

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

AUTOR:

KLEBER ENRIQUE ROMERO NÚÑEZ

TUTOR:

Ing. Mg. CARLOS NAVARRO

AMBATO-ECUADOR

2016

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo experimental sobre el tema: ***“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”***; del estudiante Kleber Enrique Romero Núñez, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación de jurado examinador designado por el H.Consejo.

Ambato, Febrero de 2016

TUTOR

Ing. Mg. Carlos Navarro.

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, ROMERO NÚÑEZ KLEBER ENRIQUE, con C.C. 1804276564 tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el trabajo experimental: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”**; dejo constancia que el presente informe es el resultado de la investigación del autor, quien basado en los estudios realizados durante la carrera, investigación científica, revisión documental y de campo, ha llegado a las conclusiones y recomendaciones descritas en la investigación. Las ideas, opiniones y comentarios vertidos en este informe, son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Ambato, 20 de Abril de 2016

Romero Núñez Kleber Enrique

C.C. 180427656-4

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el informe del trabajo experimental:
“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”; del Señor Romero Núñez Kleber Enrique.

Ambato, Abril de 2016

Para constancia firman

Ing. M.Sc. Jorge Cevallos.

Ing. Mg. Juan Garcés.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 20 de Abril de 2016

Autor

Romero Núñez Kleber Enrique

C.C. 180427656-4

DEDICATORIA

A Dios, por ayudarme en los momentos difíciles de mi vida, dándome la Fuerza y sabiduría necesaria para alcanzar mis metas y sueños.

A mis padres Piedad Núñez y Enrique Romero, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor, paciencia y esfuerzo, por inculcarme las virtudes que rigen mi vida, en los que me he apoyado para seguir adelante, y por su apoyo incondicional con el cual he podido cumplir con todas con mis metas propuestas.

A mis hermanos Steve, Jahaziel y de manera especial a mi hermanas Gabriela y Cristina; las cuales fueron un apoyo muy importante, ya que gracias a su ayuda he podido cumplir una etapa más de mi vida de manera exitosa.

A mi familia y amigos por no permitirme desmayar en la mitad del camino de mi vida universitaria y apoyarme en todas las circunstancias de mi vida.

Kleber Romero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por abrirme sus puertas y permitirme cumplir uno de los sueños en mi vida.

A todas las Autoridades, Docentes y Empleados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por el apoyo y ayuda prestada durante toda mi carrera universitaria.

Al Ing. Mg. Carlos Navarro e Ing. M.Sc. Jorge Cevallos por su guía y ayuda y apoyo para la elaboración de mi trabajo experimental.

Al Dr. Klever Moreno Gavilanes, Ph. D, por su ayuda y apoyo prestados en un momento difícil de mi carrera universitaria.

A mi hermana Gabriela Romero por no dejarme caer nunca y por apoyarme en todo momento y etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS.....	x
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii

B. TEXTO

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN:	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACION TEÓRICA	4
2.2. HIPÓTESIS.....	17
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	17

**CAPÍTULO III
METODOLOGÍA**

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	19
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	20
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	22
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	22

**CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	24
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	37
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	48

**CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES	49
5.2 RECOMENDACIONES.....	49

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA.....	51
2. ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 01	Descripción sistema neumático implementado.....	11
TABLA 02	Descripción sistema de transmisión de movimiento.....	13
TABLA 03	Descripción sistema de transmisión de datos análisis dinámico.....	15
TABLA 04	V.I Implementación de una mesa vibratoria.....	20
TABLA 05	V.D Análisis dinámico de estructuras civiles a escala.....	21
TABLA 06	Parámetros de automatización y trabajo neumático	24
TABLA 07	Aceleración máxima del suelo.....	28
TABLA 08	Escala de Mercalli y aceleración sísmica	29
TABLA 09	Comparativa de escala de Richter con escala de Mercalli.....	30
TABLA 10	Datos técnicos del modelo estructural	32
TABLA 11	Datos flex sensor para el modelo estructural	37
TABLA 12	Datos acelerómetro 1 para el modelo estructural.....	39
TABLA 13	Datos aceleraciones acelerómetro 1 para el modelo estructural.....	40
TABLA 14	Datos acelerómetro 2 para el modelo estructural.....	43
TABLA 15	Datos aceleraciones acelerómetro 2 para el modelo estructural	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 01. Simulador sísmico Universidad del Valle Cali – Colombia	6
Fig. 02. Simulador sísmico FIUBA Buenos Aires – Argentina	6
Fig. 03. Mesa Vibratoria Instituto Tecnológico de Santo Domingo – República.....	7
Fig. 04. Regulador de caudal.....	12
Fig.05. Válvula Sole 3/8 5-2 SS 24 VDC..	12
Fig.06. Cilindro ISO 80mm x 050mm..	13
Fig.07. Plc SIMATIC S7-1200..	13
Fig.08. Sistema armado transmisión de movimiento uniaxial..	14
Fig.09. Sistema armado transmisión de movimiento uniaxial..	14
Fig.10. Articulación Y SC-80..	15
Fig.11. Ruedas nylon poliamida (duralong).....	15
Fig.12. Kit arduino Mega.....	16
Fig.13. Módulo acelerómetro 3ejes.....	16
Fig.14. Sensor flex ideal Arduino.	16
Fig. 15. Pantalla principal control Automatizado Sistema Neumático.	25
Fig. 16. Pantalla principal control sensores de deformación..	25
Fig. 17. Pantalla principal control de módulos acelerómetros..	26
Fig. 18. Conexión Flex-sensor entrada Analógica Plc.....	26
Fig. 19. Conexión módulos acelerómetros a tarjeta Arduino Mega..	27
Fig. 20. Rango frecuencia sistema neumático.....	31
Fig. 21. Estructura 1.....	31
Fig. 22. Estructura 1 empotrada.....	32
Fig. 23. Frecuencia 0 Hz..	33
Fig. 24. Frecuencia 0.21 Hz..	33
Fig. 24. Frecuencia 0.21 Hz..	34
Fig. 25. Reporte giroscopio 1.....	34
Fig. 26. Reporte giroscopio 2.....	35
Fig. 27. Reporte Flex-sensor.....	35
Fig. 29. Flex-sensor reporte gráfico.....	36

Fig. 30. Acelerómetros reporte gráfico..	36
Fig. 31. Flex-sensor gráfica deformación (grados) vs tiempo..	39
Fig. 32. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje x (mg) vs tiempo (décimas de seg).. ...	40
Fig. 33. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje y (mg) vs tiempo..	41
Fig. 34. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje z (mg) vs tiempo (décimas de seg).. ...	42
Fig. 35. Acelerómetro 1 gráfica velocidad eje x (m/seg) vs tiempo (décimas de seg).. .	43
Fig. 36. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje x (mg) vs tiempo (décimas de seg).. ...	44
Fig. 37. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje y (mg) vs tiempo (décimas de seg).. ...	45
Fig. 38. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje z (mg) vs tiempo (décimas de seg).. ...	46
Fig. 39. Acelerómetro 2 gráfica velocidad eje x (m/seg) vs tiempo (décimas de seg).. .	47
Fig. 40. Fuerza y conversión de presión..	52
Fig. 41. Fuerza y conversión de presión..	53
Fig. 42. Fuerza y conversión de presión..	53
Fig. 43. Fuerza y conversión de presión..	54
Fig. 44. Fuerza y conversión de presión..	54

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”.

Autor: Kleber Enrique Romero Núñez

Fecha: Febrero 2016

Se busca mediante el presente trabajo experimental de manera fácil e interactiva apoyar al entendimiento teórico-práctico de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato en el campo estructural, mediante análisis dinámicos de estructuras a pequeña escala con resultados gráficos. En la parte inicial se plantea de manera concreta tanto la justificación que conlleva a realizar la presente investigación como los objetivos a cumplirse para el adecuado desarrollo y análisis de resultados experimentales posteriores.

Para obtener los datos, parámetros, tipos de equipos y materiales a usarse tanto en la mesa vibratoria como para la generación de datos y resultados gráficos del análisis dinámico como desplazamientos, aceleraciones registradas, velocidades y acelerogramas, se analizó principalmente el factor económico ya que en nuestro país aún es difícil acceder a equipamiento tecnológico a bajo costo que permitan al investigador desarrollar de manera más eficiente y precisa trabajos de este tipo. También se tomó en cuenta el uso de software bajo licencia con los que cuenta la Universidad Técnica de Ambato. Todo el sistema de movimiento así como el de equipos para la generación de datos, se encuentran automatizados de manera práctica para la facilidad de operación y entendimiento del estudiante.

Al final se obtienen datos gráficos experimentales así como una relación directa resultados numéricos de aceleración sísmica con tablas de Mercalli y Richter. Con el presente trabajo se quiere sentar un precedente para futuras investigaciones de este tipo, ya que ayudan a la generación de conocimientos e investigación.

EXECUTIVE SUMMARY

TOPIC: "IMPLEMENTATION OF A VIBRATING TABLE ANALYSIS OF CIVIL STRUCTURES DYNAMIC SCALE IN THE LABS OF THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO".

Author: Kleber Enrique Romero Núñez

Date: February 2016

It seeks by this experimental work easy and interactive support the theoretical and practical understanding of students of the Faculty of Civil Engineering at the Technical University of Ambato in the structural field, through dynamic analysis of structures on a small scale with graphical results way. In the initial part arises concretely both justification which leads to conduct this investigation as the objectives to be fulfilled for proper development and subsequent analysis of experimental results.

To obtain the data, parameters, types of equipment and materials to be used in both the vibrating table and for data generation and graphical results of the dynamic analysis as displacements, recorded accelerations, velocities and acceleration time, the economic factor is mainly analyzed as in our country is still difficult to access technological equipment at low cost to allow the researcher to develop more efficient and accurate work of this kind. It also took into account the use of licensed software with which account the Technical University of Ambato. The whole system of movement as well as equipment for data generation, are practically automated for ease of operation and student understanding.

Finally experimental graphic data and a direct numerical ratio seismic acceleration results tables Mercalli and Richter are obtained. With this work we want to set a precedent for future investigations of this type, as they help generate knowledge and research.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”.

1.2 ANTECEDENTES

Ecuador está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, ocasionado por el desplazamiento relativo y repentino entre placas tectónicas y por la constante actividad de los volcanes distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional. Estos fenómenos naturales, pueden producir el colapso de edificaciones a nivel general, ocasionando pérdidas humanas y materiales.

A largo de los años, la provincia de Tungurahua así como sus diversos cantones, se han visto afectados por la actividad del volcán Tungurahua, siendo uno de los factores más preocupantes, el sinnúmero de sismos provocados por la actividad volcánica del coloso.

En la actualidad, las mesas vibratorias son los sistemas más naturales de generación y simulación de movimientos sísmicos, independientemente de la causa que generen dichos movimientos telúricos; esta técnica experimental de simulación, permite estudiar

el comportamiento dinámico de estructuras, elementos, ensamblajes y sistemas a pequeña escala.

Un sinnúmero de universidades a nivel mundial en sus Facultades de Ingeniería Civil, cuentan con sistemas de mesas vibratorias para el análisis de estructuras a pequeña escala, lo cual no solo les permite transmitir conocimientos relacionados a la carrera de manera más didáctica y comprensiva, sino también avanzar en el campo de investigación y desarrollo de ciencia y tecnología.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de obtener un mayor entendimiento teórico-práctico de lo que sucede al producirse esta clase de eventos, y debido al auge que vive actualmente la Ingeniería sísmica dentro de la Ingeniería Civil, así como el gran interés de investigar los efectos sísmicos producidos a distintas magnitudes, hace que el ensayo y análisis en estructuras a pequeña escala sobre mesas vibratorias sea la mejor opción para comprender esta clase de estudios.

Por lo expuesto anteriormente, y al no contar en la FICM con una mesa vibratoria que permita a los estudiantes inmiscuirse en esta temática de estudio, el presente proyecto ayudará a cubrir estas necesidades, ya que el sistema implementado permite de una manera didáctica y técnica, el mejor aprendizaje de las temáticas mencionadas al inicio.

La implementación de la mesa vibratoria, tendrá un impacto positivo tanto en la comunidad estudiantil y docente; primeramente cubriendo una problemática que a través del tiempo no ha sido solucionada como carrera de Ingeniería Civil, siendo este la necesidad de contar de un sistema vibratorio en el laboratorio para prácticas realizando ensayos dinámicos en estructuras a pequeña escala, como también incentivar mediante el aporte de la mesa vibratoria a desarrollar investigación, sea creando nuevos modelos estructurales, materiales u otros componentes importantes en el desarrollo de la ingeniería.

Además de esto, la importancia como comunidad Universitaria de ser generadores de ciencia y tecnología y no solamente consumistas y meros observadores del desarrollo externo de otras universidades y centros de estudios, hace que el proyecto planteado permita aportar en cierta manera a lo dicho anteriormente, y sea un referente para un sinnúmero de proyectos investigativos; ya como entes activos de la Universidad Técnica de Ambato y en especial de la FICM, contamos con la capacidad de hacerlo, y así avanzar cada vez más en convertir a nuestra Universidad, y Facultad en un baluarte de desarrollo investigativo con profesionales capacitados en hacer frente a las nuevas expectativas y retos que necesitan nuestro país actualmente.

1.4 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Implementar una mesa vibratoria para el análisis dinámico de estructuras a pequeña escala.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar un sistema de mesa vibratoria que permita efectuar simulaciones en estructuras a escala con un peso máximo de 250kg.
- Implementar la mesa vibratoria en los laboratorios de Ingeniería Civil para simular el movimiento del suelo generado por sismos.
- Construir estructuras civiles a escala para su análisis dinámico.
- Implementar sensores de medición (flex-sensor, acelerómetros) para la obtención de datos de la simulación sísmica en las diferentes estructuras a estudiar.
- Obtener resultados gráficos del análisis dinámico de las estructuras frente a una simulación sísmica.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La simulación mediante el uso de mesas vibratorias es una parte muy importante de la ingeniería, ya que mediante este tipo de procesos se ha podido desarrollar y entender de una mejor manera comportamiento sísmico de elementos, modelos o sistemas estructurales, tanto de acero, mampostería, hormigón armado, madera, etc.

En principio los ensayos se realizan en modelos con el objeto de evaluar el comportamiento total de la estructura, estos modelos pueden ser a escala natural o reducida, dependiendo no solo del costo, sino también de la técnica de ensayo que se esté utilizando. El ensayo en mesa vibratoria, que es la forma más directa para simular el comportamiento sísmico de estructuras, está limitado a modelos no muy pesados, no muy grandes o no muy rígidos; es decir, que debido a las dificultades que existen para ensayar modelos a escala natural, se ensayan normalmente modelos a escala reducida. [1]

El modelo físico así como su diseño estructural de las estructuras que se generen para realizar ensayos, se consideran como si tratara de un prototipo, las escalas geométricas de modelo mantienen una relación aspecto similar a proyectos o tipos de viviendas, edificios que generalmente se tienden a construir en nuestro país.

Para tratar el tema de análisis dinámico en estructuras civiles, es muy importante e imprescindible conocer la definición de acción dinámica así como también bajo qué circunstancias se dice que una acción es dinámica.

Una carga o acción es dinámica siempre que esta varíe a lo largo del tiempo. Debido a que una carga siempre se puede asimilar a un vector, la variación podrá darse en cualquiera de los tres parámetros que definen al mismo (módulo, dirección y sentido). [2]

Por otro lado hay que analizar cuando una acción puede o no, considerarse dinámica. Se trata en este caso, de hacer una simple comparación, y es aquí donde entra en juego la variable estructura, puesto que va a ser de sus características físicas de las que dependa el patrón fundamental de comparación: *el periodo fundamental de vibración de la estructura*. Este período es el que nos ayudara a valorar si una carga se aplica “rápida” o “lentamente”. [2]

Se manifiesta en este momento que la mesa vibratoria implementada para el presente trabajo experimental, no tiene la capacidad de reproducir un sismo. Sin embargo el sistema de mesa vibratoria implementado, tiene la capacidad de crear una excitación armónica en la base de la misma, ya que este es el elemento principal que compone un sismo. Debido a esta excitación es posible realizar análisis así como experimentación que ayuden al entendimiento de dinámica estructural en modelos estructurales a escala.

Actualmente existen un sinnúmero de sistemas de mesas vibratorias, accionadas bajo distintos sistemas como son: neumáticos, hidráulicos, mecánicos y manualmente. Algunos sistemas que se muestran a continuación poseen características exclusivas adaptadas a la necesidad y presupuestos disponibles por parte de o los investigadores.



Fig. 01. Simulador sísmico Universidad del Valle Cali – Colombia [3]



Fig. 02. Simulador sísmico FIUBA Buenos Aires – Argentina [4]

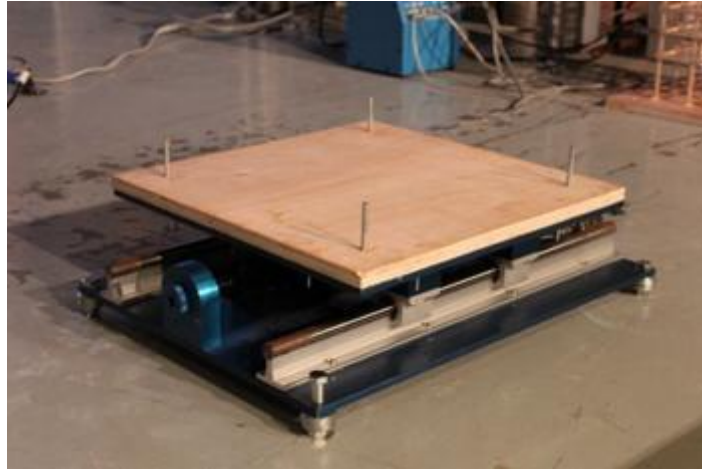


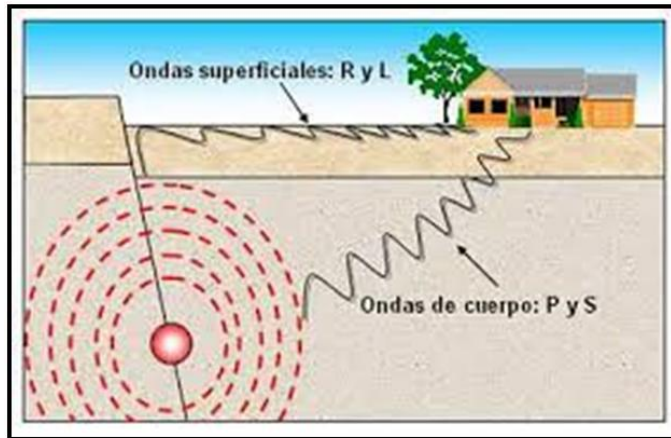
Fig. 03. Mesa Vibratoria Instituto Tecnológico de Santo Domingo – Republica Dominicana

[5]

Para nuestro caso se ha optado por implementar un sistema de mesa vibratoria accionado de manera neumática, debido a la facilidad de adquisición de equipos así como costos referentes a instalación y mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente, el sistema implementado produce una excitación armónica en la base, de tal manera que se genera ondas que pueden ser relacionadas a las producidas por un sismo. Las ondas generadas en un sismo a partir de la ruptura de la roca pueden clasificarse en tres tipos:

- Ondas Primarias
- Ondas Secundarias
- Ondas Superficiales

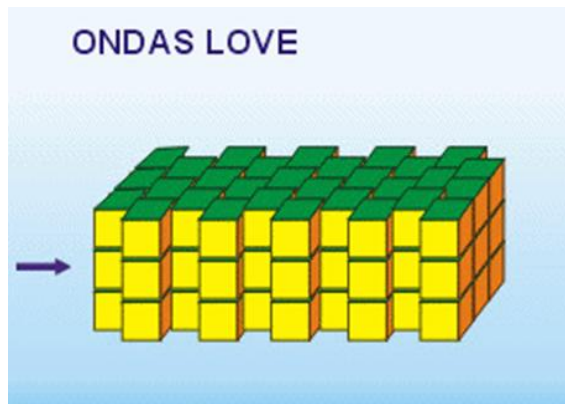


Para el presente trabajo experimental se consideran en el análisis las ondas superficiales. Las características principales de las ondas superficiales son:

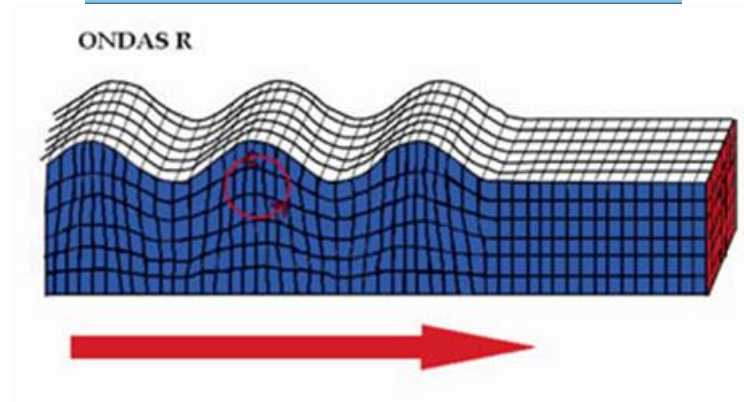
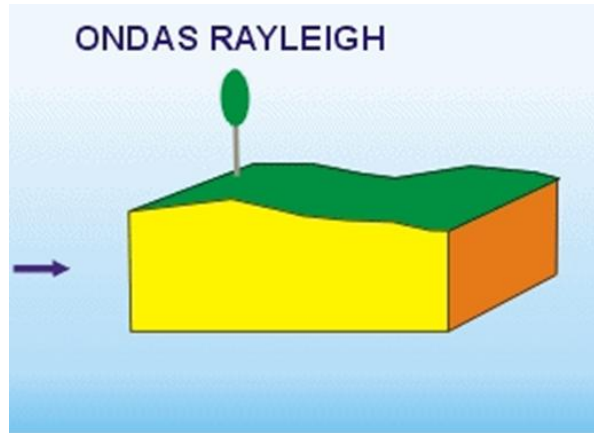
- Viajan a lo largo de la superficie de la tierra.
- Causan la mayor destrucción.
- Poseen la mayor amplitud y velocidad más lenta.
- Viajan a una velocidad de 2 a 3 km/seg.
- Las ondas tiene los mayores períodos.

Tales ondas superficiales se dividen en dos tipos:

Ondas Love: producen un movimiento de lado a lado perpendicular a su dirección de propagación.

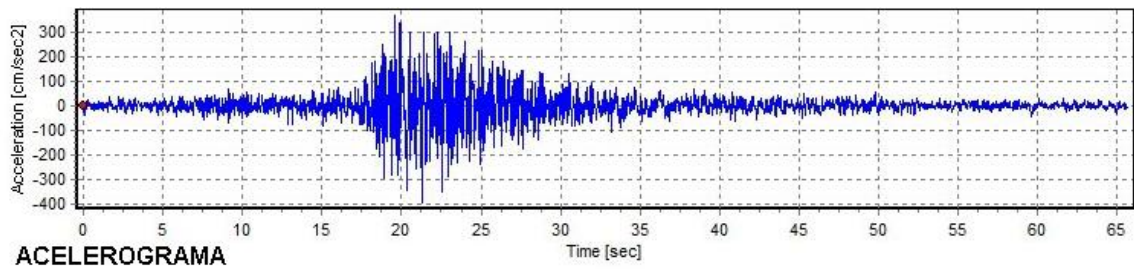


Ondas Rayleigh: mueve la superficie terrestre en círculo hacia arriba, adelante, abajo y atrás.



La relación de la excitación armónica producida por el sistema vibratorio, lo podemos relacionar a las ondas secundarias ya que están se producen en la superficie terrestre y es uno de los componentes principales de un sismo. Dichas ondas secundarias que producen el movimiento sísmico, son detectadas a nivel de la superficie terrestre a través de equipos denominados acelerógrafo.

Acelerógrafo: es un instrumento que proporciona un gráfico denominado acelerograma el cual se encarga de mostrar la variación de aceleraciones en un punto o lugar determinado en función del tiempo en el que transcurre el sismo. Estos equipos colocados a nivel de superficie terrestre detectan las ondas superficiales de mejor manera.



Para la interpretación de un acelerograma es necesario conocer los elementos que componen la onda producida por el movimiento sísmico.

Ciclo: es una oscilación completa. Se define también como la distancia entre cresta y cresta.

Periodo: es el tiempo de una oscilación completa. Se lo define con la letra T.

Frecuencia: es el número de oscilaciones por cada unidad de tiempo. Se lo define con la ecuación:

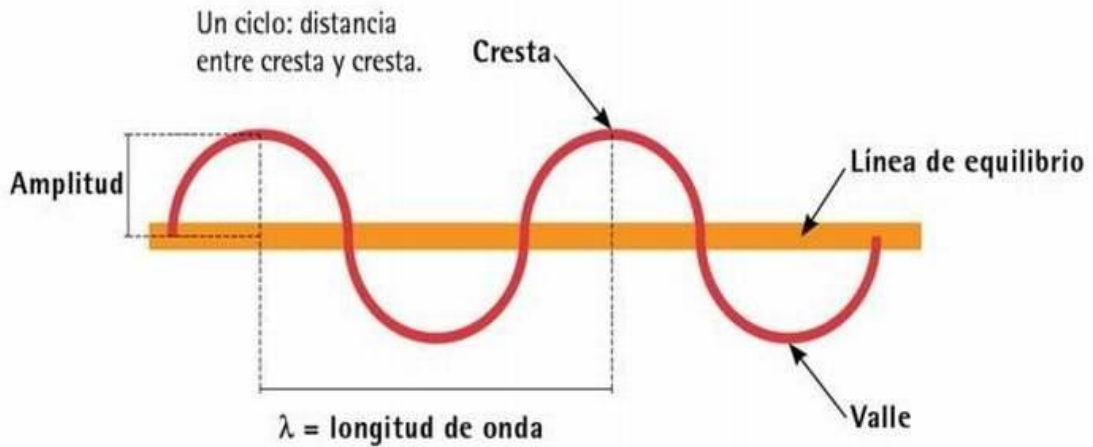
$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{\#oscilaciones}}{\text{tiempo}}$$

Amplitud: es la deformación o elongación máxima lineal que puede presentar una onda. Se la representa con la letra A.

Cresta: punto más alto.

Valle: punto más bajo.

Longitud de onda: distancia entre dos crestas o valles.



A continuación se describe las características de la mesa vibratoria así como elementos implementados para el análisis dinámico los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato:

TABLA #01
DESCRIPCIÓN SISTEMA NEUMÁTICO IMPLEMENTADO

Cantidad	Detalle
1	VALVULA SOLE 3/8 5-2 SS 24 VDC
1	CIL ISO 80mm x 050mm
2	REGULADOR DE CAUDAL 16000 l/min 1/2
2	CODO QUICK 10mm
4	ACOPLE RECTO 10mm
2	SIOLENCIADOR PLANO ¼ PT
-----	MANGUERA POLIU 100D x 6.5ID
1	Plc SIMATIC S7-1200 CPU 1214-C (SIEMENS)

Fuente Kleber Romero.



Fig. 04. Regulador de caudal. Fuente Kleber Romero.



Fig.05. Válvula Sole 3/8 5-2 SS 24 VDC. Fuente Kleber Romero.



Fig.06. Cilindro ISO 80mm x 050mm. Fuente Kleber Romero.



Fig.07. Plc SIMATIC S7-1200. Fuente Kleber Romero.

TABLA #02

DESCRIPCIÓN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Cantidad	Detalle
1	PLANCHA 9mm ACERO 1200 X 1200 mm
-----	PERFIL I 100 x 55 x 5 mm
-----	Angulo 2" x 1/42
4	RUEDAS NYLON POLIAMIDA (DURALONG) PA-6 RESISTECIA COMPRESION 280Kg/cm ²
-----	TUBO CUADRADO 1½" X ¼"

-----	PERNOS ACERO $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$,
1	ARTICULACION Y SC-80

Fuente Kleber Romero.



Fig.08. Sistema armado transmisión de movimiento uniaxial. Fuente Kleber Romero.



Fig.09. Sistema armado transmisión de movimiento uniaxial. Fuente Kleber Romero.



Fig.10. Articulación Y SC-80. Fuente Kleber Romero.



Fig.11. Ruedas nylon poliamida (duralong). Fuente Kleber Romero.

TABLA #03

DESCRIPCIÓN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS ANÁLISIS DINÁMICO

Cantidad	Detalle
2	MÓDULO ACELERÓMETRO 3EJES ADXL-345 DC-55009
1	SENSOR FLEX IDEAL ARDUINO
1	KIT ARDUINO MEGA

Fuente Kleber Romero.



Fig.12. Kit Arduino Mega. Fuente Kleber Romero.



Fig.13. Módulo acelerómetro 3ejes. Fuente Kleber Romero.



Fig.14. Sensor flex ideal Arduino. Fuente Kleber Romero.

2.2. HIPÓTESIS

La implementación de una mesa vibratoria ayuda al análisis dinámico de estructuras civiles a escala en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

Variable independiente: Implementación de una mesa vibratoria.

Variable dependiente: Análisis dinámico de estructuras civiles a escala.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo experimental tiene como investigación los siguientes tipos:

INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA:

Mediante este nivel de investigación, obtenemos un acercamiento a la problemática planteada mediante la bibliografía y de esta manera poder determinar el método que mejor se adapte a nuestras circunstancias para el análisis dinámico de estructuras a pequeña escala.

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA:

Este nivel de investigación permite recopilar la información obtenida en la investigación exploratoria, para interpretar de manera cuantitativa los resultados generados de la investigación.

INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA:

Con la exposición de los niveles anteriores, procedemos a proponer una solución al problema de investigación planteado.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

En el presente trabajo experimental, la población son modelos estructurales a escala generados por parte del investigador, los cuales mediante el uso de sensores implementados en el sistema, así como la excitación armónica provocada por la mesa vibratoria; se procede al respectivo análisis dinámico para cada uno de los modelos estructurales planteados utilizando el programa LabVIEW para la visualización gráfica de resultados.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA #04

V.I IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
La implantación de un sistema vibratorio neumático permite de manera fácil al usuario realizar y simular una excitación armónica uniaxial de un determinado tipo de evento sísmico.	Sistema vibratorio neumático. Facilidad de realizar una simulación	Automatización Eficiente Rápida Exacta	¿Qué tipo de automatización es? ¿Cómo facilitamos el trabajo de una simulación uniaxial?	Uso de Plc (programador lógico programable) Programa LabVIEW

Fuente Kleber Romero.

TABLA #05

V.D ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS CIVILES A ESCALA

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Comprende análisis de fuerzas, aceleraciones, desplazamiento y velocidades que aparecen en una estructura debido al resultado del desplazamiento y deformación que aparecen en la estructura, independiente de cual fuera esta.	Deformaciones	Vigas columnas	¿En qué elementos se produce deformaciones?	Flex sensor Programa LabVIEW
	Fuerzas	Interna externa	¿Cuáles son los tipos de fuerzas que se presentan en una estructura?	Programa LabVIEW Uso de Plc (programador lógico programable)
	Desplazamientos	Vigas columnas	¿En cuáles de los elementos se produce desplazamientos?	Giroscopios Programa LabVIEW

Fuente Kleber Romero.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En el presente proyecto experimental se analizó cual es el tipo de sistema de mesa vibratoria más adecuado para su implementación en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil.

Además, se adquirió un Plc (programador lógico programable) para la automatización de la mesa vibratoria, ya que de esta manera se puede realizar de forma eficiente, rápida y exacta la generación de movimiento uniaxial del sistema, así como la transmisión de datos.

Otro factor importante para la recolección de información en el proyecto es la adquisición y programación de instrumentos de transmisión de datos tales como: flex-sensor y acelerómetro, los cuales recolectan datos de la excitación armónica generada por la mesa vibratoria para su respectivo análisis dinámico.

Sin embargo, fue importante la generación de modelos a escala de estructuras civiles ya que sin ellos no sería posible la realización de dicho ensayo dinámico.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el proyecto se realizaron los siguientes aspectos:

- Calibración de sistema neumático de la mesa vibratoria.
- Colocación de los modelos a escala sobre el sistema.
- Colocación de instrumentos de transmisión (flex-sensor y acelerómetros) de datos sobre los modelos.
- Recolección de información y procesamiento hacia el Plc (programador lógico programable) y a la tarjeta Arduino de los instrumentos de transmisión (flex-sensor y acelerómetros), así como del sistema neumático de la mesa vibratoria.

- Procesamiento y visualización de información en pantalla, mediante software LabVIEW.
- Obtención de datos finales tales como: tiempo en segundos del desplazamiento uniaxial del sistema de la mesa vibratoria, velocidad de trabajo del sistema neumático, monitoreo del análisis dinámico en curvas, tiempo vs desplazamiento, tiempo vs aceleración, tiempo vs velocidad y la generación de un sismógrafo cuya visualización puede ser en los ejes x , y , z ; dependiendo de la necesidad requerida.
- Exportación de registros de análisis dinámico de las estructuras a hoja electrónica (Excel) y software especializado, para sus distintos análisis complementarios.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el inicio del análisis tomamos en cuenta las características y parámetros establecido en la programación y automatización neumática del sistema de movimiento para la mesa vibratoria. El parámetro adoptado mediante pruebas de simulación sin carga es la siguiente:

TABLA #06
PARÁMETROS DE AUTOMATIZACIÓN Y TRABAJO NEUMÁTICO

Ítem	Valor
Ciclos por cada segundo Hercio (Hz)	3Hz (valor máximo recomendado)
Presión máxima del sistema neumático	135 PSI
Carga máxima de ensayo	250 Kg

Fuente Kleber Romero.

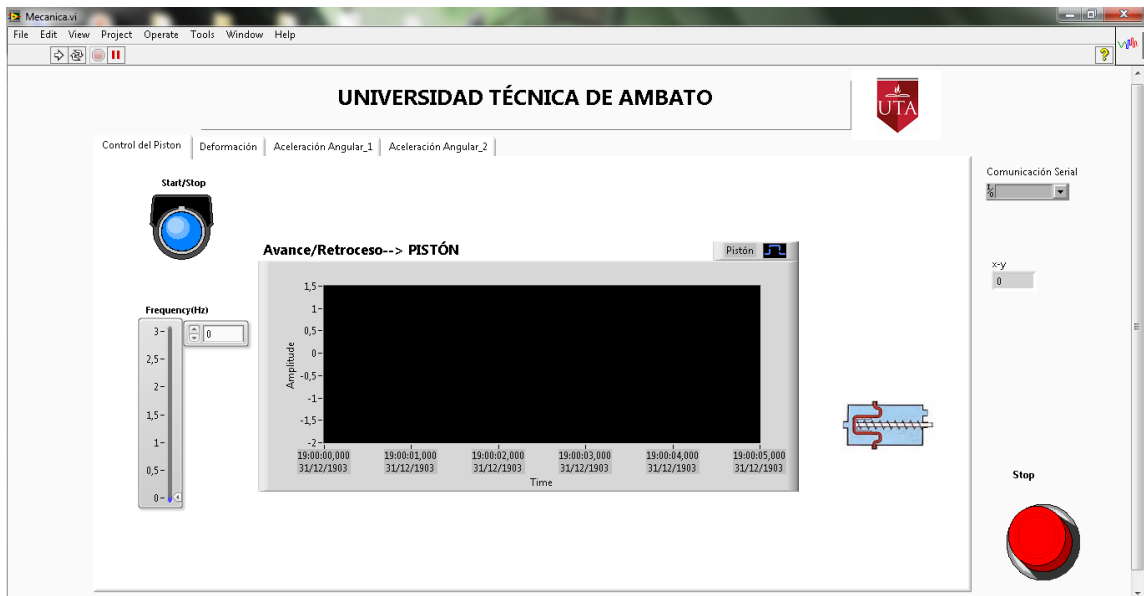


Fig. 15. Pantalla principal control Automatizado Sistema Neumático.
Fuente Kleber Romero.

A continuación se muestra el sistema de transmisión de datos para la recolección de información para posterior análisis dinámico.

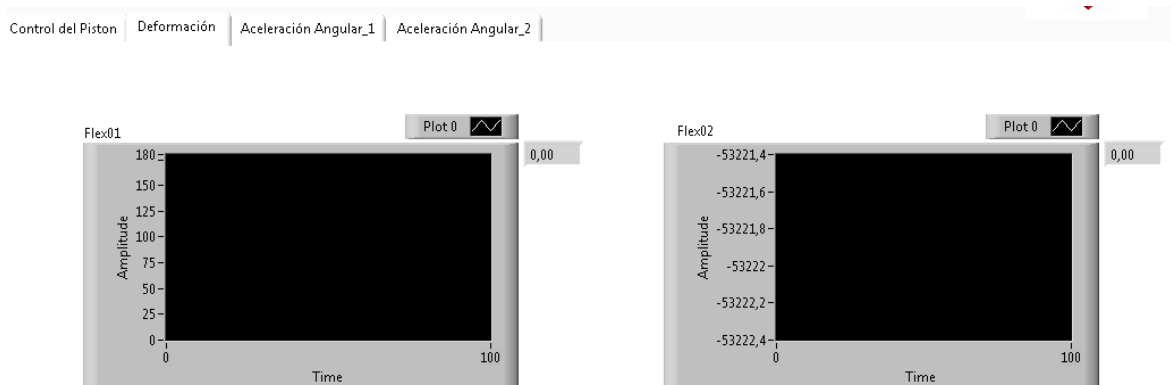


Fig. 16. Pantalla principal control sensores de deformación. Fuente Kleber Romero.

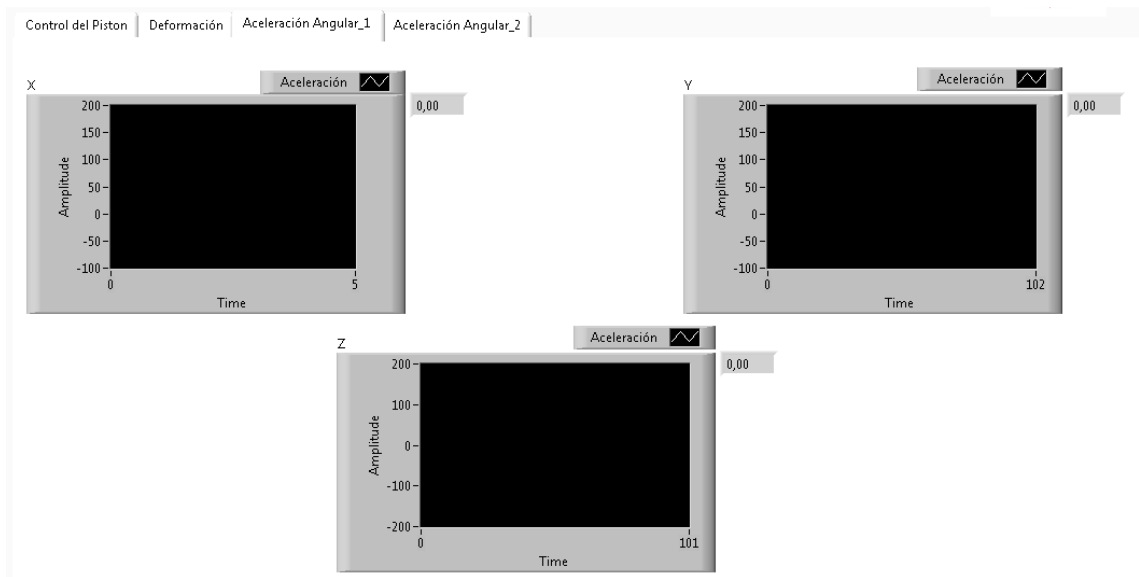


Fig. 17. Pantalla principal control de módulos acelerómetros. Fuente Kleber Romero.

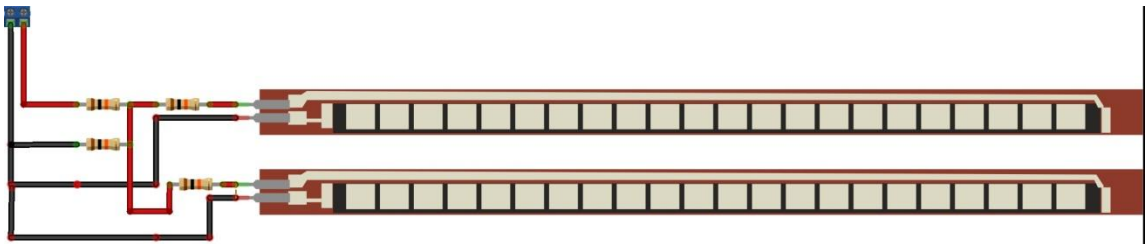


Fig. 18. Conexión Flex-sensor entrada Analógica Plc. Fuente Kleber Romero.

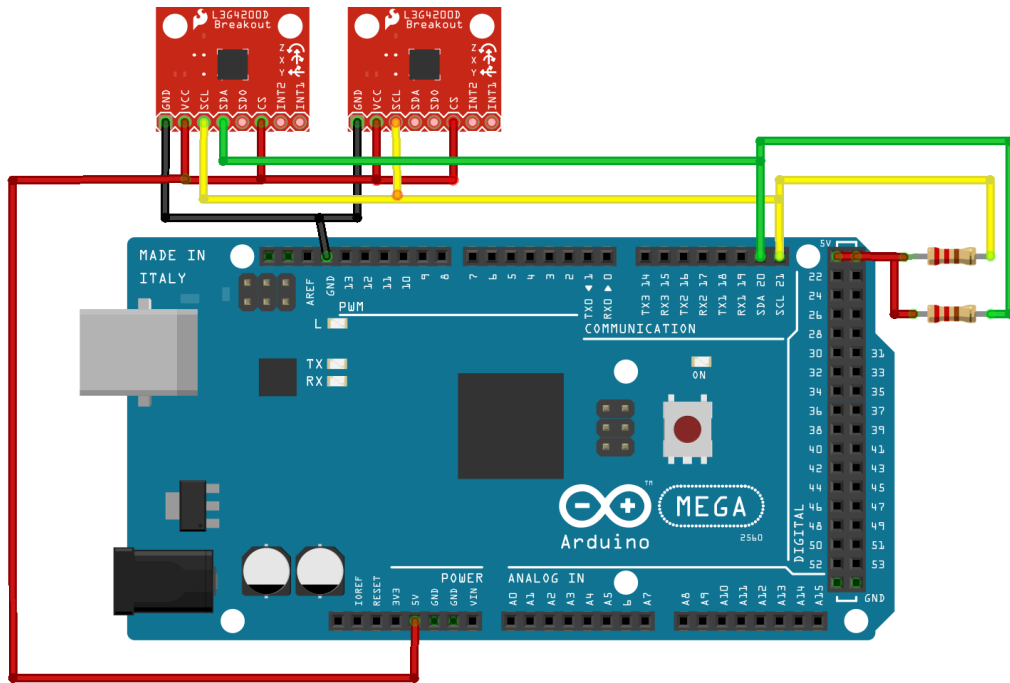


Fig. 19. Conexión módulos acelerómetros a tarjeta Arduino Mega. Fuente Kleber Romero.

La información recolectada parte de modelos estructurales generados. Dichos modelos estructurales tienen relación tanto estética así como estructural para de esta manera obtener datos lo más cercanos posibles a la realidad.

Partiendo de lo anterior se muestra las estructuras que serán necesarias en la toma de datos: aceleraciones, desplazamientos laterales mediante la colocación de flex-sensor en las columnas laterales del modelo a escala.

Se puede establecer una relación de la aceleración registrada por los acelerómetros Gy29 utilizados para el registro de la excitación armónica de la mesa vibratoria y la aceleración máxima del suelo (Peak Ground Aceleration). Según las tablas del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2014 ; se tienen registros de los eventos sísmicos producidos en Ecuador, con la particularidad de que se registra cada aceleración producida en tierra, en unidades Gal con un rango de 5 segundos de periodo estructural. Para el análisis realizado por parte del investigador en el presente trabajo de

experimental, se tiene períodos variados; puesto que se necesita obtener varios datos para un análisis e investigación más detallada de los modelos estructurales ensayados.

A continuación se toma de referencia los datos de la aceleración en Gal de un evento sísmico registrado en Quito-Ecuador:

TABLA #07
ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO [6]
Código 1. Evento 201102170004
QUITO-ECUADOR

Valores de PGA (Peak Ground Acceleration), aceleración máxima del suelo:

BELLA N/E:	10,99244	8,83374	Gal
CIRC N/E:	8,53369	7,23369	Gal
LILI N/E:	2,05768	2,16569	Gal
SANFR N/E:	7,7896	3,68263	Gal

Fuente Álvaro Sebastián Gavilanez Tamayo

Existe una relación más que podemos utilizar en la toma de datos de nuestro análisis dinámico, y es la existente entre la escala de Mercalli y la aceleración sísmica producida en la superficie:

TABLA #08
ESCALA DE MERCALLI Y ACELERACIÓN SÍSMICA [7]

Escala de Mercalli³	Aceleración sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno
II-III	0.0017 - 0.014	0.1 - 1.1	Muy leve	Ninguno
IV	0.014 - 0.039	1.1 - 3.4	Leve	Ninguno
V	0.039 - 0.092	3.4 - 8.1	Moderado	Muy leve
VI	0.092 - 0.18	8.1 - 16	Fuerte	Leve
VII	0.18 - 0.34	16 - 31	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34 - 0.65	31 - 60	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65 - 1.24	60 - 116	Violento	Fuerte
X+	> 1.24	> 116	Extremo	Muy fuerte

Fuente wikipedia.org.

Los rangos de aceleración para cada nivel de la escala sísmica de Mercalli, los podemos relacionar con la tabla VIII, transformado el valor de Gal a gravedad:

$$1 \text{ gravedad} = 981 \text{ Gal}$$

Por lo tanto tomando el valor primario Bella N=10.9944 tenemos:

$$\begin{aligned} 981 \text{Gal} &= 1g \\ 10.99244 \text{Gal} &= x \\ x &= 0.0010 g \end{aligned}$$

Relacionamos el valor calculado con la tabla VIII:

$$x = 0.0010 g$$

Escala de Mercalli³	Aceleración sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno

La aceleración sísmica corresponde al valor 1 según Mercalli.

Así como podemos relacionar valores de registros sísmicos reales con valores de aceleración sísmica de Mercalli, los datos de aceleración de los módulos acelerómetros instalados para el proyecto, pueden ser relacionados de con los valores de la escala de Richter tomados de la tabla siguiente:

TABLA #09
COMPARATIVA DE ESCALA DE RICHTER CON ESCALA DE MERCALLI [8]

Mercalli	Escala de Richter	Observaciones:
I.-	Hasta 2,5 Instrumental	Sismo débil sólo registrado por sismógrafos.
II.-	2,5 a 3,1 Muy débil	Percibido sólo por personas en reposo.
III.-	3,1 a 3,7 Ligero	Percibido en áreas densamente pobladas por una parte de la población.
IV.-	3,7 a 4,3 Moderado	Sentido por personas en movimiento, algunas personas dormidas se despiertan.
V.-	4,3 a 4,9 Algo fuerte	Sentido en el exterior, se despiertan las personas.
VI.-	4,9 a 5,5 Fuerte	Percibido por todos, caminar inestable, árboles y materiales se agitan por el efecto del sismo.
VII.-	5,5 a 6,1 Muy fuerte	Dificultad para mantenerse en pié, objetos colgantes se caen, se puede producir pequeños derrumbes y deslizamientos.
VIII.-	6,1 a 6,7 Destructivo	Colapso parcial de estructuras, daños considerables en edificios ordinarios.
IX.-	6,7 a 7,3 Ruinoso	Daño considerable en estructuras especialmente construidas, completo colapso de edificaciones y casas, daños generales en los cimientos presas y diques.
X.-	7,3 a 7,9 Desastroso	Destrucción de la mayoría de las edificaciones, derrumbe de puentes, daños serios en presas y embarcaderos.
XI.-	7,9 a 8,4 Muy desastroso	Pocas estructuras quedan en pié fisuras grandes en el terreno.
XII.-	8,4 a 9 Catastrófico	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, objetos lanzados al aire.

Fuente Hernandez Suarez, slidshare.net

Realizamos la comparativa del valor encontrado en Mercalli a la tabla IX del valor:

$$x = 0.0010 g$$

Escala de Mercalli³	Aceleración sísmica (g)	Velocidad sísmica (cm/s)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno

Se obtiene un sismo de 2.5 en la escala de Richter.

La recolección de datos por parte de los equipos implementados en la estructura a escala, tales como el desplazamiento y aceleraciones están dadas en función de la frecuencia del pistón, en hercios, el cual produce una mayor menor excitación armónica del elemento a ensayar, tal como lo muestra la gráfica siguiente:

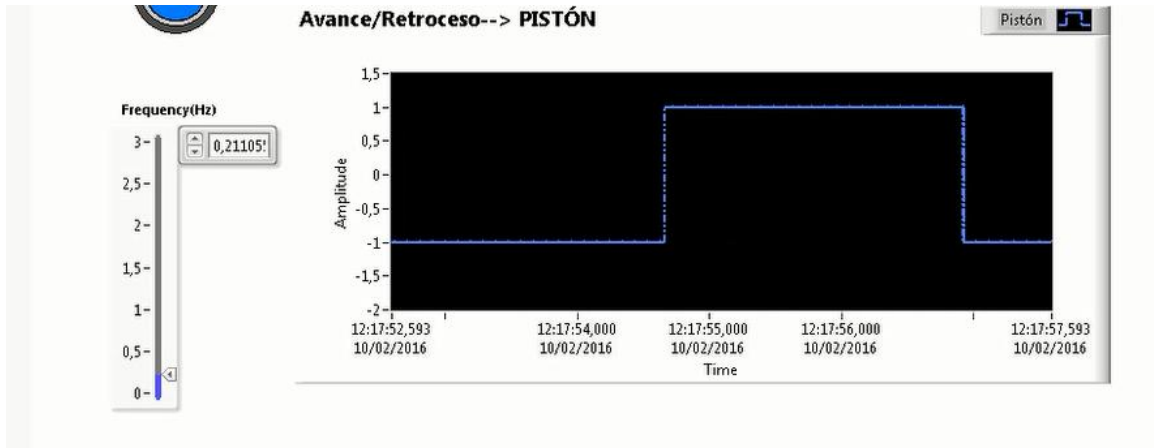


Fig. 20. Rango frecuencia sistema neumático. Fuente Kleber Romero.

A continuación se procede a realizar la prueba para la estructura 1.



Fig. 21. Estructura 1. Fuente Kleber Romero.

TABLA #10
DATOS TÉCNICOS DEL MODELO ESTRUCTURAL 1

Escala	1:10
Material	Hormigón armado
Dimisiones	0.78m x 0.78m h=0.70m
Número de pisos	2
Peso de la estructura	115 kg

Fuente Kleber Romero.

Empezamos con una frecuencia de 0 Hz hasta 1.5 Hz en un tiempo de ensayo de 2 minutos con 7 segundos.



Fig. 22. Estructura 1 empotrada. Fuente Kleber Romero.

A continuación se muestra el diferente rango de frecuencia y a onda generada por el pistón en el ensayo de la estructura 1:

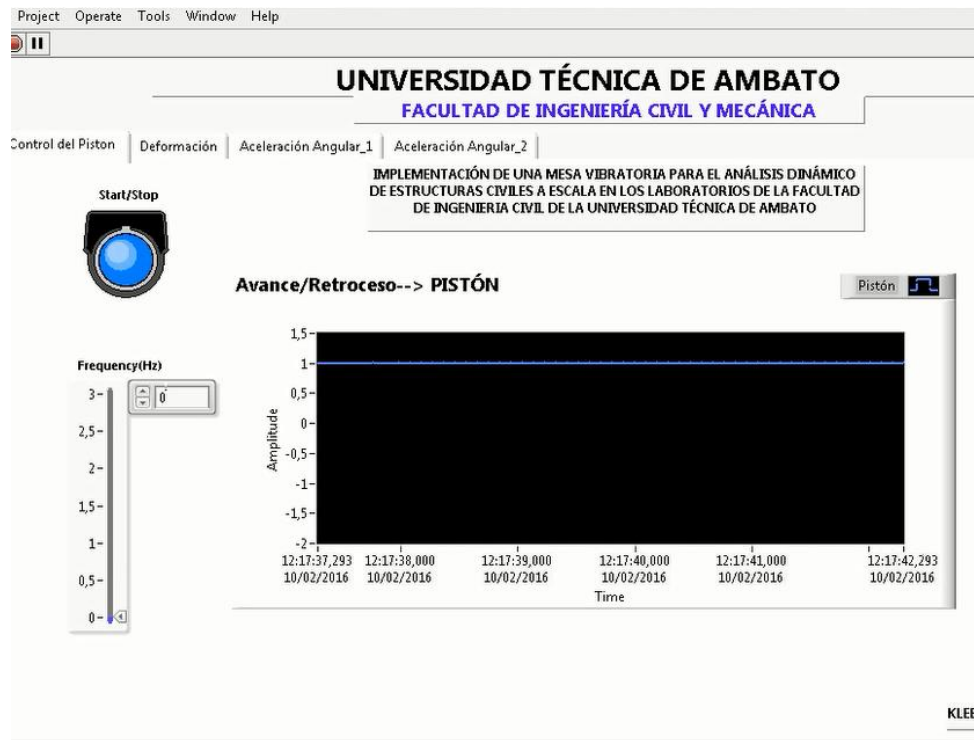


Fig. 23. Frecuencia 0 Hz. Fuente Kleber Romero.

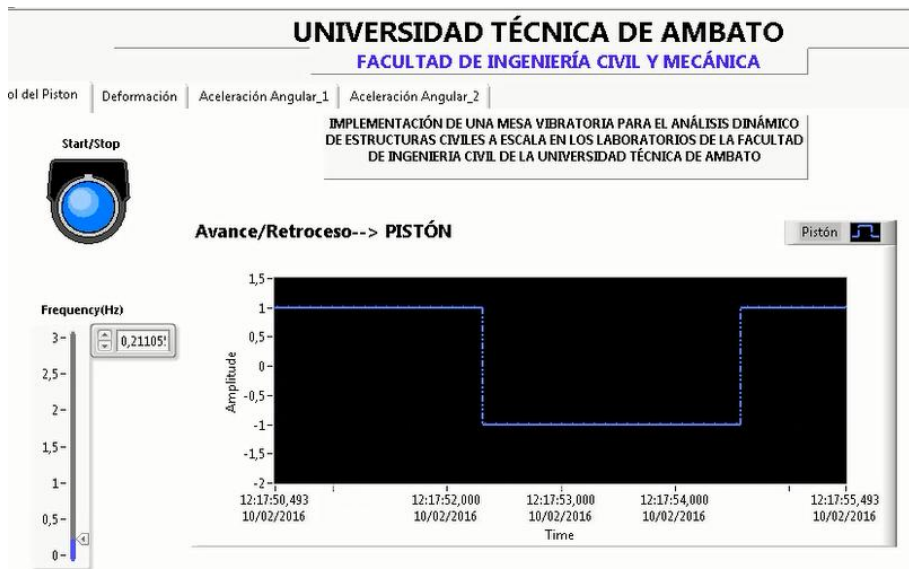


Fig. 24. Frecuencia 0.21 Hz. Fuente Kleber Romero.

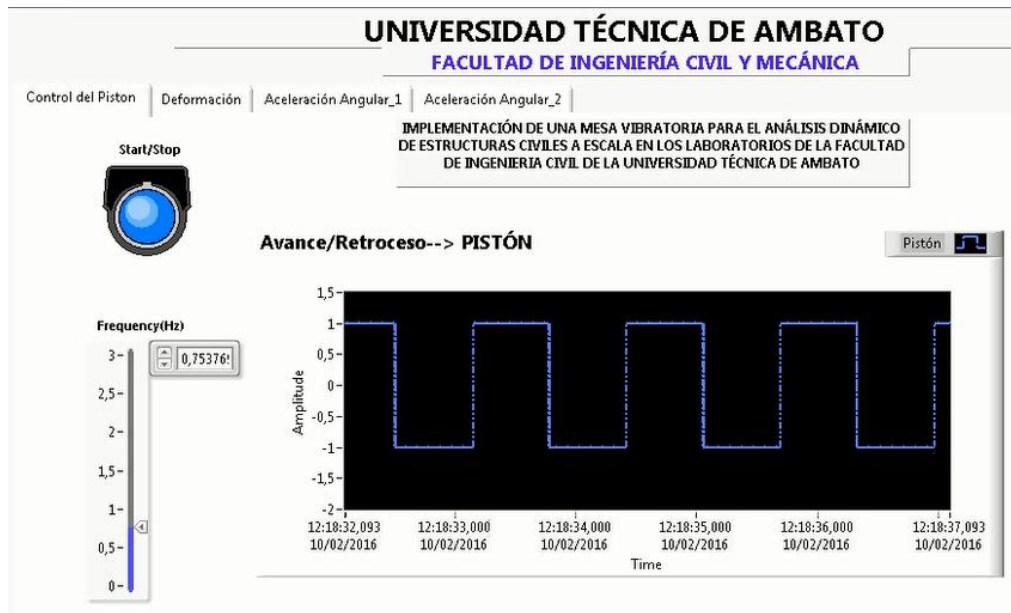


Fig. 24. Frecuencia 0.21 Hz. Fuente Kleber Romero.

Los acelerómetros situados el primero en la parte central superior de la estructura y el segundo en la base de la mesa vibratoria, generan los siguientes datos según el reporte siguiente de la hoja electrónica de Excel:

1	Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description
2	Giro1.tdm		Kleber	10/02/2016 12:17:27,848 PM		1 Giroscopio_1_xyz
3						
4	Group	Channels	Description	wf_xcolumns		
5	Untitled	4	One			
6						
7	Untitled					
8	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum
9	Time	DT_DATE	s	1089	10/02/2016 12:17:27,848 PM	10/02/2016 12:19:34,532 PM
10	Untitled	DT_DOUBLE		1089	0	245
11	Untitled 1	DT_DOUBLE		1089	0	254
12	Untitled 2	DT_DOUBLE		1089	3	255
13						

Fig. 25. Reporte giroscopio 1. Fuente Kleber Romero.

	A	B	C	D	E	F
1	Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description
2	Giro2.tdm		Kleber	10/02/2016 12:17:27,895 PM		1 Giroscopio_2_xyz
3						
4	Group	Channels	Description	<i>wf_xcolumns</i>		
5	Untitled	4	One			
6						
7	Untitled					
8	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum
9	Time	DT_DATE	s	1089	10/02/2016 12:17:27,895 PM	10/02/2016 12:19:34,577 PM
10	Untitled	DT_DOUBLE		1089	0	250
11	Untitled 1	DT_DOUBLE		1089	0	248
12	Untitled 2	DT_DOUBLE		1089	0	255
13						

Fig. 26. Reporte giroscopio 2. Fuente Kleber Romero.

De la misma manera se obtiene datos del Flex-sensor ubicado en el segundo nivel de la estructura 1. Este reporte muestra el dato de deformación de la columna en grados.

	A	B	C	D	E	F
1	Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description
2	Flex_Sensors.tdm		Kleber	10/02/2016 12:17:27,895 PM		1 Sensores de Flexión
3						
4	Group	Channels	Description	<i>wf_xcolumns</i>		
5	Untitled	2	One			
6						
7	Untitled					
8	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum
9	Time	DT_DATE	s	1089	10/02/2016 12:17:27,895 PM	10/02/2016 12:19:34,577 PM
10	Untitled	DT_DOUBLE		1089	106	109
11						

Fig. 27. Reporte Flex-sensor. Fuente Kleber Romero.

Para los 3 casos se puede observar datos mínimos y máximos recopilados por el programa. La pestaña Untitled de la hoja electrónica de cada uno de los reportes muestra detalladamente los datos generados en los 2 minutos con 7 segundos de ensayo, generándose 1090 datos para el caso de los acelerómetros en los ejes xyz y para el flex-sensor.

Los datos que se van almacenando en el ensayo, también pueden ser visualizados en todo momento por los diferentes canales del programa LabVIEW tal como lo muestran las gráficas siguientes:

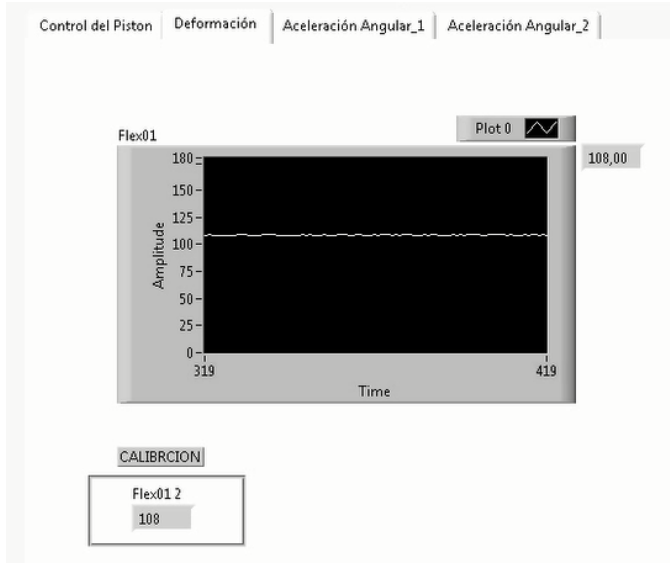


Fig. 29. Flex-sensor reporte gráfico. Fuente Kleber Romero.

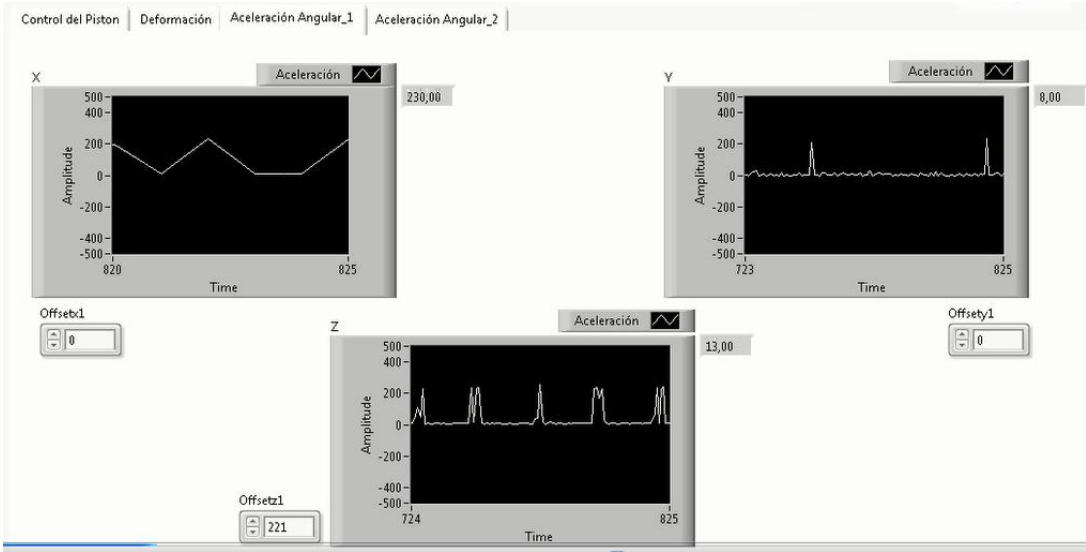


Fig. 30. Acelerómetros reporte gráfico. Fuente Kleber Romero.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de la respuesta de estructuras a pequeña escala que han sido sometidas a las acciones de excitación armónica uniaxial requiere una evaluación del comportamiento dinámico. El objetivo del estudio realizado en la estructura ensayada en la mesa vibratoria tal como lo muestra el concepto de la dinámica estructural es que mediante el análisis se verificara si el elemento ensayado deberá cumplir el grado de seguridad frente al colapso así como su corrección si no muestra un comportamiento satisfactorio, todos ellos mediante resultados gráficos o teóricos según sea el método empleado.

Para el análisis de los resultados obtenidos del ensayo procedemos al análisis respectivo de los datos recopilados por la base de datos del ordenador.

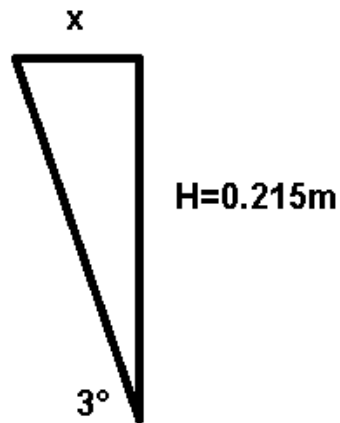
TABLA #11
DATOS FLEX SENSOR PARA EL MODELO ESTRUCTURAL 1

Tiempo de ensayo	2min 7seg
Numero de datos generados	1090

Fuente Kleber Romero.

El valor máximo de desplazamiento en grados producido en la columna es de 109.

La calibración inicial del sensor marca 106 grados. Como dato se tiene la altura de la columna del modelo estructural 1 donde fue colocado el sensor que es 0.215m. Podemos establecer el siguiente análisis:



$$\tan 3^\circ = \frac{x}{0.215m}$$

$$x = \tan 3^\circ * 0.215m$$

$$x = 0.0112m$$

$$x = 1.12cm$$

Como resultado podemos obtener una deformación máxima de 1.12cm proyectada desde la base de la columna para el modelo estructural 1.

La gráfica obtenida en Excel por la extensión de los datos generados no es tan apreciable por lo que usaremos un software especializado para la interpretación de los resultados gráficos del análisis dinámico de desplazamientos aceleraciones y velocidad.

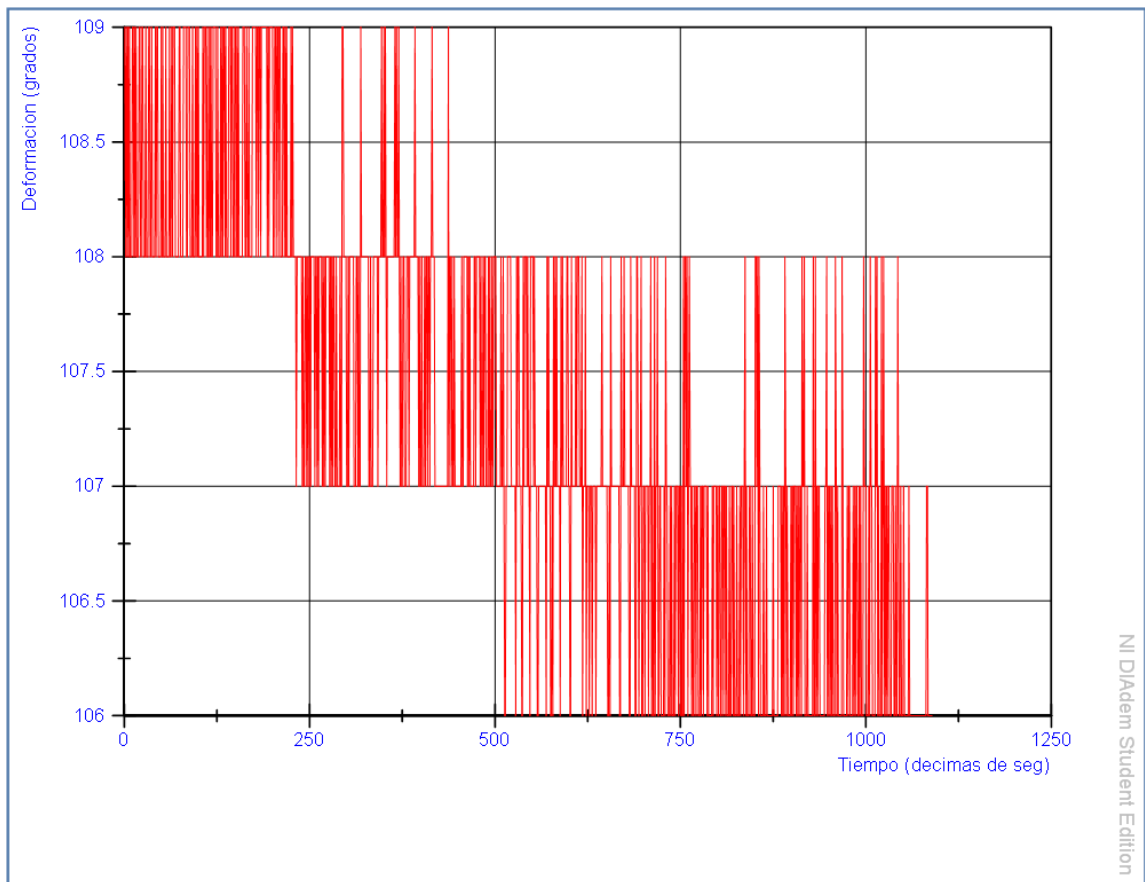


Fig. 31. Flex-sensor gráfica deformación (grados) vs tiempo.

Fuente Kleber Romero.

De la misma manera realizamos el análisis para los acelerómetros; de los cuales podemos obtener además de la aceleración un análisis directo de velocidades y posiciones en cualquier punto requerido.

TABLA #12

DATOS ACELERÓMETRO 1 PARA EL MODELO ESTRUCTURAL 1

Tiempo de ensayo	2min 7seg
Número de datos generados	1090

Fuente Kleber Romero.

El acelerómetro 1 se colocó en la base de la mesa vibratoria obteniéndose los siguientes resultados de aceleración:

TABLA #13
DATOS ACELERACIONES ACELERÓMETRO 1 PARA EL MODELO
ESTRUCTURAL 1

Minimum	Maximum	eje
10/02/2016 12:17:27,848 PM	10/02/2016 12:19:34,532 PM	
0mg	245mg	x
0mg	254mg	y
3mg	255mg	z

Fuente Kleber Romero.

Utilizamos de la misma forma el software especializado para la gráfica de resultados obtenidos.

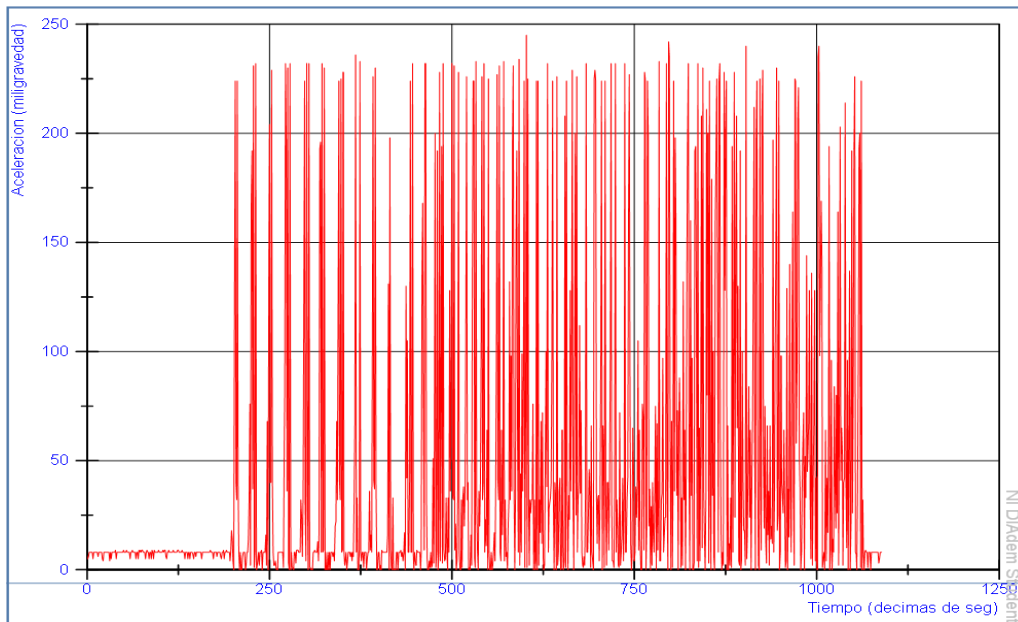


Fig. 32. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje x (mg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

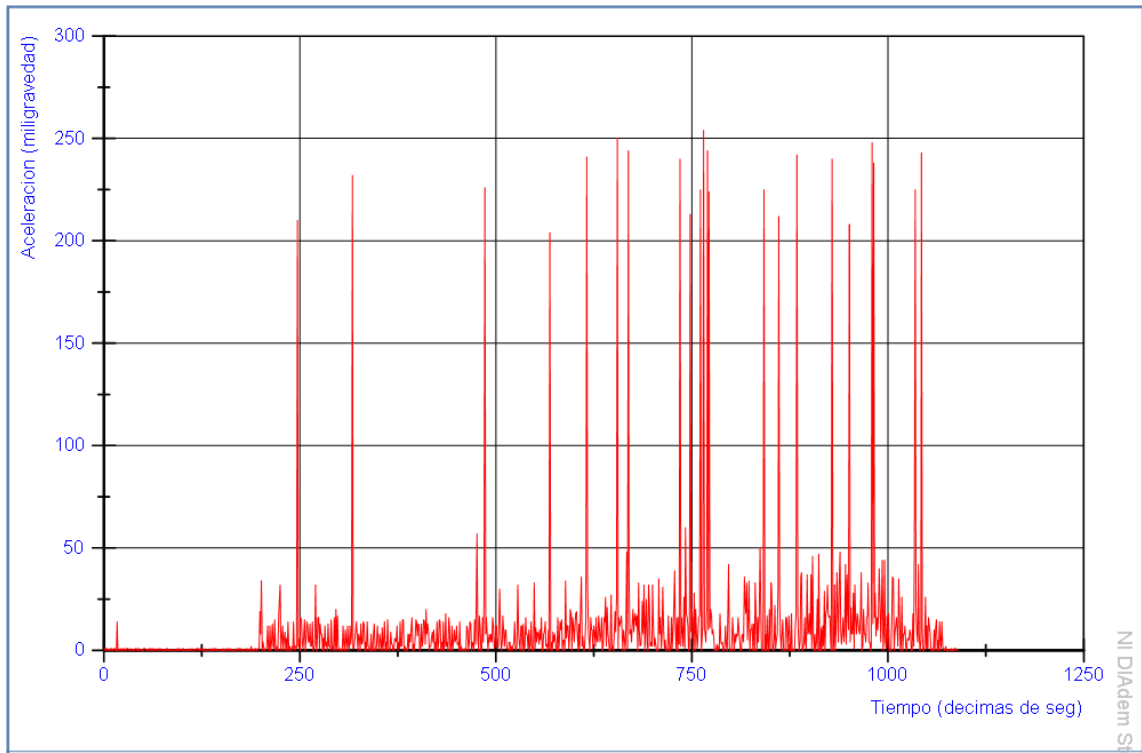


Fig. 33. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje y (mg) vs tiempo. Fuente Kleber Romero.

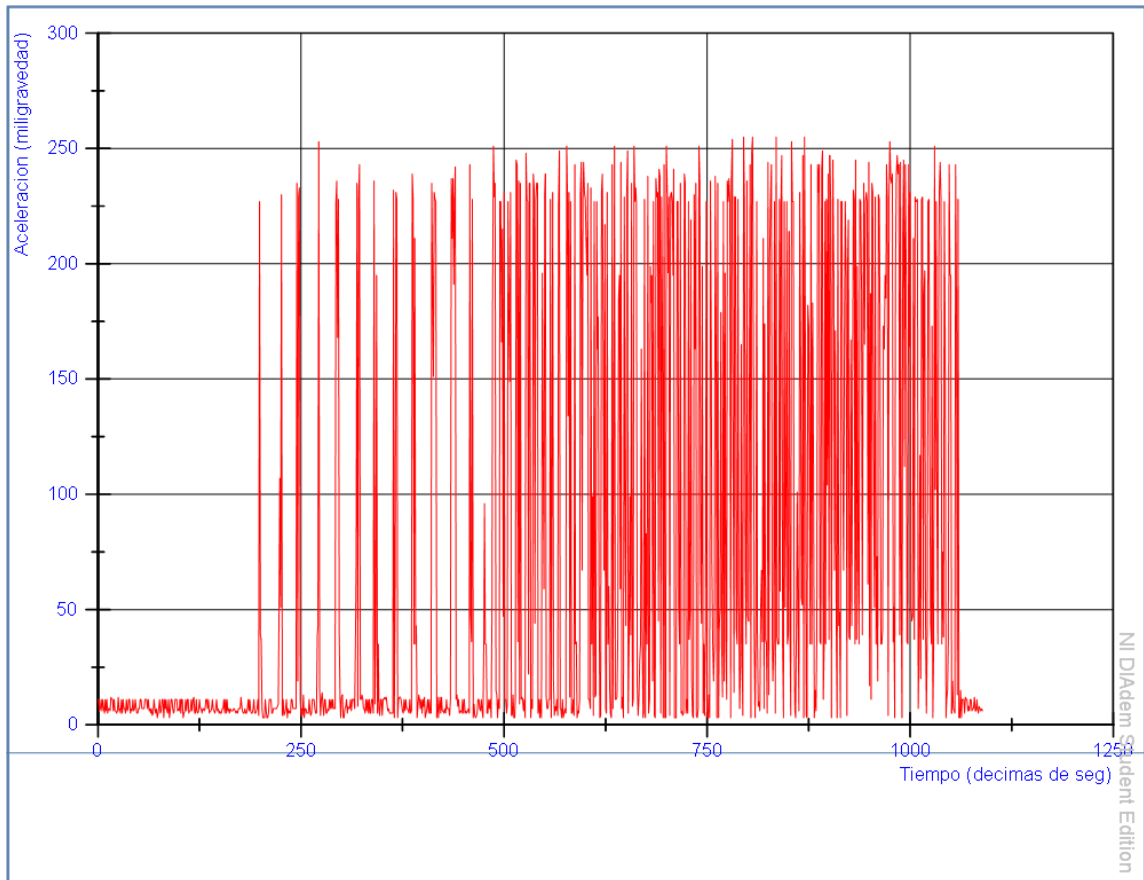


Fig. 34. Acelerómetro 1 gráfica aceleración eje z (mg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

A continuación realizamos el análisis de velocidad para el eje x utilizando software especializado. Realizando la integración respectiva con respecto a la aceleración obtenemos:

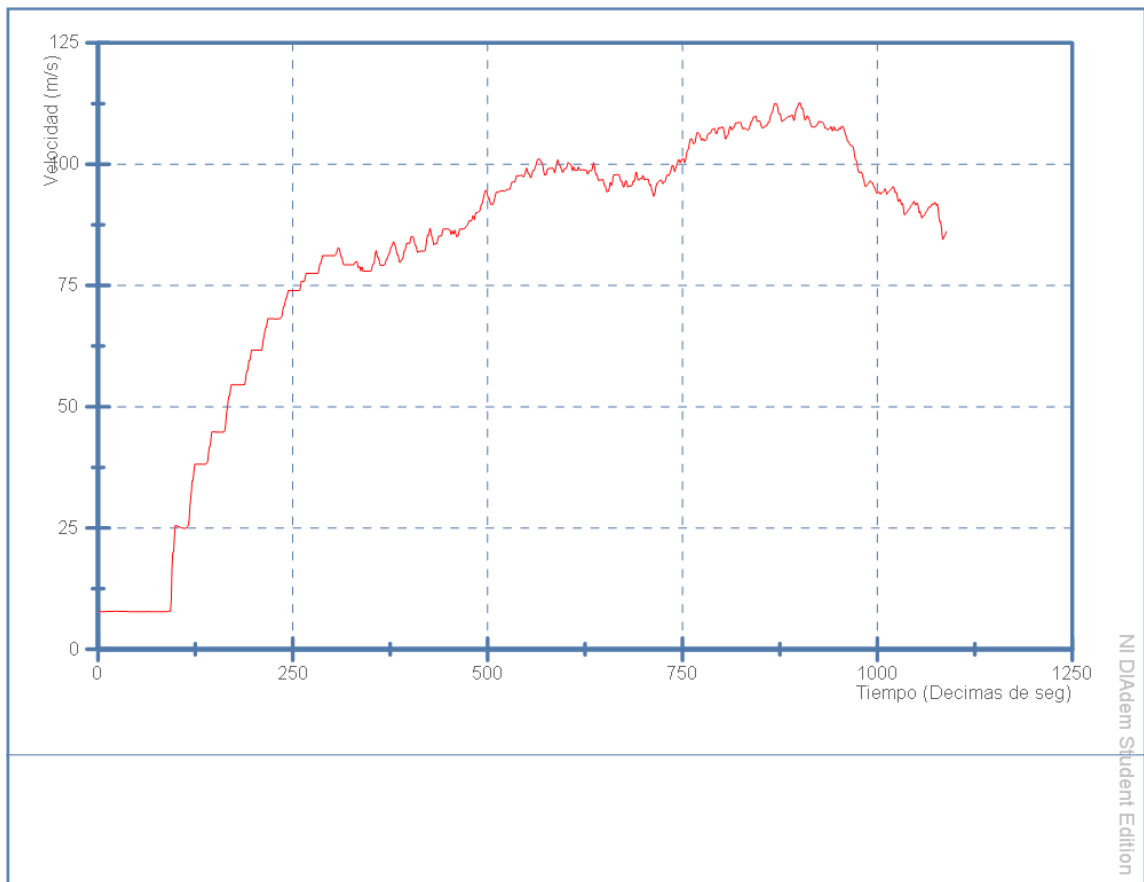


Fig. 35. Acelerómetro 1 gráfica velocidad eje x (m/seg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

Máxima velocidad registrada:

02/10/2016 12:19:32.7868

92,1482324733767 m/seg

TABLA #14

DATOS ACELERÓMETRO 2 PARA EL MODELO ESTRUCTURAL 1

Tiempo de ensayo	2min 7seg
Número de datos generados	1090

Fuente Kleber Romero.

El acelerómetro 2 se colocó en el centro de la losa superior de la estructura 1 obteniéndose los siguientes resultados de aceleración:

TABLA #15
DATOS ACELERACIONES ACELERÓMETRO 2 PARA EL MODELO
ESTRUCTURAL 1

Minimum	Maximum	eje
10/02/2016 12:17:27,895 PM	10/02/2016 12:19:34,577 PM	
0	250mg	x
0	248mg	y
0	255mg	z

Fuente Kleber Romero.

Utilizamos de la misma forma el software especializado para la gráfica de resultados obtenidos.

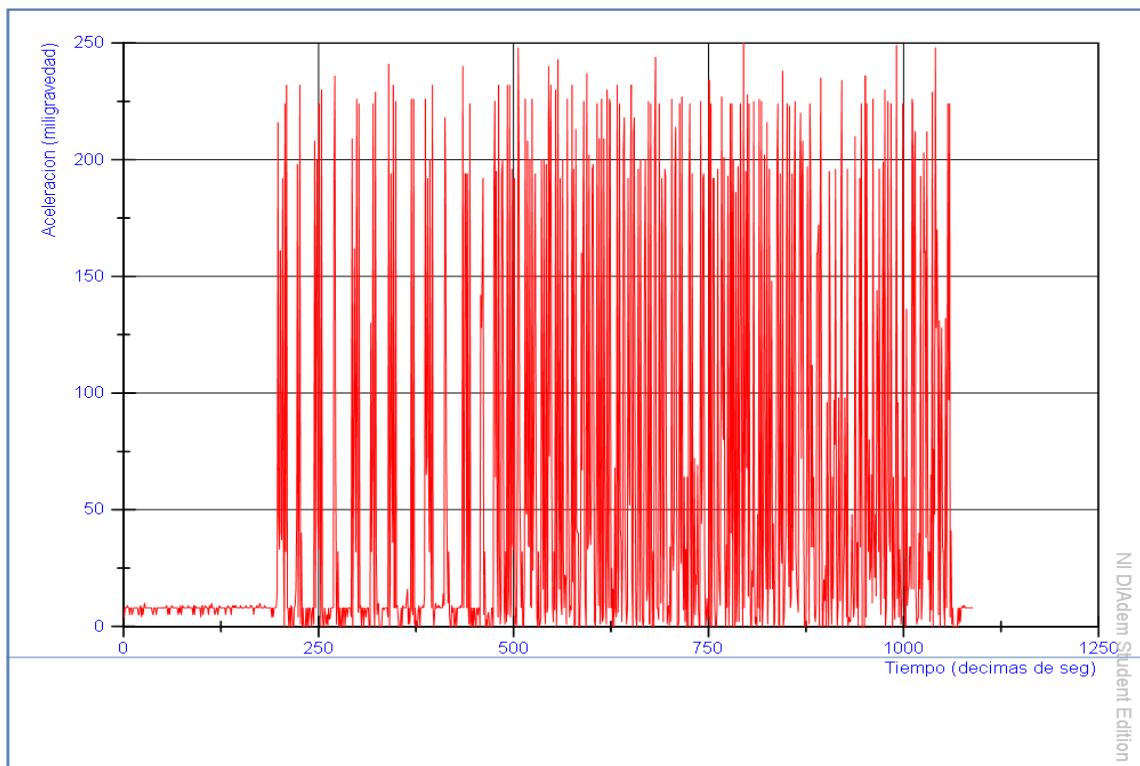


Fig. 36. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje x (mg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

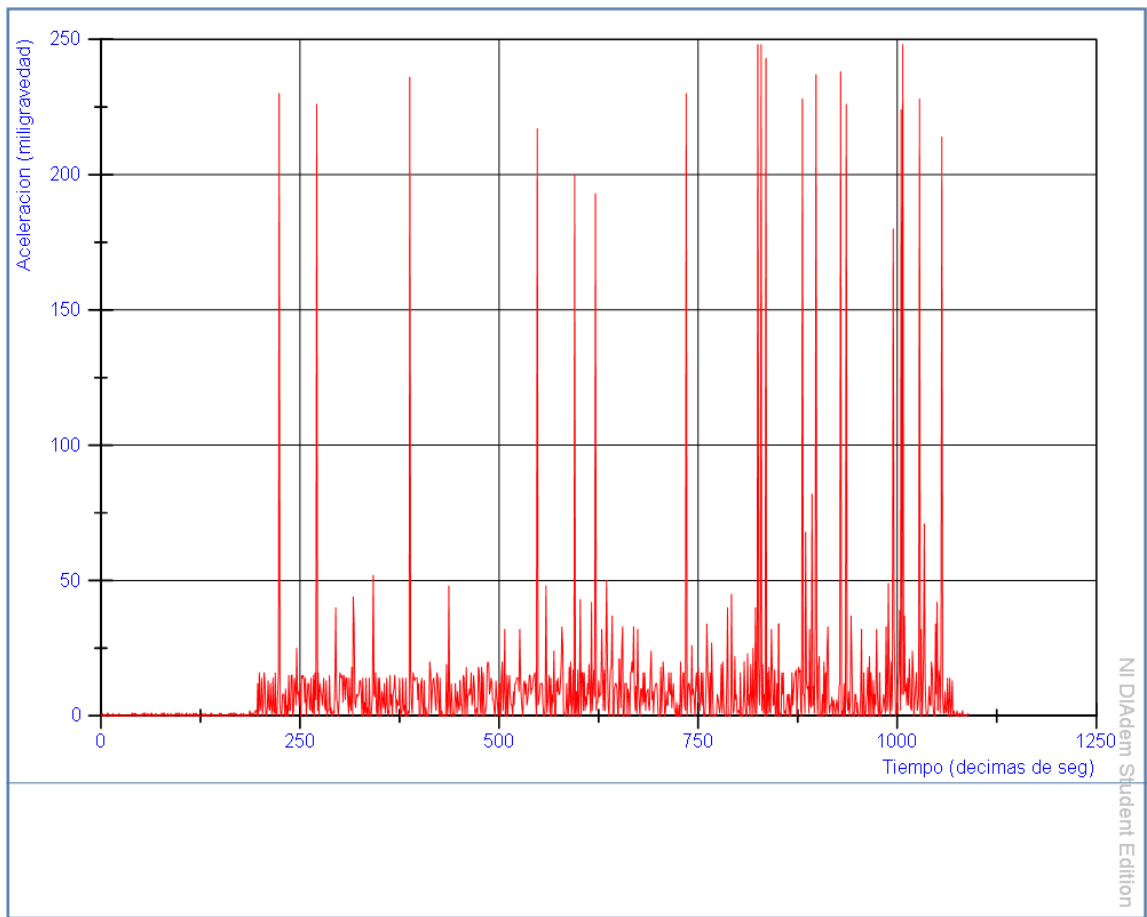


Fig. 37. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje y (mg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

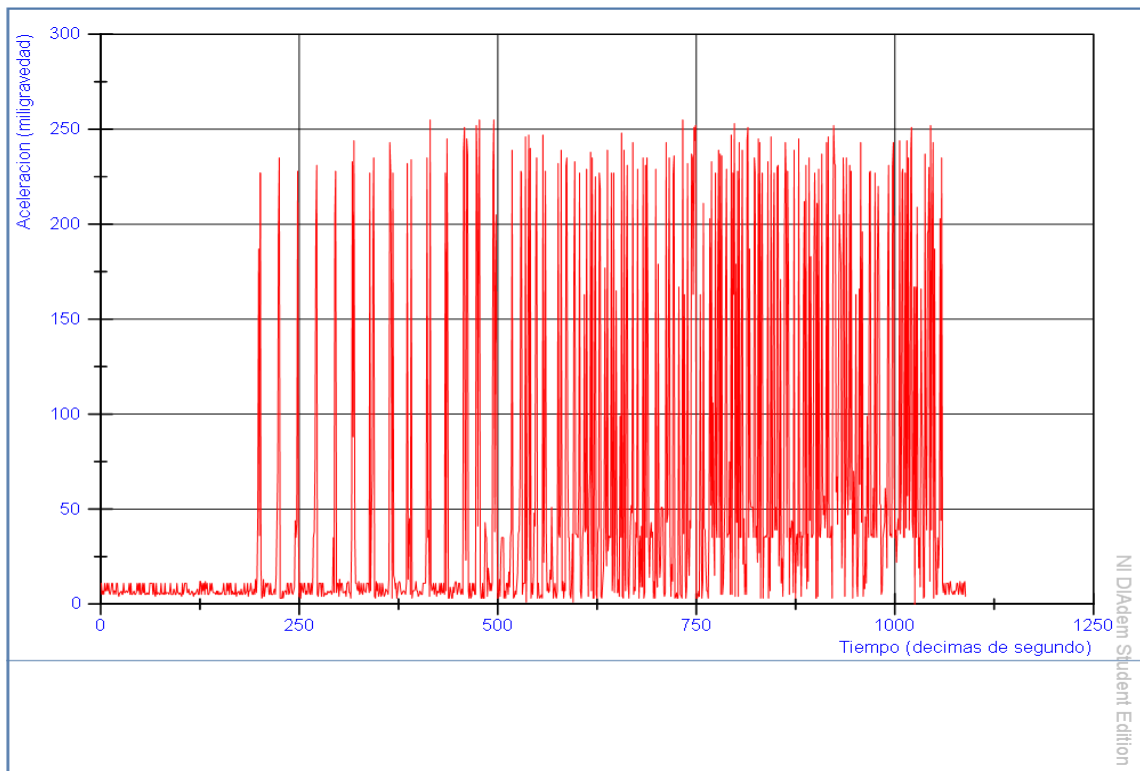


Fig. 38. Acelerómetro 2 gráfica aceleración eje z (mg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

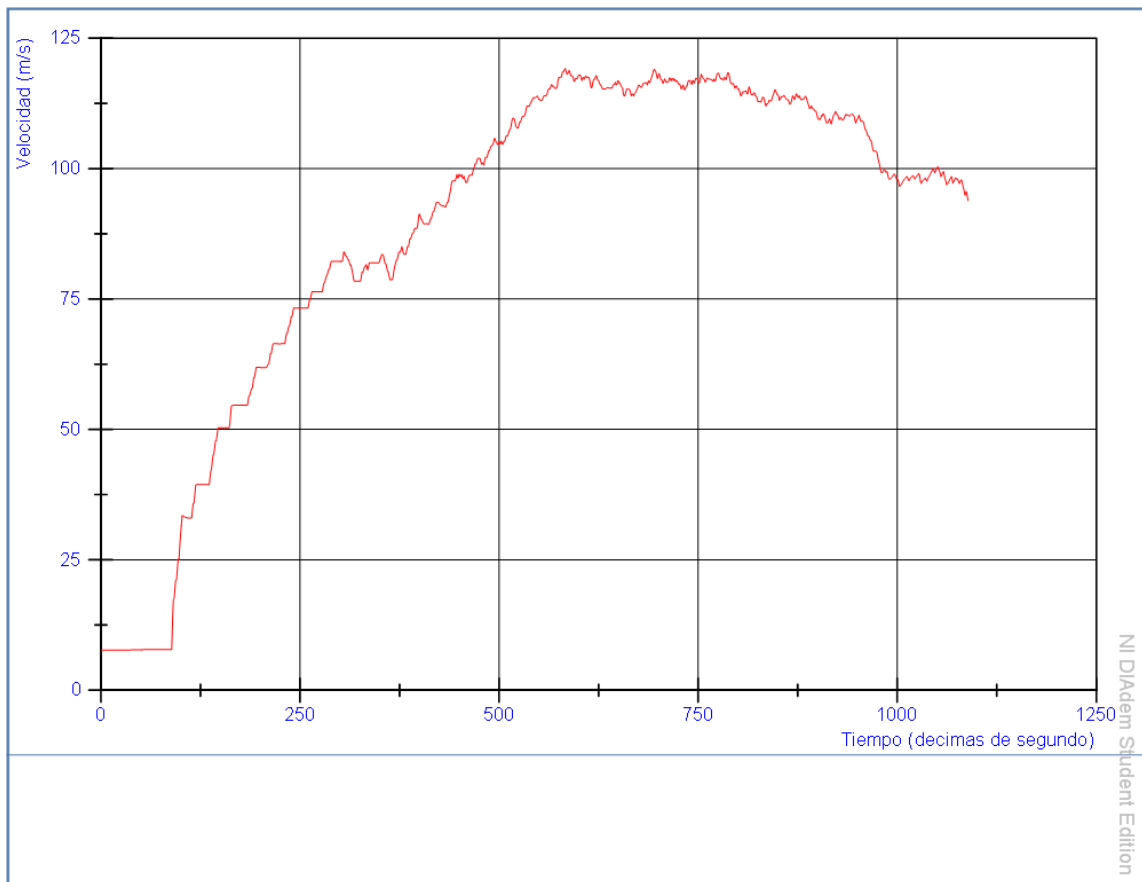


Fig. 39. Acelerómetro 2 gráfica velocidad eje x (m/seg) vs tiempo (décimas de seg).

Fuente Kleber Romero.

Máxima velocidad registrada:

02/10/2016 12:18:47.8222 119,043662235831 m/seg.

Podemos relacionar las aceleraciones registradas en la base de la mesa vibratoria con las tablas VIII y IX, ya que la aceleración producida en el acelerograma la podemos relacionar con la aceleración sísmica sobre suelo de las tablas.

Tomamos el resultado de 245mg que es la aceleración máxima en el eje x. el valor se encuentra en mili gravedad, transformando al gravedad nos queda 0.245 gravedades.

Establecemos la relación con la tabla #08 de Mercalli:

VII	0.18 - 0.34	16 - 31	Muy fuerte	Moderado
-----	-------------	---------	------------	----------

La escala de Mercalli muestra un sismo de intensidad 7.

Ahora relacionamos con la tabla #09 que relación Mercalli con Richter:

VII.-	5,5 a 6,1 Muy fuerte	Dificultad para mantenerse en pié, objetos colgantes se caen, se puede producir pequeños derrumbes y deslizamientos.
-------	----------------------	--

Obtenemos un sismo de 5.5 a 6.1 en escala Richter.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Con la implementación de la mesa vibratoria y la generación y la aplicación de los equipos tales como flex-sensor y acelerómetros implementados en el trabajo experimental, se determina los resultados gráficos de la respuesta dinámica de las estructuras a pequeña escala tales como desplazamientos, aceleración y velocidades mediante la utilización de software especializado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema de mesa vibratoria accionada por sistema neumático la cual cumple con los parámetros establecidos en peso y medidas para la simulación de las estructuras a escala.
- La implementación de sensores para el análisis dinámico puede visualizarse tanto gráficamente en tiempo real como en exportación de datos numéricos a software especializado para su posterior análisis.
- Se obtuvieron resultados gráficos del análisis dinámico experimental mediante acelerómetros y flex-sensor los cuales sirven para un entendimiento teórico-práctico de la comunidad estudiantil de la dinámica estructural.
- Se construyeron estructuras de diferente escala para el ensayo en la mesa vibratoria de las cuales se extrajeron datos para la comprobación de los objetivos planteados.

5.2 RECOMENDACIONES

- El programa realizado en LabVIEW contiene automatización y programación de elementos que necesitan ser calibrados por parámetros técnicos, por lo cual tanto los equipos electrónicos ni neumáticos deben ser manipulados ni editados sin conocimiento.

- Los elementos que componen la mesa vibratoria pueden ser mejorados para producir una excitación armónica a mayor frecuencia de los establecidos en el presente trabajo experimental.
- La investigación e innovación son parte fundamental del desarrollo académico por lo que es necesario el incentivo y el apoyo de autoridades universitarias así como entidades públicas y privadas.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. Bibliografía

- [1] Jose Luis Bustos, Francisco Zabala, Jorge Santalucia, and Alberto Masanet, "Estudio del comportamiento dinámico de un modelo de mampostería encadenada mediante un ensayo en mesa vibratoria," Universidad Nacional de San Juan - Argentina, San Juan, Técnico 2000.
- [2] Alejandro de Miguel Tejada, "Análisis dinámico de estructuras en el dominio de la frecuencia," Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, Trabajo de Investigación Tutelado 2011.
- [3] Universidad de Valle. eicg.univalle.edu.co. [Online].
http://eicg.univalle.edu.co/linse_recursos.html
- [4] Alejandro Lehmann, Alejandro Verri, Agustín Bertero, and Sergio Muñoz, "CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA EJECUCIÓN DE ENSAYOS DINÁMICOS," Laboratorio de Dinámica de Estructuras de la FIUBA, Buenos Aires, Paper 2012.
- [5] Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC). (2010, Diciembre) INTEC/DICYT. [Online]. <http://www.dicyt.com/viewItem.php?itemId=23887>
- [6] Álvaro Sebastián Gavilanez Tamayo, "Análisis de la red sísmica del Ecuador y la información que proporciona para el diseño sismo resistente de estructuras," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil 2014.
- [7] wikipedia.org. (2014, Octubre) wikipedia.org. [Online].
https://es.wikipedia.org/wiki/Aceleraci%C3%B3n_s%C3%ADsmica
- [8] HERNANDEZ SUAREZ. (2011, ENERO) SLIDSHARE.NET. [Online].
<http://es.slideshare.net/jaguilart71/placas-tectonicas-secundaria-ie-n-1198-la-ribera-aula-de-innovacin>
- [9] Daniel Gómez, Jorge Hernán Murcia, Peter Thomson, Johannio Marulanda Jean Michel Franco*. (2011, Diciembre) SCIELO. [Online].
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302011000400017&script=sci_arttext

2. ANEXOS

ANEXO A. Tablas de fuerza y conversión de presión del pistón neumático CHELIC PNEUMATIC.

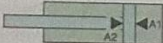
RELATED CALCULATION INFORMATION
Theoretic force and various pressure conversion table **CHELIC PNEUMATIC**

■ The calculation method of cylinder force.

$$F = P \times A - f$$

F : Cylinder force (kgf) A : Piston area (cm²)
P : Operating pressure (kgf/cm²) f : Frictional force (kgf)

■ Cylinder theoretic force



Unit - Kgf

Bore size (mm)	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Rod size(mm) 6	6	6	8	10	12	16	20	20	25	25	
Piston area (cm ²)	A1	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.5	19.6	31.2	78.5
	A2	0.3	0.9	1.7	2.6	4.1	6.9	10.6	16.5	28.0	45.3
1	A1	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.6	19.6	31.2	78.5
	A2	0.3	0.9	1.7	2.6	4.1	6.9	10.6	16.5	28.0	45.3
2	A1	1.6	2.3	4.0	6.3	9.8	16.1	25.1	39.3	62.3	157.0
	A2	0.6	1.7	3.5	5.3	8.2	13.8	21.1	33.0	56.0	90.7
3	A1	2.4	3.4	6.0	9.4	14.7	24.1	37.7	58.9	93.5	150.7
	A2	1.0	2.5	5.2	7.9	12.4	20.7	31.7	49.5	84.0	136.0
4	A1	3.2	4.5	8.0	12.6	19.6	32.2	50.2	78.5	124.6	201.0
	A2	1.3	3.4	6.9	10.6	16.5	27.6	42.2	65.9	112.1	181.3
5	A1	4.0	5.7	10.1	15.7	24.5	40.2	62.8	98.1	155.8	251.2
	A2	1.6	4.2	8.7	13.2	20.6	34.5	52.8	82.4	140.1	226.7
6	A1	4.7	6.8	12.1	18.9	29.4	48.2	75.4	117.8	186.9	301.4
	A2	2.0	5.1	10.4	15.8	24.7	41.5	63.3	98.9	168.1	272.0
7	A1	5.5	7.9	14.1	22.0	34.3	56.3	87.9	137.4	218.1	351.7
	A2	2.2	5.9	12.1	18.5	28.9	48.4	73.9	115.4	196.1	317.3
8	A1	6.3	9.0	16.1	25.1	39.3	64.3	100.5	157.0	249.3	401.9
	A2	2.6	6.8	13.8	21.1	33.0	55.3	84.4	131.9	224.1	362.7
9	A1	7.1	10.2	18.1	28.3	44.2	72.3	113.0	176.6	280.4	452.2
	A2	2.9	7.6	15.5	23.8	37.1	62.2	95.0	148.4	252.1	408.0

Note: The above data are for reference only. When come to actual practice, frictional force and the mechanical efficiency have to be taken into consideration.

Fig. 40. Fuerza y conversión de presión. Fuente CHELIC PNEUMATIC MANUAL.

■ Air flow and consumption

$$Q_A = (A_1 + A_2) \times L \times \frac{P + 1.033}{1.033} \times 10^3$$

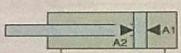
$$Q_B = 2 \times A_3 \times L \times H \times \frac{P}{1.033} \times 10^3$$

$$Q_n = (Q_A + Q_B) \times n$$

Q_n: Air consumption of cylinder movement/time. (L/min)
Q_A: Air consumption of cylinder cycle/time. (L/min)
Q_B: Air consumption of fitting. (Between solenoid valve and cylinder) (L/min)
A₁: Piston area (cm²) (Pushing)
A₂: Piston area (cm²) (Pulling)

A₃: Cross sectional area (cm²)
L: Cylinder stroke (cm)
LH: Fitting length (cm)
P: Air pressure (kgf/cm²)
n: Number of cycle

■ Conversion table of compressed air consumption.



Bore size (mm)	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Rod size (mm)	6	6	6	8	10	12	16	20	20	25	25
Piston area (cm ²)	A ₁ 0.8 A ₂ 0.5	1.1 0.9	2.0 1.7	3.1 2.6	4.9 1.0	8.0 6.9	12.3 10.6	19.6 16.5	31.2 28.0	50.2 45.3	78.5 73.6
Operating air pressure (kgf/cm ²)	1	0.03	0.04	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.9
	2	0.04	0.06	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	1.8	2.9
	3	0.05	0.08	0.2	0.2	0.4	0.6	0.9	1.4	2.4	3.8
	4	0.06	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	3.0	4.8
	5	0.08	0.12	0.2	0.3	0.6	0.9	1.4	2.2	3.6	5.7
	6	0.09	0.14	0.3	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.1	6.7
	7	0.10	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	2.9	4.7	7.6
	8	0.12	0.2	0.3	0.5	0.8	1.3	2.1	3.3	5.3	8.6
	9	0.13	0.2	0.4	0.6	0.9	1.5	2.3	3.6	5.9	9.6

Unit: (L/min)

■ The table is the total air consumption for a complete cycle of 100mm stroke.

Fig. 41. Fuerza y conversión de presión. Fuente CHELIC PNEUMATIC MANUAL.

■ Pressure conversion table

Unit	Pa	KPa	MPa	bar	mbar	kgf/cm ²	cmH ₂ O	mmH ₂ O	mmHg	p.s.i
Pa	1	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻²	10 ⁻¹	10.2X10 ⁻³	1.02X10 ⁻³	101.97X10 ⁻³	7.5X10 ⁻³	0.15X10 ⁻³
KPa	10 ³	1	10 ⁻³	10	10 ¹	10.2X10 ⁻³	1.02X10 ⁰	101.97X10 ⁰	7.5X10 ⁰	0.15X10 ⁰
MPa	10 ⁶	10 ³	1	10 ¹	10 ⁴	1.02	1.02X10 ¹	101.97X10 ¹	750.06	14.5
bar	10 ⁵	10 ²	10 ⁻¹	1	10 ³	1.02	1.02X10 ¹	10.2X10 ¹	750.06	14.5
mbar	10 ²	10 ⁻¹	10 ⁻⁴	10	1	1.02X10 ⁻³	1.02	10.2	0.75	14.5X10 ⁻³
kgf/cm ²	98066.5	98.07	98.07X10 ⁻³	0.98	980.67	1	1000	10,000	735.56	14.22
cmH ₂ O	98.06	98.07X10 ⁻³	98.07X10 ⁻³	0.98X10 ⁻³	0.98	10 ⁻³	1	10	0.74	14.22X10 ⁻³
mmH ₂ O	9.806	9.807X10 ⁻³	9.807X10 ⁻³	98.07X10 ⁻⁴	98.07X10 ⁻³	10 ⁻⁴	0.1	1	73.56X10 ⁻³	1.42X10 ⁻³
mmHg	133.32	133.32X10 ⁻³	133.32X10 ⁻³	1.33X10 ⁻³	1.33	1.36X10 ⁻³	1.36	13.6	1	19.34X10 ⁻³
p.s.i	6894.76	6.89	6.89X10 ⁻³	68.95X10 ⁻³	68.95	70.31X10 ⁻³	70.31	703.07	51.71	1

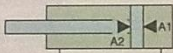
■ Conversion table of major force unit conversion of international standard unit and metric system unit.

Name	International unit — Metric system unit	Metric system unit — International unit
Air pressure	1MPa=10.2 kgf/cm ²	1kgf/cm ² = 0.098 MPa
Load	1N=0.102 kgf	1kgf=9.8 N
Torque	1N.m=0.102 kgf	1kgf.m=9.8N.m
Vacuum pressure	-1KPa=-7.5 mmHg	-1mmHg=-0.133 KPa
Inertia force	1Kg.m ² =10.2 kgf.cm-s	1Kg.cm.S=0.098 kgf.cm ²

P12

Fig. 42. Fuerza y conversión de presión. Fuente CHELIC PNEUMATIC MANUAL.

■ Conversion table of compressed air consumption.



		10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Bore size (mm)		10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Rod size (mm)		6	6	6	8	10	12	16	20	20	25	25
Piston area (cm ²)	A1	0.8	1.1	2.0	3.1	4.9	8.0	12.3	19.6	31.2	50.2	78.5
	A2	0.5	0.9	1.7	2.6	4.0	6.9	10.6	16.5	28.0	45.3	73.6
Operating air pressure (kgf/cm ²)	1	0.03	0.04	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.9	3.0
	2	0.04	0.06	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	1.8	2.9	4.6
	3	0.05	0.08	0.2	0.2	0.4	0.6	0.9	1.4	2.4	3.8	6.1
	4	0.06	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	3.0	4.8	7.1
	5	0.08	0.12	0.2	0.3	0.6	0.9	1.4	2.2	3.6	5.7	9.1
	6	0.09	0.14	0.3	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.1	6.7	10.6
	7	0.10	0.2	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	2.9	4.7	7.6	12.2
	8	0.12	0.2	0.3	0.5	0.8	1.3	2.1	3.3	5.3	8.6	13.7
	9	0.13	0.2	0.4	0.6	0.9	1.5	2.3	3.6	5.9	9.6	15.2

Unit: (L/m)

● The table is the total air consumption for a complete cycle of 100mm stroke.

Fig. 43. Fuerza y conversión de presión. Fuente CHELIC PNEUMATIC MANUAL.

■ Various flow rate conversion table

Unit	m ³ /S	L/S	cm ³ /S	m ³ /h	m ³ /min	L/h	L/min	ft ³ /min (scfm)	gallon min UK	gallon min USA
m ³ /S	1	10 ³	10 ⁶	3.6X10 ⁶	60	3.6X10 ⁶	60X10 ³	2.12X10 ³	13.2X10 ³	15.85X10 ³
L/S	10 ⁻³	1	10 ³	3.6	60X10 ⁻³	3.6X10 ³	60	2.12	13.2	15.85
cm ³ /S	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	3.6X10 ⁻³	60X10 ⁻⁶	3.6	60X10 ⁻³	2.12X10 ⁻³	13.2X10 ⁻³	15.85X10 ⁻³
m ³ /h	0.28X10 ⁻³	0.28	0.28X10 ³	1	16.67X10 ⁻³	10 ³	16.67	0.59	3.67	4.4
m ³ /min	16.67X10 ⁻³	16.67	16.67X10 ³	60	1	60X10 ³	10 ³	35.31	219.97	264.17
L/h	0.28X10 ⁻⁶	0.28X10 ⁻³	0.28	10 ⁻³	16.67X10 ⁻³	1	16.67X10 ⁻³	0.59X10 ⁻³	3.67X10 ⁻³	4.4X10 ⁻³
L/min	16.67X10 ⁻⁶	16.67X10 ⁻³	16.67	60X10 ⁻³	10 ⁻³	60	1	35.31X10 ⁻³	219.97X10 ⁻³	264X10 ⁻³
ft ³ /min (scfm)	0.47X10 ⁻³	0.47	0.47X10 ³	1.699	28.32X10 ⁻³	1.699X10 ³	28.32	1	6.23	7.48
gallon min UK	75.79X10 ⁻⁶	75.79X10 ⁻³	75.77	0.273	4.55X10 ⁻³	0.273X10 ³	4.55	0.16	1	1.2
gallon min USA	63.09X10 ⁻⁶	63.09X10 ⁻³	63.09	0.227	3.79X10 ⁻³	0.227X10 ³	3.79	0.13	0.83	1

Fig. 44. Fuerza y conversión de presión. Fuente CHELIC PNEUMATIC MANUAL.

ANEXO B. Este apartado es un manual de operación y funcionamiento para el sistema neumático y equipos electrónicos. El sistema cuenta con contraseña establecida para la activación y funcionamiento. El mal uso del sistema neumático, la descalibración de equipos, daño parcial o total de las partes mecánicas, neumáticas, eléctricas o la pérdida o sustracción de cualquiera de las partes implicadas es responsabilidad única y exclusiva de los encargados del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato. Es responsabilidad de los estudiantes y profesores velar por el correcto uso del sistema así como de los equipos electrónicos instalados. **Las imágenes usadas para el presente manual pertenecen al autor Kleber Romero.**

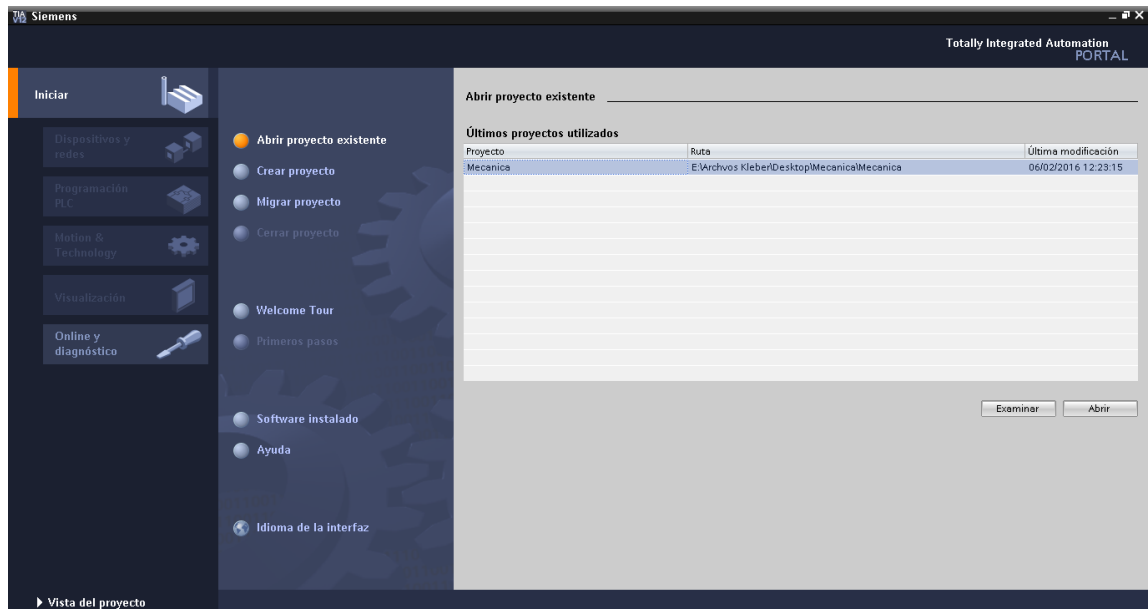
Proceso de inicio Plc SIMATIC S7-1200 CPU 1214-C (SIEMENS).

Nota: Solo se deberá realizar el proceso cuando el sistema sea cambiado de lugar, sus componentes sean desconectados (Plc, Módulos acelerómetros, flex sensor, tarjeta Arduino) o existan problemas en la configuración de red.

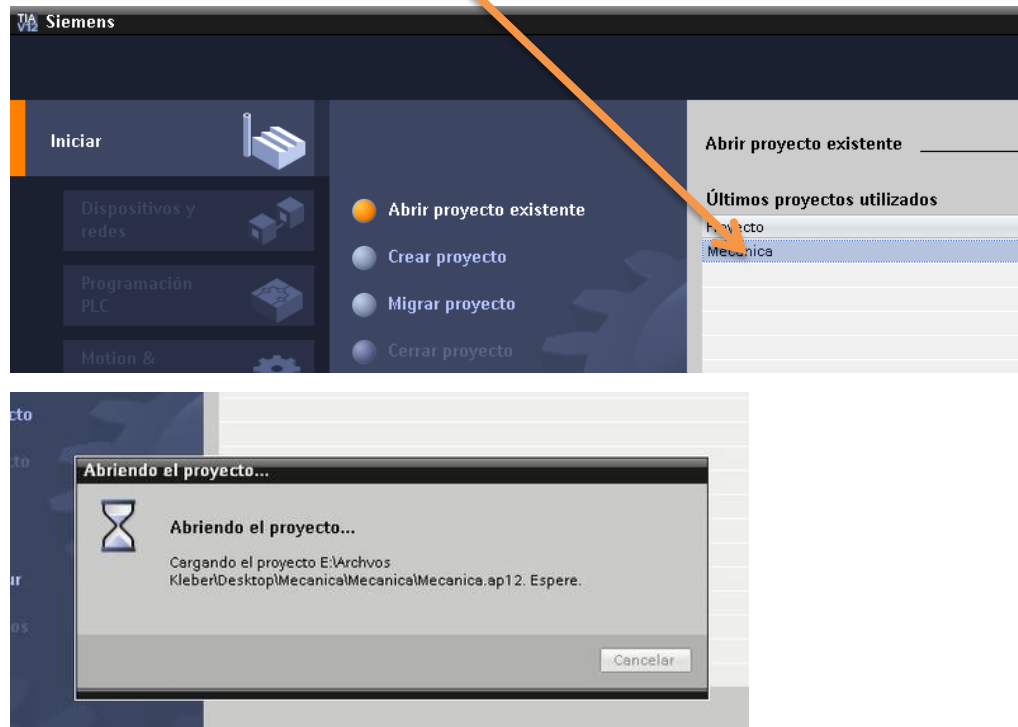
1. Clic en el ícono para iniciar el programa.



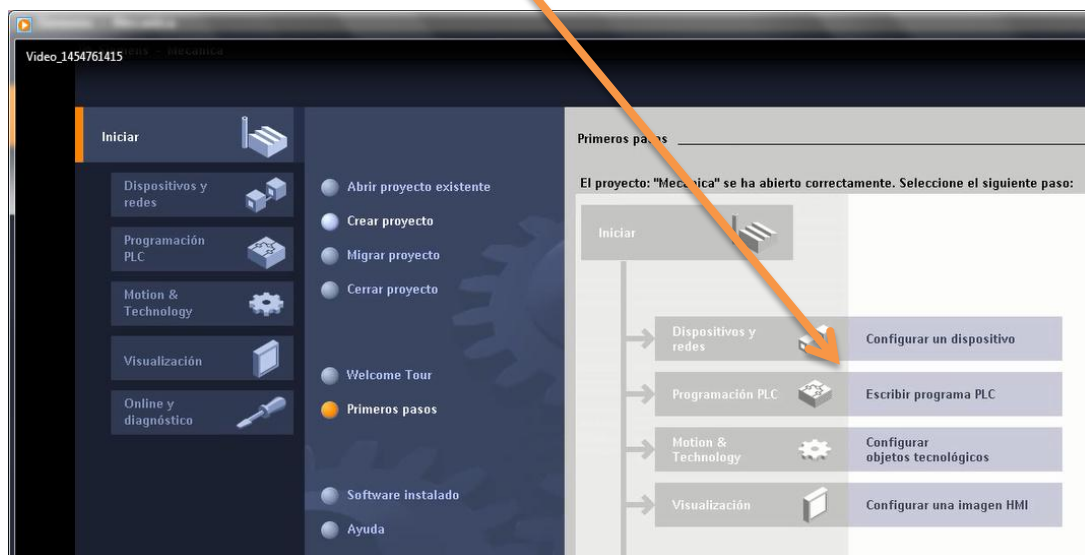
2. Se despliega la ventana principal.



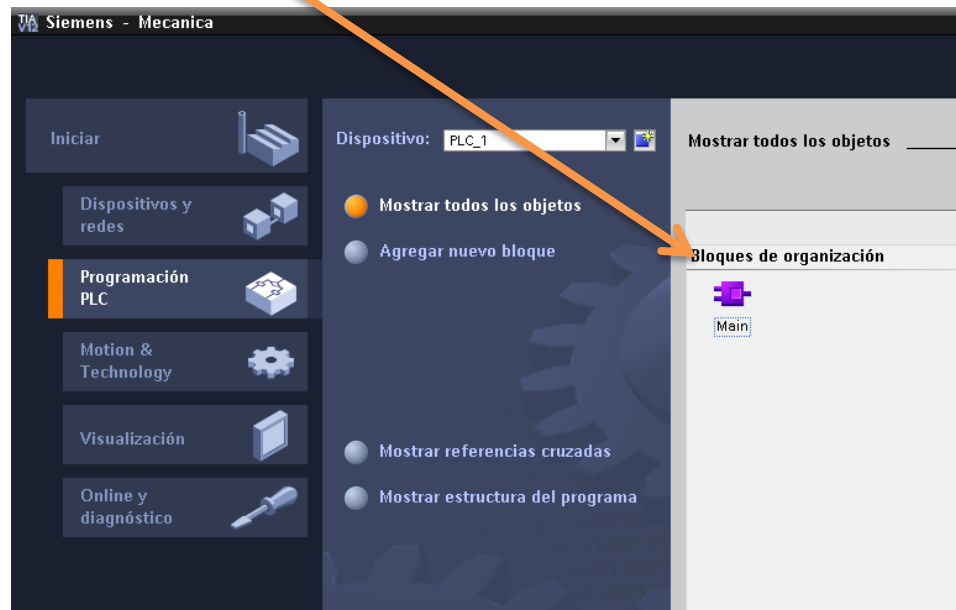
3. Clic en proyecto Mecánica



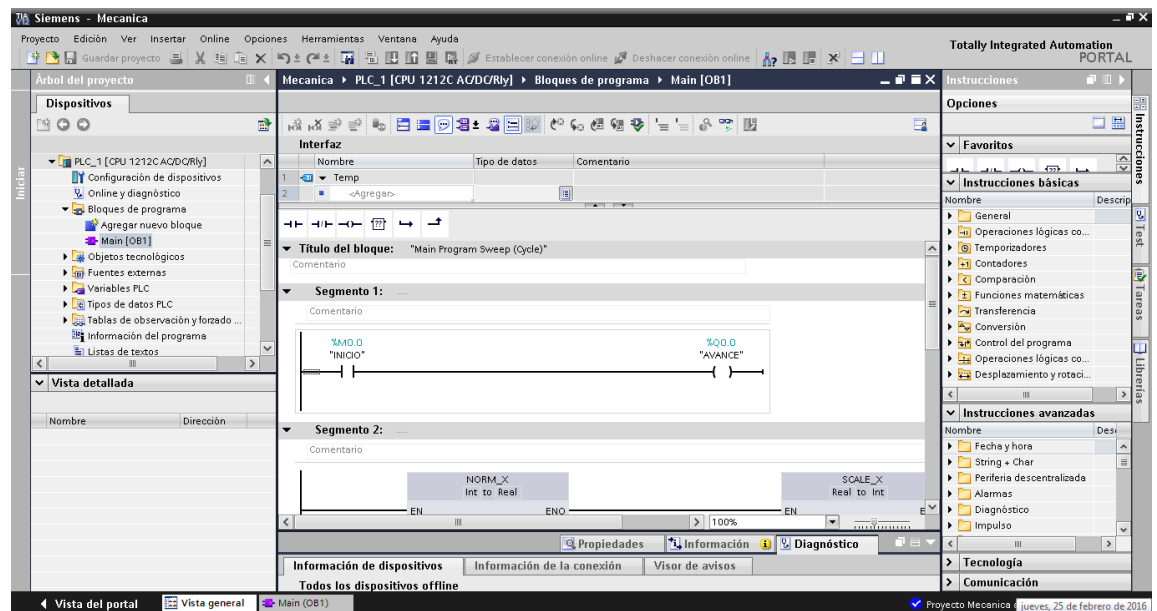
4. Clic en escribir programa Plc.



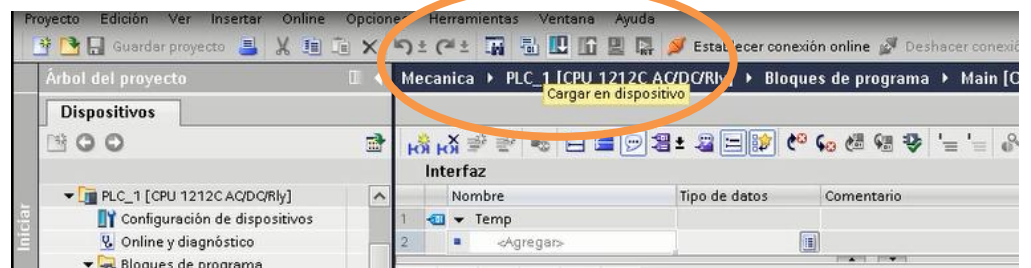
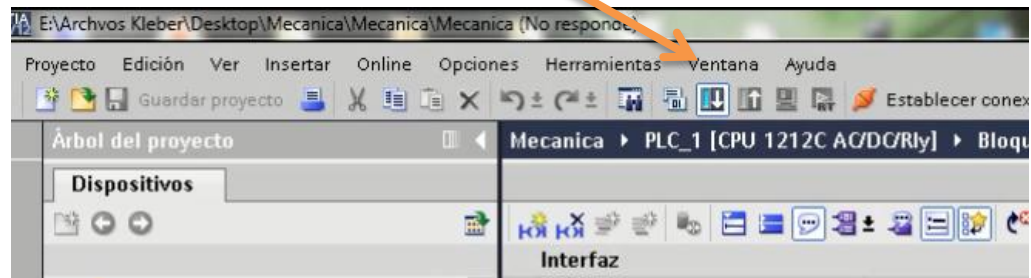
5. Clic en Main.



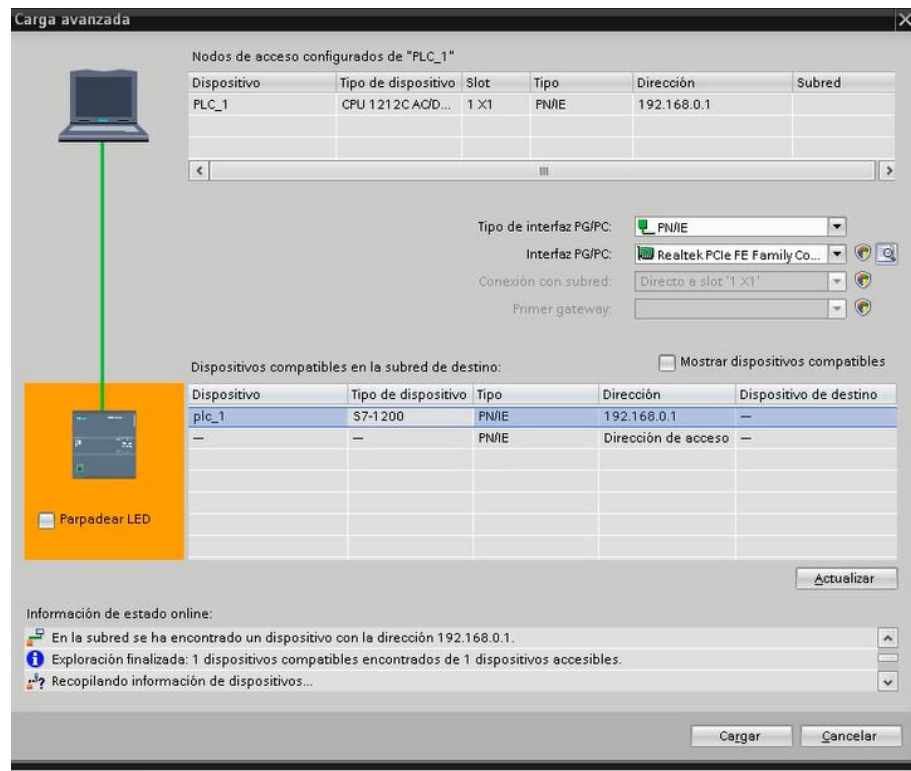
6. Se despliega la ventana siguiente.



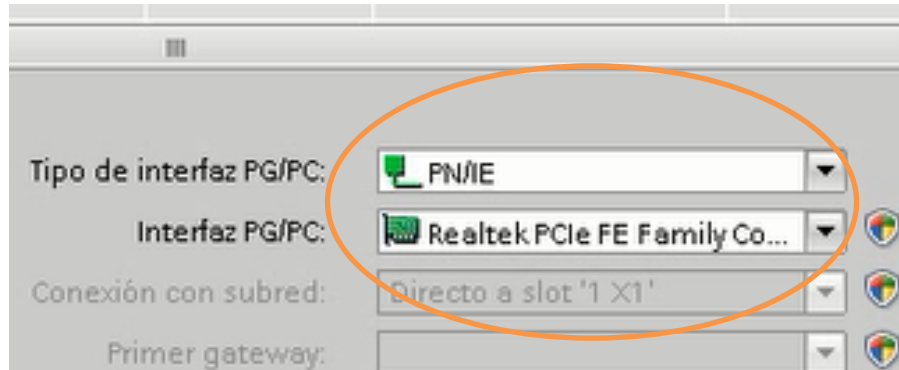
7. Damos clic en cargar dispositivo.



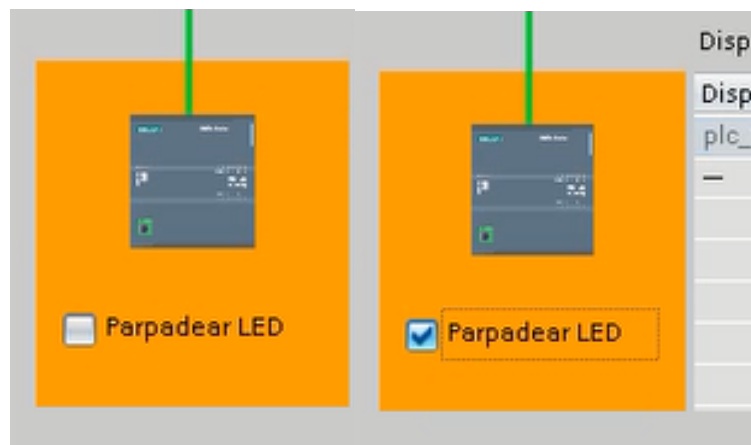
8. Se despliega la ventana siguiente.



9. Revisamos que los dos parámetros de conexión estén tal como lo muestra la figura.

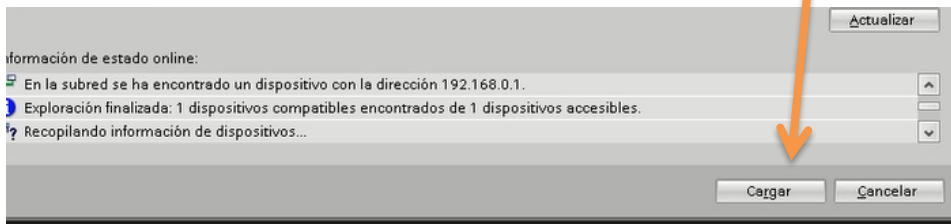


10. Para comprobación que el Plc este activado y conectado de manera correcta damos clic en “Parpadear LED”.

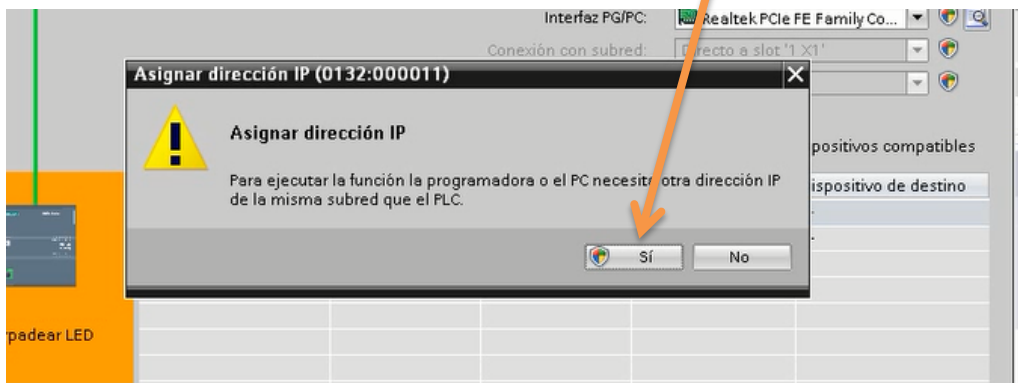


Automáticamente en el Plc se activará el parpadeo de una luz LED verde.

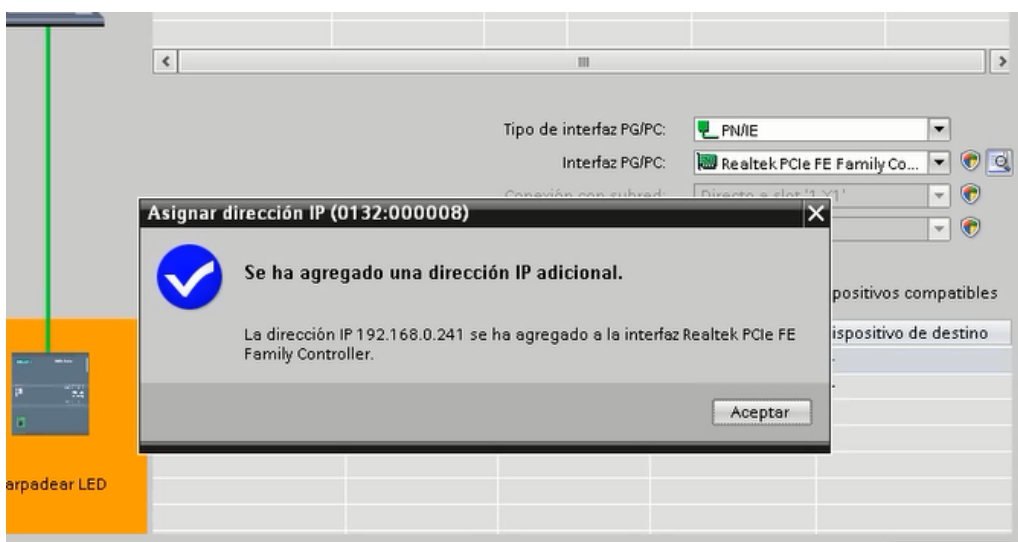
11. Comprobada la conexión del Plc damos clic en cargar.



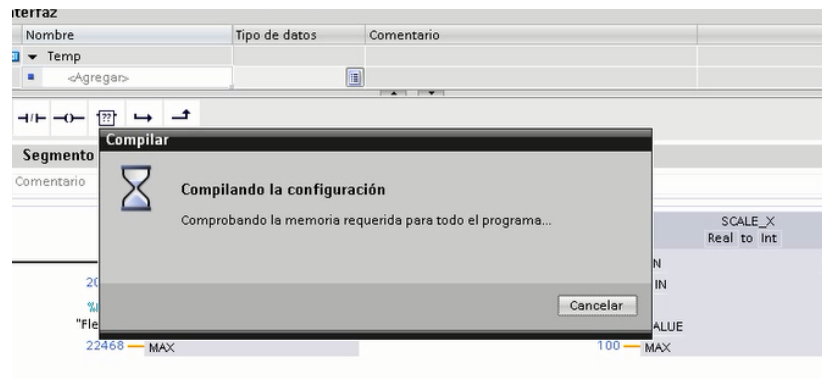
12. Damos clic en la opción si en la ventana que se desplegará.



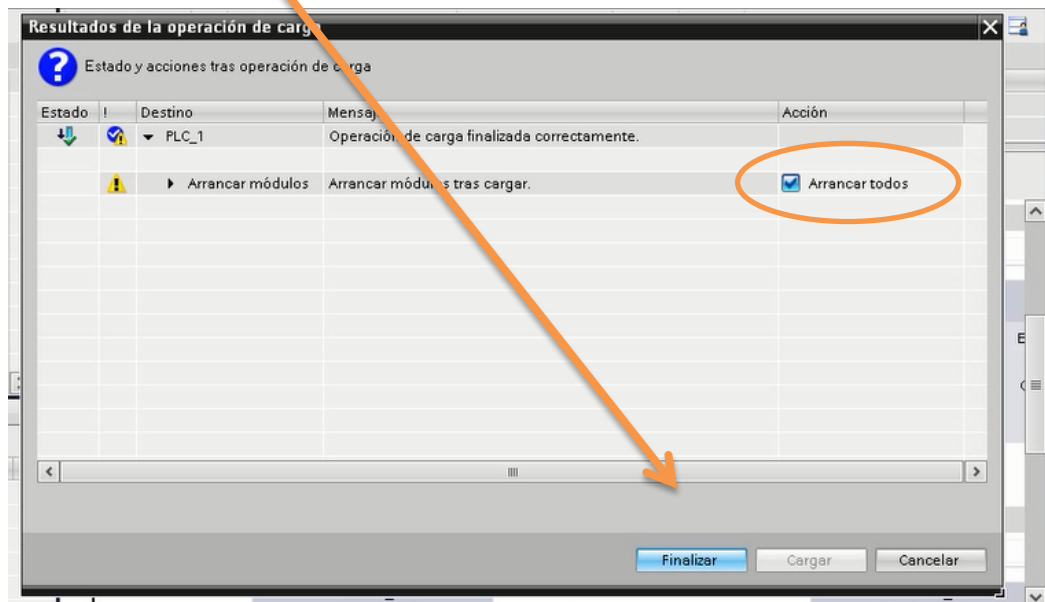
13. Aparecerá un aviso de que la operación se ha realizado correctamente. Damos clic en aceptar.



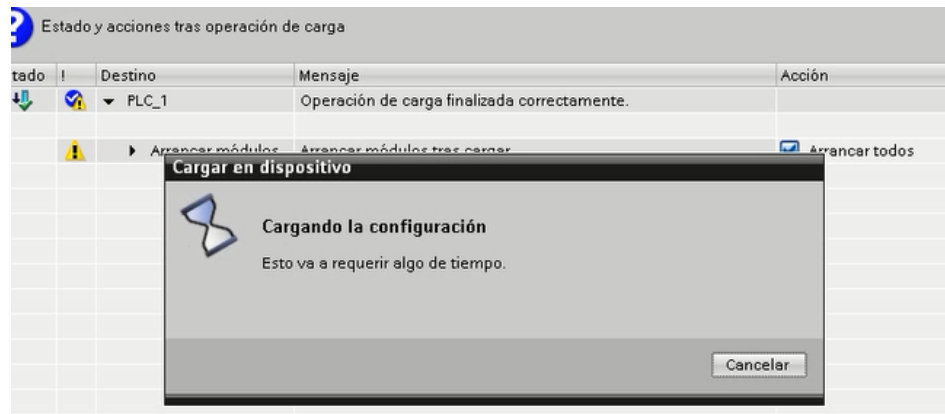
14. Esperamos a que la compilación se realice correctamente.



15. Comprobamos que este con visto en la pestaña “Arrancar todos” y luego damos clic en finalizar.



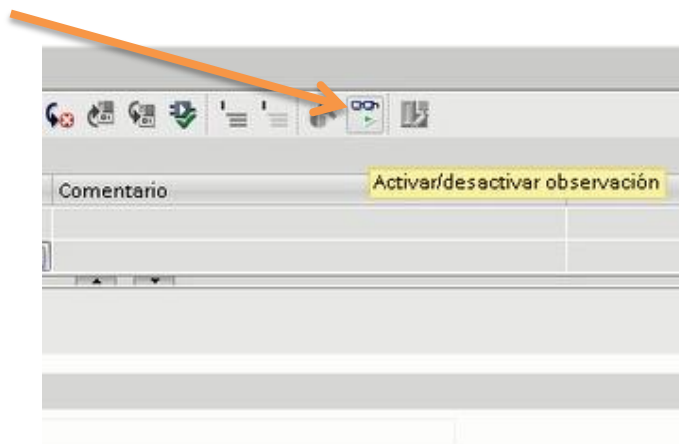
16. Esperamos que el proceso se realice.



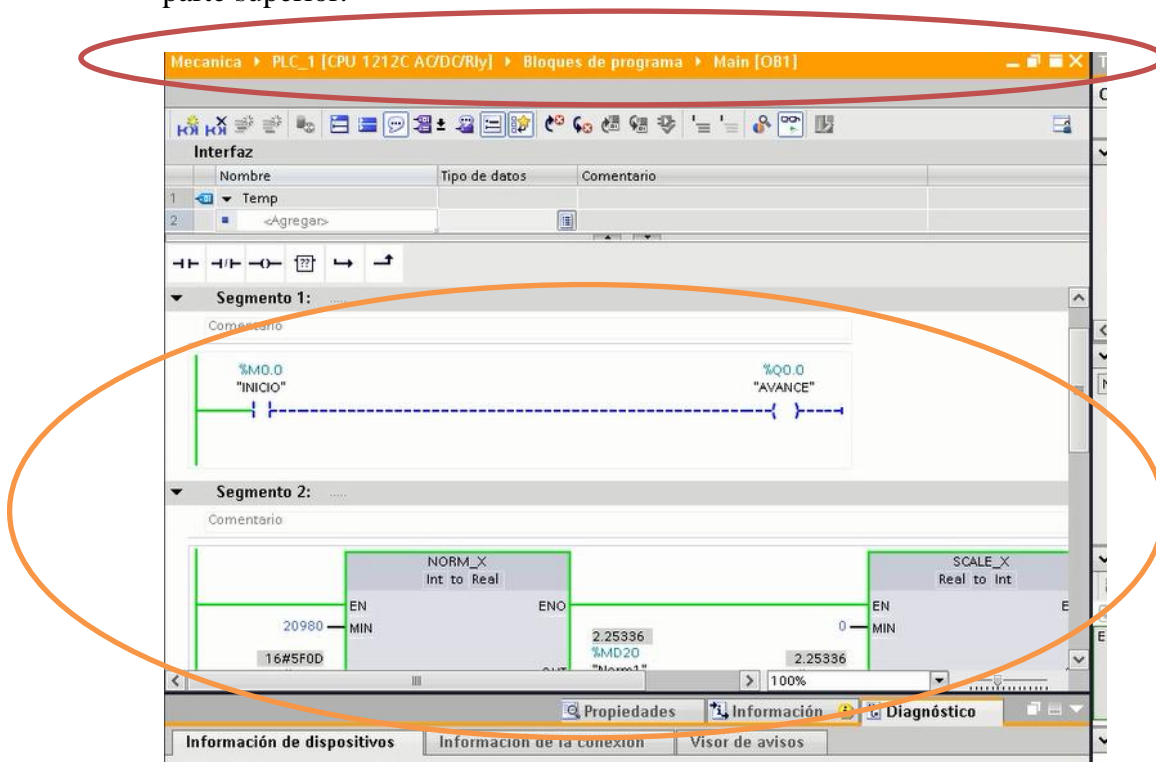
17. Comprobamos que el Plc este corriendo. Hacemos clic en la pestaña siguiente.



18. Damos clic.



19. La interfaz cambiará a color verde y aparecerá un mensaje en color naranja en la parte superior.



20. Finalmente el indicador de conexión de la parte inferior debe estar en funcionamiento de la siguiente manera.

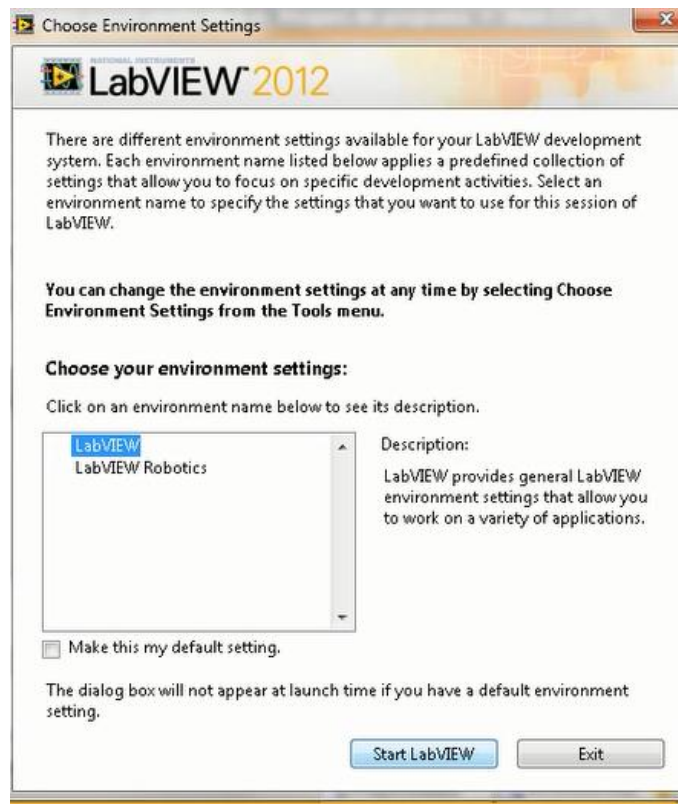


Proceso de control del sistema neumático, módulos acelerómetros y flex-sensor.

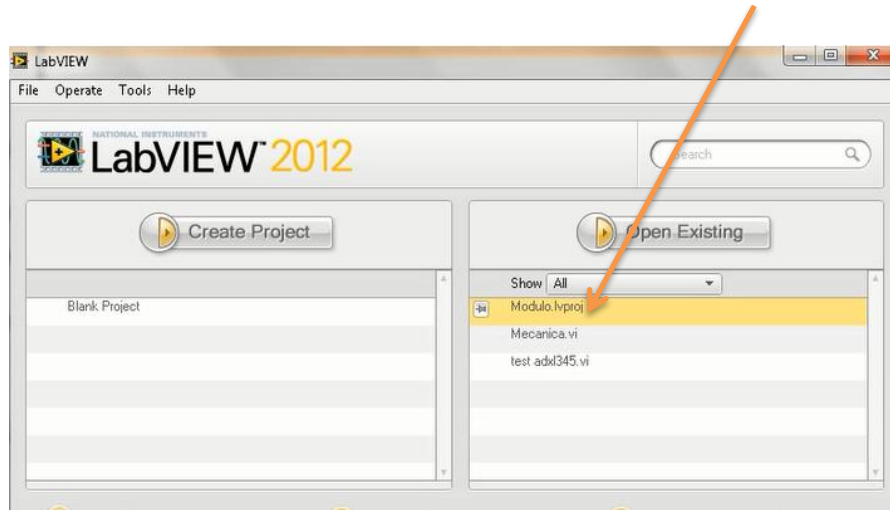
1. Iniciamos el programa LabVIEW dando clic en la pestaña.



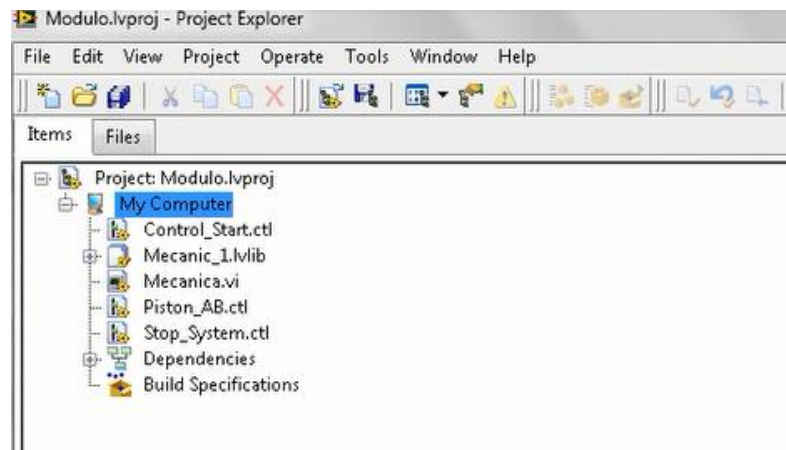
2. Damos clic en start LabVIEW.



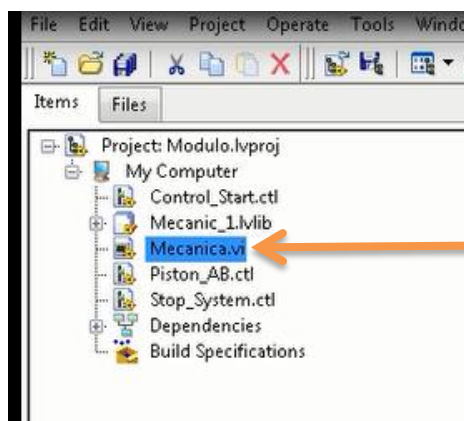
3. Se despliega el listado de proyectos. Damos clic en “Modulo.lvproj”.



4. Obtenemos una ventana con el listado siguiente.



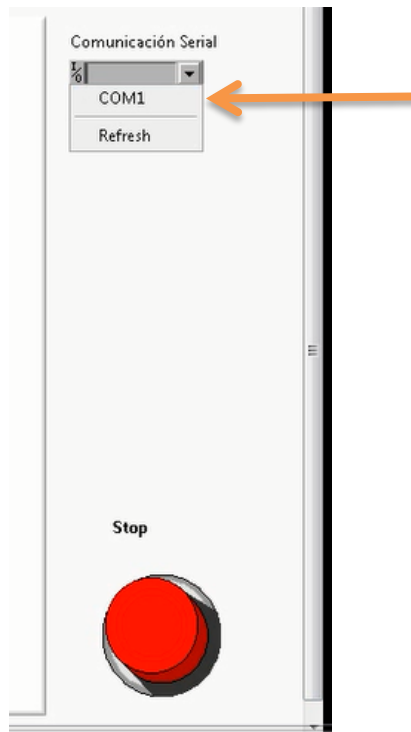
5. Seleccionamos la opción Mecanica.vi. Damos clic.



6. Automáticamente nos llevará al sistema de control neumático y de equipos.



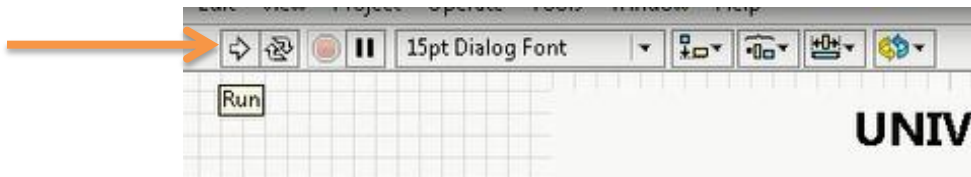
7. Realizamos la comunicación con la tarjeta Arduino, opción COM1.



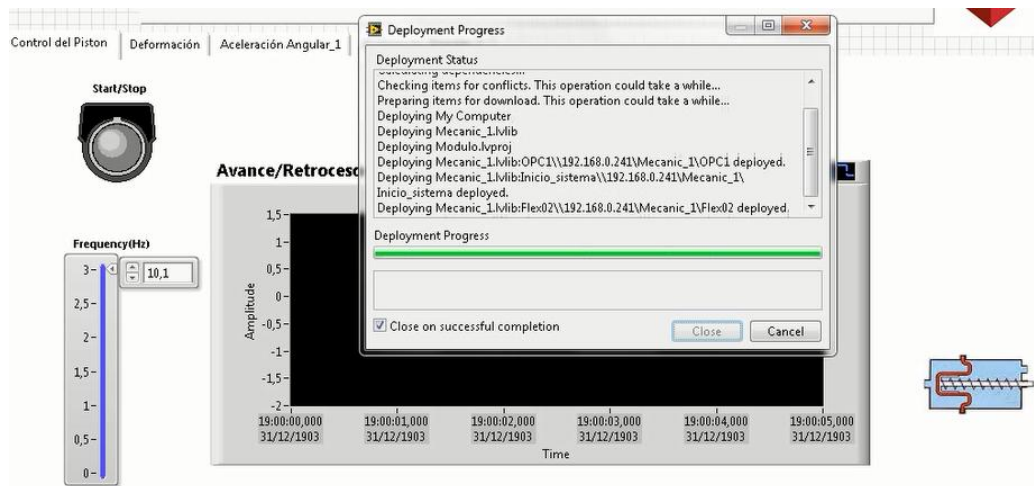
8. Seleccionamos la tarjeta.



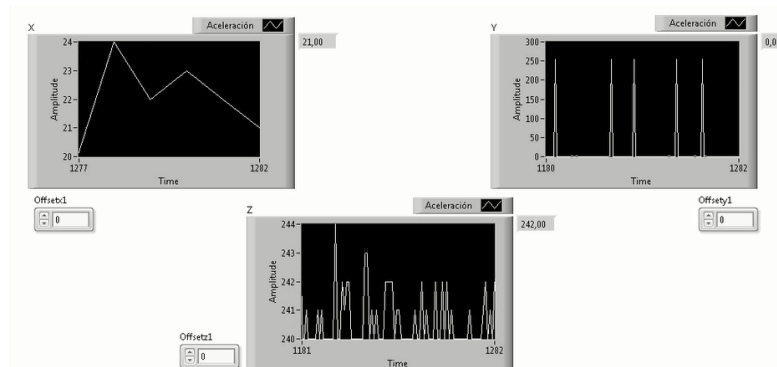
9. Damos clic en Run.



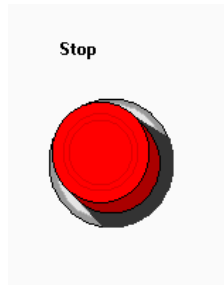
10. Automáticamente al dar clic en Run se carga el sistema.



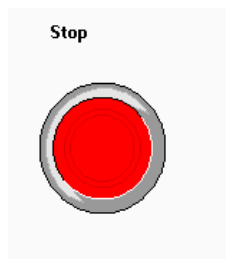
11. Los equipos empezaran a trabajar automáticamente.



12. Para empezar el ensayo el botón de parada de emergencia debe estar en la posición siguiente.



Correcto



Incorrecto

13. Los módulos acelerómetros deben estar colocados en la estructura así como el flex sensor. Asegúrese que estén anclados correctamente para evitar cualquier caída o daño.

14. El botón start/stop en color gris, indica que el sistema aun no inicia ninguna clase de movimiento ni recopilación de datos.

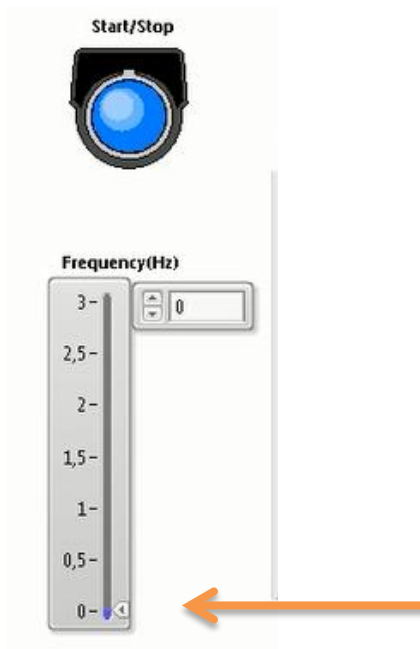


15. Presione el botón Start/Stop para iniciar el movimiento del sistema como recopilación de datos. El botón permanecerá en color azul. **Nota:** asegúrese que no exista personas ni objetos cerca del sistema de trasmisión de movimiento que interfieran con el libre recorrido de la mesa ya que podría causar accidentes.



16. Siempre inicie el trabajo de la esa vibratoria en frecuencia 0.

Advertencia: Bajo ninguna circunstancia altere los parámetros de frecuencia establecidos, ya que produciría daños tanto en el pistón neumático como en la electroválvula del sistema. **El parámetro máximo de trabajo está establecido entre 0Hz y 3 Hz.**



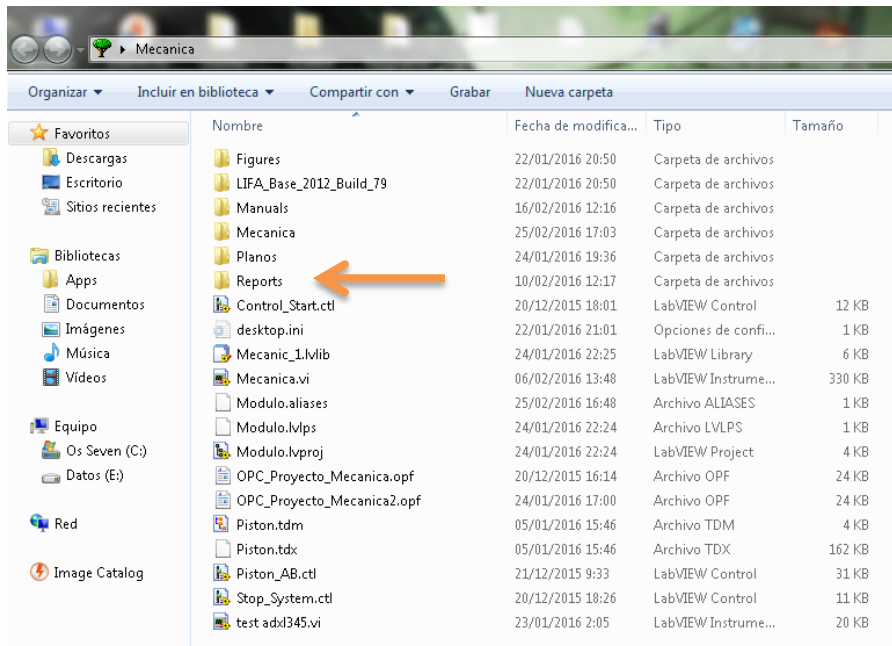
17. Para detener el sistema presione en botón Start/Stop. El botón se cambiará a color gris nuevamente lo cual indica que el sistema se ha detenido así como la recopilación de datos.

Proceso para visualizar la base de datos obtenidos del ensayo.

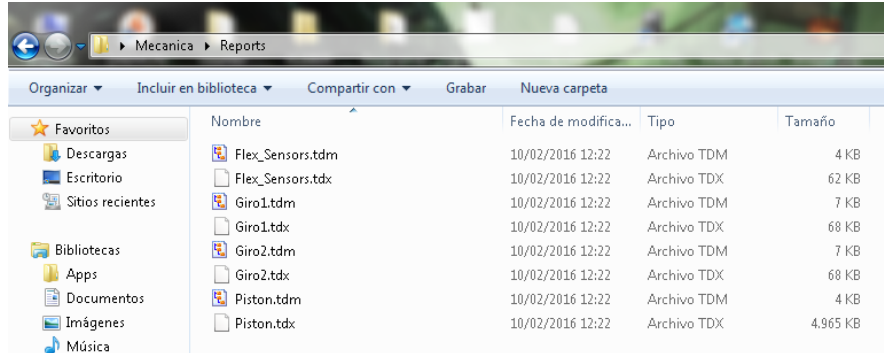
1. Cuando realice un ensayo, el sistema automáticamente guardara sus datos en la carpeta destinada para el efecto. Vamos a escritorio y damos clic en la carpeta Mecánica.



2. Abrimos la carpeta “Reports”.

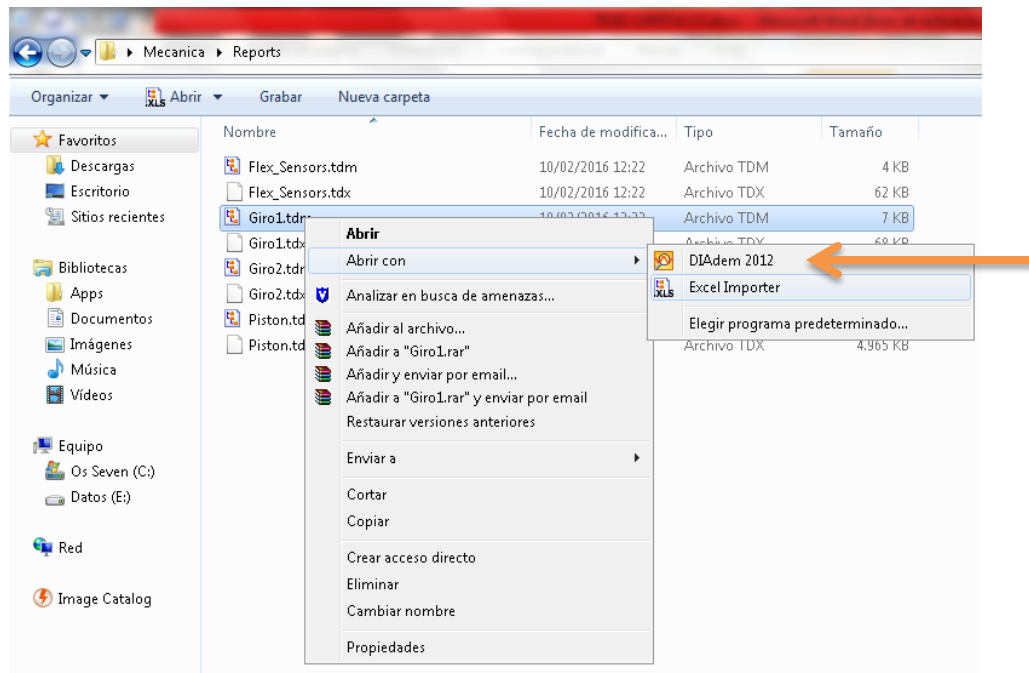


3. Dentro de la carpeta seleccionada encontraremos los reportes de todos los equipos.



Nota: Si usted realiza una simulación nueva, los datos anteriores automáticamente serán reemplazados por los del nuevo ensayo. Asegúrese de copiar la carpeta de reportes de su ensayo en el destino de su preferencia.

4. Para obtener la información necesaria y realizar los análisis dinámicos gráficos correspondientes, se tienen dos opciones de exportación de datos como son Excel y DIAdem.



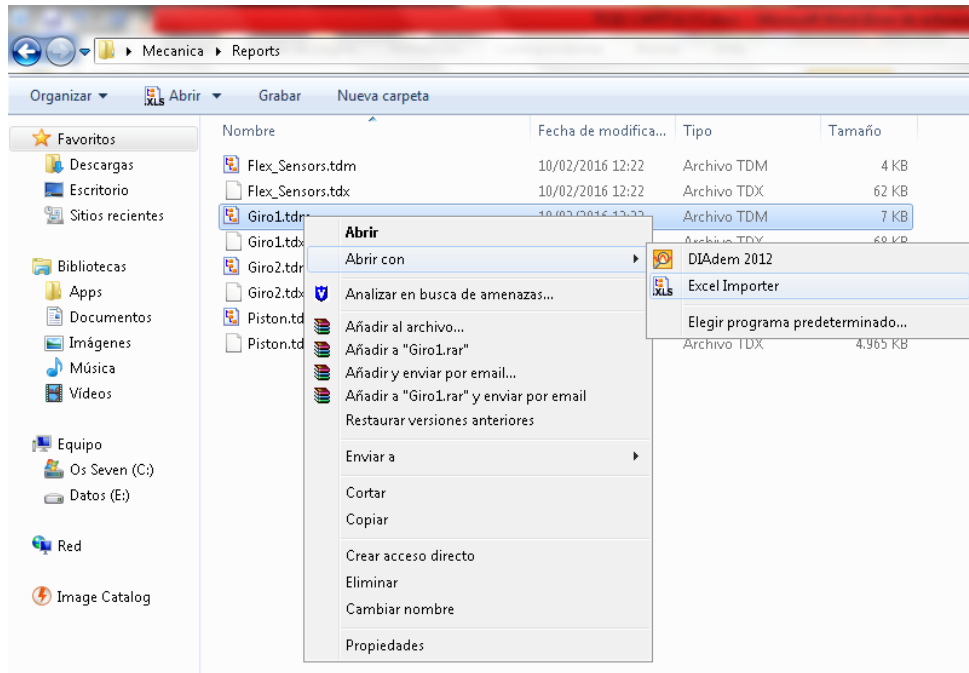
- En la opción de exportación a Excel, obtendremos en la hoja giro.tdm los tiempos de ensayo, aceleraciones máximas y mínimas en el caso de los módulos acelerómetros y deformación máxima en el caso del flex-sensor.

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description	wf_create_time
Giro1.tdm		Kleber	10/02/2016 12:17:27,848 PM		1 Giroscopio_1_xyz	10/02/2016 12:17:27,848 PM
Group	Channels	Description	wf_xcolumns			
Untitled	4	One				
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description
Time	DT_DATE	s	1089	10/02/2016 12:17:27,848 PM	10/02/2016 12:19:34,532 PM	
Untitled	DT_DOUBLE		1089	0	245	
Untitled 1	DT_DOUBLE		1089	0	254	
Untitled 2	DT_DOUBLE		1089	3	255	

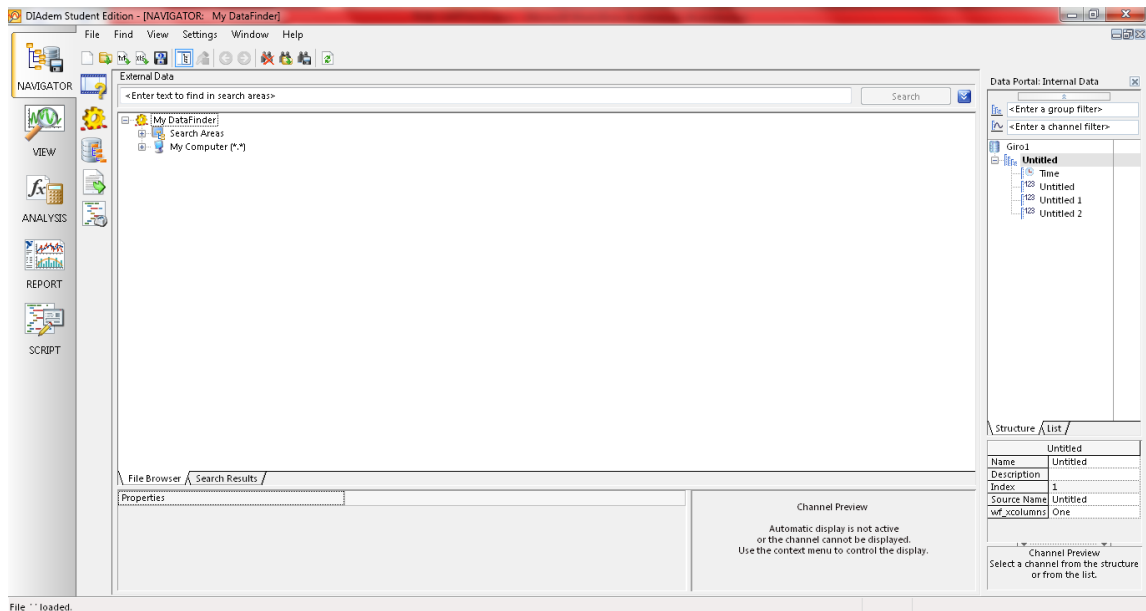
- En la hoja Untitled se almacenan los datos completos recopilados durante la simulación.

	A	B	C	D
1066	10/02/2016 12:19:31,731 PM	0	0	11
1067	10/02/2016 12:19:31,854 PM	8	14	11
1068	10/02/2016 12:19:31,969 PM	9	3	5
1069	10/02/2016 12:19:32,087 PM	8	0	12
1070	10/02/2016 12:19:32,202 PM	8	14	11
1071	10/02/2016 12:19:32,321 PM	1	2	11
1072	10/02/2016 12:19:32,435 PM	8	1	6
1073	10/02/2016 12:19:32,554 PM	8	0	8
1074	10/02/2016 12:19:32,673 PM	8	1	6
1075	10/02/2016 12:19:32,787 PM	0	2	11
1076	10/02/2016 12:19:32,906 PM	8	0	11
1077	10/02/2016 12:19:33,025 PM	8	0	6
1078	10/02/2016 12:19:33,140 PM	8	0	7
1079	10/02/2016 12:19:33,258 PM	8	0	7
1080	10/02/2016 12:19:33,373 PM	8	0	12
1081	10/02/2016 12:19:33,488 PM	8	0	6
1082	10/02/2016 12:19:33,606 PM	8	1	6
1083	10/02/2016 12:19:33,721 PM	8	0	11
1084	10/02/2016 12:19:33,836 PM	8	0	7
1085	10/02/2016 12:19:33,950 PM	8	1	5
1086	10/02/2016 12:19:34,065 PM	3	0	8
1087	10/02/2016 12:19:34,180 PM	5	1	7
1088	10/02/2016 12:19:34,295 PM	0	1	6

7. Para generar resultados gráficos directos vamos a la opción abrir con DIAdem.



8. Automáticamente se abre el programa y nos lleva a la siguiente ventana.

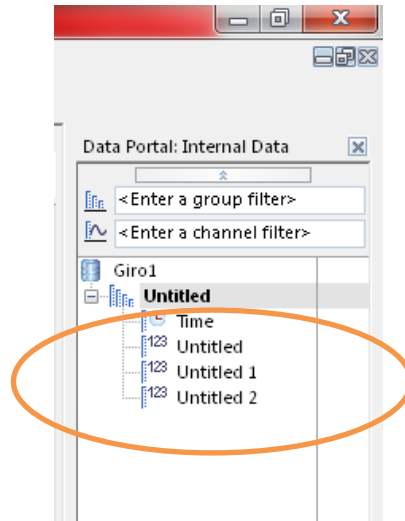


9. En la parte superior derecha tenemos el cuadro de datos de los ejes del acelerómetro, así:

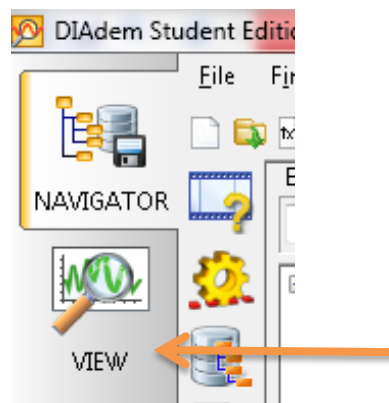
Untitled: eje x

Untitled1: eje y

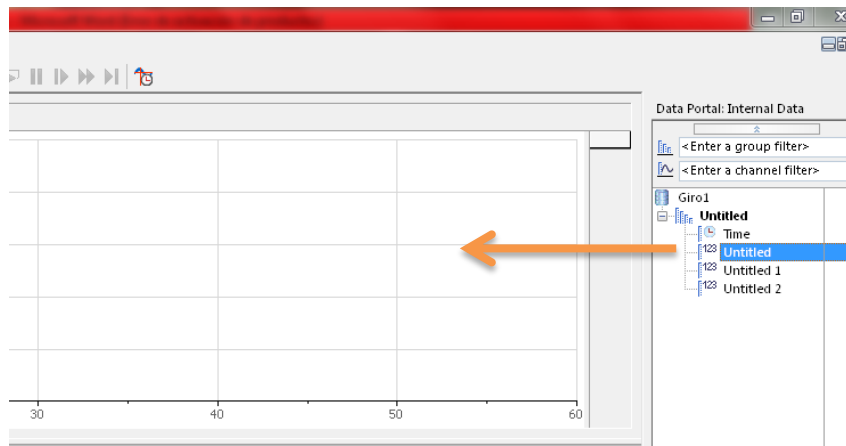
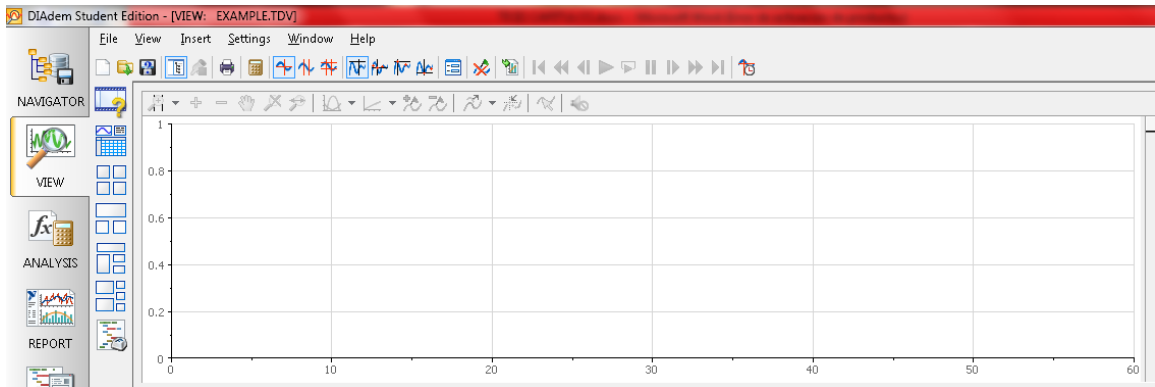
Untitled2: eje z



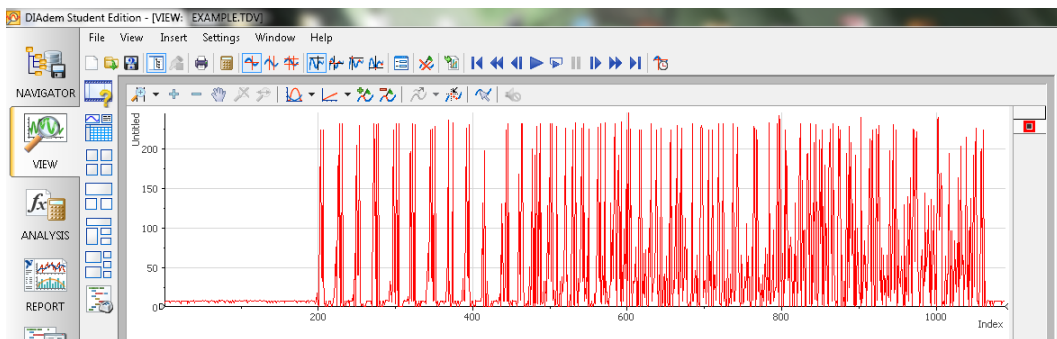
10. Los tres archivos mostrados anteriormente tienen datos de acelerogramas, podemos visualizar cualquiera de ellos mediante la pestaña VIEW.



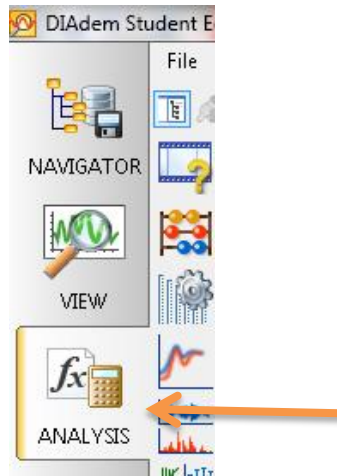
11. Damos clic en VIEW y arrastramos cualquiera de los ejes para visualizarlo.



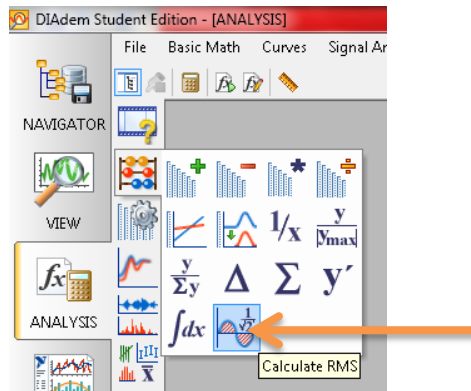
12. Automáticamente se visualiza el acelerograma. La visualización se puede hacer de cualquier eje deseado.



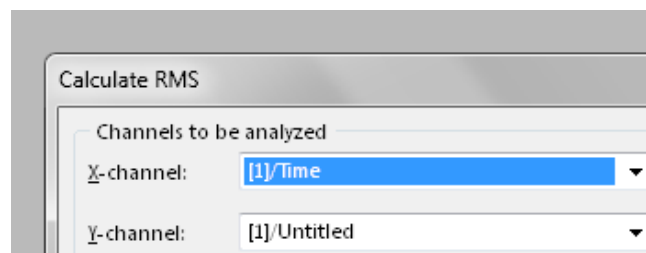
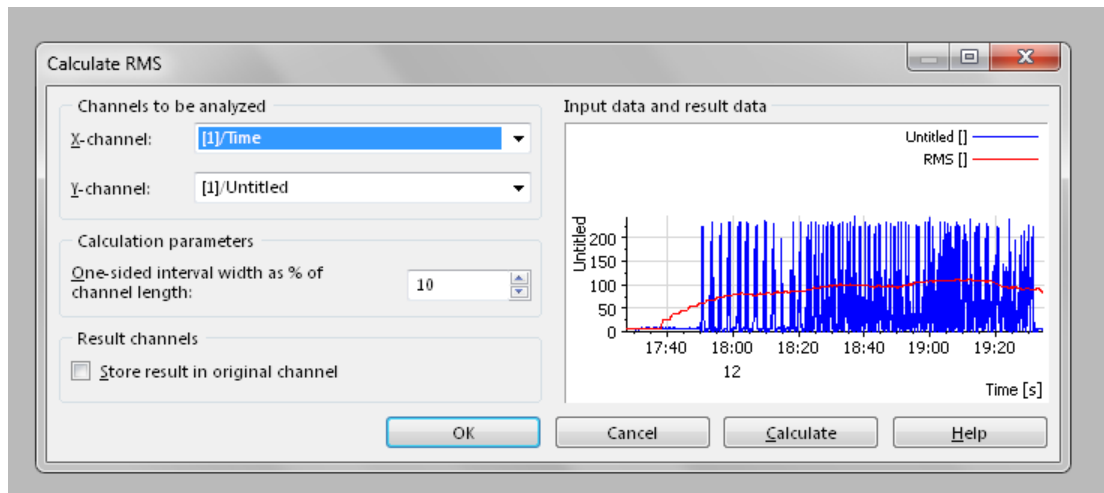
13. Para realizar los análisis correspondientes, vamos la pestaña ANALYSIS.



14. Para realizar el cálculo de la velocidad de desplazamiento vamos a la opción RMS, y damos clic.

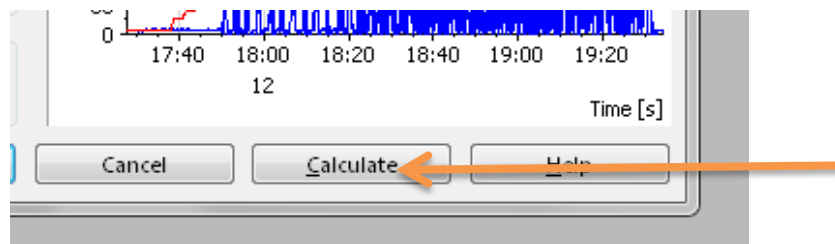


15. Podemos realizar el análisis para hallar la velocidad de cualquier eje.

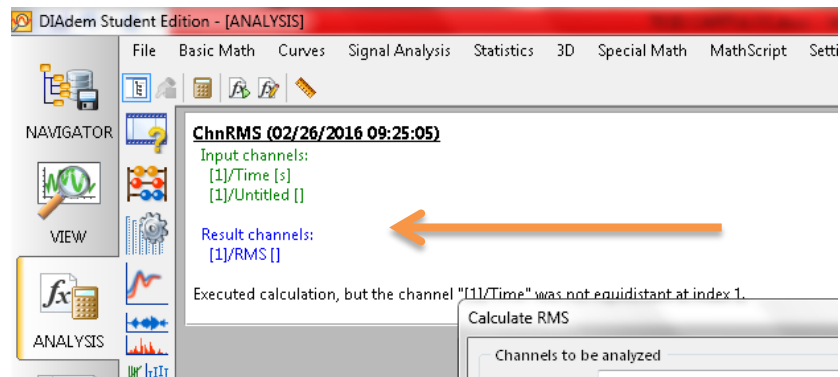


En primero opción siempre ira time, y en la segunda el eje en el cual deseamos hallar la velocidad.

16. Luego de elegir el eje, damos clic en calcular.

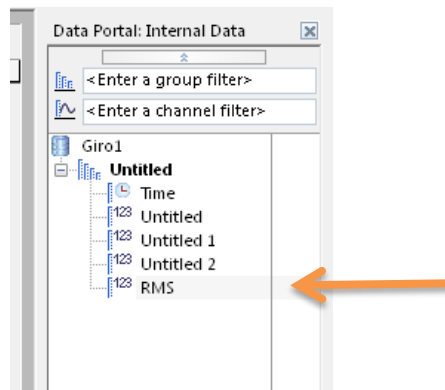


17. En la parte superior aparecerá el anuncio que el cálculo se realizó de manera correcta.

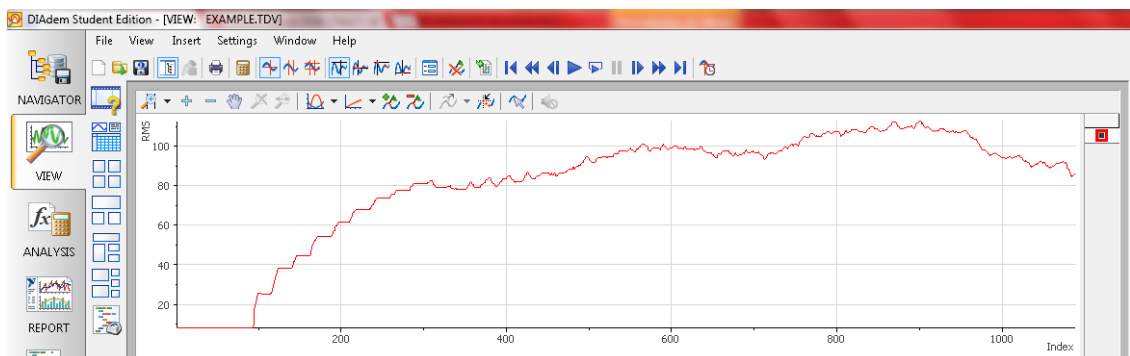


18. Vamos a la opción VIEW para mostrar visualizar el cálculo.

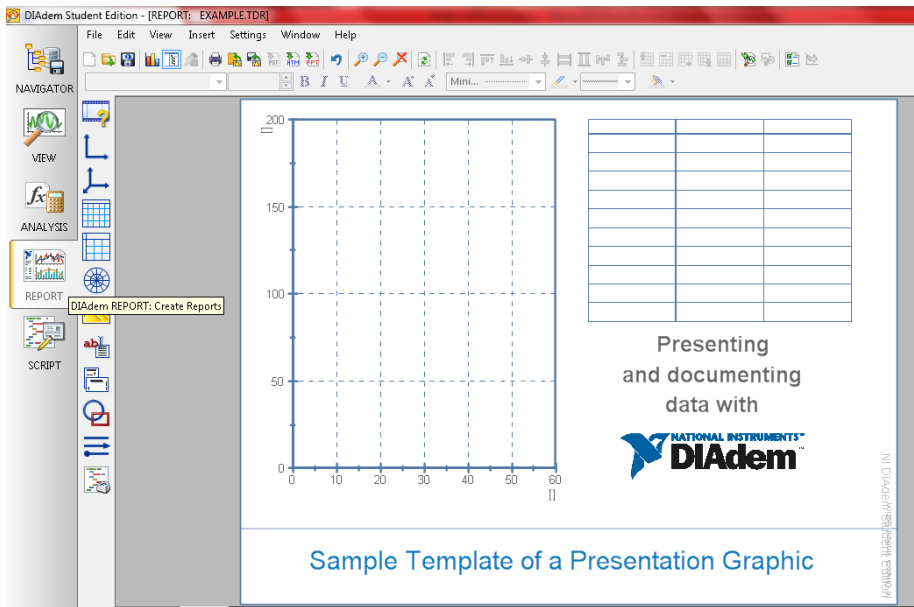
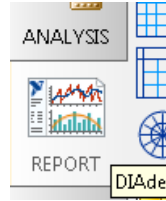
19. En la parte superior derecha aparecerá el cálculo realizado de velocidad con el nombre RMS.



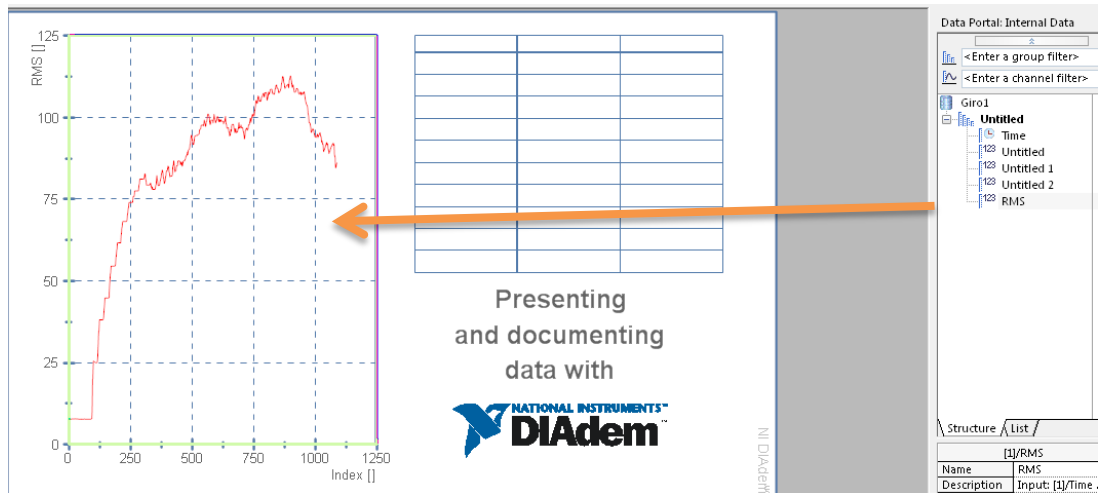
20. Arrastramos RMS y visualizamos.



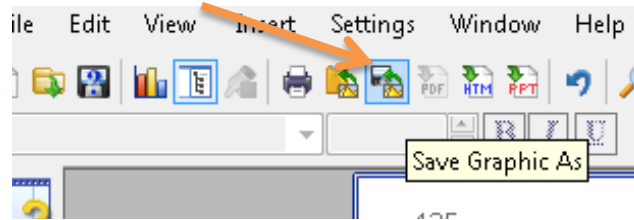
21. Para realizar un reporte grafico de cualquier eje o cálculo realizado, vamos a la pestaña REPORT. Damos clic y parecerá la ventana.



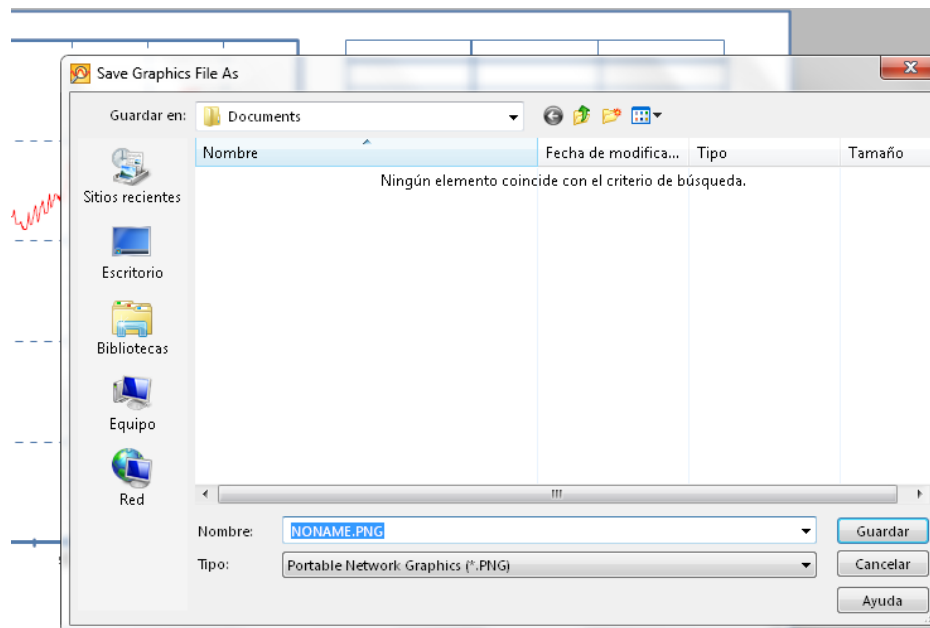
22. Arrastramos al eje coordenado cualquier eje o calculo que deseamos visualizar.



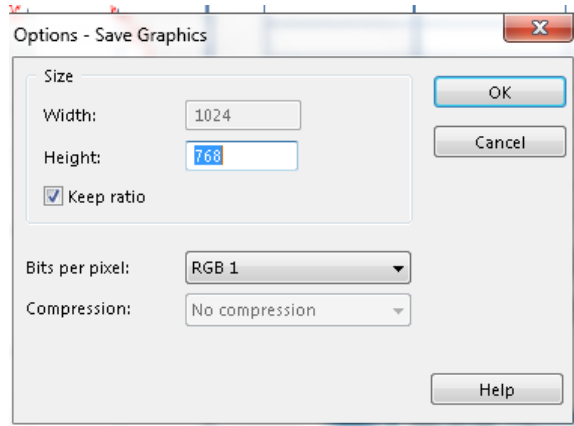
23. Para guardar el reporte como imagen damos clic en el ícono Save Graphic As.



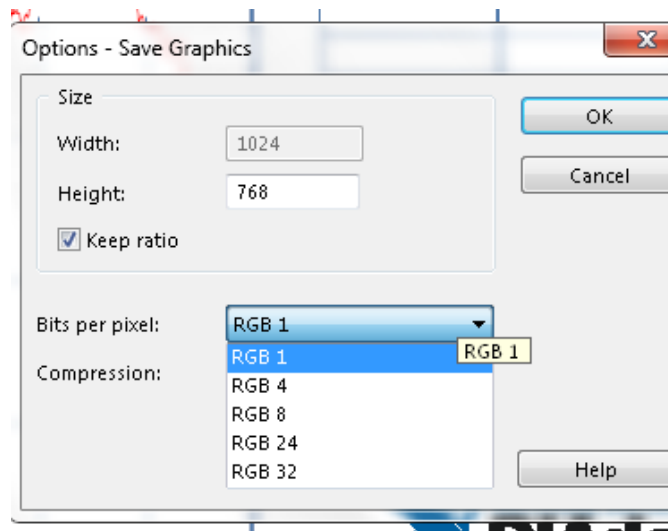
24. Damos clic. Aparecerá el cuadro de dialogo, colocamos el nombre deseado y la ubicación preferida a guardar.



25. Damos clic en guardar y aparecerá la siguiente ventana.



26. La opción “bits per pixel” muestra la calidad de cómo se guardar la imagen. Se recomienda guardarle en la mayor numeración: RGB 32.



27. Damos clic en OK y revisamos el archivo en la ubicación que seleccionamos para guardar. El archivo tiene extensión “.PNG”.



28. Finalmente abrimos el archivo y visualizamos.

