	3.74	50.80	30.00	190.20	112.32
	F-2'-2 (+)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	30.00	209.70	123.84
	F-1-0" (-)	0.30	1.43	1.95	0.84	2.01	62.12	30.00	124.71	60.23
	F-1-0" (+)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	30.00	114.59	55.34
	G-4-3	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	40.40	36.00	283.61	252.72
	G-2'-2	0.25	3.10	1.95	1.51	3.63	50.80	36.00	184.25	130.57
	G-1"-1 (-)	0.25	2.79	1.95	1.36	3.26	60.01	36.00	195.89	117.51
	G-1"-1 (+)	0.25	2.79	2.15	1.50	3.60	60.01	36.00	215.98	129.57
	I-4-12	0.30	32.60	1.95	19.07	45.77	53.70	44.75	2457.87	2048.23
	I-4-1 (+)	0.25	24.00	1.65	9.90	23.76	49.40	44.75	1173.74	1063.26
	7A-D'	0.25	20.20	1.95	9.85	23.63	13.40	10.10	316.70	238.70
	7A-B (+) 1	0.25	3.60	2.15	1.94	4.64	13.40	3.30	62.23	15.33
	7A-B (+) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	5.40	20.74	8.36
	7C-D (+) 1	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	12.60	20.74	19.50
	7C-D (+) 2	0.25	2.10	2.15	1.13	2.71	13.40	15.45	36.30	41.85
	7D-E (+)	0.25	0.91	2.15	0.49	1.17	13.40	21.16	15.73	24.84
	7E-F	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	13.40	27.00	94.07	189.54
	7E-F (+) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	27.00	20.74	41.80
	7E-F (+) 3	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	29.40	20.74	45.51
	7E (+)	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	13.40	24.00	41.49	74.30
	6A-B	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	22.40	3.00	157.25	21.06
	6A-B (+) 1	0.25	1.95	2.15	1.05	2.52	22.40	0.98	56.35	2.45
	6A-B (+) 2	0.25	1.95	2.15	1.05	2.52	22.40	5.03	56.35	12.64
	4A-B	0.25	1.50	1.95	0.73	1.76	37.40	0.75	65.64	1.32
	4A-B (+)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	37.40	0.75	72.37	1.45
	3A-B	0.25	1.50	1.95	0.73	1.76	43.40	0.75	76.17	1.32
	3A-B (+)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	43.40	0.75	83.98	1.45
	2A-B	0.25	1.50	1.95	0.73	1.76	52.40	0.75	91.96	1.32
	2A-B (+)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	52.40	0.75	101.39	1.45
	1A-B	0.30	6.00	1.95	3.51	8.42	61.40	3.00	517.23	25.27
	4C-D	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	37.40	15.00	262.55	105.30
	4C-D (+)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	37.40	15.00	289.48	116.10
	3C-D	0.25	6.00	1.95	2.93	7.02	43.40	15.00	304.67	105.30
	3C-D (+)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	43.40	15.00	335.92	116.10
	E-4	0.25	5.45	1.95	2.66	6.38	37.40	23.75	257.61	151.44
	E-4 (-)	0.25	5.45	2.15	2.93	7.03	37.40	23.75	284.03	166.97
	E-3'	0.25	2.48	1.95	1.21	2.90	40.40	25.24	125.93	73.24
	E-3' (+)	0.25	2.48	2.15	1.33	3.20	40.40	25.24	138.85	80.75
	E-3	0.25	5.45	1.95	2.66	6.38	43.40	23.75	276.74	151.44
	E-3 (+)	0.25	5.45	2.15	2.93	7.03	43.40	23.75	305.12	166.97
	4F-I	0.25	14.75	1.95	7.19	17.26	37.40	37.38	645.43	645.09
	4F-I (+)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	37.40	33.00	289.48	255.42
	4F-I (+)	0.25	8.75	1.65	3.61	8.66	37.40	34.38	323.98	297.77
	1-C	0.25	2.10	1.95	1.02	2.46	61.40	10.95	150.86	26.90
	1-C (+)	0.25	2.10	2.15	1.13	2.71	61.40	10.95	166.33	29.66
	1-H	0.25	5.75	1.95	2.80	6.73	61.40	41.88	413.07	281.75
	1-H (+)	0.25	5.75	1.65	2.37	5.69	61.40	41.88	349.52	238.40
	1-G	0.25	2.90	1.95	1.41	3.39	61.40	34.55	208.33	117.23
	1-G (+)	0.25	2.90	2.15	1.56	3.74	61.40	34.55	229.70	129.25
	1-0-B-C	0.30	6.04	1.95	3.53	8.48	63.71	7.94	540.27	67.33
	0'-C-F	0.30	17.30	1.95	10.12	24.29	62.83	21.35	1526.09	518.57
	0'-C-F (+) 1	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	28.20	97.26	43.65
	0'-C-F (+) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	27.00	97.26	41.80
	0'-C-F (+) 3	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	62.83	24.00	194.52	74.30
	0'-C-F (+) 4	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	21.00	97.26	32.51
	0'-C-F (+) 5	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	62.83	18.00	194.52	55.73
	0'-C-F (+) 6	0.3	1.2	2.2	0.6	1.5	62.8	15.0	97.3	23.2
	0'-C-F (+) 7	0.3	0.5	2.2	0.3	0.6	62.8	13.0	40.5	8.4
	0'-C-E	0.3	12.0	2.0	7.0	16.8	63.6	18.0	1071.9	303.3

LOSAS	A-F-7-1	48.0	30.0	0.1	115.2	276.5	40.4	15.0	11169.8	4147.2	
	C-D-4-3 (Abertura 1)	6.0	6.0	0.1	2.9	-6.9	37.4	15.0	-258.5	-103.7	
	D'-E-4-3 (Abertura 2)	6.0	3.0	0.1	1.4	-3.4	37.4	22.5	-128.4	-77.3	
	E-F-4-3' (Abertura 3)	3.0	2.5	0.1	0.6	-1.4	40.4	25.2	-57.7	-36.1	
	F-I-4-1	24.0	14.8	0.1	28.3	68.0	49.4	37.4	3357.6	2540.3	
	H-I-0"-12	7.2	2.8	0.2	3.0	7.1	66.4	43.4	471.4	307.9	
	C-F-1-0"	1.4	18.0	0.2	3.9	9.3	62.1	39.0	575.6	361.4	
	B-D-1-0'	3.2	11.9	0.2	5.7	13.7	64.4	11.9	881.0	163.2	
	7-F	2.90	1.50	0.15	0.65	1.57	14.90	30.75	23.33	48.15	
	G-1-0"	7.03	1.50	0.15	1.58	3.80	59.31	36.75	225.15	139.51	
	RAMPA	C-H-0"-0'	3.2	0.2	15.0	8.2	19.6	62.8	34.5	1230.5	675.6
	Σ	-	-	-	-	-	1502.79	-	-	64482.36	31681.35
CM x										42.91	
CM y										21.08	

Cálculo manual de centro de masa correspondiente al nivel 2

		Nivel 2 (106.05)									
Elemento	b (m)	a (m)	h trib(m)	Vol(m³)	wi (ton)	xi (m)	yi (m)	wi*xi (ton*m)	wi*yi (ton*m)		
A-7	-	-	-	1.22	2.92	13.40	0.00	39.10	0.00		
B-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	6.00	49.78	22.29		
C-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	12.00	49.78	44.58		
D-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	18.00	49.78	66.87		
D'-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	20.20	49.78	75.05		
E-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	24.00	49.78	89.16		
F-7	-	-	-	1.22	2.92	13.40	30.00	39.10	87.54		
A-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	0.00	83.22	0.00		
B-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	6.00	83.22	22.29		
C-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	12.00	83.22	44.58		
D-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	18.00	83.22	66.87		
E-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	24.00	83.22	89.16		
F-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	30.00	83.22	111.46		
A-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	0.00	116.66	0.00		
B-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	6.00	116.66	22.29		
C-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	12.00	116.66	44.58		
D-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	18.00	116.66	66.87		
E-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	24.00	116.66	89.16		
F-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	30.00	116.66	111.46		
A-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	0.00	138.95	0.00		
B-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	6.00	138.95	22.29		
C-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	12.00	138.95	44.58		
D-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	18.00	138.95	66.87		
E-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	24.00	138.95	89.16		
F-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	30.00	138.95	111.46		
G-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	36.00	138.95	133.75		
A-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	0.00	161.24	0.00		
B-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	6.00	161.24	22.29		
C-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	12.00	161.24	44.58		
D-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	18.00	161.24	66.87		
E-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	24.00	161.24	89.16		
F-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	30.00	161.24	111.46		
G-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	36.00	161.24	133.75		
G-2'	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	36.00	161.24	133.75		
A-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	0.00	194.68	0.00		
B-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	6.00	194.68	22.29		
C-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	12.00	194.68	44.58		
D-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	18.00	194.68	66.87		
E-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	24.00	194.68	89.16		
F-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	30.00	194.68	111.46		
G-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	36.00	194.68	133.75		
B-1"	0.58	0.58	4.30	1.45	3.47	58.61	6.00	203.47	20.83		
G-1"	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	58.61	36.00	217.75	133.75		
C-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	12.00	228.11	44.58		
D-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	18.00	228.11	66.87		
E-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	24.00	228.11	89.16		
F-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	30.00	228.11	111.46		
G-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	36.00	228.11	133.75		

VIGAS	7-6-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	0.00	92.79	0.00
	7-6-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	6.00	92.79	31.10
	7-6-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	12.00	92.79	62.21
	7-6-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	18.00	92.79	93.31
	7-6-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	24.00	92.79	124.42
	7-6-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	30.00	92.79	155.52
	6-5-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	0.00	139.45	0.00
	6-5-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	6.00	139.45	31.10
	6-5-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	12.00	139.45	62.21
	6-5-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	18.00	139.45	93.31
	6-5-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	24.00	139.45	124.42
	6-5-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	30.00	139.45	155.52
	5-4-A	0.30	0.60	6.00	1.08	2.59	34.40	0.00	89.16	0.00
	5-4-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	6.00	118.89	20.74
	5-4-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	12.00	118.89	41.47
	5-4-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	18.00	118.89	62.21
	5-4-E	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	24.00	118.89	82.94
	5-4-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	30.00	118.89	103.68
	4-3-A	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	0.00	139.62	0.00
	4-3-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	6.00	139.62	20.74
	4-3-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	12.00	139.62	41.47
	4-3-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	18.00	139.62	62.21
	4-3-D'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E-F	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	30.00	139.62	103.68
	4-3-G	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	36.00	139.62	124.42
	3-2-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	0.00	248.31	0.00
	3-2-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	6.00	248.31	31.10
	3-2-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	12.00	248.31	62.21
	3-2-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	18.00	248.31	93.31
	3-2-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	24.00	248.31	124.42
	3-2-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	30.00	248.31	155.52
	3-2-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	36.00	248.31	186.62
	2-1-A-B	0.30	0.80	12.51	3.00	7.21	56.90	4.35	410.01	31.35
	2-1-B	0.30	0.80	6.21	1.49	3.58	56.90	6.00	203.53	21.46
	2-1-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	12.00	294.97	62.21
	2-1-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	18.00	294.97	93.31
	2-1-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	24.00	294.97	124.42
	2-1-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	30.00	294.97	155.52
	2-1-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	36.00	294.97	186.62
	1-0"-C	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.25	12.00	52.92	9.88
	1-0"-D	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-E	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-F	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-G	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	A-B-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	3.00	28.94	6.48
	A-B-6	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	22.40	3.00	77.41	10.37
	A-B-5	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	31.40	3.00	94.95	9.07
	A-B-4	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	37.40	3.00	113.10	9.07
A-B-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	3.00	93.74	6.48	
A-B-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	3.00	113.18	6.48	
B-C-7	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	13.40	9.00	46.31	31.10	
B-C-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	9.00	48.38	19.44	
B-C-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	9.00	67.82	19.44	
B-C-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	9.00	80.78	19.44	
B-C-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	9.00	93.74	19.44	
B-C-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	9.00	113.18	19.44	
B-C-1	0.30	0.80	3.30	0.79	1.90	61.40	9.00	116.71	17.11	
C-D-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	15.00	28.94	32.40	
C-D-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	15.00	48.38	32.40	
C-D-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	15.00	67.82	32.40	
C-D-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	15.00	80.78	32.40	
C-D-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	15.00	93.74	32.40	
C-D-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	15.00	113.18	32.40	
C-D-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	15.00	132.62	32.40	
C-D-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	15.00	135.71	32.40	
D-E-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	21.00	28.94	45.36	
D-E-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	21.00	48.38	45.36	
D-E-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	21.00	67.82	45.36	
D-E-4 (1)	0.30	0.80	3.02	0.72	1.74	37.40	19.51	65.06	33.94	
D-E-4 (2)	0.30	0.50	2.98	0.45	1.07	37.40	22.51	40.12	24.15	
D-E-3 (1)	0.30	0.80	3.02	0.72	1.74	43.40	19.51	75.50	33.94	
D-E-3 (2)	0.30	0.50	2.98	0.45	1.07	43.40	22.51	46.56	24.15	
D-E-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	21.00	113.18	45.36	
D-E-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	21.00	132.62	45.36	
D-E-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	21.00	135.71	45.36	
E-F-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	27.00	28.94	58.32	
E-F-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	27.00	48.38	58.32	
E-F-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	27.00	67.82	58.32	
E-F-4 (1)	0.30	0.50	2.48	0.37	0.89	37.40	25.24	33.39	22.53	
E-F-4 (2)	0.30	0.80	3.52	0.84	2.03	37.40	28.24	75.83	57.26	
E-F-3 (1)	0.30	0.50	2.48	0.37	0.89	43.40	25.24	38.75	22.53	
E-F-3 (2)	0.30	0.80	3.52	0.84	2.03	43.40	28.24	87.99	57.26	
E-F-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	27.00	113.18	58.32	
E-F-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	27.00	132.62	58.32	
E-F-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	27.00	135.71	58.32	
F-G-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	33.00	80.78	71.28	
F-G-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	33.00	93.74	71.28	
F-G-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	33.00	113.18	71.28	
F-G-1 (1)	0.30	0.80	3.10	0.74	1.79	61.40	31.55	109.64	56.34	
F-G-1 (2)	0.30	0.50	2.90	0.44	1.04	61.40	34.55	64.10	36.07	

	A-7-6 (-) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	14.15	0.00	27.38	0.00
	A-7-6 (+) 1	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	14.15	0.00	24.64	0.00
	A-7-6 (-) 2	0.25	3.60	2.15	1.94	4.64	17.90	0.00	83.13	0.00
	A-7-6 (+) 2	0.23	3.60	2.15	1.74	4.18	17.90	0.00	74.81	0.00
	A-7-6 (-) 3	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	21.65	0.00	41.89	0.00
	A-7-6 (+) 3	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	21.65	0.00	37.70	0.00
	A-3-2 (-) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	44.15	0.00	85.43	0.00
	A-3-2 (+) 1	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	44.15	0.00	76.89	0.00
	A-3-2 (-) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	46.70	0.00	72.29	0.00
	A-3-2 (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	46.70	0.00	65.06	0.00
	A-3-2 (-) 3	0.25	3.90	2.15	2.10	5.03	50.45	0.00	253.81	0.00
	A-3-2 (+) 3	0.23	3.90	2.15	1.89	4.53	50.45	0.00	228.43	0.00
	C-5 (-)	0.25	6.10	2.15	3.28	7.87	31.40	12.00	247.09	94.43
	C-5 (+)	0.23	6.10	2.15	2.95	7.08	31.40	12.00	222.38	84.99
	C-4-3 (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	40.40	12.00	312.70	92.88
	C-4-3 (+)	0.23	6.00	2.15	2.90	6.97	40.40	12.00	281.43	83.59
	C-2'-2 (-)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	12.00	209.70	49.54
	C-2'-2 (+)	0.23	3.20	2.15	1.55	3.72	50.80	12.00	188.73	44.58
	C-1-0" (-)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	12.00	114.59	22.14
	C-1-0" (+)	0.23	1.43	2.15	0.69	1.66	62.12	12.00	103.13	19.92
	D-2'-2 (-)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	18.00	209.70	74.30
	D-2'-2 (+)	0.23	3.20	2.15	1.55	3.72	50.80	18.00	188.73	66.87
	D-1-0" (-)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	18.00	114.59	33.20
	D-1-0" (+)	0.23	1.43	2.15	0.69	1.66	62.12	18.00	103.13	29.88
	D'-4-3 (-) 1	0.25	0.90	2.15	0.48	1.16	37.85	21.02	43.94	24.40
	D'-4-3 (+) 1	0.23	0.90	2.15	0.44	1.04	37.85	21.02	39.55	21.96
	D'-4-3 (-) 2	0.25	1.80	2.15	0.97	2.32	40.40	21.02	93.81	48.81
	D'-4-3 (+) 2	0.23	1.80	2.15	0.87	2.09	40.40	21.02	84.43	43.93
	D'-4-3 (-) 3	0.25	0.90	2.15	0.48	1.16	42.95	21.02	49.86	24.40
	D'-4-3 (+) 3	0.23	0.90	2.15	0.44	1.04	42.95	21.02	44.88	21.96
	E-4-3 (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	40.40	24.00	312.70	185.76
	E-4-3 (+)	0.23	6.00	2.15	2.90	6.97	40.40	24.00	281.43	167.18
	E-1-0" (-)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.11	24.00	114.57	44.27
	E-1-0" (+)	0.23	1.43	2.15	0.69	1.66	62.11	24.00	103.12	39.85
	F-7-6 (-) 1	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	14.15	30.00	27.38	58.05
	F-7-6 (+) 1	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	14.15	30.00	24.64	52.25
	F-7-6 (-) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	16.70	30.00	25.85	46.44
	F-7-6 (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	16.70	30.00	23.27	41.80
	F-7-6 (-) 3	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	19.10	30.00	29.57	46.44
	F-7-6 (+) 3	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	19.10	30.00	26.61	41.80
	F-7-6 (-) 4	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	21.65	30.00	41.89	58.05
	F-7-6 (+) 4	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	21.65	30.00	37.70	52.25
	F-2'-2 (-)	0.25	3.20	2.15	1.72	4.13	50.80	30.00	209.70	123.84
	F-2'-2 (+)	0.23	3.20	2.15	1.55	3.72	50.80	30.00	188.73	111.46
	F-1-0" (-)	0.25	1.43	2.15	0.77	1.84	62.12	30.00	114.59	55.34
	F-1-0" (+)	0.23	1.43	2.15	0.69	1.66	62.12	30.00	103.13	49.81
	G-4-3 (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	40.40	36.00	312.70	278.64
	G-4-3 (+) 1	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	38.00	36.00	52.94	50.16
	G-4-3 (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	40.40	36.00	56.29	50.16
	G-4-3 (+) 3	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	42.80	36.00	59.63	50.16
	G-2'-2 (-)	0.25	3.10	2.15	1.67	4.00	50.80	36.00	203.15	143.96
	G-2'-2 (+)	0.23	3.10	2.15	1.50	3.60	50.80	36.00	182.83	129.57
	G-1"-1 (-)	0.25	2.79	2.15	1.50	3.60	60.01	36.00	215.98	129.57
	G-1"-1 (+)	0.23	2.79	2.15	1.35	3.24	60.01	36.00	194.38	116.61
	7-A-B (-) 1	0.25	3.60	2.15	1.94	4.64	13.40	3.30	62.23	15.33
	7-A-B (+) 1	0.23	3.60	2.15	1.74	4.18	13.40	3.30	56.01	13.79
	7-A-B (-) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	5.40	20.74	8.36
	7-A-B (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	13.40	5.40	18.67	7.52
	7-C-D (-) 1	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	12.60	20.74	19.50
	7-C-D (+) 1	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	13.40	12.60	18.67	17.55
	7-C-D (-) 2	0.25	2.10	2.15	1.13	2.71	13.40	15.45	36.30	41.85
	7-C-D (+) 2	0.23	2.10	2.15	1.02	2.44	13.40	15.45	32.67	37.67
	7-D (+)	0.23	2.10	2.15	1.02	2.44	13.40	15.45	32.67	37.67
	7-D-E (-) 1	0.25	0.91	2.15	0.49	1.17	13.40	21.16	15.73	24.84
	7-D-E (+) 1	0.23	0.91	2.15	0.44	1.06	13.40	21.16	14.16	22.36
	7-E (-)	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	13.40	24.00	41.49	74.30
	7-E (+)	0.23	2.40	2.15	1.16	2.79	13.40	24.00	37.34	66.87
	7-E-F (-) 1	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	27.00	20.74	41.80
	7-E-F (+) 1	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	13.40	27.00	18.67	37.62
	7-E-F (-) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	13.40	29.40	20.74	45.51
	7-E-F (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	13.40	29.40	18.67	40.96
	6-A-B (-) 1	0.25	1.95	2.15	1.05	2.52	22.40	0.98	56.35	2.45
	6-A-B (+) 1	0.23	1.95	2.15	0.94	2.26	22.40	0.98	50.71	2.21
	6-A-B (-) 2	0.25	1.95	2.15	1.05	2.52	22.40	5.03	56.35	12.64
	6-A-B (+) 2	0.23	1.95	2.15	0.94	2.26	22.40	5.03	50.71	11.38
	4-A-B (-)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	37.40	0.75	72.37	1.45
	4-A-B (+)	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	37.40	0.75	65.13	1.31
	3-A-B (-)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	43.40	0.75	83.98	1.45
	3-A-B (+)	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	43.40	0.75	75.58	1.31
	2-A-B (-)	0.25	1.50	2.15	0.81	1.94	52.40	0.75	101.39	1.45
	2-A-B (+)	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	52.40	0.75	91.25	1.31
	4-C-D (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	37.40	15.00	289.48	116.10
	4-C-D (+)	0.23	6.00	2.15	2.90	6.97	37.40	15.00	260.53	104.49
	3-C-D (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	43.40	15.00	335.92	116.10
	3-C-D (+)	0.23	6.00	2.15	2.90	6.97	43.40	15.00	302.32	104.49
	E4 (-)	0.25	5.45	2.15	2.93	7.03	37.40	23.75	262.94	166.97
	E4 (+)	0.23	5.45	2.15	2.64	6.33	37.40	23.75	236.65	150.28
	E3' (-)	0.25	2.48	2.15	1.33	3.20	40.40	25.24	129.25	80.75
	E3' (+)	0.23	2.48	2.15	1.20	2.88	40.40	25.24	116.32	72.67
	E3 (-)	0.25	5.45	2.15	2.93	7.03	43.40	23.75	305.12	166.97
	E3 (+)	0.23	5.45	2.15	2.64	6.33	43.40	23.75	274.61	150.28
	4-F-G (-)	0.25	6.00	2.15	3.23	7.74	37.40	33.00	289.48	255.42
	4-F-G (+) 1	0.23	1.50	2.15	0.73	1.74	37.40	30.75	65.13	53.55
	4-F-G (+) 2	0.23	6.00	2.15	2.90	6.97	37.40	34.35	260.53	239.28
	1-C (-)	0.25	2.10	2.15	1.13	2.71	61.40	10.95	166.33	29.66
	1-C (+)	0.23	2.10	2.15	1.02	2.44	61.40	10.95	149.70	26.70
	1-G (-)	0.25	2.90	2.15	1.56	3.74	61.40	34.55	229.70	129.25
	0'-C-D (-) 1	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	28.20	97.26	43.65
	0'-C-D (+) 1	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	62.83	28.20	87.53	39.29
	0'-C-D (-) 2	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	27.00	97.26	41.80
	0'-C-D (+) 2	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	62.83	27.00	87.53	37.62
	0'-D (-)	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	62.83	24.00	194.52	74.30
	0'-D (+)	0.23	2.40	2.15	1.16	2.79	62.83	24.00	175.07	66.87
	0'-D-E (-)	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	21.00	97.26	32.51
	0'-D-E (+)	0.23	1.20	2.15	0.58	1.39	62.83	21.00	87.53	29.26
	0'-E (-)	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	62.83	18.00	194.52	55.73
	0'-E-F (-)	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	15.00	97.26	23.22
	0'-F (-)	0.25	0.50	2.15	0.27	0.65	62.83	12.95	40.53	8.35
	0'-E-F (+)	0.23	7.00	2.15	3.39	8.13	62.83	27.00	510.62	219.43

LOSAS	A-F-7-1	48.00	30.00	0.08	115.20	276.48	40.40	15.00	11169.79	4147.20	
	C-D-4-3 (Abertura 1)	6.00	6.00	0.08	2.88	-6.91	37.40	15.00	-258.51	-103.68	
	D'-E-4-3 (Abertura 2)	6.00	2.98	0.08	1.43	-3.43	37.40	22.51	-128.39	-77.28	
	E-F-4-3' (Abertura 3)	3.00	2.48	0.08	0.60	-1.43	40.40	25.24	-57.71	-36.05	
	A-B-5-4 (Abertura 4)	3.00	3.00	0.08	0.72	-1.73	34.40	1.50	-59.44	-2.59	
	A-B-2-1 (Abertura 5)	9.00	8.70	0.08	3.13	-7.52	58.40	2.90	-438.98	-21.80	
	F-G-4-1	24.00	6.00	0.08	11.52	27.65	49.40	33.00	1365.81	912.38	
	C-G-1-0"	1.43	24.00	0.15	5.15	12.36	61.40	24.00	758.61	296.52	
	B-F-7	1.50	24.00	0.15	5.40	12.96	10.20	18.00	132.19	233.28	
	7-F	2.90	1.50	0.15	0.65	1.57	14.90	30.75	23.33	48.15	
	G-1-0"	7.03	1.50	0.15	1.58	3.80	59.31	36.75	225.15	139.51	
	Σ	-	-	-	-	-	1102.66	-	-	43530.29	19577.45
	CM x										39.48
	CM y										17.75

Cálculo manual de centro de masa correspondiente al nivel 3

Nivel 3 (110.35)										
Elemento	b (m)	a (m)	h trib(m)	Vol(m³)	wi (ton)	xi (m)	yi (m)	wi*xi (ton*m)	wi*yi (ton*m)	
A-7	-	-	-	1.22	2.92	13.40	0.00	39.10	0.00	
B-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	6.00	49.78	22.29	
C-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	12.00	49.78	44.58	
D-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	18.00	49.78	66.87	
D'-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	20.20	49.78	75.05	
E-7	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	13.40	24.00	49.78	89.16	
F-7	-	-	-	1.22	2.92	13.40	30.00	39.10	87.54	
A-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	0.00	83.22	0.00	
B-6 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	22.40	6.00	41.61	11.15	
B-6 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	22.40	6.00	28.90	7.74	
C-6 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	22.40	12.00	41.61	22.29	
C-6 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	22.40	12.00	28.90	15.48	
D-6 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	22.40	18.00	41.61	33.44	
D-6 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	22.40	18.00	28.90	23.22	
E-6 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	22.40	24.00	41.61	44.58	
E-6 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	22.40	24.00	28.90	30.96	
F-6	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	22.40	30.00	83.22	111.46	
A-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	0.00	116.66	0.00	
B-5 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	31.40	6.00	58.33	11.15	
B-5 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	31.40	6.00	40.51	7.74	
C-5 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	31.40	12.00	58.33	22.29	
C-5 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	31.40	12.00	40.51	15.48	
D-5 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	31.40	18.00	58.33	33.44	
D-5 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	31.40	18.00	40.51	23.22	
E-5 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	31.40	24.00	58.33	44.58	
E-5 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	31.40	24.00	40.51	30.96	
F-5	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	31.40	30.00	116.66	111.46	
A-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	0.00	138.95	0.00	
B-4 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	37.40	6.00	69.47	11.15	
B-4 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	37.40	6.00	48.25	7.74	
C-4 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	37.40	12.00	69.47	22.29	
C-4 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	37.40	12.00	48.25	15.48	
D-4 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	37.40	18.00	69.47	33.44	
D-4 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	37.40	18.00	48.25	23.22	
E-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	24.00	138.95	89.16	
F-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	30.00	138.95	111.46	
G-4	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	37.40	36.00	138.95	133.75	
A-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	0.00	161.24	0.00	
B-3 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	43.40	6.00	80.62	11.15	
B-3 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	43.40	6.00	55.99	7.74	
C-3 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	43.40	12.00	80.62	22.29	
C-3 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	43.40	12.00	55.99	15.48	
D-3 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	43.40	18.00	80.62	33.44	
D-3 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	43.40	18.00	55.99	23.22	
E-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	24.00	161.24	89.16	
F-3 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	43.40	30.00	80.62	55.73	
F-3 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	43.40	30.00	55.99	38.70	
G-3	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	36.00	161.24	133.75	
G-2'	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	43.40	36.00	161.24	133.75	
A-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	0.00	194.68	0.00	
B-2 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	52.40	6.00	97.34	11.15	
B-2 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	52.40	6.00	67.60	7.74	
C-2 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	52.40	12.00	97.34	22.29	
C-2 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	52.40	12.00	67.60	15.48	
D-2 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	52.40	18.00	97.34	33.44	
D-2 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	52.40	18.00	67.60	23.22	
E-2 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	52.40	24.00	97.34	44.58	
E-2 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	52.40	24.00	67.60	30.96	
F-2 (-)	0.60	0.60	2.15	0.77	1.86	52.40	30.00	97.34	55.73	
F-2 (+)	0.50	0.50	2.15	0.54	1.29	52.40	30.00	67.60	38.70	
G-2	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	52.40	36.00	194.68	133.75	
B-1''	0.58	0.58	4.30	1.45	3.47	58.61	6.00	203.47	20.83	
G-1''	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	58.61	36.00	217.75	133.75	
C-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	12.00	228.11	44.58	
D-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	18.00	228.11	66.87	
E-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	24.00	228.11	89.16	
F-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	30.00	228.11	111.46	
G-1	0.60	0.60	4.30	1.55	3.72	61.40	36.00	228.11	133.75	

COLUMNAS

VICAS	7-6-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	0.00	92.79	0.00
	7-6-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	6.00	92.79	31.10
	7-6-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	12.00	92.79	62.21
	7-6-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	18.00	92.79	93.31
	7-6-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	24.00	92.79	124.42
	7-6-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	30.00	92.79	155.52
	6-5-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	0.00	139.45	0.00
	6-5-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	6.00	139.45	31.10
	6-5-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	12.00	139.45	62.21
	6-5-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	18.00	139.45	93.31
	6-5-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	24.00	139.45	124.42
	6-5-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	30.00	139.45	155.52
	5-4-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	6.00	118.89	20.74
	5-4-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	12.00	118.89	41.47
	5-4-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	18.00	118.89	62.21
	5-4-E	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	24.00	118.89	82.94
	5-4-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	30.00	118.89	103.68
	4-3-A	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	0.00	139.62	0.00
	4-3-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	6.00	139.62	20.74
	4-3-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	12.00	139.62	41.47
	4-3-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	18.00	139.62	62.21
	4-3-D'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E-F	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	30.00	139.62	103.68
	4-3-G	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	36.00	139.62	124.42
	3-2-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	0.00	248.31	0.00
	3-2-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	6.00	248.31	31.10
	3-2-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	12.00	248.31	62.21
	3-2-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	18.00	248.31	93.31
	3-2-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	24.00	248.31	124.42
	3-2-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	30.00	248.31	155.52
	3-2-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	36.00	248.31	186.62
	2-1-A-B	0.30	0.80	12.51	3.00	7.21	56.90	4.35	410.01	31.35
	2-1-B	0.30	0.80	6.21	1.49	3.58	56.90	6.00	203.53	21.46
	2-1-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	12.00	294.97	62.21
	2-1-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	18.00	294.97	93.31
	2-1-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	24.00	294.97	124.42
	2-1-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	30.00	294.97	155.52
	2-1-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	36.00	294.97	186.62
	1-0"-C	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.25	12.00	52.92	9.88
	1-0"-D	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-E	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-F	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-G	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	A-B-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	3.00	28.94	6.48
	A-B-6	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	22.40	3.00	77.41	10.37
	A-B-5	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	31.40	3.00	94.95	9.07
	A-B-4	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	37.40	3.00	113.10	9.07
	A-B-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	3.00	93.74	6.48
	A-B-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	3.00	113.18	6.48
	B-C-7	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	13.40	9.00	46.31	31.10
B-C-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	9.00	48.38	19.44	
B-C-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	9.00	67.82	19.44	
B-C-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	9.00	80.78	19.44	
B-C-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	9.00	93.74	19.44	
B-C-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	9.00	113.18	19.44	
B-C-1	0.30	0.80	3.30	0.79	1.90	61.40	9.00	116.71	17.11	
C-D-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	15.00	28.94	32.40	
C-D-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	15.00	48.38	32.40	
C-D-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	15.00	67.82	32.40	
C-D-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	15.00	80.78	32.40	
C-D-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	15.00	93.74	32.40	
C-D-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	15.00	113.18	32.40	
C-D-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	15.00	132.62	32.40	
C-D-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	15.00	135.71	32.40	
D-E-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	21.00	28.94	45.36	
D-E-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	21.00	48.38	45.36	
D-E-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	21.00	67.82	45.36	
D-E-4	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	37.40	21.00	129.25	72.58	
D-E-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	21.00	93.74	45.36	
D-E-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	21.00	113.18	45.36	
D-E-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	21.00	132.62	45.36	
D-E-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	21.00	135.71	45.36	
E-F-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	27.00	28.94	58.32	
E-F-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	27.00	48.38	58.32	
E-F-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	27.00	67.82	58.32	
E-F-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	27.00	80.78	58.32	
E-F-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	27.00	93.74	58.32	
E-F-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	27.00	113.18	58.32	
E-F-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	27.00	132.62	58.32	
E-F-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	27.00	135.71	58.32	
F-G-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	33.00	93.74	71.28	
F-G-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	33.00	113.18	71.28	
F-G-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	33.00	132.62	71.28	

Propuesta de Instrumentación acústica para el Edificio de Emergencias del Hospital Calderón Guardia (Torre Sur)

MUROS	A-7-6 (1)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	14.15	0.00	49.28	0.00
	A-7-6 (2)	0.23	3.60	4.30	3.48	8.36	17.90	0.00	149.63	0.00
	A-7-6 (3)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	21.65	0.00	75.41	0.00
	A-3-2 (1)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	44.15	0.00	153.77	0.00
	A-3-2 (2)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	46.70	0.00	130.12	0.00
	A-3-2 (3)	0.23	3.90	4.30	3.77	9.06	50.45	0.00	456.87	0.00
	C-5	0.23	6.10	4.30	5.90	14.16	31.40	12.00	444.76	169.97
	C-4-3	0.23	6.00	4.30	5.81	13.93	40.40	12.00	562.85	167.18
	C-2'-2	0.23	3.20	4.30	3.10	7.43	50.80	12.00	377.46	89.16
	C-1-0"	0.23	1.43	4.30	1.38	3.32	62.12	12.00	206.27	39.85
	D-2'-2	0.23	3.20	4.30	3.10	7.43	50.80	18.00	377.46	133.75
	D'-4-3 (1)	0.23	0.90	4.30	0.87	2.09	37.85	21.02	79.10	43.93
	D'-4-3 (2)	0.23	1.80	4.30	1.74	4.18	40.40	21.02	168.86	87.86
	D'-4-3 (3)	0.23	0.90	4.30	0.87	2.09	42.95	21.02	89.76	43.93
	E-4-3	0.23	6.00	4.30	5.81	13.93	40.40	24.00	562.85	334.37
	F-7-6 (1)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	14.15	30.00	49.28	104.49
	F-7-6 (2)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	16.70	30.00	46.53	83.59
	F-7-6 (3)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	19.10	30.00	53.22	83.59
	F-7-6 (4)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	21.65	30.00	75.41	104.49
	F-2'-2	0.23	3.20	4.30	3.10	7.43	50.80	30.00	377.46	222.91
	G-4-3 (1)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	38.00	36.00	105.88	100.31
	G-4-3 (2)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	40.40	36.00	112.57	100.31
	G-4-3 (3)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	42.80	36.00	119.26	100.31
	G-2'-2	0.23	3.10	4.30	3.00	7.20	50.80	36.00	365.67	259.14
	G-1"-1	0.23	2.79	4.30	2.70	6.48	60.01	36.00	388.77	233.22
	7-A-B (1)	0.23	3.60	4.30	3.48	8.36	13.40	3.30	112.01	27.59
	7-A-B (2)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	13.40	5.40	37.34	15.05
	7-C-D (1)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	13.40	12.60	37.34	35.11
	7-C-D (2)	0.23	2.10	4.30	2.03	4.88	13.40	15.45	65.34	75.34
	7-D	0.23	2.10	4.30	2.03	4.88	13.40	15.45	65.34	75.34
	7-D-E	0.23	0.91	4.30	0.88	2.11	13.40	21.16	28.31	44.71
	7-E	0.23	2.40	4.30	2.32	5.57	13.40	24.00	74.68	133.75
	7-E-F (1)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	13.40	27.00	37.34	75.23
	7-E-F (2)	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	13.40	29.40	37.34	81.92
	6-A-B 1	0.23	1.95	2.15	0.94	2.26	22.40	0.98	50.71	2.21
	4-A-B	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	37.40	0.75	130.26	2.61
	3-A-B	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	43.40	0.75	151.16	2.61
	2-A-B	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	52.40	0.75	182.51	2.61
	4-C-D	0.23	6.00	4.30	5.81	13.93	37.40	15.00	521.06	208.98
	3-C-D	0.23	6.00	4.30	5.81	13.93	43.40	15.00	604.65	208.98
	E-4	0.23	5.45	4.30	5.27	12.65	37.40	23.75	473.29	300.55
	E-3'	0.23	2.48	4.30	2.40	5.76	40.40	25.24	232.65	145.35
	E-3	0.23	5.45	4.30	5.27	12.65	43.40	23.75	549.22	300.55
	4-F-G (1)	0.23	1.50	4.30	1.45	3.48	37.40	30.75	130.26	107.10
	4-F-G (2)	0.23	3.30	4.30	3.19	7.66	37.40	34.35	286.58	263.21
	1-C (+)	0.23	2.10	2.15	1.02	2.44	61.40	10.95	149.70	26.70
	0'-C-D	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	62.83	12.60	175.07	35.11
	0'-C-D	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	62.83	15.00	175.07	41.80
	0'-D	0.23	2.40	4.30	2.32	5.57	62.83	18.00	350.14	100.31
	0'-D-E	0.23	1.20	4.30	1.16	2.79	62.83	21.00	175.07	58.51
0'-E (-)	0.25	2.40	2.15	1.29	3.10	62.83	21.00	194.52	65.02	
0'-E-F (-)	0.25	1.20	2.15	0.65	1.55	62.83	21.00	97.26	32.51	
0'-F (-)	0.25	0.50	2.15	0.27	0.65	62.83	21.00	40.53	13.55	
0'-E-F	0.23	7.00	2.15	3.39	8.13	62.83	27.60	510.62	224.31	

LOSAS	A-F-7-1	48.00	30.00	0.08	115.20	276.48	40.40	15.00	11169.79	4147.20	
	C-D-4-3 (Abertura 1)	6.00	6.00	0.08	2.88	-6.91	37.40	15.00	-258.51	-103.68	
	D'-E-4-3 (Abertura 2)	6.00	2.98	0.08	1.43	-3.43	37.40	22.51	-128.39	-77.28	
	E-F-4-3' (Abertura 3)	3.00	2.48	0.08	0.60	-1.43	40.40	25.24	-57.71	-36.05	
	A-B-5-4 (Abertura 4)	3.00	6.00	0.08	1.44	-3.46	34.40	3.00	-118.89	-10.37	
	A-B-2-1 (Abertura 5)	9.00	8.70	0.08	3.13	-7.52	58.40	2.90	-438.98	-21.80	
	F-G-4-1	24.00	6.00	0.08	11.52	27.65	49.40	33.00	1365.81	912.38	
	C-G-1-0"	1.43	24.00	0.15	5.15	12.36	61.40	24.00	758.61	296.52	
	B-F-7	1.50	24.00	0.15	5.40	12.96	10.20	18.00	132.19	233.28	
	7-F	2.90	1.50	0.15	0.65	1.57	14.90	30.75	23.33	48.15	
	G-1-0"	7.03	1.50	0.15	1.58	3.80	59.31	36.75	225.15	139.51	
	Σ	-	-	-	-	-	1040.31	-	-	40798.08	18308.59
	CM x										39.22
CM y										17.60	

Cálculo manual de centro de masa correspondiente al nivel 4

Nivel 4 (114.65)										
Elemento	b (m)	a (m)	h trib(m)	Vol(m³)	wi (ton)	xi (m)	yi (m)	wi*xi (ton*m)	wi*yi (ton*m)	
COLUMNAS	A-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	6.00	47.47	21.25
	B-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	12.00	47.47	42.51
	C-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	18.00	47.47	63.76
	D-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	20.20	47.47	71.56
	D'-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	24.00	47.47	85.02
	E-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	30.00	25.89	57.96
	F-7	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	13.40	0.00	79.35	0.00
	A-6	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	22.40	6.00	55.10	14.76
	B-6	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	22.40	12.00	55.10	29.52
	C-6	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	22.40	18.00	55.10	44.28
	D-6	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	22.40	24.00	55.10	59.04
	E-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	22.40	30.00	79.35	106.27
	F-6	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	0.00	111.23	0.00
	A-5	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	31.40	6.00	77.24	14.76
	B-5	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	31.40	12.00	77.24	29.52
	C-5	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	31.40	18.00	77.24	44.28
	D-5	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	31.40	24.00	77.24	59.04
	E-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	31.40	30.00	111.23	106.27
	F-5	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	0.00	132.49	0.00
	A-4	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	37.40	6.00	92.00	14.76
	B-4	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	37.40	12.00	92.00	29.52
	C-4	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	37.40	18.00	92.00	44.28
	D-4	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	37.40	24.00	92.00	59.04
	E-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	30.00	132.49	85.02
	F-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	36.00	132.49	106.27
	G-4	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	37.40	36.00	132.49	127.53
	A-3	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	43.40	6.00	106.76	14.76
	B-3	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	43.40	12.00	106.76	29.52
	C-3	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	43.40	18.00	106.76	44.28
	D-3	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	43.40	24.00	106.76	59.04
	E-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	30.00	153.74	85.02
	F-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	36.00	153.74	127.53
G-3	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	43.40	36.00	153.74	127.53	
G-2'	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	0.00	185.62	0.00	
A-2	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	52.40	6.00	128.90	14.76	
B-2	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	52.40	12.00	128.90	29.52	
C-2	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	52.40	18.00	128.90	44.28	
D-2	0.50	0.50	4.10	1.03	2.46	52.40	24.00	128.90	59.04	
E-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	30.00	128.90	73.80	
F-2	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	52.40	36.00	185.62	127.53	
G-2	0.58	0.58	4.10	1.38	3.31	58.61	6.00	194.01	19.86	
B-1"	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	58.61	36.00	207.62	127.53	
G-1"	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	12.00	217.50	42.51	
C-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	18.00	217.50	63.76	
D-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	24.00	217.50	85.02	
E-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	30.00	217.50	106.27	
F-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	36.00	217.50	127.53	
G-1	0.60	0.60	4.10	1.48	3.54	61.40	36.00	217.50	127.53	

VIGAS	7-6-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	0.00	92.79	0.00
	7-6-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	6.00	92.79	31.10
	7-6-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	12.00	92.79	62.21
	7-6-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	18.00	92.79	93.31
	7-6-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	24.00	92.79	124.42
	7-6-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	17.90	30.00	92.79	155.52
	6-5-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	0.00	139.45	0.00
	6-5-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	6.00	139.45	31.10
	6-5-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	12.00	139.45	62.21
	6-5-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	18.00	139.45	93.31
	6-5-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	24.00	139.45	124.42
	6-5-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	26.90	30.00	139.45	155.52
	5-4-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	6.00	118.89	20.74
	5-4-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	12.00	118.89	41.47
	5-4-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	18.00	118.89	62.21
	5-4-E	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	24.00	118.89	82.94
	5-4-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	34.40	30.00	118.89	103.68
	4-3-A	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	0.00	139.62	0.00
	4-3-B	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	6.00	139.62	20.74
	4-3-C	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	12.00	139.62	41.47
	4-3-D	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	18.00	139.62	62.21
	4-3-D'	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-E-F	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	40.40	24.00	87.26	51.84
	4-3-F	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	30.00	139.62	103.68
	4-3-G	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	40.40	36.00	139.62	124.42
	3-2-A	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	0.00	248.31	0.00
	3-2-B	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	6.00	248.31	31.10
	3-2-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	12.00	248.31	62.21
	3-2-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	18.00	248.31	93.31
	3-2-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	24.00	248.31	124.42
	3-2-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	30.00	248.31	155.52
	3-2-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	47.90	36.00	248.31	186.62
	2-1-A-B	0.30	0.80	12.51	3.00	7.21	56.90	4.35	410.01	31.35
	2-1-B	0.30	0.80	6.21	1.49	3.58	56.90	6.00	203.53	21.46
	2-1-C	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	12.00	294.97	62.21
	2-1-D	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	18.00	294.97	93.31
	2-1-E	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	24.00	294.97	124.42
	2-1-F	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	30.00	294.97	155.52
	2-1-G	0.30	0.80	9.00	2.16	5.18	56.90	36.00	294.97	186.62
	1-0"-C	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	12.00	52.92	9.88
	1-0"-D	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-E	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-F	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	1-0"-G	0.30	0.80	1.43	0.34	0.82	64.43	18.00	53.07	14.83
	A-B-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	3.00	28.94	6.48
	A-B-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	3.00	48.38	6.48
	A-B-5	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	31.40	3.00	94.95	9.07
	A-B-4	0.30	0.70	6.00	1.26	3.02	37.40	3.00	113.10	9.07
	A-B-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	3.00	93.74	6.48
	A-B-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	3.00	113.18	6.48
	B-C-7	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	13.40	9.00	46.31	31.10
	B-C-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	9.00	48.38	19.44
	B-C-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	9.00	67.82	19.44
	B-C-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	9.00	80.78	19.44
	B-C-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	9.00	93.74	19.44
	B-C-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	9.00	113.18	19.44
	B-C-1	0.30	0.80	3.30	0.79	1.90	61.40	9.00	116.71	17.11
	C-D-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	15.00	28.94	32.40
	C-D-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	15.00	48.38	32.40
	C-D-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	15.00	67.82	32.40
	C-D-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	15.00	80.78	32.40
	C-D-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	15.00	93.74	32.40
	C-D-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	15.00	113.18	32.40
	C-D-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	15.00	132.62	32.40
	C-D-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	15.00	135.71	32.40
	D-E-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	21.00	28.94	45.36
	D-E-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	21.00	48.38	45.36
	D-E-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	21.00	67.82	45.36
	D-E-4	0.30	0.80	6.00	1.44	3.46	37.40	21.00	129.25	72.58
	D-E-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	21.00	93.74	45.36
	D-E-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	21.00	113.18	45.36
	D-E-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	21.00	132.62	45.36
	D-E-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	21.00	135.71	45.36
	E-F-7	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	13.40	27.00	28.94	58.32
	E-F-6	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	22.40	27.00	48.38	58.32
	E-F-5	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	31.40	27.00	67.82	58.32
	E-F-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	27.00	80.78	58.32
	E-F-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	27.00	93.74	58.32
	E-F-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	27.00	113.18	58.32
	E-F-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	27.00	132.62	58.32
	E-F-0"	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	62.83	27.00	135.71	58.32
	F-G-4	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	37.40	33.00	80.78	71.28
	F-G-3	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	43.40	33.00	93.74	71.28
	F-G-2	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	52.40	33.00	113.18	71.28
	F-G-1	0.30	0.50	6.00	0.90	2.16	61.40	33.00	132.62	71.28

Propuesta de Instrumentación Gráfica para el Estudio de Estructuras de la Zona de Cadenas Guardia (Toma Sur)

Muros	A-7-6 (1)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	14.15	0.00	46.99	0.00
	A-7-6 (2)	0.23	3.60	4.10	3.32	7.97	17.90	0.00	142.67	0.00
	A-7-6 (3)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	21.65	0.00	71.90	0.00
	A-3-2 (1)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	44.15	0.00	146.62	0.00
	A-3-2 (2)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	46.70	0.00	124.07	0.00
	A-3-2 (3)	0.23	3.90	4.10	3.60	8.63	50.45	0.00	435.62	0.00
	C-5	0.23	6.10	2.15	2.95	7.08	31.40	12.00	222.38	84.99
	C-4-3	0.23	6.00	4.10	5.54	13.28	40.40	12.00	536.67	159.41
	C-2'-2	0.23	3.20	2.15	1.55	3.72	50.80	12.00	188.73	44.58
	C-1-0"	0.23	1.43	4.10	1.32	3.17	62.12	12.00	196.67	37.99
	D'-4-3 (1)	0.23	0.90	4.10	0.83	1.99	37.85	21.02	75.42	41.88
	D'-4-3 (2)	0.23	1.80	4.10	1.66	3.99	40.40	21.02	161.00	83.77
	D'-4-3 (3)	0.23	0.90	4.10	0.83	1.99	42.95	21.02	85.58	41.88
	E-4-3	0.23	6.00	4.10	5.54	13.28	40.40	24.00	536.67	318.82
	F-7-6 (1)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	14.15	30.00	46.99	99.63
	F-7-6 (2)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	16.70	30.00	44.37	79.70
	F-7-6 (3)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	19.10	30.00	50.74	79.70
	F-7-6 (4)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	21.65	30.00	71.90	99.63
	G-4-3 (1)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	38.00	36.00	100.96	95.64
	G-4-3 (2)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	40.40	36.00	107.33	95.64
	G-4-3 (3)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	42.80	36.00	113.71	95.64
	G-2'-2	0.23	3.10	4.10	2.86	6.86	50.80	36.00	348.66	247.08
	G-1"-1	0.23	2.79	4.10	2.57	6.18	60.01	36.00	370.69	222.37
	7-A-B (1)	0.23	3.60	4.10	3.32	7.97	13.40	3.30	106.80	26.30
	7-A-B (2)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	13.40	5.40	35.60	14.35
	7-C-D (1)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	13.40	12.60	35.60	33.48
	7-C-D (2)	0.23	2.10	4.10	1.94	4.65	13.40	15.45	62.30	71.83
	7-D	0.23	2.10	4.10	1.94	4.65	13.40	15.45	62.30	71.83
	7-D-E	0.23	0.91	4.10	0.84	2.01	13.40	21.16	27.00	42.63
	7-E	0.23	2.40	4.10	2.21	5.31	13.40	24.00	71.20	127.53
	7-E-F (1)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	13.40	27.00	35.60	71.73
	7-E-F (2)	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	13.40	29.40	35.60	78.11
	4-A-B	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	37.40	0.75	124.21	2.49
	3-A-B	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	43.40	0.75	144.13	2.49
	2-A-B	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	52.40	0.75	174.02	2.49
	4-C-D	0.23	6.00	4.10	5.54	13.28	37.40	15.00	496.82	199.26
	3-C-D	0.23	6.00	4.10	5.54	13.28	43.40	15.00	576.53	199.26
	E-4	0.23	5.45	4.10	5.03	12.07	37.40	23.75	451.28	286.57
	E-3'	0.23	2.48	4.10	2.29	5.49	40.40	25.24	221.83	138.59
	E-3	0.23	5.45	4.10	5.03	12.07	43.40	23.75	523.68	286.57
	4-F-G (1)	0.23	1.50	4.10	1.38	3.32	37.40	30.75	124.21	102.12
	4-F-G (2)	0.23	3.30	4.10	3.04	7.31	37.40	34.35	273.25	250.97
	1-C (+)	0.23	2.10	4.10	1.94	4.65	61.40	10.95	285.47	50.91
	0'-C-D	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	62.83	28.20	166.93	74.92
	0'-C-D	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	62.83	27.00	166.93	71.73
	0'-D	0.23	2.40	4.10	2.21	5.31	62.83	24.00	333.85	127.53
	0'-D-E	0.23	1.20	4.10	1.11	2.66	62.83	21.00	166.93	55.79
	0'-E (-)	0.25	2.40	4.10	2.46	5.90	62.83	21.00	370.95	123.98
	0'-E-F (-)	0.25	1.20	4.10	1.23	2.95	62.83	21.00	185.47	61.99
	0'-F (-)	0.25	0.50	4.10	0.51	1.23	62.83	21.00	77.28	25.83
Losas	A-F-7-1	48.00	30.00	0.08	115.20	276.48	40.40	15.00	11169.79	4147.20
	C-D-4-3 (Abertura 1)	6.00	6.00	0.08	2.88	-6.91	37.40	15.00	-258.51	-103.68
	D'-E-4-3 (Abertura 2)	6.00	2.98	0.08	1.43	-3.43	37.40	22.51	-128.39	-77.28
	E-F-4-3' (Abertura 3)	3.00	2.48	0.08	0.60	-1.43	40.40	25.24	-57.71	-36.05
	A-B-5-4 (Abertura 4)	3.00	6.00	0.08	1.44	-3.46	34.40	3.00	-118.89	-10.37
	A-B-2-1 (Abertura 5)	9.00	8.70	0.08	3.13	-7.52	58.40	2.90	-438.98	-21.80
	F-G-4-1	24.00	6.00	0.08	11.52	27.65	49.40	33.00	1365.81	912.38
	C-G-1-0"	1.43	24.00	0.15	5.15	12.36	61.40	24.00	758.61	296.52
	B-F-7	1.50	24.00	0.15	5.40	12.96	10.20	18.00	132.19	233.28
	7-F	2.90	1.50	0.15	0.65	1.57	14.90	30.75	23.33	48.15
	G-1-0"	7.03	1.50	0.15	1.58	3.80	59.31	36.75	225.15	139.51
	Σ	-	-	-	-	978.78	-	-	38349.46	17290.81
	CM x									
39.18										
CM y										
17.67										

Cálculo manual de centro de rigidez correspondiente al nivel 1

Elemento	b (m)x	a (m)y	h (m)	xi (m)	yi (m)	Nivel 1 (101.75)		kx	ky	ky*xi	kx*yi
						Ix (m ⁴)	Iy (m ⁴)				
A-7 (-)	1.00	0.60	3.90	13.40	0.00	0.025	0.025	13007034.12	13007034.12	174294257.22	0.00
B-7 (-)	1.00	0.60	3.90	13.40	6.00	0.018	0.050	9200594.56	25557207.10	342466575.17	55203567.34
C-7 (-)	1.00	0.60	3.90	13.40	12.00	0.018	0.050	9200594.56	25557207.10	342466575.17	110407134.68
C'-7	0.60	0.60	3.90	13.40	16.50	0.025	0.025	13007034.12	13007034.12	174294257.22	214616062.99
D-7	0.60	0.60	3.90	13.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	73972780.24	99366421.21
D'-7	0.60	0.60	3.90	13.40	20.20	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	73972780.24	111511206.03
E-7 (-)	1.00	0.60	3.90	13.40	24.00	0.018	0.050	9200594.56	25557207.10	342466575.17	220814269.36
F-7 (-)	1.00	0.60	3.90	13.40	30.00	0.018	0.050	9200594.56	25557207.10	342466575.17	276017836.70
A-6	0.60	0.60	3.90	22.40	0.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	0.00
B-6	0.60	0.60	3.90	22.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	33122140.40
C-6	0.60	0.60	3.90	22.40	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	66244280.81
D-6	0.60	0.60	3.90	22.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	99366421.21
E-6	0.60	0.60	3.90	22.40	24.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	132488561.62
F-6	0.60	0.60	3.90	22.40	30.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	123655990.84	165610702.02
A-5	0.60	0.60	3.90	31.40	0.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	0.00
B-5	0.60	0.60	3.90	31.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	33122140.40
C-5	0.60	0.60	3.90	31.40	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	66244280.81
D-5	0.60	0.60	3.90	31.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	99366421.21
E-5	0.60	0.60	3.90	31.40	24.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	132488561.62
F-5	0.60	0.60	3.90	31.40	30.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	173339201.45	165610702.02
A-4	0.60	0.60	3.90	37.40	0.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	0.00
B-4	0.60	0.60	3.90	37.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	33122140.40
C-4	0.60	0.60	3.90	37.40	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	66244280.81
D-4	0.60	0.60	3.90	37.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	99366421.21
E-4	0.60	0.60	3.90	37.40	24.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	132488561.62
F-4	0.60	0.60	3.90	37.40	30.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	165610702.02
G-4	0.60	0.60	3.90	37.40	36.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	198732842.42
H-4	0.60	0.60	3.90	37.40	42.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	231854982.83
I-4	0.60	0.60	3.90	37.40	44.75	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	206461341.85	247035963.85
A-3	0.60	0.60	3.90	43.40	0.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	0.00
B-3	0.60	0.60	3.90	43.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	33122140.40
C-3	0.60	0.60	3.90	43.40	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	66244280.81
D-3	0.60	0.60	3.90	43.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	99366421.21
E-3	0.60	0.60	3.90	43.40	24.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	132488561.62
F-3	0.60	0.60	3.90	43.40	30.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	165610702.02
G-3	0.60	0.60	3.90	43.40	36.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	198732842.42
H-3	0.60	0.60	3.90	43.40	42.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	231854982.83
I-3	0.60	0.60	3.90	43.40	44.75	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	247035963.85
G-2'	0.60	0.60	3.90	43.40	36.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	198732842.42
H-2'	0.60	0.60	3.90	43.40	42.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	231854982.83
I-2'	0.60	0.60	3.90	43.40	44.75	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	239583482.26	247035963.85
A-2	0.60	0.60	3.90	52.40	0.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	289266692.86	0.00
B-2	0.60	0.60	3.90	52.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	289266692.86	33122140.40
I-1'	0.60	0.60	3.90	55.40	44.75	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	305827763.06	247035963.85
B-1" (-)	0.50	0.50	3.90	58.61	6.00	0.005	0.005	2662209.07	2662209.07	156032073.78	15973254.44
G-1"	0.60	0.60	3.90	58.61	36.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	323548108.18	198732842.42
A-1	0.50	0.50	3.90	61.40	0.00	0.005	0.005	2662209.07	2662209.07	163459637.09	0.00
B-1	0.60	0.60	3.90	61.40	6.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	33122140.40
C-1	0.60	0.60	3.90	61.40	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	66244280.81
D-1	0.60	0.60	3.90	61.40	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	99366421.21
E-1	0.60	0.60	3.90	61.40	24.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	132488561.62
F-1	0.60	0.60	3.90	61.40	30.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	165610702.02
G-1	0.60	0.60	3.90	61.40	36.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	198732842.42
H-1	0.60	0.60	3.90	61.40	42.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	231854982.83
I-1	0.60	0.60	3.90	61.40	44.75	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	338949903.47	247035963.85
H-0"	0.80	0.40	3.90	64.45	42.00	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	562231295.22	91597030.25
C-0'	0.60	0.60	3.90	66.03	12.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	364509155.15	66244280.81
D-0'	0.60	0.60	3.90	66.03	18.00	0.011	0.011	5520356.73	5520356.73	364509155.15	99366421.21
E-12	0.80	0.40	3.90	67.96	24.00	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	592850873.91	52341160.14
F-12	0.80	0.40	3.90	68.55	30.00	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	597997754.65	65426450.18
G-12	0.80	0.40	3.90	69.14	36.00	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	603144635.40	78511740.22
H-12	0.80	0.40	3.90	69.73	42.00	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	608291516.15	91597030.25
I-12	0.80	0.40	3.90	70.00	44.75	0.004	0.017	2180881.67	8723526.69	610646868.36	97594454.85

COLUMNAS

Muros	A-7-6	9.00	0.30	3.90	17.90	0.00	0.020	18.225	538050832.56	2576234.23	46114592.66	0.00	
	A-6-1	30.00	0.30	3.90	46.40	0.00	0.068	675.000	2270944383.98	8593775.68	398751191.65	0.00	
	C-5 (-)	6.10	0.25	3.90	31.40	12.00	0.008	4.729	238935691.64	1012367.24	31788331.20	2867228299.72	
	C-4-3 (-)	6.00	0.25	3.90	40.40	12.00	0.008	4.500	231936229.13	995771.05	40229150.48	2783234749.55	
	C-2-2 (-)	3.20	0.25	3.90	50.80	12.00	0.004	0.683	61399741.31	531077.89	26978757.02	736796895.70	
	C-1-0" (-)	1.43	0.30	3.90	62.12	12.00	0.003	0.073	8617694.75	409636.64	25444579.95	103412336.99	
	D-2-2 (-)	3.20	0.25	3.90	50.80	18.00	0.004	0.683	61399741.31	531077.89	26978757.02	1105195343.55	
	D-1-0" (-)	1.43	0.30	3.90	62.12	18.00	0.003	0.073	8617694.75	409636.64	25444579.95	155118505.48	
	D-4-3 (-) 1	0.90	0.25	3.90	37.85	21.02	0.001	0.015	1878235.19	149365.66	5653490.15	39480503.69	
	D-4-3 (-) 2	1.80	0.25	3.90	40.40	21.02	0.002	0.122	13701799.27	298731.32	12068745.14	288011820.65	
	D-4-3 (-) 3	0.90	0.25	3.90	42.95	21.02	0.001	0.015	1878235.19	149365.66	6415255.00	39480503.69	
	E-4-3 (-)	6.00	0.25	3.90	40.40	24.00	0.008	4.500	231936229.13	995771.05	40229150.48	5566469499.10	
	E-1-0" (-)	1.43	0.30	3.90	62.11	24.00	0.003	0.073	8617694.75	409636.64	25442531.76	206824673.98	
	F-7-4	24.00	0.30	3.90	25.40	30.00	0.054	345.600	1790242817.08	6875020.55	174625521.86	53707284512.30	
	F-2-2 (-)	3.20	0.25	3.90	50.80	30.00	0.004	0.683	61399741.31	531077.89	26978757.02	1841992239.25	
	F-1-0" (-)	1.43	0.30	3.90	62.12	30.00	0.003	0.073	8617694.75	409636.64	25444579.95	258530842.47	
	G-4-3	6.00	0.25	3.90	40.40	36.00	0.008	4.500	231936229.13	995771.05	40229150.48	8349704248.65	
	G-2-2	3.10	0.25	3.90	50.80	36.00	0.004	0.621	56857509.23	514481.71	26135670.87	2046870332.39	
	G-1"-1 (-)	2.79	0.25	3.90	60.01	36.00	0.004	0.452	43805342.17	463033.54	27786642.67	1576992318.24	
	I-4-12	24.00	0.30	3.90	49.40	44.75	0.054	345.600	1790242817.08	6875020.55	339626014.96	8011336064.18	
	I-1-12	8.60	0.30	3.90	65.70	44.75	0.019	15.901	503074275.53	2463549.03	161855171.20	22512573830.17	
	7-A-D'	0.25	20.20	3.90	13.40	10.10	171.717	0.026	3352429.21	1235048136.75	16549645032.48	33859534.99	
	7-E-F	0.25	6.00	3.90	13.40	27.00	4.500	0.008	995771.05	231936229.13	3107945470.33	26885818.39	
	6-A-B	0.25	6.00	3.90	22.40	3.00	4.500	0.008	995771.05	231936229.13	5195371532.49	2987313.15	
	4-A-B	0.25	1.5	3.90	37.4	0.75	0.070	0.002	248942.76	8224549.76	307598161.15	186707.07	
	3-A-B	0.25	1.5	3.90	43.4	0.75	0.070	0.002	248942.76	8224549.76	356945459.73	186707.07	
	2-A-B	0.25	1.5	3.90	52.4	0.75	0.070	0.002	248942.76	8224549.76	430966407.61	186707.07	
	1-A-B	0.3	6	3.90	61.4	3	5.400	0.014	1718755.14	278323474.95	17089061362.24	5156265.41	
	4-C-D	0.25	6	3.90	37.4	15	4.500	0.008	995771.05	231936229.13	8674414969.43	14936565.77	
	3-C-D	0.25	6	3.90	43.4	15	4.500	0.008	995771.05	231936229.13	10066032344.20	14936565.77	
	E-4	0.25	5.45	3.90	37.4	23.75	3.372	0.007	904492.04	194078567.23	7258538414.44	21481685.91	
	E-3'	0.25	2.48	3.90	40.4	25.24	0.318	0.003	411585.37	32414569.26	1309548598.14	10388414.69	
	E-3	0.25	5.45	3.90	43.4	23.75	3.372	0.007	904492.04	194078567.23	8423009817.82	21481685.91	
	4-F-I	0.25	14.75	3.90	37.4	37.38	66.855	0.019	2447937.17	859476964.95	32144438489.13	91503891.35	
	1-C	0.25	2.1	3.90	61.4	10.95	0.193	0.003	348519.87	20872372.60	1281563677.62	3816292.56	
	1-H	0.25	5.75	3.90	61.4	41.88	3.961	0.007	954280.59	214582522.81	13175366900.68	39965271.15	
	1-G	0.25	2.9	3.90	61.4	34.55	0.508	0.004	481289.34	48253308.05	2962753114.19	16628546.75	
	0"-C-F	0.3	17.3	3.90	62.83	21.35	129.443	0.039	4955743.98	1243848554.97	78151004708.89	105805133.90	
	0"-C-E	0.3	14.12	3.90	66.03	16.943	70.379	0.032	4044803.75	978341593.84	64599895441.34	68531110.01	
								474.70	1423.21	8541068504.84	6744333191.91	289543027366.02	192197626690.76

CRx	42.93
Cry	22.50

Cálculo manual de centro de rigidez correspondiente al nivel 2

Nivel 2 (106.05)												
Elemento	b (m)x	a (m)y	h (m)	xi (m)	yi (m)	ix (m ⁴)	iy (m ⁴)	kx	ky	ky*xi	kx*yi	
A-7	-	-	4.30	13.40	0.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	0.00	
B-7	0.60	0.60	4.30	13.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	24711940.42	
C-7	0.60	0.60	4.30	13.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	49423880.83	
D-7	0.60	0.60	4.30	13.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	74135821.25	
D'-7	0.60	0.60	4.30	13.40	20.20	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	83196866.07	
E-7	0.60	0.60	4.30	13.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	98847761.66	
F-7	-	-	4.30	13.40	30.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	291130689.25	
A-6	0.60	0.60	4.30	22.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	0.00	
B-6	0.60	0.60	4.30	22.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	24711940.42	
C-6	0.60	0.60	4.30	22.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	49423880.83	
D-6	0.60	0.60	4.30	22.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	74135821.25	
E-6	0.60	0.60	4.30	22.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	98847761.66	
F-6	0.60	0.60	4.30	22.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	123559702.08	
A-5	0.60	0.60	4.30	31.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	0.00	
B-5	0.60	0.60	4.30	31.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	24711940.42	
C-5	0.60	0.60	4.30	31.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	49423880.83	
D-5	0.60	0.60	4.30	31.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	74135821.25	
E-5	0.60	0.60	4.30	31.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	98847761.66	
F-5	0.60	0.60	4.30	31.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	123559702.08	
A-4	0.60	0.60	4.30	37.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	0.00	
B-4	0.60	0.60	4.30	37.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	24711940.42	
C-4	0.60	0.60	4.30	37.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	49423880.83	
D-4	0.60	0.60	4.30	37.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	74135821.25	
E-4	0.60	0.60	4.30	37.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	98847761.66	
F-4	0.60	0.60	4.30	37.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	123559702.08	
G-4	0.60	0.60	4.30	37.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	148271642.49	
A-3	0.60	0.60	4.30	43.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	0.00	
B-3	0.60	0.60	4.30	43.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	24711940.42	
C-3	0.60	0.60	4.30	43.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	49423880.83	
D-3	0.60	0.60	4.30	43.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	74135821.25	
E-3	0.60	0.60	4.30	43.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	98847761.66	
F-3	0.60	0.60	4.30	43.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	123559702.08	
G-3	0.60	0.60	4.30	43.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	148271642.49	
G-2'	0.60	0.60	4.30	43.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	148271642.49	
A-2	0.60	0.60	4.30	52.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	0.00	
B-2	0.60	0.60	4.30	52.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	24711940.42	
C-2	0.60	0.60	4.30	52.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	49423880.83	
D-2	0.60	0.60	4.30	52.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	74135821.25	
E-2	0.60	0.60	4.30	52.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	98847761.66	
F-2	0.60	0.60	4.30	52.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	123559702.08	
G-2	0.60	0.60	4.30	52.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	148271642.49	
B-1"	0.58	0.58	4.30	58.61	6.00	0.009	0.009	3596355.13	3596355.13	210782374.14	21578130.78	
G-1"	0.60	0.60	4.30	58.61	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	241394471.29	148271642.49	
C-1	0.60	0.60	4.30	61.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	49423880.83	
D-1	0.60	0.60	4.30	61.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	74135821.25	
E-1	0.60	0.60	4.30	61.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	98847761.66	
F-1	0.60	0.60	4.30	61.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	123559702.08	
G-1	0.60	0.60	4.30	61.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	148271642.49	

COLUMNS

MUROS	A-7-6 (-) 1	1.50	0.25	4.30	14.15	0.00	0.002	0.070	6142907.08	185738.65	2628201.87	0.00	
	A-7-6 (-) 2	3.60	0.25	4.30	17.90	0.00	0.005	0.972	60739601.86	445772.75	7979332.31	0.00	
	A-7-6 (-) 3	1.50	0.25	4.30	21.65	0.00	0.002	0.070	6142907.08	185738.65	4021241.73	0.00	
	A-3-2 (+) 1	1.50	0.25	4.30	44.15	0.00	0.002	0.070	6142907.08	185738.65	8200361.31	0.00	
	A-3-2 (+) 2	1.20	0.25	4.30	46.70	0.00	0.002	0.036	3242802.04	148590.92	6939195.89	0.00	
	A-3-2 (-) 3	3.90	0.25	4.30	50.45	0.00	0.005	1.236	72866258.68	482920.48	24363338.45	0.00	
	C-5 (-)	6.10	0.25	4.30	31.40	12.00	0.008	4.729	179664572.90	755337.17	23717587.08	2155974874.74	
	C-4-3 (-)	6.00	0.25	4.30	40.40	12.00	0.008	4.500	174383479.54	742954.59	30015365.50	2092601754.44	
	C-2'-2 (-)	3.20	0.25	4.30	50.80	12.00	0.004	0.683	45984740.18	396242.45	20129116.40	551816882.22	
	C-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.12	12.00	0.002	0.061	5363297.03	177070.84	10999640.85	64359564.31	
	D-2'-2 (-)	3.20	0.25	4.30	50.80	18.00	0.004	0.683	45984740.18	396242.45	20129116.40	827725323.32	
	D-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.12	18.00	0.002	0.061	5363297.03	177070.84	10999640.85	96539346.47	
	D'-4-3 (-) 1	0.90	0.25	4.30	37.85	21.02	0.001	0.015	1401904.84	111443.19	4218124.69	29468039.68	
	D'-4-3 (-) 2	1.80	0.25	4.30	40.40	21.02	0.002	0.122	10238194.12	222886.38	9004609.65	21520680.48	
	D'-4-3 (-) 3	0.90	0.25	4.30	42.95	21.02	0.001	0.015	1401904.84	111443.19	4786484.96	29468039.68	
	E-4-3 (-)	6.00	0.25	4.30	40.40	24.00	0.008	4.500	174383479.54	742954.59	30015365.50	4185203508.89	
	E-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.11	24.00	0.002	0.061	5363297.03	177070.84	10997870.14	128719128.63	
	E'-4-3 (-)	6.00	0.25	4.30	40.40	26.48	0.008	4.500	174383479.54	742954.59	30015365.50	4617674538.14	
	F-7-6 (-) 1	1.50	0.25	4.30	14.15	30.00	0.002	0.070	6142907.08	185738.65	2628201.87	184287212.34	
	F-7-6 (-) 2	1.20	0.25	4.30	16.70	30.00	0.002	0.036	3242802.04	148590.92	2481468.34	97284061.12	
	F-7-6 (-) 3	1.20	0.25	4.30	19.10	30.00	0.002	0.036	3242802.04	148590.92	2838086.54	97284061.12	
	F-7-6 (-) 4	1.50	0.25	4.30	21.65	30.00	0.002	0.070	6142907.08	185738.65	4021241.73	184287212.34	
	F-2'-2 (-)	3.20	0.25	4.30	50.80	30.00	0.004	0.683	45984740.18	396242.45	20129116.40	1379542205.54	
	F-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.12	30.00	0.002	0.061	5363297.03	177070.84	10999640.85	160898910.79	
	G-4-3 (-)	3.22	0.25	4.30	40.40	36.00	0.004	0.696	46680579.58	398718.96	16108246.15	1680500864.92	
	G-2'-2 (-)	3.10	0.25	4.30	50.80	36.00	0.004	0.621	42575693.57	383859.87	1950081.52	1532724968.62	
	G-1"-1 (-)	2.79	0.25	4.30	60.01	36.00	0.004	0.452	32784788.67	345473.89	20731887.85	1180252392.08	
	7A-B (-) 1	0.25	3.60	4.30	13.40	3.30	0.972	0.005	445772.75	60739601.86	813910664.97	1471050.09	
	7A-B (-) 2	0.25	1.20	4.30	13.40	5.40	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	43453547.30	802390.96	
	7C-D (-) 1	0.25	1.20	4.30	13.40	12.60	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	43453547.30	1872245.57	
	7C-D (-) 2	0.25	4.80	4.30	13.40	15.45	2.304	0.006	594363.67	113546119.54	1521518001.81	9182918.75	
	7D-E (-) 1	0.25	0.91	4.30	13.40	21.16	0.016	0.001	112681.45	1448126.78	19404898.85	2384339.41	
	7E (-)	0.25	2.40	4.30	13.40	24.00	0.288	0.003	297181.84	22257478.61	298250213.31	7132364.08	
	7E-F (-) 1	0.25	1.20	4.30	13.40	27.00	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	43453547.30	4011954.79	
	7E-F (-) 2	0.25	1.20	4.30	13.40	29.40	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	43453547.30	4368573.00	
	6A-B (-) 1	0.25	1.95	4.30	22.40	0.98	0.154	0.003	241460.24	12759650.74	285816176.56	235423.74	
	6A-B (-) 2	0.25	1.95	4.30	22.40	5.03	0.154	0.003	241460.24	12759650.74	285816176.56	1213337.72	
	4A-B (-)	0.25	1.50	4.30	37.40	0.75	0.070	0.002	185738.65	6142907.08	229744724.71	139303.99	
	3A-B (-)	0.25	1.50	4.30	43.40	0.75	0.070	0.002	185738.65	6142907.08	266602167.18	139303.99	
	2A-B (-)	0.25	1.50	4.30	52.40	0.75	0.070	0.002	185738.65	6142907.08	321888330.88	139303.99	
	4C-D (-)	0.25	6.00	4.30	37.40	15.00	4.500	0.008	742954.59	174383479.54	6521942134.68	11144318.87	
	3C-D (-)	0.25	6.00	4.30	43.40	15.00	4.500	0.008	742954.59	174383479.54	7568243011.91	11144318.87	
	E-4 (-)	0.25	5.45	4.30	37.40	23.75	3.372	0.007	674850.42	145830918.06	5454076335.29	16027697.49	
	E-3' (-)	0.25	2.48	4.30	40.40	25.24	0.318	0.003	307087.90	24246996.44	979578656.29	7750898.54	
	E-3 (-)	0.25	5.45	4.30	43.40	23.75	3.372	0.007	674850.42	145830918.06	6329061843.62	16027697.49	
	4F-G (-)	0.25	6.00	4.30	37.40	33.00	4.500	0.008	742954.59	174383479.54	6521942134.68	24517501.52	
	1C (-)	0.25	2.10	4.30	61.40	10.95	0.193	0.003	260034.11	15603381.34	958047614.27	2847373.47	
	1G (-)	0.25	2.90	4.30	61.40	34.55	0.508	0.004	359094.72	36120488.86	2217798016.03	12406722.55	
	0'-C-D (-) 1	0.25	1.20	4.30	62.83	28.20	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	203745252.01	4190263.90	
	0'-C-D (-) 2	0.25	1.20	4.30	62.83	27.00	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	203745252.01	4011954.79	
	0'-D (-)	0.25	2.40	4.30	62.83	24.00	0.288	0.003	297181.84	22257478.61	1398437380.77	7132364.08	
	0'-D-E (-)	0.25	1.20	4.30	62.83	21.00	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	203745252.01	3120409.28	
	0'-E (-)	0.25	2.40	4.30	62.83	24.00	0.288	0.003	297181.84	22257478.61	1398437380.77	7132364.08	
	0'-E-F (-)	0.25	1.20	4.30	62.83	27.00	0.036	0.002	148590.92	3242802.04	203745252.01	4011954.79	
	0'-F (-)	0.25	0.50	4.30	62.83	30.00	0.003	0.001	61912.88	245786.93	15442793.08	1857386.48	
	Σ							26.87	25.75	1388538830.08	1420528468.55	52354470634.86	25390253108.45

CRx	36.86
Cry	18.29

Cálculo manual de centro de rigidez correspondiente al nivel 3.

Nivel 3 (110.35)												
Elemento	b (m)x	a (m)y	h (m)	xi (m)	yi (m)	lx (m ²)	ly (m ²)	kx	ky	ky*xi	kx*yi	
A-7	-	-	4.30	13.40	0.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	0.00	
B-7	0.60	0.60	4.30	13.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	24711940.42	
C-7	0.60	0.60	4.30	13.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	49423880.83	
D-7	0.60	0.60	4.30	13.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	74135821.25	
D'-7	0.60	0.60	4.30	13.40	20.20	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	83196866.07	
E-7	0.60	0.60	4.30	13.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	98847761.66	
F-7	-	-	4.30	13.40	30.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	291130689.25	
A-6	0.60	0.60	4.30	22.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	0.00	
B-6 (-)	0.60	0.60	4.30	22.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	24711940.42	
C-6 (-)	0.60	0.60	4.30	22.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	49423880.83	
D-6 (-)	0.60	0.60	4.30	22.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	74135821.25	
E-6 (-)	0.60	0.60	4.30	22.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	98847761.66	
F-6	0.60	0.60	4.30	22.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	123559702.08	
A-5	0.60	0.60	4.30	31.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	0.00	
B-5 (-)	0.60	0.60	4.30	31.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	24711940.42	
C-5 (-)	0.60	0.60	4.30	31.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	49423880.83	
D-5 (-)	0.60	0.60	4.30	31.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	74135821.25	
E-5 (-)	0.60	0.60	4.30	31.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	98847761.66	
F-5	0.60	0.60	4.30	31.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	123559702.08	
A-4	0.60	0.60	4.30	37.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	0.00	
B-4 (+)	0.60	0.60	4.30	37.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	24711940.42	
C-4 (-)	0.60	0.60	4.30	37.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	49423880.83	
D-4 (-)	0.60	0.60	4.30	37.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	74135821.25	
E-4	0.60	0.60	4.30	37.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	98847761.66	
F-4	0.60	0.60	4.30	37.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	123559702.08	
G-4	0.60	0.60	4.30	37.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	148271642.49	
A-3	0.60	0.60	4.30	43.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	0.00	
B-3 (-)	0.60	0.60	4.30	43.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	24711940.42	
C-3 (-)	0.60	0.60	4.30	43.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	49423880.83	
D-3 (-)	0.60	0.60	4.30	43.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	74135821.25	
E-3	0.60	0.60	4.30	43.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	98847761.66	
F-3 (-)	0.60	0.60	4.30	43.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	123559702.08	
G-3	0.60	0.60	4.30	43.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	148271642.49	
G-2'	0.60	0.60	4.30	43.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	148271642.49	
A-2	0.60	0.60	4.30	52.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	0.00	
B-2 (+)	0.60	0.60	4.30	52.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	24711940.42	
C-2 (-)	0.60	0.60	4.30	52.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	49423880.83	
D-2 (-)	0.60	0.60	4.30	52.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	74135821.25	
E-2 (-)	0.60	0.60	4.30	52.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	98847761.66	
F-2 (-)	0.60	0.60	4.30	52.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	123559702.08	
G-2	0.60	0.60	4.30	52.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	148271642.49	
B-1''	0.58	0.58	4.30	58.61	6.00	0.009	0.009	3596355.13	3596355.13	210782374.14	21578130.78	
G-1''	0.60	0.60	4.30	58.61	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	241394471.29	148271642.49	
C-1	0.60	0.60	4.30	61.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	49423880.83	
D-1	0.60	0.60	4.30	61.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	74135821.25	
E-1	0.60	0.60	4.30	61.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	98847761.66	
F-1	0.60	0.60	4.30	61.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	123559702.08	
G-1	0.60	0.60	4.30	61.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	148271642.49	

COLUMNAS

MUROS	A-7-6 (1)	1.50	0.23	4.30	14.15	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	1917666.11	0.00
	A-7-6 (2)	3.60	0.23	4.30	17.90	0.00	0.003	0.875	58711556.83	325257.86	5822115.63	0.00
	A-7-6 (3)	1.50	0.23	4.30	21.65	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	2934096.91	0.00
	A-3-2 (1)	1.50	0.23	4.30	44.15	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	5983389.31	0.00
	A-3-2 (2)	1.20	0.23	4.30	46.70	0.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	5063180.63	0.00
	A-3-2 (3)	3.90	0.23	4.30	50.45	0.00	0.004	1.112	70997504.06	352362.68	17776697.08	0.00
	C-5	6.10	0.23	4.30	31.40	12.00	0.006	4.256	183809984.29	551131.37	17305524.94	2205719811.49
	C-4-3	6.00	0.23	4.30	40.40	12.00	0.006	4.050	178085159.28	542096.43	21900695.65	2137021911.42
	C-2'-2	3.20	0.23	4.30	50.80	12.00	0.003	0.614	43966817.63	289118.09	14687199.19	527601811.59
	C-1-0"	1.43	0.23	4.30	62.12	12.00	0.001	0.055	4902060.10	129199.65	8025882.16	58824721.23
	D-2'-2	3.20	0.23	4.30	50.80	18.00	0.003	0.614	43966817.63	289118.09	14687199.19	791402717.39
	D-1-0"	1.43	0.23	4.30	62.12	18.00	0.001	0.056	5010994.77	137995.61	8572287.44	90197905.89
	D'-4-3 (1)	0.90	0.23	4.30	37.85	21.02	0.001	0.014	1269792.89	81314.46	3077752.46	26691046.54
	D'-4-3 (2)	1.80	0.23	4.30	40.40	21.02	0.002	0.109	9433528.38	162628.93	6570208.69	198292766.60
	D'-4-3 (3)	0.90	0.23	4.30	42.95	21.02	0.001	0.014	1269792.89	81314.46	3492456.23	26691046.54
	E-4-3	6.00	0.23	4.30	40.40	24.00	0.006	4.050	178085159.28	542096.43	21900695.65	4274043822.83
	E-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.12	24.00	0.002	0.061	5446733.45	177160.44	11005206.72	130721602.74
	E'-4-3 (-)	6.00	0.25	4.30	40.40	26.48	0.008	4.500	197872399.21	743330.53	30030553.42	5239661130.95
	F-7-6 (1)	1.50	0.23	4.30	14.15	30.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	1917666.11	168679924.61
	F-7-6 (2)	1.20	0.23	4.30	16.70	30.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	1810602.07	88532818.47
	F-7-6 (3)	1.20	0.23	4.30	19.10	30.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	2070808.35	88532818.47
	F-7-6 (4)	1.50	0.23	4.30	21.65	30.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	2934096.91	168679924.61
	F-2'-2	3.20	0.23	4.30	50.80	30.00	0.003	0.614	43966817.63	289118.09	14687199.19	1319004528.99
	F-1-0" (-)	1.43	0.25	4.30	62.12	30.00	0.002	0.061	5446733.45	177160.44	11005206.72	163402003.43
	G-4-3 (1)	1.20	0.23	4.30	38.00	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4119932.84	106239382.16
	G-4-3 (2)	1.20	0.23	4.30	40.40	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4380139.13	106239382.16
	G-4-3 (3)	1.20	0.23	4.30	42.80	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4640345.41	106239382.16
	G-2'-2	3.10	0.23	4.30	50.80	36.00	0.003	0.559	40595316.50	280083.15	14228224.22	1461431394.01
	G-1"-1	2.79	0.23	4.30	60.01	36.00	0.003	0.407	30993845.45	252074.84	15127011.06	1115778436.27
	7-A-B (1)	0.23	3.60	4.30	13.40	1.80	0.875	0.003	325257.86	58711556.83	786734861.53	585464.14
	7-A-B (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	5.40	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	585464.14
	7-C-D (1)	0.23	1.20	4.30	13.40	12.60	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	1366083.00
	7-C-D (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	15.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	1626289.28
	7-D	0.23	2.40	4.30	13.40	18.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	278992920.31	3903094.27
	7-D-E	0.23	0.91	4.30	13.40	21.16	0.014	0.001	82217.96	1311840.59	17578663.85	1739731.99
	7-E	0.23	2.40	4.30	13.40	24.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	278992920.31	5204125.70
	7-E-F (1)	0.23	1.20	4.30	13.40	27.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	2927320.71
	7-E-F (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	29.40	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	3187526.99
	6-A-B 1	0.23	1.95	4.30	22.40	0.98	0.139	0.002	176181.34	11799021.93	264298091.22	171776.81
	6-A-B (-) 2	0.25	1.95	4.30	22.40	5.03	0.154	0.003	241582.42	13110024.37	293664545.80	1213951.67
	4-A-B	0.23	1.50	4.30	37.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	210287639.35	101643.08
	3-A-B	0.23	1.50	4.30	43.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	244023624.27	101643.08
	4-C-D	0.23	6.00	4.30	37.40	15.00	4.050	0.006	542096.43	178085159.28	6660384957.25	8131446.40
	3-C-D	0.23	6.00	4.30	43.40	15.00	4.050	0.006	542096.43	178085159.28	7728895912.96	8131446.40
	E-4	0.23	5.45	4.30	37.40	23.75	3.035	0.005	492404.25	147351768.08	5510956126.32	11694601.04
	E-3'	0.23	2.48	4.30	40.40	25.24	0.286	0.002	224066.52	22729968.59	918290730.96	5655439.04
	E-3	0.23	5.45	4.30	43.40	23.75	3.035	0.005	492404.25	147351768.08	6395066734.83	11694601.04
	4-F-G (1)	0.23	1.50	4.30	37.40	30.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	210287639.35	4167366.28
	4-F-G (2)	0.23	3.30	4.30	37.40	34.35	0.674	0.003	298153.03	47467364.84	1775279444.92	10241556.75
	2-A-B	0.23	1.50	4.30	52.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	294627601.65	101643.08
1-C	0.23	2.10	4.30	61.40	10.95	0.174	0.002	189733.75	14482552.72	889228736.98	2077584.56	
0'-C-D 1	0.23	1.20	4.30	62.83	12.60	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	1366083.00	
0'-C-D 2	0.23	1.20	4.30	62.83	15.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	1626289.28	
0'-D	0.23	2.40	4.30	62.83	18.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	1308143670.36	3903094.27	
0'-D-E	0.23	1.20	4.30	62.83	21.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	2276804.99	
0'-E-F	0.23	7.20	4.30	62.83	26.40	6.998	0.007	650515.71	248758761.42	15629512979.85	17173614.80	
Σ							25.39	23.14	1364312195.44	1392880774.45	58328015685.52	24442603618.54

CRx	41.88
Cry	17.92

Cálculo manual de centro de rigidez correspondiente al nivel 4

Nivel 2 (106.05)												
Elemento	b (m)x	a (m)y	h (m)	xi (m)	yi (m)	lx (m ⁴)	ly (m ⁴)	kx	ky	ky*xi	kx*yi	
A-7	-	-	4.30	13.40	0.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	0.00	
B-7	0.60	0.60	4.30	13.40	6.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	24711940.42	
C-7	0.60	0.60	4.30	13.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	49423880.83	
D-7	0.60	0.60	4.30	13.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	74135821.25	
D'-7	0.60	0.60	4.30	13.40	20.20	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	83196866.07	
E-7	0.60	0.60	4.30	13.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	55190000.26	98847761.66	
F-7	-	-	4.30	13.40	30.00	0.025	0.025	9704356.31	9704356.31	130038374.53	291130689.25	
A-6	0.60	0.60	4.30	22.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	0.00	
B-6	0.50	0.50	4.30	22.40	6.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	44491662.27	11917409.54	
C-6	0.50	0.50	4.30	22.40	12.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	44491662.27	23834819.07	
D-6	0.50	0.50	4.30	22.40	18.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	44491662.27	35752228.61	
E-6	0.50	0.50	4.30	22.40	24.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	44491662.27	47669638.15	
F-6	0.60	0.60	4.30	22.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	92257910.89	123559702.08	
A-5	0.60	0.60	4.30	31.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	0.00	
B-5	0.50	0.50	4.30	31.40	6.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	62367776.58	11917409.54	
C-5	0.50	0.50	4.30	31.40	12.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	62367776.58	23834819.07	
D-5	0.50	0.50	4.30	31.40	18.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	62367776.58	35752228.61	
E-5	0.50	0.50	4.30	31.40	24.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	62367776.58	47669638.15	
F-5	0.60	0.60	4.30	31.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	129325821.51	123559702.08	
A-4	0.60	0.60	4.30	37.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	0.00	
B-4	0.50	0.50	4.30	37.40	6.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	74285186.11	11917409.54	
C-4	0.50	0.50	4.30	37.40	12.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	74285186.11	23834819.07	
D-4	0.50	0.50	4.30	37.40	18.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	74285186.11	35752228.61	
E-4	0.60	0.60	4.30	37.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	98847761.66	
F-4	0.60	0.60	4.30	37.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	123559702.08	
G-4	0.60	0.60	4.30	37.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	154037761.92	148271642.49	
A-3	0.60	0.60	4.30	43.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	0.00	
B-3	0.50	0.50	4.30	43.40	6.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	86202595.65	11917409.54	
C-3	0.50	0.50	4.30	43.40	12.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	86202595.65	23834819.07	
D-3	0.50	0.50	4.30	43.40	18.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	86202595.65	35752228.61	
E-3	0.60	0.60	4.30	43.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	98847761.66	
F-3	0.50	0.50	4.30	43.40	30.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	86202595.65	59587047.68	
G-3	0.60	0.60	4.30	43.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	178749702.34	148271642.49	
G-2'	0.60	0.60	4.30	49.30	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	203049777.08	148271642.49	
A-2	0.60	0.60	4.30	52.40	0.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	0.00	
B-2	0.50	0.50	4.30	52.40	6.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	104078709.96	11917409.54	
C-2	0.50	0.50	4.30	52.40	12.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	104078709.96	23834819.07	
D-2	0.50	0.50	4.30	52.40	18.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	104078709.96	35752228.61	
E-2	0.50	0.50	4.30	52.40	24.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	104078709.96	47669638.15	
F-2	0.50	0.50	4.30	52.40	30.00	0.005	0.005	1986234.92	1986234.92	104078709.96	59587047.68	
G-2	0.60	0.60	4.30	52.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	215817612.96	148271642.49	
B-1"	0.58	0.58	4.30	58.61	6.00	0.009	0.009	3596355.13	3596355.13	210782374.14	21578130.78	
G-1"	0.60	0.60	4.30	58.61	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	241394471.29	148271642.49	
C-1	0.60	0.60	4.30	61.40	12.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	49423880.83	
D-1	0.60	0.60	4.30	61.40	18.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	74135821.25	
E-1	0.60	0.60	4.30	61.40	24.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	98847761.66	
F-1	0.60	0.60	4.30	61.40	30.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	123559702.08	
G-1	0.60	0.60	4.30	61.40	36.00	0.011	0.011	4118656.74	4118656.74	252885523.59	148271642.49	

COLUMNAS

MUROS

A-7-6 (1)	1.50	0.23	4.30	14.15	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	1917666.11	0.00
A-7-6 (2)	3.60	0.23	4.30	17.90	0.00	0.003	0.875	58711556.83	325257.86	5822115.63	0.00
A-7-6 (3)	1.50	0.23	4.30	21.65	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	2934096.91	0.00
A-3-2 (1)	1.50	0.23	4.30	44.15	0.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	5983389.31	0.00
A-3-2 (2)	1.20	0.23	4.30	46.70	0.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	5063180.63	0.00
A-3-2 (3)	3.90	0.23	4.30	50.45	0.00	0.004	1.112	70997504.06	352362.68	17776697.08	0.00
C-5	6.10	0.23	4.30	31.40	12.00	0.006	4.256	183809984.29	551131.37	17305524.94	2205719811.49
C-4-3	6.00	0.23	4.30	40.40	12.00	0.006	4.050	178085159.28	542096.43	21900695.65	2137021911.42
C-2'-2	3.20	0.23	4.30	50.80	12.00	0.003	0.614	43966817.63	289118.09	14687199.19	527601811.59
C-1-0"	1.43	0.23	4.30	62.12	12.00	0.001	0.055	4902060.10	129199.65	8025882.16	58824721.23
D'-4-3 (1)	0.90	0.23	4.30	37.85	21.02	0.001	0.014	1269792.89	81314.46	3077752.46	26691046.54
D'-4-3 (2)	1.80	0.23	4.30	40.40	21.02	0.002	0.109	9433528.38	162628.93	6570208.69	198292766.60
D'-4-3 (3)	0.90	0.23	4.30	42.95	21.02	0.001	0.014	1269792.89	81314.46	3492456.23	26691046.54
E-4-3	6.00	0.23	4.30	40.40	24.00	0.006	4.050	178085159.28	542096.43	21900695.65	4274043822.83
E'-4-3 (-)	6.00	0.25	4.30	40.40	26.48	0.008	4.500	174383479.54	742954.59	30015365.50	4617674538.14
F-7-6 (1)	1.50	0.23	4.30	14.15	30.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	1917666.11	168679924.61
F-7-6 (2)	1.20	0.23	4.30	16.70	30.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	1810602.07	88532818.47
F-7-6 (3)	1.20	0.23	4.30	19.10	30.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	2070808.35	88532818.47
F-7-6 (4)	1.50	0.23	4.30	21.65	30.00	0.001	0.063	5622664.15	135524.11	2934096.91	168679924.61
G-4-3 (1)	1.20	0.23	4.30	38.00	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4119932.84	106239382.16
G-4-3 (2)	1.20	0.23	4.30	40.40	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4380139.13	106239382.16
G-4-3 (3)	1.20	0.23	4.30	42.80	36.00	0.001	0.032	2951093.95	108419.29	4640345.41	106239382.16
G-2'-2	3.10	0.23	4.30	50.80	36.00	0.003	0.559	40595316.50	280083.15	14228224.22	1461431394.01
G-1"-1	2.79	0.23	4.30	60.01	36.00	0.003	0.407	30993845.45	252074.84	15127011.06	1115778436.27
7-A-B (1)	0.23	3.60	4.30	13.40	3.30	0.875	0.003	325257.86	58711556.83	786734861.53	1073350.93
7-A-B (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	5.40	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	585464.14
7-C-D (1)	0.23	1.20	4.30	13.40	12.60	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	1366083.00
7-C-D (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	15.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	1626289.28
7-D	0.23	2.40	4.30	13.40	18.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	278992920.31	3903094.27
7-D-E	0.23	0.91	4.30	13.40	21.16	0.014	0.001	82217.96	1311840.59	17578663.85	1739731.99
7-E	0.23	2.40	4.30	13.40	24.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	278992920.31	5204125.70
7-E-F (1)	0.23	1.20	4.30	13.40	27.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	2927320.71
7-E-F (2)	0.23	1.20	4.30	13.40	29.40	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	39544658.91	3187526.99
4-A-B	0.23	1.50	4.30	37.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	210287639.35	101643.08
3-A-B	0.23	1.50	4.30	43.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	244023624.27	101643.08
2-A-B	0.23	1.50	4.30	52.40	0.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	294627601.65	101643.08
4-C-D	0.23	6.00	4.30	37.40	15.00	4.050	0.006	542096.43	178085159.28	6660384957.25	8131446.40
3-C-D	0.23	6.00	4.30	43.40	15.00	4.050	0.006	542096.43	178085159.28	7728895912.96	8131446.40
E-4	0.23	5.45	4.30	37.40	23.75	3.035	0.005	492404.25	147351768.08	5510956126.32	11694601.04
E-3'	0.23	2.48	4.30	40.40	25.24	0.286	0.002	224066.52	22729968.59	918290730.96	5655439.04
E-3	0.23	5.45	4.30	43.40	23.75	3.035	0.005	492404.25	147351768.08	6395066734.83	11694601.04
4-F-G (1)	0.23	1.50	4.30	37.40	30.75	0.063	0.001	135524.11	5622664.15	210287639.35	4167366.28
4-F-G (2)	0.23	3.30	4.30	37.40	34.35	0.674	0.003	298153.03	47467364.84	1775279444.92	10241556.75
1-C	0.23	2.10	4.30	61.40	10.95	0.174	0.002	189733.75	14482552.72	889228736.98	2077584.56
0'-C-D (1)	0.23	1.20	4.30	62.83	12.60	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	1366083.00
0'-C-D (2)	0.23	1.20	4.30	62.83	14.60	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	1582921.57
0'-D	0.23	2.40	4.30	62.83	18.00	0.259	0.002	216838.57	20820367.19	1308143670.36	3903094.27
0'-D-E	0.23	1.20	4.30	62.83	21.00	0.032	0.001	108419.29	2951093.95	185417232.81	2276804.99
0'-E (-)	0.25	2.40	4.30	62.83	24.00	0.288	0.003	297332.21	23133741.32	1453492967.07	7135973.09
0'-E-F (-)	0.25	1.20	4.30	62.83	27.00	0.036	0.002	148666.11	3278993.28	206019147.56	4013984.86
0'-F (-)	0.25	0.50	4.30	62.83	29.40	0.003	0.001	61944.21	246281.41	15473860.93	1821159.80
	18.30			21.62				1193776405.63	1102152617.85	42152815988.35	20655428955.13

CRx	38.25
Cry	17.30

Σ

Cálculo de carga de techo

Cerchas

Cercha tipo 1						Cantidad	2
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.15	0.1	0.0016	0.0008	18.24	0.014592	114.5472
Vertical (Canal doble)	0.15	0.1	0.0016	0.0008	4.35	0.00348	27.318
Diagonales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0016	0.00032	13.36	0.0042752	33.56032
						Peso/unidad	175.4255
						Peso total	350.851

Cercha tipo 2						Cantidad	2
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.15	0.1	0.0016	0.0008	14.54	0.011632	91.3112
Vertical (Canal doble)	0.15	0.1	0.0016	0.0008	4.14	0.003312	25.9992
Diagonales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0016	0.00032	12.48	0.0039936	31.34976
						Peso/unidad	148.6602
						Peso total	297.3203

Cercha tipo 3						Cantidad	4
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.35	0.011856	93.0696
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.13	0.0116448	91.41168
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	2.15	0.002064	16.2024
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	16.68	0.0080064	62.85024
						Peso/unidad	263.5339
						Peso total	1054.136

Cerca tipo 4						Cantidad	2
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0016	0.00064	8.6	0.005504	43.2064
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0016	0.00064	2.89	0.0018496	14.51936
Diagonales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0016	0.00032	6.56	0.0020992	16.47872
						Peso/unidad	74.20448
						Peso total	148.409

Cerca tipo 5						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	5.8	0.005568	43.7088
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	5.69	0.0054624	42.87984
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	0.85	0.000816	6.4056
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	6.58	0.0031584	24.79344
						Peso/unidad	117.7877
						Peso total	117.7877

Cerca tipo 6						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	7.95	0.007632	59.9112
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	7.89	0.0075744	59.45904
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	0.84	0.0008064	6.33024
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	9.33	0.0044784	35.15544
						Peso/unidad	160.8559
						Peso total	160.8559

Cerca tipo 7						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	8.35	0.008016	62.9256
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	8.24	0.0079104	62.09664
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	2.65	0.002544	19.9704
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	18.13	0.0087024	68.31384
						Peso/unidad	213.3065
						Peso total	213.3065

Cercha tipo 8						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	16.70	0.016032	125.8512
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	16.55	0.015888	124.7208
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	3.93	0.0037728	29.61648
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	25.08	0.0120384	94.50144
						Peso/unidad	374.68992
						Peso total	374.68992

Cercha tipo 9						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	16.70	0.016032	125.8512
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	16.55	0.015888	124.7208
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	2.60	0.002496	19.5936
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	26.41	0.0126768	99.51288
						Peso/unidad	369.67848
						Peso total	369.67848

Cercha tipo 10						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	10.47	0.0100512	78.90192
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	10.14	0.0097344	76.41504
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	4.41	0.0042336	33.23376
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	19.83	0.0095184	74.71944
						Peso/unidad	263.27016
						Peso total	263.27016

Cercha tipo 12						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.00	0.01152	90.432
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.00	0.01152	90.432
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	5.28	0.0050688	39.79008
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	22.70	0.010896	85.5336
						Peso/unidad	306.18768
						Peso total	306.18768

Cercha tipo 13						Cantidad	1
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)
Cuerda superior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.00	0.01152	90.432
Cuerda inferior (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	12.00	0.01152	90.432
Vertical (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	5.20	0.004992	39.1872
Diagonales y verticales (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	19.95	0.009576	75.1716
						Peso/unidad	295.2228
						Peso total	295.2228

Largueros

Largueros								Y acero (kg/m3)	7850
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)		
Largueros (Canal doble)	0.1	0.1	0.0024	0.00096	794.61	0.7628256	5988.18096		
Largueros (Canal sencillo)	0.1	0.05	0.0024	0.00048	92.32	0.0443136	347.86176		
						Peso total	6336.04272		

Cinchas

Cinchas						Y acero (kg/m3)	7850
Elemento	Diámetro (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)		
Varilla #3	0.009525	7.12557E-05	313.94	0.022370027	175.6047102		
				Peso total	175.6047102		

Vigas de acero

Vigas de acero								Y acero (kg/m3)	7850
Elemento	Alto (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	A efectiva (m2)	Largo (m)	Volumen (m3)	Peso (kg)		
VA-2 (Doble Canal)	0.2	0.1	0.0024	0.00144	68.77	0.0990288	777.37608		
VA-1 (Doble Canal)	0.15	0.1	0.0024	0.0012	78.59	0.094308	740.3178		
VA-3 (Doble Canal)	0.1	0.1	0.0024	0.00072	82.51	0.0594072	466.34652		
						Peso total	1517.69388		

Cubierta

Cubierta			
Elemento	Peso (kg/m2)	Área (m2)	Peso (kg)
Cubierta Thermo-techo	5.8	1458.5	8459.3
		Total	8459.3

Cálculo de carga de escaleras

Escaleras principales

Peso contributivo de escalera						
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Gradas	13.00	0.12	0.29	2.40	1.09	2605.82
Losa	0.50	1.90	0.12	2.60	0.30	711.36
Viga central	1.00	0.29	0.80	5.90	1.37	3285.12
Total						6602.30

Peso escalera por nivel				
Nivel	L de vigas soportantes (m)	W bajando (kgf/m)	W subiendo (kgf/m)	WT en viga (kgf/m)
101.75	6.00	1100.38	1100.38	2200.77
106.05	6.00	1100.38	1100.38	2200.77
110.35	6.00	1100.38	1100.38	2200.77
114.65	6.00	1100.38	-	1100.38

Escaleras de emergencia 1

Peso contributivo de escalera en columna central							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Columna central	1.000	0.300	0.300	0.020	12.500	0.145	1138.250
Viga central (Doble canal)	4.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	92.015
Total							1230.26

Peso contributivo de escalera en columna lateral							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Columna lateral	1.000	0.300	0.150	0.020	12.500	0.108	843.875
Viga lateral (Doble canal)	4.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	92.015
Total							935.89

Peso contributivo de escalera en losa (nodos laterales)							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Viga central (Doble canal)	2.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	46.007
Nivel 105.05							23.00
Nivel 110.35							46.01
Nivel 114.65							23.00

Escaleras de emergencia 2

Peso contributivo de escalera en columna central							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Columna central	1.000	0.300	0.300	0.020	12.500	0.145	1138.250
Viga central (Doble canal)	4.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	92.015
Total							1230.26

Peso contributivo de escalera en columna lateral							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Columna lateral	1.000	0.300	0.150	0.020	12.500	0.108	843.875
Viga lateral (Doble canal)	4.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	92.015
Total							935.89

Peso contributivo de escalera en losa (nodos laterales)							
Elemento	Cantidad	b (m)	h (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	Peso (kgf)
Viga central (Doble canal)	2.000	0.050	0.200	0.002	2.035	0.003	46.007
Nivel 106.05							23.00
Nivel 110.35							46.01
Nivel 114.65							23.00

Apéndice 3. Fotografía de escalera



Apéndice 4. GUÍA METODOLÓGICA PARA INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS POR MEDIO DE ACELERÓGRAFOS DE MOVIMIENTO FUERTE

RECOMENDACIONES PARA LA INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS POR MEDIO DE ACELERÓGRAFOS DE MOVIMIENTO FUERTE.



Desarrollada por

José Pablo Pacheco Masís.

Cartago, Costa Rica.

Tabla de contenidos

Resumen.....	2
Introducción.....	3
Objetivo.....	4
Importancia de instrumentar sísmicamente edificios.....	5
Definición y tipos de acelerógrafos.....	7
Objetivos para instrumentar un edificio utilizando acelerógrafos de movimiento fuerte.....	8
Procedimiento para instrumentar un edificio.....	9
1. Determinar el objetivo de instrumentación.....	9
2. Recopilar información del edificio.....	9
4. Cantidad de acelerógrafos.....	10
5. Ubicación de acelerógrafos.....	10
6. Instalación.....	13
7. Procesamiento de datos.....	13
Mantenimiento.....	16
Costos.....	17
Reporte final.....	18
Conclusiones.....	19
Recomendaciones.....	20
Bibliografía.....	21
Apéndice.....	23
Apéndice 1.....	23

Resumen

Se propone una guía que establece los pasos básicos que se deben considerar al instrumentar sísmicamente un edificio por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte. Se comienza por determinar si se requiere analizar o monitorear la estructura, luego se recopila información relevante como planos "as built" y estudios previos, posteriormente se realiza un análisis modal por medio de un modelo computacional para obtener parámetros dinámicos, a partir de los cuales se determina la cantidad, tipos y ubicación de los acelerógrafos.

Luego, una correcta instalación, procesamiento de datos y mantenimiento se vuelven cruciales para obtener registros confiables, por lo que se recomienda cumplir una serie de requerimientos mínimos a considerar respecto a los procesos mencionados.

Por otro lado, se muestran sugerencias respecto a cómo categorizar y estimar los costos asociados en el proyecto de manera que los montos sean fáciles de identificar y manejar.

Abstract.

A guide is proposed that establishes the basic steps that should be considered when seismically instrumenting a building by means of the installation of strong motion accelerographs. It begins by determining if it is necessary to analyze or monitor the structure, then relevant information is collected such as blueprints and previous studies, later a modal analysis is carried out through a computational model to obtain dynamic parameters, from which the number, types and location of the accelerographs are determined.

Then, a correct installation, data processing and maintenance become crucial to obtain reliable records, so it is recommended to accomplish a series of minimum requirements to consider regarding the mentioned processes.

On the other hand, suggestions are shown regarding how to categorize and estimate the costs associated with the project so that the amounts are easy to identify and manage.



Introducción.

La litósfera es la capa rígida conformada por la corteza y parte superior del manto terrestre la cual se encuentra dividida en fragmentos que están en constante movimiento denominados placas tectónicas. Debido a su movimiento cada cierto tiempo impredecible colisionan entre sí provocando una disipación de energía la cual se propaga por la superficie en forma de ondas provocando movimientos los cuales se denominan sismos. Estos inducen aceleraciones en la base de las estructuras alterando su estado de equilibrio y en el caso de estructuras con largos años de vida útil, malas prácticas constructivas o errores en cuanto al diseño estructural, aumenta el riesgo de fallas poniendo en riesgo no solo la estabilidad del edificio sino aún más importante, la vida de las personas. Es por esto que registrar la respuesta dinámica de edificios ya sea nuevos o en servicio, permite encontrar anomalías anticipando y evitando futuros accidentes, o bien tomar mejores decisiones de intervención luego de un evento de alta intensidad.

Existen varias formas de registrar la respuesta dinámica de las estructuras, una de ellas es la instrumentación sísmica por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte en puntos estratégicos, los cuales registran aceleraciones producto de vibraciones ambientales o inducidas a través de eventos externos como sismos. Dichos datos luego de un adecuado procesamiento puede traducirse en obtener frecuencias, las cuales están asociadas a las particulares formas de vibrar de la estructura.

Estos registros pueden ser utilizados para calibrar modelos computacionales, identificar malas prácticas constructivas, evaluar la idoneidad de los códigos estructurales, monitorear la salud estructural en tiempo real ante condiciones ambientales o identificar posibles producidos por sismos, por ejemplo.

Debido a la limitada información del tema tanto a nivel de Costa Rica como global, nace la necesidad de recopilar y adecuar lineamientos y recomendaciones generales que puedan ser utilizados por profesionales ligados al área sobre los pasos a seguir para instrumentar un edificio por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte enfocado ya sea a monitorear o analizar la respuesta dinámica, así requerimientos mínimos para un correcto procesamiento de datos, mantenimiento y costos asociados.



Objetivo.

El objetivo principal es facilitar al lector lineamientos básicos que debe considerar al proponer la instrumentación sísmica de un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, así como requerimientos mínimos en cuanto a su instalación y mantenimiento.



Importancia de instrumentar sísmicamente edificios.

Para poder comprender la importancia de la instrumentación de edificios por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte, inicialmente es esencial conocer la forma en cómo se producen los sismos y su influencia con las estructuras civiles.

Según (Tarbuck & Lutgens , 2005) el manto superior terrestre, junto con la corteza suprayacente se comportan como una capa rígida denominada litosfera que está fracturada en fragmentos denominados placas tectónicas (Ver figura 1), las cuales se encuentran en constante movimiento y cambian de tamaño continuamente. (Sauter F., 1989) menciona que este movimiento puede provocar un choque o fricción entre dos placas adyacentes produciendo esfuerzos que de ser el caso que supere la resistencia de las rocas, se genera una liberación de energía, misma que es irradiada desde el foco o fuente sísmica en forma de ondas que se propagan en todas direcciones a través del medio sólido de la Tierra. Estas vibraciones las percibimos en la superficie como temblores, que denominamos terremotos cuando son destructivos. Dichas vibraciones en el terreno pueden ser medidas en términos de aceleración e influyen directamente en el comportamiento de estructuras civiles como por ejemplo edificios los cuales son el caso específico de la presente guía.

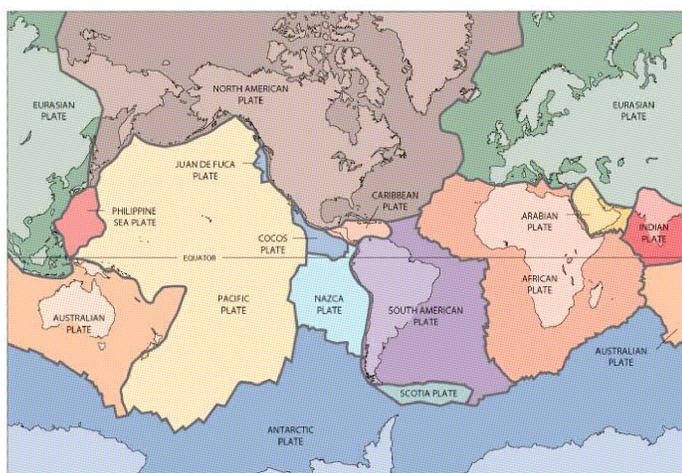


Figura 1. Placas tectónicas terrestres.
Fuente. (Kious & Tilling, 2011)

Cuando una estructura es sometida a un movimiento en su base, esta presenta una respuesta dinámica generando movimientos particulares conocidos como formas propias de vibración. Cada una de estas formas está asociada a periodos de oscilación, que según (Chopra, 2014) corresponde al tiempo requerido para completar un ciclo de movimiento armónico en cada deformación particular del sistema. Estos periodos de vibración guardan una relación directa con



las frecuencias, de manera que se convierten en parámetros dinámicos esenciales para describir el comportamiento de los edificios.

En este punto es donde la instrumentación sísmica se convierte en una herramienta muy útil para ampliar el conocimiento del comportamiento de los edificios. Al colocar acelerógrafos de movimiento fuerte en lugares adecuados, se puede registrar sus respectivas aceleraciones. Estos registros luego se interpretan y procesan para obtener las propiedades dinámicas de la estructura por medio de espectros de Fourier y funciones de transferencia.

Las estructuras se ven sometidas a cambios en sus propiedades dinámicas a través del tiempo por razones como deterioro de materiales afectando la rigidez, cambios de uso modificando la cantidad de masa, entre otros, por lo que la instrumentación sísmica por medio de acelerógrafos se vuelve muy útil para detectar este tipo de variaciones a través del tiempo. Por otro lado, los datos obtenidos pueden tener múltiples aplicaciones como calibrar modelos estructurales computacionales, mejorar códigos de diseño sísmico y prácticas constructivas, por mencionar algunos.



Definición y tipos de acelerógrafos.

Una de las formas más utilizadas para evaluar los parámetros dinámicos de un edificio es por medio de la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte como el mostrado en la figura 2, los cuales permiten la obtención de un gráfico denominado (acelerograma), mostrando la variación de aceleraciones en el lugar determinado. Son instrumentos que utilizan acelerómetros internos los cuales son mucho menos sensibles que los sismómetros activándose solamente ante movimientos fuertes, dejando por fuera del acelerograma señales muy débiles que claramente no afectarán la integridad estructural del edificio (SRC, 2014). A pesar de esto mantienen un grado de susceptibilidad para registrar vibraciones ambientales.



Figura 2. Ejemplo gráfico de un acelerógrafo.
Fuente: Nanometrics

Existen muchas marcas dedicadas a la fabricación y distribución de modelos de acelerógrafos de movimiento fuerte, los cuales como cualquier otro dispositivo electrónico ofrecen al usuario diferentes tipos de facilidades tecnológicas y costos, sin embargo todos ellos se rigen bajo el mismo principio de funcionamiento y pueden ser categorizados en tres tipos:

1. **Uni-axial:** Capaz de registrar el movimiento en una dirección, construido con sensores de un solo eje.
2. **Bi-axial:** Capaz de registrar el movimiento en dos direcciones, construido con sensores de dos ejes.
3. **Tri-axial:** Capaz de registrar el movimiento en tres direcciones, construido con sensores de tres ejes.

Tanto los acelerógrafos uni-axiales como bi-axiales a lo largo de los años han perdido posicionamiento en el mercado, ya que según (Van Der Weth, 2020) dado que un componente significativo de los instrumentos es el digitalizador los precios no van varían de forma importante entre uno y otro, son más fáciles de manejar, los sensores bi-axiales y uni-axiales limitan los casos en los que se pueden utilizar en un futuro y el rendimiento es mejor en los acelerógrafos tri-axiales.



Objetivos para instrumentar un edificio utilizando acelerógrafos de movimiento fuerte.

Existen múltiples razones para registrar respuestas dinámicas de sistemas estructurales, sin embargo a través del uso de acelerógrafos de movimiento fuerte pueden verse resumidas en dos objetivos principales:

- **Monitorear.** En este caso, los parámetros dinámicos a obtener son básicos utilizados generalmente para detectar comportamientos atípicos en donde no es necesario precisiones muy altas.
- **Analizar.** Se requiere una respuesta dinámica con formas modales y frecuencias o periodos muy precisa, la cual puede ser utilizada para calibrar modelos estructurales, analizar el comportamiento de diafragmas flexibles, entre otros.

La distribución geométrica tanto vertical como horizontal, así como los tipos de acelerógrafos a instalar, presentan una dependencia directa del objetivo primordial, tal y como se detalla más adelante en la sección "Pasos para instrumentar un edificio" del presente documento.



Procedimiento para instrumentar un edificio

El procedimiento para instrumentar sísmicamente un edificio por medio de acelerógrafos de movimiento fuerte debe basarse en lineamientos básicos regidos por un orden lógico a seguir. A continuación se presenta una serie de pasos propuestos los cuales resumen las consideraciones mínimas tanto para proponer los tipos de acelerógrafos y su respectiva ubicación como para la instalación, procesamiento de registros, costos y mantenimiento.

1. Determinar el objetivo de instrumentación

Como se menciona en la sección “Objetivos para instrumentar un edificio” del presente documento, los objetivos para evaluar la respuesta dinámica de un edificio por medio de la utilización de acelerógrafos de movimiento son analizar o monitorear. La definición de este apartado es un primer indicio para tener una idea preliminar de la cantidad y distribución de instrumentos a considerar.

2. Recopilar información del edificio

Cualquier información relevante y que tenga relación con el edificio a instrumentar es un insumo importante al momento de tomar decisiones del equipo y distribución respectiva. En general, es recomendable contar, como mínimo, con la siguiente información.

- **Planos As Built.** Se recomienda planos as built ya que en ellos se muestra los detalles finales de cómo se construyó o construirá el edificio. De ellos se puede obtener también información relevante como la ocupación de la estructura, sistema estructural con los detalles de los elementos que lo componen, distribución de espacios, entre otros, los cuales son insumos base para realizar modelos computacionales. Por otro lado, se referencia de una mejor manera el posicionamiento de los equipos.
- **Información de diseño.** La respuesta dinámica registrada por medio de la instrumentación puede verificar el comportamiento previsto en el diseño. También, en muchos casos la estructura suele tener muchos años en servicios, de tal forma que al tener información inicial de diseño se puede tener un punto de comparación en cuanto al cambio en el comportamiento y prever futuros problemas importantes en la estructura.
- **Estudios previos.** Estos permiten tener una mejor aproximación del comportamiento, tales como estudios de vulnerabilidad sísmica, inspecciones estructurales, estudios de suelos, entre otros.

La información indicada es mínima, sin embargo cada proyecto tiene particularidades que los pueden hacer requerir de más información, por lo que es recomendable tomar en consideración todos los datos que sean relevantes para tomar decisiones de una mejor manera.

3. Análisis modal por medio de un modelo computacional

Una vez recopilada la información del edificio, se procede a realizar un modelo computacional. Básicamente este es el insumo principal ya que los resultados del análisis modal corresponden a las formas modales y periodos, datos que determinan los principales movimientos que representan el comportamiento dinámico del edificio y son la base para escoger tipos, cantidad



y ubicación de instrumentos. Por otro lado por medio del modelo se permite identificar la regularidad en planta de cada nivel y tener una idea de su comportamiento torsional y poder definir su relevancia en la propuesta desarrollada.

4. Cantidad de acelerógrafos

En el caso en que la razón principal para instrumentar un edificio sea monitorear la actividad, la cantidad de acelerógrafos va a ser menor, esto debido a que la información relevante a extraer de la respuesta dinámica se concentra en obtener periodos y en algunos casos información básica para tener una idea de los primeros modos de vibración. También, si se trata de una estructura que mantiene regularidad tanto en altura como en planta la cantidad de instrumentos a utilizar puede ser mínima ya que probablemente se puedan obviar movimientos rotacionales. Dependiendo del enfoque de la instrumentación, la cantidad puede variar en un rango entre uno y cuatro acelerógrafos.

Por otro lado si se quiere registrar información suficiente para reconstruir una respuesta dinámica de la estructura con precisiones muy altas de manera tal que sirva de base para la calibración o verificación de modelos computacionales, o bien si se trata de estructuras irregulares en altura y planta provocando modos de vibración importantes con formas complicadas, es decir una instrumentación enfocada a analizar la estructura, la cantidad de instrumentos a utilizar va a ser mayor permitiendo obtener información más detallada. Dependiendo del enfoque, la instrumentación extensiva puede comenzar con un mínimo de cinco acelerógrafos extendiéndose a hasta tres o cuatro por nivel.

5. Ubicación de acelerógrafos

El Programa de Instrumentación de Movimiento Fuerte de California (CSMIP, por sus siglas en inglés), sugiere seis modelos base para el posicionamiento de acelerógrafos los cuales se muestran en la figura 3. Por otro lado, (Çelebi, 2000) muestra otras configuraciones a las cuales denominó instrumentaciones extensivas (figura 4), las cuales están enfocadas a captar respuestas dinámicas en edificios de manera muy precisa. El cuadro 1 muestra un resumen que categoriza cada una de estas distribuciones propuestas con relación a los objetivos descritos en la presente guía, así como respuestas esperadas que se pueden registrar a través de ellas.



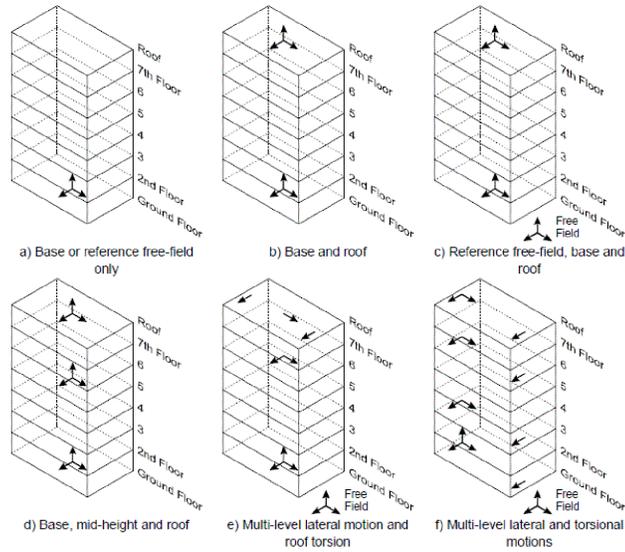


Figura 3. Distribución de instrumentación sugerida por el CSMIP
Fuente. (Deam & Cousins, 2002)

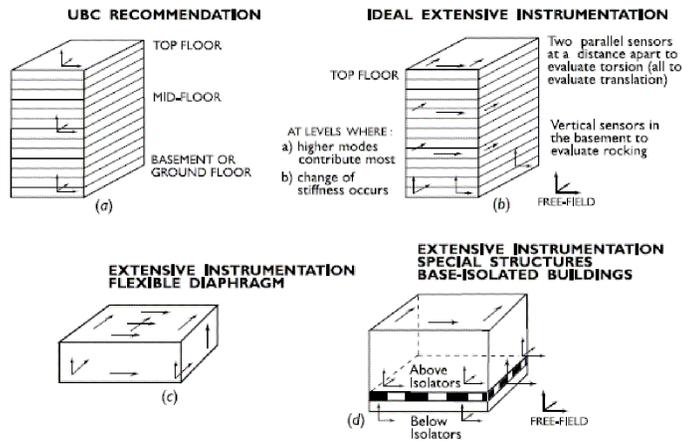


Figura 4. Esquemas típicos de instrumentación sísmica
Fuente. (Çelebi, 2000)



Objetivo	Figura	Resultados esperados
Monitorear	3a) Base o estación de campo libre de referencia*	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones
	3b) Base y techo	Respuesta limitada a movimiento de fundaciones y techo en direcciones ortogonales
	3c) Base y techo con estación de campo libre de referencia*	
	3d) y 4a) Base, nivel intermedio y techo	Configuración ideal de monitoreo ya que permite obtener parámetros dinámicos en tres niveles de referencia y tener una idea general de las formas modales traslacionales
	3e) Movimientos laterales en múltiples niveles, torsión en techos y estación de campo libre*	Al igual que las figuras 3d y 4a representa una configuración ideal para registrar movimientos traslacionales, sin embargo de ser requerido monitorear movimientos torsionales se recomienda ubicar un instrumento más en el extremo del techo o nivel intermedio en una de las dos direcciones horizontales
Analizar	3f) Movimientos laterales y torsionales en múltiples niveles con estación de campo libre*	Se obtiene respuesta dinámica de movimientos traslacionales y rotacionales con precisiones altas
	4b) Instrumentación extensiva con estación de campo libre*	
	4c) Instrumentación extensiva para diafrámas flexibles	Registra respuesta dinámica de entrepisos flexibles para reconstruir su comportamiento de manera precisa
	4d) Instrumentación extensiva enfocada a estructuras con bases aisladas, con estación de campo libre	Registra el comportamiento de bases aisladas en estructuras asiladas sísmicamente
*Estación de campo libre. Se utiliza para estudiar la interacción suelo-estructura, sin embargo en zonas urbanas, esto puede ser un problema debido a la densidad de instalaciones construidas.		

Cuadro 1. Objetivo y respuesta asociada a cada configuración propuesta.

Por otro lado, luego de haber escogido los puntos adecuados para la instalación de los acelerógrafos de movimiento fuerte, se aconseja validarlos por medio de una visita a sitio y aprobación por parte del encargado del edificio a analizar. Esto debido a que la ubicación preliminar puede no ser accesible o bien presentar factores externos no previstos que pueden afectar los registros. Una vez validados los puntos, es recomendable realizar una esquematización básica que pueda servir de guía y facilitar la instalación.



6. Instalación.

La precisión de los registros está directamente relacionada con un correcto proceso de instalación. Este paso puede desarrollarse de manera diferente entre un proyecto de instrumentación y otro dependiendo de los lineamientos seguidos por los profesionales o entes encargados. Sin embargo, es importante cumplir con una serie de requerimientos mínimos para una correcta instalación:

- Debe ser efectuada por personal con conocimientos técnicos en electrónica y con experiencia en el campo para una correcta manipulación.
- Usar esquemas de referencia que muestren el espacio destinado para la instalación de los equipos.
- Los acelerógrafos deben ser instalados cumpliendo con estándares de seguridad laboral. (USGS, 2005)
- Asegurarse de nivelar correctamente los equipos, (Esquivel & Schmidt, 2016) recomiendan limpiar la superficie para evitar la interferencia de objetos bajo los tornillos de nivelación de los acelerógrafos.
- Identificar el sistema de coordenadas global de manera que los sensores se ubiquen con una tolerancia de ± 0.5 grados respecto a la dirección deseada (USGS, 2005).
- Designar un instrumento de referencia a partir del cual los demás acelerógrafos se orienten respetando una precisión de 10mm o menos en cada dirección a registrar (USGS, 2005).
- Definir las ventanas de tiempo con las que se requiere trabajar, las cuales como mínimo deben ser de 1000 veces el periodo fundamental del edificio en estudio (Esquivel & Schmidt, 2016).

Luego de una correcta instalación de los instrumentos, el sistema comienza a operar registrando la respuesta dinámica del edificio en estudio.

7. Procesamiento de datos.

Se describe de manera general el procedimiento para procesar los datos obtenidos por los acelerógrafos y traducirlos en frecuencias/periodos de manera que puedan ser utilizados para el objetivo definido.

Los registros obtenidos a través de acelerógrafos de movimiento fuerte se muestran como gráficas de aceleración en función del tiempo lo cual se conoce como acelerograma. Un ejemplo de este tipo de registro se muestra en la figura 7, haciendo referencia al terremoto de El Centro en el Valle Imperial ubicado al sureste de California.



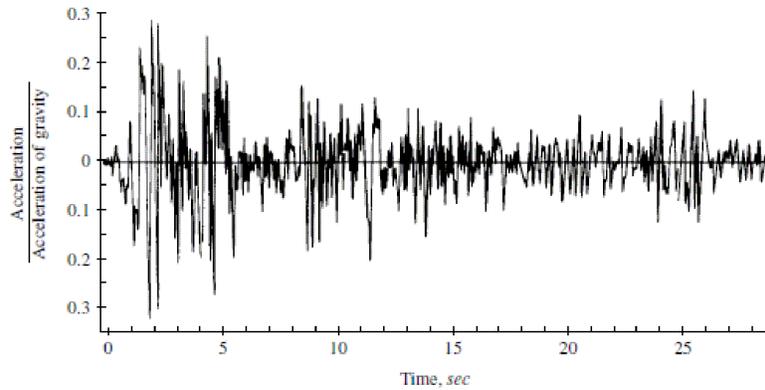


Figura 7. Acelerograma del terremoto El Centro, Valle Imperial, California, 1940.
Fuente. (Penzien & Clough, 2003)

Los registros obtenidos deben ser corregidos y filtrados. Inicialmente se hace una inspección visual para eliminar incongruencias producto de golpes, vibraciones por maquinaria, entre otros. Seguidamente se realizan correcciones de las señales, filtrándolas entre los 0.3 Hz y los 30 Hz, los cuales son límites utilizados ampliamente en procesamiento de registro de acelerogramas en estructuras (Dominguez, 2012), sin embargo estos rangos pueden variar, por ejemplo (Çelebi, 2000) muestra valores máximos de 50Hz. Finalmente se aplica una disminución gradual llamada (taper) al inicio y final de la señal para que empiece y termine en cero (Esquivel & Schmidt, 2016). Este proceso se representa por medio de un diagrama de flujo el cual se muestra en la figura 8.



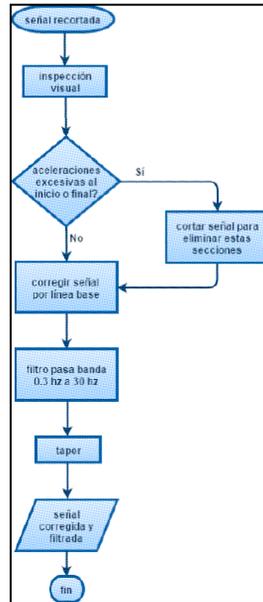


Figura 8. Corrección y filtrado de señal.
Fuente: (Esquivel & Schmidt, 2016)

Posteriormente, “el contenido frecuencial de los movimientos se puede identificar convirtiéndolo del dominio del tiempo al dominio de frecuencia” (Reyes, 1998), es decir como espectros de Fourier. Por otro lado “la función de transferencia nos sirve para encontrar la relación de amplitudes que tienen dos señales” (Dominguez, 2012), de esta manera es posible comparar dos señales para eliminar datos registrados por accidentes. En la figura 9 se observa el espectro de Fourier y función de transferencia para un mismo punto de medición.

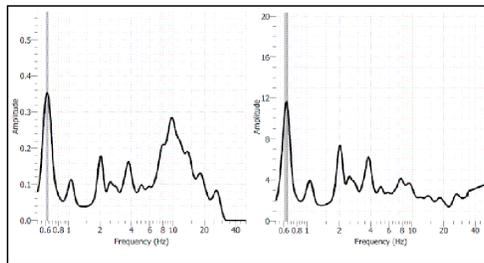


Figura 9. Espectro de Fourier (Izquierda) y función de transferencia (Derecha) para un mismo punto.
Fuente: (Esquivel & Schmidt, 2016)

Los picos representados en la figura 9 corresponden a la frecuencia fundamental de un mismo punto registrado.



Mantenimiento.

Un mantenimiento continuo de los equipos instalados se vuelve esencial, de manera que los registros obtenidos no se vean afectados por un mal funcionamiento. Para esto, se recomienda coordinar visitas al edificio con personal con conocimientos técnicos en electrónica y experiencia, para verificar como mínimo los siguientes apartados:

- La ubicación de los instrumentos no haya sido alterada.
- Revisar que los equipos estén calibrados, de lo contrario realizar los ajustes necesarios.
- Verificar la vida útil de las baterías las cuales deben ser remplazadas cada 3 años (Çelebi, 2000), sin embargo para mantener un mejor control es aconsejable consultar con el respectivo fabricante.
- Asegurarse que el cableado y conectividad de los acelerógrafos funcione correctamente.

El tiempo definido entre cada inspección de mantenimiento depende de la experiencia, salud estructural del edificio y distribución de instrumentos escogida, sin embargo es esencial realizar la visita luego de que la estructura esté sometida a un evento que ponga en riesgo la integridad del equipo, como un sismo.



Costos.

Los costos asociados se pueden categorizar en costos directos e indirectos, los cuales se diferencian por la relación que mantienen con el producto final proyectado en el proyecto.

Los costos directos hacen referencia a todos los materiales consumibles, es decir todos los insumos que mantienen una relación directa con el producto final. En este apartado se incluye los costos de los acelerógrafos de movimiento fuerte con sus respectivos accesorios. También, los montos relacionados a la mano de obra ya sea técnica o profesional necesaria para la respectiva instalación y subcontratos forman parte de esta categoría.

Por otro lado, se encuentran los costos indirectos, los cuales no quedan pactados directamente en el producto final pero que de alguna u otra forma son necesarios para poder desarrollar el proyecto. En este caso se incluyen los montos relacionados a alimentación, transporte, equipo de protección personal, herramientas, entre otros. Lo recomendable es realizar un presupuesto detallado considerando cada uno de ellos por separado, sin embargo en muchas ocasiones por las condiciones particulares de cada proyecto estos montos son difíciles de definir preliminarmente. En estos casos, (Esquivel L. , 2020) profesional del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS) con amplia experiencia en el tema, menciona que “la última estimación que se había hecho era de que el costo de instalación como un único rubro conteniendo lo que usted me indica era del 10% de costo de los equipos”, por lo que en estos casos de manera muy general se recomienda utilizar un valor cercano al recomendado.



Reporte final.

Luego de haber realizado todo el análisis necesario para escoger de manera adecuada la distribución, tipos de acelerógrafos de movimiento fuerte a utilizar y su respectiva estimación de costos, se recomienda realizar un pequeño reporte que resuma toda la información relevante del proyecto, lo cual puede ser un aporte muy útil tanto para el personal a cargo de la instalación, como para los representantes o dueños del edificio en estudio. Se aconseja que contenga como mínimo los siguientes datos:

- Datos de profesional(es) o ente encargado.
- Nombre del edificio con su respectiva ubicación.
- Objetivo principal.
- Tipos de acelerógrafos.
- Ubicación de acelerógrafos (Adjuntar esquemas de contar con ellos).
- Fecha y hora de instalación
- Ente encargado de instalación y mantenimiento
- Monto final.
- Comentarios o aclaraciones adicionales

En el apéndice 1 se adjunta una plantilla que sirve como ejemplo en cuando a su estructuración y contenido, la cual puede servir como punto de partida para adaptarla a las necesidades de cada profesional(es) o entidad a cargo del desarrollo del proyecto.



Conclusiones

- La guía presenta requerimientos mínimos los cuales deben ser complementados y adaptados en función de las particularidades de cada proyecto.
- La cantidad y tipos de acelerógrafos guarda una dependencia directa del objetivo principal definido
- La ubicación preliminar puede no ser accesible o bien presentar factores externos no previstos que pueden afectar los registros
- Una correcta instalación y mantenimiento influyen directamente en la precisión de los registros
- Los acelerógrafos tri-axiales son los más utilizados debido a su mejor rendimiento, a pesar que no se utilice alguno de sus sensores.



Recomendaciones

- Desarrolla un reporte final que reúna la información relevante del proyecto, por lo que se adjunta una plantilla base con los datos mínimos a incluir.
- Validar puntos por medio de una visita a sitio y aprobación por parte del encargado del edificio a analizar.
- Desarrollar un presupuesto detallado para estimar costos lo más aproximados a la realidad
- Realizar un mantenimiento periódico para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.
- Realizar esquemas que muestren la ubicación exacta prevista para colocar los acelerógrafos de movimiento fuerte.



Bibliografía

- ANSS Structural Instrumentation Guideline Committee. (2005). *Guideline for ANSS Seismic Monitoring of Engineered Civil Systems - Version 1.0*. U.S. Geological Survey.
- California Department of Conservation. (s.f.). *California Department of Conservation*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de California Department of Conservation: <https://www.conservation.ca.gov/cgs/smip>
- Çelebi, M. (2000). *Seismic Instrumentation of Buildings*. California: United States Geological Survey.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras Cuarta Edición*. Mexico: Pearson Educación.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Deam, B., & Cousins, W. (2002). Strong-motion instrumentation of buildings in New Zealand. *New Zealand Society for Earthquake Engineering 2002 Conference*. New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- Dominguez, A. (2012). *Determinación de las propiedades dinámicas y efecto de interacción suelo-estructura de un edificio en la ciudad de México mediante un estudio de vibración ambiental*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Esquivel, L. C., & Schmidt, V. (2016). *METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EJECUTAR Y PROCESAR MEDICIONES DE VIBRACIONES AMBIENTALES UTILIZANDO ACELERÓGRAFOS TRIAXIALES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO DE MENOS DE 100M DE ALTURA*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.
- Esquivel, L. (2020, Agosto 4). Consultas respecto a instrumentación. (J.P. Pacheco, Entrevistador)
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional . (s.f.). *Instituto Geofísico*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de Instituto Geofísico: <https://www.igeprn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- Kious, W., & Tilling, R. (2011, Septiembre 19). *U.S. Geological Survey*. Recuperado el 27 de Agosto de 2020, de U.S. Geological Survey: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>
- Penzien, J., & Clough, R. (2003). *Dynamics Of Structures*. California: Computers & Structures, Inc.
- Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Rojahn, C. (1976). *California Building Strong Motion Earthquake Instrumentation Program*. California: U.S. Department of the Interior Geological Survey.
- Sauter F., F. (1989). *Introducción a la Sismología*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- SRC. (2014, Febrero 27). *Centro de Investigación Sismológica*. Recuperado el 27 de Agosto, 2020, de Centro de Investigación Sismológica:



Tarback, E., & Lutgens , F. (2005). *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física (8va edición)*. Madrid: Pearson Educación S. A.

Van Der Werth, F. (2020, Julio 31). Request for quotation. (J. P. Pacheco, Entrevistador)



Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de convitec

FICHA TÉCNICA PANEL COVINTEC



PANEL COVINTEC 2" para muros de carga:

- Para la construcción de muros con un alta capacidad de carga
- Ahorro en materiales de construcción y acelera el proceso constructivo
- Integra aislamiento térmico en los muros generando ahorros en el consumo de energía.

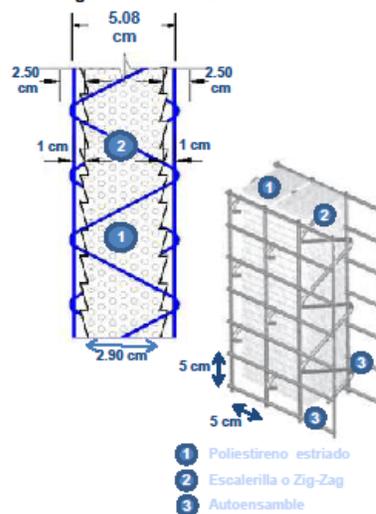
Descripción:

El PANEL COVINTEC es una estructura tridimensional de alambre pulido o galvanizado calibre #14 (2,03 mm), electrosoldado en cada punto de contacto, compuesto por armaduras verticales denominadas escalerillas o ZIG-ZAG y al interior de las armaduras se incorpora un alma compuesta de poliestireno expandido.

Usos:

Gracias a su capacidad estructural es ideal para muros de carga en una casa de hasta 3 niveles. Al ser un panel muy firme facilita el manejo e instalación en obra, por lo que el producto genera ahorros en consumo de mortero y tiempo de ejecución de obra.

Diagrama de Producto:



Características de Producto

Espesor	2
Ancho	1.22 m
Alto	2.44 m
Separación entre Mallas	5.08 cm
Reticula	5 x 5 cm
Peso sin Aplanar	3.15 kg/m ²
Espesor Poliestireno	2.90 cm
Calibre de Acero	14
Area de Acero	1.62 cm ²

Características Muro Terminado

Espesor total con Aplanado	8.08 cm
Peso con Aplanado	78.00 kg/m ²
Resistencia Térmica Factor "R" (hr)(ft ²)(ft)/BTU	4.75
Aislamiento Acustico	44 db
Resistencia del Mortero	100 kg/cm ²
Resistencia al Cortante	8,655 kg/m
Carga Axial	5,773 kg/m
Resistencia a la Tensión	18,787 kg/cm ²

D.R., ©, QUALY PANEL, SA DE CV, 2011. La información técnica de este folleto es genérica. Para aplicaciones específicas se debe de elaborar el proyecto estructural. La empresa no se hace responsable del uso incorrecto del material. Prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización previa, expresa y por escrito de su titular.

Anexo 2. Cotizaciones y fichas técnicas de acelerógrafos

Guralp

 VASE SISMICA SAS Cto. Aconacagua 415 58350 Morelia, MIC México		SISMICA APLICADA			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Desc. (%)	Impuestos	Importe
Acelerómetro Digital Mod. [FORT] Fortimus - Respuesta: DC - 315Hz - Opciones de ganancia variable: $\pm 4 g, \pm 2 g, \pm 1 g$ o $\pm 0.5 g$ - LCD - Digitalización de 24 bits - Modo de baja latencia (filtrado causal) 64 GB de almacenamiento microSD interno (doble redundante) - Comunicación Ethernet y Bluetooth. - Salida de datos en múltiples opciones de formato de archivo - STA / LTA y niveles de activación de algoritmos - 20 a +80 grados C Incluye Set de accesorios: - Antena GPS compacta con sobre moldeado 10m RS422 - Cable (conector LEMO de 14 vías) - Cable de alimentación blindado de 3 m (especificación de 4 vías mil - cola de cerdo) - Cable Ethernet de 5 m (conector Ethernet mil-spec RJ45 - - Conector Ethernet RJ45) - Adaptador de cable serie de diagnóstico (conector LEMO de 14 vías) - Serie D de 9 pines) - Wi-Fi habilitado - Tornillo y tuerca de fijación Flete a Punto destino Incluido. Pieza No. ACC-FMS-0001 Pieza No. FMUS-0001	4,000	17.980,00	5,00		\$ 68.324,00

☎ +52 5541648975 ✉ ventas@vasesismica.com.mx 🌐 http://www.vasesismica.com.mx
 📄 RFC: VSI171024HZA

Tel. +52 5541648975 mail: ventas@vasesismica.com.mx WEB: http://www.vasesismica.com.mx



VASE SISMICA SAS
Cto. Aconcagua 415
58350 Morelia, MIC
México

SISMICA APLICADA

Subtotal	\$ 68.324,00
Total	\$ 68.324,00

PRECIOS:

Precios en Dólares Americanos.

TIEMPO DE ENTREGA:

INCOTERM: DDP Costa Rica

Equipo proveniente de Inglaterra

10 Semanas posteriores a la recepción de su orden de compra y pago.

FORMAS DE PAGO:

100% Pago anticipado con su orden de compra.

GARANTÍA:

Un año contra defectos de fabricación directamente con Güralp Systems en Condiciones de Uso Normal.

El equipo viaja por cuenta y riesgo del cliente a excepción de adquirir seguro de viaje.

Los precios cotizados, la disponibilidad del producto y otras ofertas están sujetas a cambios sin previo aviso.

Esta cotización se proporciona sujeta a nuestros Términos y condiciones de suministro, y nuestra Garantía y política de reparaciones disponible en nuestro sitio web: www.guralp.com Todas nuestras citas y las estimaciones están sujetas a las normas de licencia de exportación del Reino Unido.

De debe llenar y firmar formulario de compromiso antes de la finalización de un pedido.

Términos de pago: Pago inmediato

+52 5541648975 ventas@vasesismica.com.mx <http://www.vasesismica.com.mx>

RFC: VSI171024HZA

Tel. +52 5541648975 mail: ventas@vasesismica.com.mx WEB: <http://www.vasesismica.com.mx>

FORTIMUS

SMART STRONG MOTION TRIAXIAL FORCE-FEEDBACK
DIGITAL ACCELEROMETER



Ideal for earthquake early warning and structural health monitoring, the digital Fortimus accelerometer delivers ultra-low-latency strong motion data direct to your network.

KEY FEATURES

- > DC to 315 Hz
- > Advanced software communications for rapid installation with easy instrument and data management
- > Versatile variable gain, controllable remotely
- > Ultra low-latency capability for earthquake early warning networks

NEW

- > Enhanced features with firmware release 2.0 see page 3

APPLICATIONS

- > Earthquake early warning
- > Structural health monitoring
- > Shake intensity research



333 Villa Ave. Pasadena, CA 91107 Tel: 626-799-2222 Fax: 626-799-0888

Company: Joak Pablo Pacheco, Technological Institute of Costa Rica
 Country: Costa Rica
 Delivery: 60 days after receipt of Order
 Reference: E-Mail
 Kinematics Reference: E009E5001_A
 Payment Terms: Payment In Advance or L/C
 Date: August 3, 2020
 Prepared by: Edelvyns Spasov
 Approved by: Edelvyns Spasov

Item	Qty	Model	P/N	Description	Unit Price	Extension
1.00	2	Etra2	114200-PL	24-Bit Strong Motion Accelerometer, Includes: * Internal Triaxial EpiSensor Accelerometer Deck * Full Scale Range: ±1-g, ±2-g, and ±4-g * Sample rates 1... up to 500 cps * Built in GPS with 5m mini mag Antenna * 32 GB Internal data storage * 2 GB Internal program storage * 1 x Ethernet, 2 x USB2.0 and 1 x RS-232 ports * 2 x SPDT relays, software configurable	\$5,380.00	\$10,760.00
2.00	1	Cable	893762	Cable, Molded, Console/USB Device	\$130.00	\$130.00
3.00	2	Cable	893808	Cable, Molded, Ethernet, M12	\$130.00	\$260.00
4.00	2	Cable	893810	Cable, Molded, USB Host 1-3, M12	\$130.00	\$260.00
5.00	3	Power	114340-01-PL	Battery Box with 12AH Battery and 30W AC Charger, including Cable, Molded, Relay (Pigtail) & Power	\$800.00	\$2,400.00
6.00	1	Obdian	114165-PL	24-Bit 3+1 Channel Accelerograph, Includes: * Built-in Internal Triaxial EpiSensor Accelerometer Deck * 32 Gbyte SDHC Data Memory * 4 Gbyte SDHC System Memory * Built in POTS Modem * IP Network Access * Built in GPS receiver with 25m antenna cable * PTP Master or Slave * 3 x USB Host, 1 x USB Device, 3 x RS-232, 1 x 10/100 Ethernet Port, 1 x DFS Port * EEW Ready * Sample rate: 48/12 channel unit up to 5000 cps * Dual Caps	\$11,170.00	\$11,170.00
7.00	1	Cable	112297-PL	Cable, Molded, DC Power In & Battery (outdoor)	\$220.00	\$220.00
8.00	1	Cable	893808	Cable, Molded, Ethernet, M12	\$130.00	\$130.00
9.00	1	Cable	893807	Cable, Molded, Serial, M12	\$130.00	\$130.00
10.00	1	Cable	893810	Cable, Molded, USB Host 1-3, M12	\$130.00	\$130.00
11.00	1	ES-L2	110280-15-PL	Uniaxial EpiSensor with single supply option	\$1,970.00	\$1,970.00
12.00	1	Cable	504275-025-PL	Cable Rock 4th channel	\$610.00	\$610.00

FOB Pasadena, CA USA: \$28,170.00
 Freight, Cartage, & Documentation Charge: \$2,150
 Insurance: \$185.00
 CIP Juan Santamaría International Airport, Costa Rica: \$30,505.00

For Payment, please send to:
 Bank of the West
 300 South Grand Avenue
 Los Angeles, CA 90071
 Beneficiary: KINEMATICS INC.
 A/C# 865-019558
 ABAN 121100782
 SWIFT: BWSTUS66
 (+1-800) 488-2266 phone
 (+1-213) 873-6262 fax

NOTE: All prices are in US Dollars.

ES-U2

Uniaxial Force Balance Accelerometer

For use in a variety of applications

The EpiSensor ES-U2 force balance accelerometer is a uniaxial surface package designed primarily for structural engineering applications. However, it can be used in a variety of applications for measuring accelerations up to $\pm 4g$ and down to the ambient noise level. With full-scale recording ranges of ± 0.25 to $\pm 4g$ (user selectable) the ES-U2 provides on-scale recording of earthquake motions even at near-fault locations and in a wide variety of structure types.

Because the ES-U2 is extremely low-noise, it can detect motions of the ambient vibration field at most urban sites and civil structures from 1 Hz to 200 Hz. This makes the ES-U2 a unique sensor at a great price. The output of the ES-U2 is an amplified, conditioned signal—it requires no external electronics other than a data acquisition system.

The significantly improved bandwidth of DC to 200 Hz allows engineers and scientists to study motions at higher frequencies while maintaining the very important DC response that allows simple field calibration and reduces processing confusion.

Output circuitry is also significantly enhanced. Four types of outputs can be field-selected by the user: $\pm 2.5V$ single-ended, $\pm 10V$ single-ended, $\pm 5V$ differential or $\pm 20V$ differential.

The sensor has a number of full scale outputs to match the traditional Kinematics earthquake recording instruments, as well as the most modern Kinematics' Rock+ series and Quanterra's Q330 series of dataloggers.

EpiSensor force balance accelerometers are also available in triaxial surface and borehole (the FBA ES-SB shallow and FBA ES-DH deep) packages.



FEATURES

- Low noise
- Extended bandwidth - DC to 200Hz
- User-selectable full-scale range
- Calibration coil (standard)
- Single-end or differential output (user selectable)

ETNA 2

Next Generation of Web Based, Cost Effective, Strong Motion Accelerographs

Kinematics' **ETNA** accelerograph established the world's standard for strong motion recording for almost two decades with more than 6000 installations worldwide. The **ETNA 2** represents the next generation of ETNA-class accelerographs offering **NEW** and cost effective, web based monitoring capabilities paired with another Kinematics' established world standard, the exemplary **EpiSensor** accelerometer.

The ETNA 2 is easy to use since it was designed around the Rockhound application software first implemented on the Basalt instruments and continued now on the new Obsidian instruments.

ETNA 2 offers the most essential accelerograph features supporting a wide range of earthquake monitoring applications in a small, lightweight, and simple to use package. If you are interested in Earthquake Early Warning, in structural monitoring, in aftershocks surveys or even in induced earthquake monitoring related to oil and gas, and geothermal fluid injection activities, the ETNA 2 is the right product for you.

And for those whose job it is to maintain large number of stations, we implemented Streamlined Station Maintenance (SSM) that allows you to use your browser to log maintenance activities such as software updates, site inspections, or battery replacements right on the unit. These logs can be automatically uploaded to your data center for archiving, reducing paper work in the field, and eliminating human error.



FEATURES

- 3 sensor channels with an internal EpiSensor triaxial deck
- 24-bit Delta Sigma converter, one per channel
- Matched to Kinematics outstanding EpiSensor accelerometer performance
- Built-in GPS/GNSS and PTP timing options
- Record and communicate multiple sample rates
- Earthquake Early Warning low latency 0.1s packets ready
- Multiple telemetry protocols: ORB natively or public domain Earthworm and SeedLink
- Streamlined Station Maintenance (SSM)
- Data offloaded automatically to removable thumb drive connected to the USB host port. Parallel recording (mirroring) data on an external USB thumb drive.
- Wireless communications via USB based Wi-Fi or cellular modem
- State-of-health monitoring, including input and system voltages, internal temperature, communication link diagnostics, available storage
- IP Security through SSH and SSL
- Reverse voltage protection and self resettable fuses
- System Status LEDs
- Surviving temporary immersion at 1 m depth (rated IP67)
- Designed for RoHS Compliance and easy re-cycling
- Designed for the lowest Total Cost of Ownership (TCO)

Continued

Obsidian

Next Generation of Web Based, High Dynamic Range, GPS/PTP Ready Accelerographs

Ready for the *right tool* for the job?

The **Obsidian** accelerograph is Kinematics' NEW product matched to Kinematics' exemplary EpiSensor accelerometer performance. It represents a new paradigm in open-architecture seismic data acquisition systems defining the *World's Next Generation* of seismic products.

It is designed to give you the flexibility required by the earthquake monitoring solutions of tomorrow capturing very-small to very-large earthquake sequences with a single sensor while being the most versatile accelerograph of today. No more and no less than you need.

You expect outstanding data fidelity and spectral purity. High accuracy data timing is of course required. But it goes beyond that. There are several standard recorded data formats to select from, or you can add your own. On the fly processing of parametric data using your algorithms. Interface to major data center software packages using their protocols. For timing use GPS where it makes sense and/or PTP when several units are connected via Ethernet along with DC power.

And when you're ready to get into Earthquake Early Warning Systems (EWS), the **Obsidian** is ready too. Balance communications bandwidth and data latency with not one but two mechanisms to deliver *ultra-low* latency data.

Why struggle with limited keypads and hard to read displays when you're usually not there anyway? Access the system using your favorite web browser remotely or locally and wirelessly. Where it makes sense to retrieve data locally, do it with a simple thumb drive without commands or buttons.

And for those whose job it is to maintain the station we developed Streamlined Station Maintenance (SSM) that allows you to use your browser to log maintenance activities such as software updates, site inspections, or battery replacements right on the unit. These logs can be automatically uploaded to your data center for archiving, reducing paper work in the field.

Choose from a suite of built-in Kinematics features, add-on packages from trusted providers or expand the capabilities of the system yourself. It's the *open-architecture* seismic data acquisition system!

Quanterra and Kinematics data acquisition products provide *data availability* of over 99% in several large networks year after year. Our users will tell you so.



FEATURES

- 3 + 1 sensor channels w/internal EpiSensor triaxial deck
- 24-bit Delta Sigma converter, one per channel
- Matched to Kinematics outstanding EpiSensor accelerometer performance
- Built-in GPS/GNSS, built-in PTP
- Record and communicate multiple sample rates
- Multiple data formats and telemetry protocols
- Ultra-Low latency data for Earthquake Early Warning Systems
 - * 0.1sec data packet
 - * 0.01sec DFS at 100sps
- Streamlined Station Maintenance (SSM)
- Data offloaded automatically to removable thumb drives connected to a USB host port. Parallel recording (mirroring) data on an external USB thumb drive.
- Wireless communications via USB based Wi-Fi
- Extensive state-of-health monitoring, including input and system voltages, internal temperature, humidity, communication link diagnostics
- Application Programming Interface (API) to develop your own add-on software modules. You can customize real-time data processing, file formats, stream data using your own protocol, shape data with a custom filter, and so on.
- IP Security through SSH and SSL
- Transient and EMI/RFI protection on all connections
- System Status LEDs
- Rugged aluminum extruded case designed for 1m drop and 1m temporary immersion (IP67)
- Designed for RoHS Compliance and easy re-cycling
- Designed for the lowest Total Cost of Ownership (TCO)

Continued

Reftek



Samer Equipos

600 Mts Norte de la Embajada Americana, Rohrmoser, San Jose, Costa Rica. Tel. 22 91 70 50 Fax 22 91 57 67

Cliente **José Pablo Pacheco Masís**

COTIZACION

2273

Fecha 20 de agosto de 2020

Item	Cant	Modelo	Description	UNIT	TOTAL
1	1	R-97113-00	130-MC12A : Recorder, Multi-Channel, 12, Single DAS	\$ 20.350,00	\$ 20.350,00
2	1	R-97150-00	130-GPS : GPS Receiver/Clock	\$ 440,00	\$ 440,00
3	1	R-97163-00	130-8015-33 : Assembly, Cable, GPS to 130 DAS, Ext., 33' (10m)	\$ 247,50	\$ 247,50
4	3	R-97499-30	147A-01-3 Accelerometer, including 98082-00 DAS to	\$ 4.620,00	\$ 13.860,00
5	4	R-97257-00	KIT BAT Sealed Lead Acid 12V 20000mAh Size-Custom	\$ 269,50	\$ 1.078,00
6	1	R-106293-01	147A, Uniaxial +/-4G Full Scale, Horizontal Orientation use	\$ 2.530,00	\$ 2.530,00
7	1	R-97172-00	130-8018 : Assembly, Cable, PC Command & Control	\$ 154,00	\$ 154,00
8	1	R-101422-00	Assembly, Cable, NET, Ethernet Hub to REF TEK Recorder	\$ 198,00	\$ 198,00
SUB TOTAL					\$ 38.857,50
IMPUESTO DE VENTAS					\$ 5.051,48
Cuarenta y tres mil novecientos ocho dolares con 98/100					
TOTAL					\$ 43.908,98

Condiciones Comerciales

Pago	Contado
Garantía	12 meses en todos los equipos
Entrega	90 días hábiles
PRECIOS:	En sus bodegas
Validez Oferta	30 días
Forma de Pago:	Transferencia Electronica

Rodolfo Salom Tapia
Samer Equipos RSC, S.A.



130-MC

MULTI-CHANNEL ACCELEROGRAPH

Using REF TEK's Third Generation technology, the 130-MC is a robust multi-channel recorder designed for civil engineering and structural monitoring requirements. Built-in communication capabilities allow for real-time and on-demand data collection so that you can monitor your site and respond appropriately. The 130-MC can also be configured in a triggered mode, allowing it to only record data when actual sensor movement is occurring, reducing the data collected.

This multi-channel recorder is available in a twelve channel or eighteen channel recording system with advanced telemetry for real-time data collection on all channels. The 130-MC is designed specifically to work with the REF TEK® 147A strong motion accelerometer, but has the flexibility to connect other sensors.

The 130-MC's network capabilities allow multiple units be interconnected for more comprehensive coverage of movement in a building or on a structure such as a bridge or a dam.

During a power outage, the 130-MC recorder will continue data acquisition, running on four internal 12 V DC batteries for 72 hours. If power is unavailable for more than 72 hours and the system shuts down, then, when AC power returns the 130-MC recorder will automatically resume its previous data acquisition mode and begin re-charging the batteries.

Using REF TEK's Interface Software (RTI) with a local or remote PC, you can set all data recording parameters including: continuous or triggered data streams, independent channel selection, sampling rate, and trigger settings

with independent trigger thresholds on a per channel basis, external alarm settings, and automatic notification settings for state-of-health messages and recorded events.

Compact flash memory cards are used to retrieve any recorded event files and state-of-health files, or upload firmware updates and preset parameter files. Updating the system firmware can be completed with a simple file upload and reset of the recorder.

For data analysis the REF TEK Compass Strong Motion Data Processing software calculates and displays functions such as CAV, Raw and Corrected Acceleration, Arias Intensity, Velocity, Displacement, Response Spectra, PSDs, and FFTs. The Compass software makes it easy to view and analyze all calculations simultaneously or individually, depending on your work flow.

Key Features

- ▶ 12 or 18 recording channels
- ▶ 24-Bit A/D Resolution
- ▶ IP based communications over Ethernet
- ▶ Three independent Relay closures for alarming purposes
- ▶ Embedded and removable mass data storage
- ▶ Remote alerts for event and alarm triggers

Applications:

- ▶ Structural Monitoring for buildings, bridges and dams
- ▶ Dense Accelerometer Arrays



Referencias

- ANSS Structural Instrumentation Guideline Committee. (2005). *Guideline for ANSS Seismic Monitoring of Engineered Civil Systems - Version 1.0*. U.S. Geological Survey.
- ACI. (2014). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318RS-14)*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Albán, R. Á. (4 de Mayo de 2020). Información modificaciones Torre Sur Hospital Calderón Guardia. (J. C. Gutiérrez, Entrevistador)
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- Autodesk. (2020). *Autodesk Knowledge Network*. Recuperado el 13 de Abril de 2020, de Autodesk Knowledge Network: <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2020/ENU/>
- Bhavikatti, S. (2004). *Finite Element Analysis*. New Delhi: New Age International Ltd.
- Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Castro & De La Torre S.A. . (2008). *TORRE ESTE DE SEIS PISOS INCLUIDO EL NIVEL DE SOTANO, ADEMÁS INCLUYE EN LA ZONA SUR OESTE DEL EDIFICIO UN TANQUE DE AGUA QUE QUEDA 4,5 METROS ABAJO DEL NIVEL DE SOTANO*. San José: Castro & De La Torre S.A.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de Estructuras Cuarta Edición*. México: Pearson Educación.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Computers & Structures, Inc. (2016). *CSI Analysis Reference Manual*. California: Computers & Structures, Inc.
- California Department of Conservation. (s.f.). *California Department of Conservation*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de California Department of Conservation: <https://www.conservation.ca.gov/cgs/smip>
- Çelebi, M. (2000). *Seismic Instrumentation of Buildings*. California: United States Geological Survey.
- Deam, B., & Cousins, W. (2002). Strong-motion instrumentation of buildings in New Zealand. *New Zealand Society for Earthquake Engineering 2002 Conference*. New Zealand Society for Earthquake Engineering.

- Dominguez, A. (2012). *Determinación de las propiedades dinámicas y efecto de interacción suelo-estructura de un edificio en la ciudad de México mediante un estudio de vibración ambiental*. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Esquivel, L. C., & Schmidt, V. (2016). *METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EJECUTAR Y PROCESAR MEDICIONES DE VIBRACIONES AMBIENTALES UTILIZANDO ACELERÓGRAFOS TRIAXIALES EN EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO DE MENOS DE 100M DE ALTURA*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras.
- Esquivel, L. (2020, Agosto 4). Consultas respecto a instrumentación. (J.P. Pacheco, Entrevistador)
- Gómez Chávez, S. (2007). *Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada*. Ciudad de México: Trillas Sa De Cv.
- Hurtado Gómez, J. (2000). *Introducción a la dinámica de estructuras*. Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional . (s.f.). *Instituto Geofísico*. Recuperado el 11 de Agosto de 2020, de Instituto Geofísico: <https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- Kosakowski, A., & Gaweda Rafal. *Meshing : how to set parameters and how to avoid problems [Webinar]*. Autodesk, https://forums.autodesk.com/t5/robot-structural-analysis-forum/robot-structural-analysis-webinars/td-p/5523337?_ga=2.75224598.58136435.1597687204-148157929.1585686503.
- Leoni, A. (s.f.). *Apunte de coeficiente de balasto*. La Plata: Facultad de Ingeniería U.N.L.P.
- Llopis Cosín, J. V., & Gasque Albalate, M. (s.f.). *Cálculo de momentos de inercia mediante el teorema de Steiner. Aplicación a la superficie de un triángulo rectángulo*. Valencia.
- López, J. d. (4 de Junio de 2020). Consultas respecto a modelación. (J. P. Pacheco, Entrevistador)
- Mat Web. (s.f.). Recuperado el 1 de Junio de 2020, de Mat Web: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=b3338d1f5e1c47f2a3ba6291848769>
- Orrego, D. J. (2017). *IDENTIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE DIAFRAGMA RÍGIDO O FLEXIBLE A PARTIR DE INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA Y MODELACION DE LOSAS TIPO SHELL O MEMBRANA EN SISTEMAS DE RESISTENCIA LATERAL*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Pulak, P. (2020, Agosto 3). Explanation of Rz mass percentage. (J. P. Pacheco, Entrevistador)
- Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Rojahn, C. (1976). *California Building Strong Motion Earthquake Instrumentation Program*. California: U.S. Department of the Interior Geological Survey.
- Sauter F., F. (1989). *Introducción a la Sismología*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- SRC. (2014, Febrero 27). *Centro de Investigación Sismológica*. Recuperado el 27 de Agosto, 2020, de Centro de Investigación Sismológica: <https://www.src.com.au/strong-motion-accelerographs/>

Van Der Werth, F. (2020, Julio 31). Request for quotation. (J. P. Pacheco, Entrevistador)

W. Clough, R., & Penzien, J. (2003). *Dynamics Of Structures*. California: Computers & Structures, Inc.