

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ENSAYO DE PÓRTICO A ESCALA EN UNA MESA
VIBRATORIA DE UN GRADO DE LIBERTAD”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS

AUTORES: BCH. OKUMURA TABOADA, VANIA LUCIA

BCH. URIOL CARRANZA, LUIS ENRIQUE

ASESOR: ING. GALICIA GUARNIZ, WILLIAM CONRAD

TRUJILLO - PERÚ

2018

INDICE

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCION.....	6
CAPITULO I	
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	
1.1.Planteamiento del problema.....	7
1.2.Delimitación del problema.....	9
1.3.Formulación del problema.....	9
1.4.Formulación de la hipótesis.....	9
1.5.Objetivos de estudio.....	10
1.6.Justificación del estudio.....	11
1.6.1. Importancia de la investigación.....	11
1.6.2. Viabilidad de la investigación.....	11
1.6.3. Limitaciones del estudio.....	12
CAPITULO II	
2. MARCO TEORICO	
2.1.Antecedentes de la investigación.....	13
2.2.Bases teóricas	
2.2.1.Fuerza de rozamiento.....	18
2.2.2. Frecuencias naturales.....	19
2.2.3. Espectro de respuesta.....	19
2.2.4. Sistemas de un grado de libertad.....	20
2.2.5. Desplazamientos laterales en pórticos.....	21
2.2.5.1. Análisis estático.....	21
2.2.5.2. Análisis dinámico.....	22

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.Población y muestra.....	27
3.1.1. Población.....	27
3.1.2. Muestra.....	27
3.2.Método.....	27
3.2.1. Tipo de investigación.....	27
3.2.2. Diseño.....	27
3.2.3. Variables de estudio y Operacionalización.....	27
3.3.Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
3.3.1. Instrumentos.....	29
3.3.2. Procedimientos y análisis de datos.....	30

CAPITULO IV

4. DESARROLLO DE TESIS

4.1.Mesa Vibratoria.....	31
4.1.1. Flujograma.....	31
4.1.1.1. Diseño numérico de mesa de vibración.....	31
4.1.1.2. Elaboración de Planos.....	42
4.1.1.3. Fabricación de Mesa Vibratoria.....	47
4.1.1.4. Prueba de movimiento de mesa vibratoria.....	55
4.1.2. Diagrama " ∂ vs t " de mesa vibratoria.....	59
4.1.2.1. Análisis teórico.....	59
4.1.2.2. Análisis experimental.....	69
4.1.3. Pórtico.....	74
4.1.3.1. Cálculo de módulo de elasticidad.....	74
4.1.3.2. Calculo de Rigidez y Frecuencia Natural.....	76
4.1.3.3. Ensayo de pórticos a diferentes frecuencias.....	76
4.1.3.3.1. Análisis experimental.....	76
4.1.3.3.2. Análisis teórico.....	82

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
5.1. Comparación de resultados Teóricos vs Experimentales.....	84
5.1.1. Mesa Vibratoria (Aceleración de la base).....	84
5.1.2. Ensayos de pórticos (Desplazamiento).....	84
5.1.3. Ensayo de pórticos (Frecuencia Natural).....	84
5.2. Contrastación de la hipótesis.....	85
6. CONCLUSIONES.....	86
7. RECOMENDACIONES.....	88
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	89
9. ANEXOS.....	90

DEDICATORIA

A mis Padres

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ponerle más empeño a este proyecto de investigación.

A Papa Liche

Por los recordatorios constantes de culminar lo más pronto esta tesis. Por estar siempre preocupado por mí y querer mi superación personal y profesional.

A Mamá Miriam

Por siempre preocuparse por mi bienestar y mi culminación como profesional. Todos los logros obtenidos son para que te sientas orgullosa desde donde te encuentres. Te extraño y te extrañaré siempre.

DEDICATORIA

A mis padres,

Uriol Sifuentes Matías y Carranza Lujan María

Por su apoyo incondicional y constante durante toda la carrera universitaria; por el apoyo, motivación y dedicación para encontrar soluciones a los problemas tan complejos presentados en este proyecto de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Galicia Guarniz William por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto de investigación. Compartiendo sus conocimientos, apoyo, dedicación y comprensión.

Al Ing. Serrano Hernandez José, por el interés y apoyo desinteresado en nuestro de investigación.

A los profesores de la escuela de ingeniería civil por ser nuestros mentores en el proceso de formación como ingenieros.

A todas aquellas personas que nos brindaron de una u otra manera su apoyo y colaboración a lo largo de este proceso de formación profesional y personal.

RESUMEN

Este presente proyecto de investigación es de carácter teórico – experimental, donde se describe los desplazamientos de pórticos a escala ensayados en una mesa vibratoria de un grado de libertad. Previo a la ejecución de los ensayos, se modeló la estructura y las acciones en ella utilizando la dinámica estructural, que brindo los sustentos teóricos necesarios para que la mesa vibratoria actúe de la forma esperada.

La finalidad de dichos ensayos es comprobar que la mesa vibratoria de un grado de libertad fabricada por los tesisistas brinde resultados que se asemejen en un porcentaje de error aceptable a lo teórico. Con el propósito de que pueda ser usada como herramienta académica para los alumnos de la universidad y puedan ver de forma tangible los verdaderos efectos de un sismo sobre las estructuras.

Esta tesis quiere promover el uso de diferentes prototipos a escala para la mesa vibratoria, no limitándose a pórticos. Es por ello que deja a disposición del alumno que prototipos son los que desee ensayar.

ABSTRACT

This present research project is of a theoretical - experimental nature, where the displacements of porticos to scale tested in a vibratory table of a degree of freedom are described. Prior to the execution of the tests, the structure and the actions in it were used, using the structural dynamics, which provided the theoretical underpinnings necessary for the vibratory table to act in the expected manner.

The purpose of these tests is to verify that the vibratory table of a degree of freedom manufactured by us provides results that resemble a percentage of error acceptable to the theoretical. So that in this way it can be used as an academic tool for the students of the university and they can see physically the true effects of an earthquake on the structures.

This thesis wants to promote the use of different prototypes at scale for the table, not limited to porticos. That is why it is available to the student that prototypes are the ones that he wants to rehearse

INTRODUCCIÓN

En los últimos años han ocurrido eventos catastróficos. Un sismo libera gran cantidad de energía en el suelo y genera movimientos que se transmiten a las estructuras en términos de aceleración, desplazamientos y velocidades. Las consecuencias de los sismos significan anualmente no solo numerosas pérdidas humanas, sino millonarias en términos de infraestructuras y en invaluables construcciones históricas. Adicionalmente la ocurrencia inesperada ha convertido a los sismos en uno de los fenómenos naturales más temidos.

Aunque actualmente no es posible predecir un sismo, si se puede minimizar sus riesgos a partir de la construcción de estructuras sismo-resistente. Las técnicas utilizadas pueden ser de tipo determinística o probabilística. Dentro de las herramientas determinísticas más utilizadas están los modelos matemáticos los cuales validan los resultados medidos en experimentos. Sin embargo este método no puede tener en cuenta todos los efectos aleatorios que produce un sismo real.

Este proyecto de investigación pretende iniciar una línea de investigación en la ingeniería estructural adentrándose al diseño, modelamiento y simulación de una mesa vibratoria de un grado de libertad, la cual tendrá las posibilidades de reproducir cargas dinámicas laterales en un sentido.

Con la finalidad de comprobar la efectividad de dicha mesa vibratoria se realizará ensayos de pórticos a escala sobre ella. El pórtico ensayado al ser sometido a cargas dinámicas de la mesa debe generar un desplazamiento máximo igual o similar a lo calculado teóricamente para comprobar la efectividad de la mesa.

Una mesa vibratoria de un grado de libertad será de gran aporte para las enseñanzas académicas de la universidad pues contribuirá a que los alumnos puedan observar en primera persona los efectos de sus prototipos ensayados cuando son sometidos a cargas dinámicas.

CAPITULO I

1. EL Problema de la investigación

1.1.Planteamiento del Problema

La ingeniería estructural, en el contexto de la dinámica estructural ha sido un campo de estudio de gran importancia e interés. El deseo de conseguir diseños óptimos ha sido la motivación para la mejora continua de esta corriente de la ingeniería civil. A lo largo de los años hemos sido testigos de los distintos cambios y mejoras que las normas de diseño estructural han sido participes. Además los eventos sísmicos vividos nos han demostrado que nuestros esfuerzos por lograr lo óptimo serán contantes e interminables.

Está de más decir que la mejora de las normas de diseño estructural utilizadas como manuales o guías en el proceso del diseño estructural son nada más y nada menos que producto de investigaciones aplicativas de ensayos realizados a prototipos. El análisis práctico nos ayuda a comprender mejor el comportamiento y desempeño de una estructura, durante y después de un evento. Sin embargo, es bueno aclarar que existen distintos métodos de ensayos como los cuasi estáticos o los ensayos en mesa vibrante. “Los ensayos cuasi estáticos son recomendables para caracterizar el comportamiento de elementos o estructuras y pueden ser aplicados a grandes especímenes obteniendo una gran precisión en las medidas. Por su parte, los ensayos en mesa vibrante permiten obtener la verdadera respuesta dinámica a un terremoto especificado, pero están limitados a pequeños modelos”¹ .

En nuestro desarrollo académico universitario, hemos podido aprender a aplicar las distintas fórmulas y métodos de análisis para el diseño estructural. Hemos llegado incluso a comprobar dichos resultados con modelos computacionales para poder verificar la veracidad de nuestros cálculos y asegurarnos que vamos por el camino correcto. No obstante a lo anterior, los modelos computacionales, las normas actualizadas, los métodos de análisis y diseño continúan siendo resultados hipotéticos que si bien es cierto gracias a

¹ F. Javier Molina Ruiz, Guido Verzeletti, Georges E. Magonette, Flavio Bono, Vito Renda. (1999). Ensayo Sísmico de Estructuras. Italia.

los factores normativos se ajustan a un resultado confiable y seguro, no nos dan a ciencia cierta el verdadero resultado del comportamiento. Es por ello que se opta por comprobar con resultados experimentales la veracidad de los diseños.

Sin embargo es de nuestro conocimiento que es casi imposible ensayar las estructuras diseñadas a escala real, ya que resulta económicamente costoso y a la vez la magnitud de la simulación sería difícil de alcanzar; es por ello que surge la idea de utilizar prototipos a escala que adquieran las mismas propiedades que los modelos a escala real, pero que puedan ensayarse dentro de un artefacto de simulación.

El autor Javier Molina Ruiz en su ensayo sísmico de estructuras menciona que cuando el problema es la predicción de la respuesta sísmica de una estructura se utiliza un modelo numérico, pero un ensayo sísmico es una mejora de dicho modelo numérico. Recalca la necesidad de no abastecerse de los resultados teóricos, sino ir más allá, a través de ensayos experimentales.²

Como sugiere el autor antes mencionado la mesa vibratoria proporciona en principio la técnica más realista para el ensayo sísmico de estructuras en el sentido de que, primero, la verdadera excitación se introduce como un movimiento de la base a velocidad real y, segundo, la estructura es verdaderamente deformada por las fuerzas de inercia distribuidas debidas a la masa de la estructura.

La Universidad Privada Antenor Orrego no cuenta con una mesa vibratoria, lo cual dificulta enormemente el estudio completo del análisis dinámico de estructuras en un marco “teórico – práctico”, en el cual se puedan comprobar y observar los comportamientos reales de una estructura afectada por una vibración determinada; para lo cual se necesita un artefacto que logre poner fin a esta situación de incertidumbre para los estudiantes y que ayude a

² Molina Ruiz, Francisco Javier; Álvarez Cabal, Ramón y Alarcón Álvarez, Enrique (1986). Estudio y modelado del comportamiento de una plataforma para ensayos dinámicos de estructuras. "Anales de Ingeniería Mecánica", v. 4 (n. 2); pp. 235-239. ISSN 0212-5072.

representar de una manera sencilla las vibraciones producidas por aceleraciones las cuales nacen de un rango de frecuencias establecido por el artefacto en cuestión; dándole a los estudiantes una guía de apoyo para dichas materias y así facilitar el aprendizaje de las mismas.

Cabe resaltar que la maquina propuesta no necesariamente reproduce un sismo, sin embargo tiene la capacidad de crear una excitación en la base, la cual es elemento principal en nuestra investigación ya que permitirá el análisis de los pórticos a escala hechos con material de Aluminio; cuyos resultados serán comparados con los respectivos análisis numéricos.

1.2. Delimitación del problema

Para la presente investigación se construirá una mesa vibratoria de 0.80 m x 0.80 m.

El pórtico a ensayar será hecho con material de Aluminio.

1.3. Formulación del Problema

¿En qué medida, el comportamiento de un pórtico a escala simulado en una mesa vibratoria de un grado de libertad difiere con su resultado numérico?

1.4. Formulación de la Hipótesis

El comportamiento de un pórtico a escala sometido en una mesa de vibración de un grado de libertad diferirá con su resultado numérico en un margen de error aceptable.

1.5. Objetivos del Estudio

1.5.1. Objetivo General

Comparar el comportamiento de un pórtico a escala, simulado en una mesa de vibración de un grado de libertad con su resultado numérico.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Fabricar una mesa de vibración de un grado de libertad de 0.80 m x 0.80 m.
 - Pre-dimensionar la mesa de vibración de un grado de libertad, y proponer peso máximo de estructuras a escala a ensayar.
 - Calcular las revoluciones mínima y máxima de diseño para la mesa de vibración de un grado de libertad.
 - Deducir la amplitud de desplazamientos máximos de la mesa de vibración de un grado de libertad.
 - Hallar potencia del motor a utilizar para la mesa de vibración, en función de los datos obtenidos anteriormente.
 - Despejar la frecuencia de la mesa vibratoria.
 - Variar velocidad, a través de un variador de velocidad, así como la asignación de una escala de valores que indique los cambios de velocidad en un panel de control general.
 - Instalar moto-reductor para reducir revoluciones sin reducir la fuerza que ingresara a la mesa vibratoria.
2. Someter un pórtico de aluminio a escala a vibraciones inducidas, utilizando como dato inicial las frecuencias del motor, traducidas en fuerzas aplicadas a la base de cada pórtico simulando la fuerza basal.
3. Calcular módulo de elasticidad del aluminio mediante ensayos experimentales utilizando métodos expuestos durante la época universitaria.

4. Recolectar los datos experimentales de desplazamiento y frecuencia natural del pórtico ensayado, de modo que se puedan observar, analizar y comparar los desplazamientos teóricos con los prácticos.
5. Comparar los resultados prácticos con los teóricos, para así apreciar la diferencia entre lo ensayado y lo calculado de manera ideológica.

1.6. Justificación del Estudio

1.6.1. Importancia de la investigación

El estudio de los efectos del comportamiento de los pórticos mediante la construcción de una mesa vibratoria mecánica de un grado de libertad como herramienta que permitirá una mejor comprensión de los efectos dinámicos de diferentes estructuras a escala. Su interpretación brindará una comparación de los resultados teóricos y prácticos que se manejan en la realización de análisis estructurales y dinámicos.

La necesidad de poder observar a tiempo real los efectos y comportamientos de una estructura sometida a una excitación en la base y obtener al mismo tiempo datos prácticos que puedan describir lo que está sucediendo; nos podrá brindar las herramientas necesarias para realizar investigaciones logrando de este modo, tener un conocimiento más completo en los cursos de ingeniería sísmica, análisis estructural y otros que se desglosen.

1.6.2. Viabilidad de la investigación

Por ser una máquina que utiliza materiales que se encuentran en el mercado local y de fácil acceso a ellos, no genera inconvenientes en su fabricación.

Al tener piezas de fácil montaje y fabricación, el tiempo que pueda ser necesario para su fabricación puede llegar a ser muy corto, traducido a un intervalo de 2 a 3 meses.

Los prototipos a ensayar pueden ser de cualquier material con módulo de elasticidad calculable, de modo que no exista restricciones en su uso.

En cuanto a la parte económica, la mesa de vibración de un grado de libertad será financiada por recursos propios y será otorgada a la universidad para usos académicos.

1.6.3. Limitaciones del estudio

- El uso de un solo grado de libertad y la incapacidad de ingresar en la mesa de vibración aceleraciones sísmicas debido a lo elevado de los costos y a la complejidad de la misma, es por ello que el proyecto se basa no en la representación de un sismo sino en crear una excitación en la base (con un movimiento armónico simple) que es el objetivo principal de un sismo.
- El ensayo para esta tesis y los resultados obtenidos se dan cuando el pórtico empieza un movimiento armónico simple sin amortiguamiento, ya que los datos máximos asumidos se dan en un intervalo de tiempo, sin considerar inicio ni fin, por lo que se asumen valores iniciales 0, para nuestra ecuación de movimiento.
- Escases de información para la fabricación de un mecanismo de movimiento mecánico capaz de reducir las revoluciones de un motor sin afectar su torque en el instante en el que se reducen las revoluciones con ayuda de un variador de frecuencia.
- Escases de equipamiento adecuado para realizar la recolección de datos de una manera precisa.

CAPITULO II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Con el fin de lograr tener un mejor conocimiento de las variables del problema a investigar, se han logrado identificar algunos estudios que se relacionan directamente con el tema a tratar en la presente investigación; los más recientes y de mayor relevancia son:

De Javier Molina Ruiz, Guido Verzetelli, Georges E. Magnotre, Flavio Bono, Vito Renda Centro Conjunto de Investigación de la Comisión Europea Laboratorio Elsa en su trabajo “ENSAYO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS”, E. Ispra (Varese), Italia, último que:

La predicción del comportamiento sísmico de las estructuras es cada vez más precisa gracias a los avances en los modelos de comportamiento y los métodos de integración numéricos. Sin embargo, hoy por hoy existen todavía muchos casos en los que las mencionadas técnicas numéricas no proporcionan la suficiente certeza principalmente debido a la falta de modelos calibrados que recojan adecuadamente el comportamiento cíclico de los materiales y las conexiones sometidos a grandes deformaciones. En la situación actual, los métodos de diseño de estructuras sismo resistentes deben ser avalados por amplios estudios paramétricos realizados mediante modelos numéricos, los cuales, a su vez han sido calibrados con abundante información experimental.

Entre las conclusiones, se dedujo de manera general y por simplificar, se puede decir que, cuando el problema es la predicción de la respuesta sísmica de una estructura mediante un modelo numérico y el objetivo del ensayo sísmico a realizar es solo la mejora de dicho modelo numérico, el ensayo estático puede ser la mejor opción dada su amplia aplicabilidad y relativos bajo coste y alta calidad de resultados. Sin embargo, si la predicción de la respuesta no la podemos confiar solamente al modelo numérico y queremos obtenerla ya directamente del ensayo, deberemos recurrir a la mesa vibrante o al método

PsD. En este caso, si la estructura es suficientemente pequeña o se puede probar en escala reducida sin modificar sus propiedades, la mesa vibrante puede ser la técnica de ensayo más adecuada.

El aporte que se puede encontrar a nuestra investigación es la justificación de que para obtener resultados más certeros y exactos, no se debe basar únicamente en los modelos numéricos, sino también en la experimentación o simulación sísmica. También da el alcance de los diferentes ensayos que se pueden realizar y como realizar los ensayos con estructuras a escalas reducidas.

De Vides de la Hoz, Félix Joaquín (2006) en su trabajo “METODOLOGÍA PARA REALIZAR MODELOS DE CONCRETO REFORZADO A ESCALA REDUCIDA”, Universidad Industrial de Santander, facultad de ingenierías físico-mecánicas – escuela de ingeniería civil-Bucaramanga, perfecciono:

Como objetivo principal proponer una metodología de ensayo para modelos a escala reducida de concreto reforzado para así definir factores de escala que permitan relacionar los prototipos con sus respectivos modelos puesto que si se reproducen las estructuras en modelos a escala reducida, se podría realizar un mayor número de investigaciones con costos relativamente bajos y se profundizaría en los conocimientos del comportamiento de las estructuras. Esta investigación dará una metodología para evaluar elementos o estructuras de concreto, reproduciéndolas a escalas reducidas. Es importante adelantar este estudio porque por medio de modelos reducidos, se puede conocer el comportamiento y fallas de una estructura y tomar los correctivos para evitar fracasos en la real. Otra ventaja es que se puede utilizar como ayuda didáctica desarrollando modelos reducidos para enseñar conceptos básicos de ingeniería a los estudiantes.

Entre los resultados de esta investigación se presentaron factores de escala para el estudio de modelos estructurales. De acuerdo a la finalidad de la investigación se diferenciaron las leyes de similitud para modelos elásticos, inelásticos, y sometidos a cargas dinámicas.

El aporte del proyecto de investigación presentado es que brinda minuciosos detalles sobre la elaboración de prototipos a escala teniendo en cuenta el principio de similitud.

De: Begoña Martínez, Jaén (2014) en su trabajo “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, ENSAYO Y ANALISIS DE MODELOS REDUCIDOS DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO: PORTICOS DE UN SOLO VANO BIARTICULADO. ANALISIS EXPERIMENTAL.”, Universidad Politécnica de Valencia, Dpto. de Ingeniería e la construcción y de proyectos de ingeniería Civil. Valencia, España, perfecciono:

En este Trabajo Final de Grado, se plantea el estudio de un modelo reducido de una estructura tipo pórtico de hormigón armado. Se trata de un pórtico biarticulado de un solo vano, un elemento estructural que aunque aparentemente pueda resultar una tipología sencilla, posteriormente se podrá observar la gran variedad de fenómenos que puede desarrollar.

Para poder estudiar el comportamiento del pórtico biarticulado de un solo vano, son necesarias unas fases previas hasta llegar a su análisis. Dichas fases comprenden el diseño, construcción y ensayo para finalmente poder analizar la pieza y observar cómo se comporta. Con ello se realiza un breve recorrido por cada una de las etapas que puede incluir un proyecto de construcción.

Una vez se ha materializado la estructura, se ha ensayado. Para ello se le ha aplicado una carga puntual descentrada y se ha observado cómo trabaja la estructura en su conjunto. En primer lugar, se ha analizado mediante observación directa e inmediata y posteriormente, se han estudiado y descrito otros fenómenos con más detalle. Se ha llevado el pórtico hasta la rotura, es decir se ha realizado un ensayo destructivo, con el fin de mostrar de manera proporcional cómo los materiales se desempeñan a lo largo del ensayo.

Cuando se llevaron a cabo las comprobaciones de los resultados experimentales, se pudo verificar que estos resultados estaban en concordancia con los teóricos. En cuanto a los esfuerzos de agotamiento, se ha comprobado que las secciones que han agotado son la sección bajo carga, en primer lugar,

y la sección del empotramiento izquierdo finalmente. La formación de estas dos rótulas plásticas da lugar a la rotura global de la pieza.

De: Horacio A. Coral; José M. Ramírez; Esteban E. Rosero; Peter Thomson; Daniel Gómez; Johannio Marulanda (2010) en su trabajo “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN SIMULADOR SISMICO UNIAXIAL TELE-OPERABLE PARA MODELOS ESTRUCTURALES A PEQUEÑA ECALA”, Universidad del Valle – escuela de ingeniería civil-Cali, Colombia, perfecciono:

Este artículo presenta el diseño, construcción y control de un simulador sísmico uniaxial para modelos estructurales de pequeña escala. Inicialmente, el documento muestra el diseño de cada parte del simulador hasta llegar a la construcción de todo el prototipo. Luego, se halla un modelo matemático del simulador utilizando un procedimiento de identificación en el lazo de velocidad que se valida mediante respuesta en frecuencia. A partir del modelo identificado se diseñan los controladores de los lazos de velocidad y posición, que proveen al sistema el desempeño requerido. Finalmente, se presentan varias pruebas para la validación del simulador sísmico y se describe la interfaz de control remota desarrollada en Java, que permite al usuario definir las señales de excitación, visualizar los registros obtenidos de la prueba y observar el video en línea desde Internet.

Se mostró que el simulador sísmico puede tolerar prototipos de diferente peso sin presentar grandes variaciones en la estabilidad y desempeño del mismo. El simulador sísmico es parte de El Laboratorio Remoto de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de La Universidad del Valle y puede ser tele-operado por Internet mediante una interfaz de control remoto desarrollada en Java. Este sistema permitirá que personas con problemas de desplazamiento o instituciones con recursos económicos y/o logísticos insuficientes promuevan la capacidad investigativa y eleven las habilidades prácticas desde cualquier punto con acceso a Internet.

De: Lehmann, Alejandro; Verri Alejanro; Bertero Agustin; Muzol Sergio (2013) en su trabajo “CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y

CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA EJECUCION DE ENSAYOS DINAMICOS”, Universidad de Buenos Aires, facultad de ingeniería, Argentina, perfecciono:

En el presente trabajo se describen el diseño y construcción de una mesa vibradora realizada en el Laboratorio de Dinámica de Estructuras de la FIUBA para la ejecución y estudio de ensayos dinámicos sobre prototipos y modelos a escala. En lo que respecta a la mesa, se presentan la selección de los componentes mecánicos, entre ellos el actuador, el diseño de la estructura de soporte y la componente deslizante en función de las características deseadas de los modelos y los acelerogramas cuyo comportamiento se pretende simular. Sobre los ensayos, se presentan las consideraciones a tener en cuenta para la ejecución de modelos a escala, los parámetros y limitaciones impuestas por las condiciones de semejanza dinámica, la necesidad del diseño de materiales especiales y masas adicionales para satisfacer dichas condiciones.

Los servicios prestados por este proyecto permitirán el desarrollo de métodos innovadores de diseño sísmico, dirigidos a disminuir los costos de los daños ocasionados por los terremotos que producen en muchos casos efectos devastadores sobre las economías.

De: Carrillo Julián, Bernal Néstor, Porras Pahola (2013) en su trabajo “EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA PEQUEÑA MESA VIBRATORIA PARA ENSAYOS EN INGENIERÍA SISMO-RESISTENTE”, Universidad Militar Nueva Granada, facultad de ingeniería – escuela de ingeniería civil-Bogotá, Colombia, perfecciono:

El estudio incluye los diseños mecánico, neumático, estructural, control y de adquisición de datos. Inicialmente, se discute el funcionamiento y el proceso de diseño de las mesas vibratorias, y se presentan los parámetros de diseño de la mesa vibratoria propuesta. La evaluación incluye el análisis de la durabilidad y efectividad de los elementos mecánicos, tales como rodamientos, placas, soportes y pernos, así como el tiempo de mantenimiento. Por último, se

presentan las aplicaciones y limitaciones de la herramienta experimental desarrollada, y las posibles mejoras para simulaciones y diseños futuros.

La mesa vibratoria desarrollada consiste en una plataforma de 1.1 m², la cual puede soportar una carga máxima de 10 kN y operar entre frecuencias entre 2 Hz y 15 Hz. La mesa utiliza un control on-off en sistema de lazo abierto, el cual permite realizar pruebas con aceleración máxima de 1 g, velocidad de 40 m/s y desplazamiento de 100 mm. El diseño mecánico fue verificado satisfactoriamente por medio de software de análisis de elementos finitos.

El aporte a la investigación planteada es los alcances brindados para la construcción de una pequeña mesa vibratoria, tanto el diseño mecánico como el diseño sísmico, alcances que se extraen para la creación de nuestra propia mesa tomando en cuenta las limitaciones económicas persistentes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fuerza de Rozamiento

Fuerza que surge del contacto de dos cuerpos y se opone al movimiento. El rozamiento se debe a las imperfecciones y rugosidades, principalmente microscópicas, que existen en las superficies de los cuerpos. Al ponerse en contacto, estas rugosidades se enganchan unas con otras dificultando el movimiento. Para minimizar el efecto del rozamiento o bien se pulen las superficies o bien, se lubrican.³

La naturaleza de los materiales que se encuentran en rozamiento y el tratamiento que han seguido. Este factor queda expresado por un valor numérico llamado coeficiente de rozamiento o de fricción.

¿Cómo se calcula la fuerza de rozamiento?

$$Fr = \mu \cdot N \quad (1.2)$$

- Fr es la fuerza de rozamiento
- μ es el coeficiente de rozamiento o de fricción

³ www.FisicaLab.com

- N es la fuerza normal

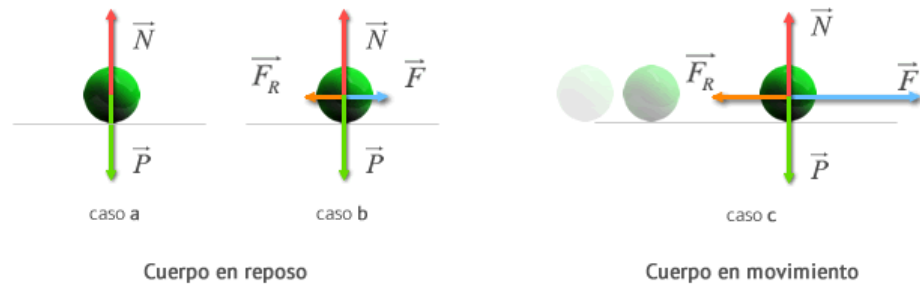


Figura 1: Actuación de fuerza de rozamiento

Fuente: www.FisicaLab.com

2.2.2. Frecuencias naturales

La frecuencia natural o de resonancia de un sistema es aquella frecuencia que tiene una tendencia o facilidad para vibrar. Todo sistema posee una o varias frecuencias naturales de forma que al ser excitadas se producirá un aumento importante de vibración. La fórmula de la frecuencia natural es:

$$w_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (2.2)$$

Siendo m la masa y K la rigidez. De esta fórmula se deduce que si la rigidez aumenta, la frecuencia natural también aumentará, y si la masa aumenta, la frecuencia natural disminuye. (Sinais, ingeniería de mantenimiento, 2013)

2.2.3. Espectro de respuesta

En forma general, se puede definir al espectro como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad. En estos gráficos, se representa en abscisas el periodo propio de la estructura (o la frecuencia) y en ordenadas la respuesta máxima

calculada para distintos factores de amortiguamiento. (Universidad nacional de cuyo, 2002)

La importancia de estos espectros de respuesta en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: los valores de respuesta máxima, que son usualmente los requeridos por el diseñador para el cálculo de estructuras.

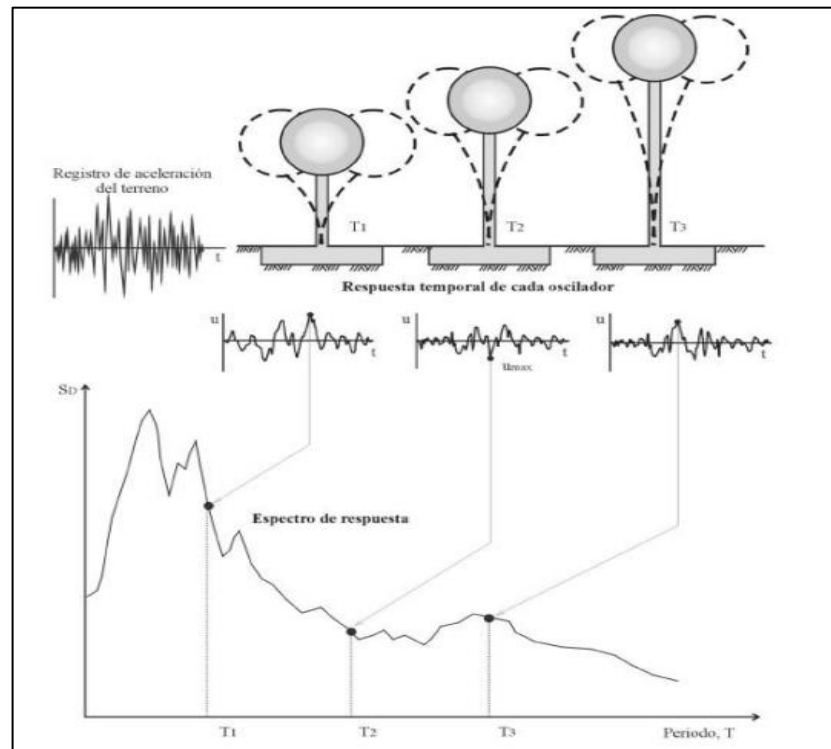


Figura 2 – Grafico indicativo del método de determinación del espectro de respuesta

Fuente: Espectro de respuesta, Universidad de cuyo, 2002

2.2.4. Sistemas de un grado de libertad

Un sistema de un grado de libertad (1 GDL) se define como aquel en que sólo es posible un tipo de movimiento, es decir, la posición del sistema en cualquier instante puede ser definida por la de una sola coordenada.

La utilidad de un sistema tan simple reside en que permite establecer de manera muy directa y sencilla diversos conceptos útiles en la comprensión de sistemas dinámicos más complejos. Asimismo muchas estructuras

simples pueden ser representadas razonablemente como un sistema de 1 GDL. La solución de sistemas complejos puede obtenerse reduciendo el problema a uno de 1 GDL, así como ser parte de la solución de problemas con mayor número de variables que pueden reducirse a una combinación de sistemas de un GDL. (Biggs, J. 1971)

2.2.5. Desplazamientos laterales en pórticos

La finalidad del análisis global de pórticos es obtener la distribución de los esfuerzos y los correspondientes desplazamientos de la estructura sometida a una carga dada. Para conseguir este propósito es necesario adoptar modelos adecuados, basados en varias suposiciones que incluyen tanto el comportamiento geométrico de la estructura y sus elementos como el comportamiento de las secciones y las uniones.

2.2.5.1. Análisis Estático

Las estructuras sometidas a cargas estáticas, tales como las representadas por el peso propio de la estructura y las cargas de uso, suelen modelarse como estructuras hiperestáticas linealmente elásticas, para las cuales es válido el principio de superposición. Esto permite relacionar las fuerzas y las deformaciones a través de la fórmula simple:

$$f = K * u \quad (3.2)$$

f = vector de fuerzas externas

u = vector de deformaciones

K = Matriz de rigidez

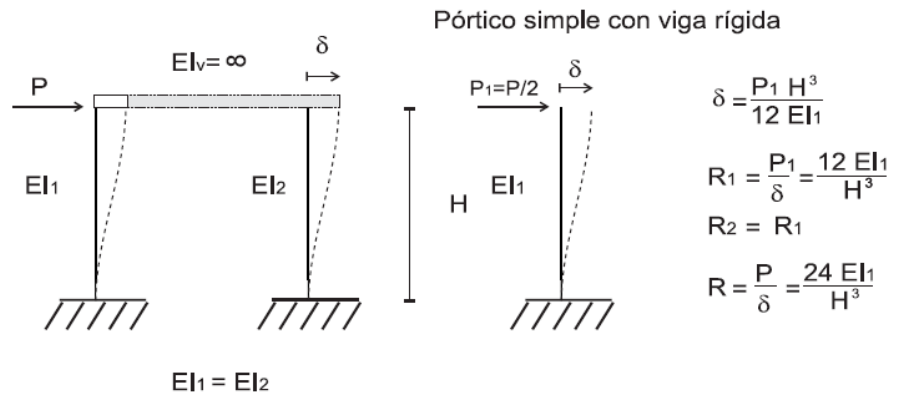


Figura 3: Rigidez de un pórtico deformado por flexión

Fuente: Análisis de edificios en altura, Universidad de Valencia

2.2.5.2. Análisis Dinámico

Realizaremos nuestro estudio de dinámica estructural con el análisis de un sistema simple y fundamental, el sistema con un grado de libertad en el cual despreciamos las fuerzas de amortiguación. Además, vamos a considerar a este sistema como si estuviera libre de la acción de fuerzas exteriores durante su movimiento vibratorio. En estas condiciones, el sistema en movimiento estaría gobernado solo por la influencia de las llamadas *condiciones iniciales*, o sea el desplazamiento y la velocidad, específicamente en el instantes $t=0$, cuando se inicia el estudio del sistema. Este sistema con un grado de libertad se conoce como *oscilador simple sin amortiguación*. Y se representa de la siguiente manera.

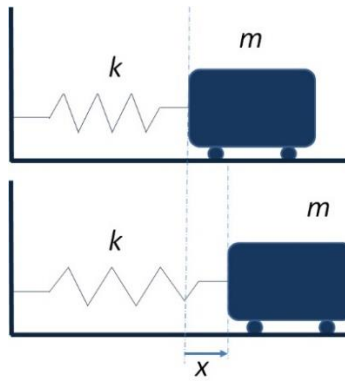


Figura 4: Sistema de un grado de libertad
Fuente: www.FisicaLab.com

En este modelo, la masa m está restringida por el resorte k a moverse linealmente a lo largo de un eje de coordenadas.

En las regiones propensas a los sismos el principal problema de dinámica estructural que afecta a los ingenieros estructurales es el comportamiento de las estructuras sometidas a movimientos de la base de la estructura inducidos por sismos. El desplazamiento del terreno se indica por u_g , el desplazamiento total (o absoluto) de la masa por u^t , y el desplazamiento relativo entre la masa y el terreno por u . En cada instante de tiempo, estos desplazamientos se relacionan mediante:

$$u^t(t) = u_g(t) + u(t) \quad (4.2)$$

Tanto u como u_g se refieren al mismo marco de referencia inercial y sus direcciones positivas coinciden.

A partir del diagrama de cuerpo libre que incluye la fuerza de inercia fI , mostrada en la figura 4, la ecuación de equilibrio dinámico es:

$$fI + fD + fS = 0 \quad (5.2)$$

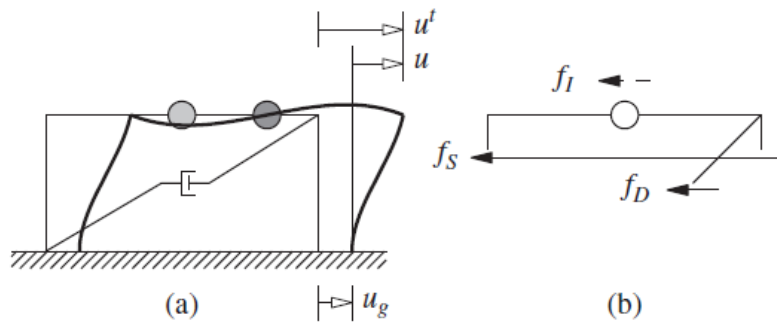


Figura 5: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: Análisis de edificios en altura, Universidad de Valencia

Sólo el movimiento relativo u entre la masa y la base, debido a la deformación estructural, produce fuerzas elásticas y de amortiguamiento (es decir, el componente de cuerpo rígido del desplazamiento de la estructura no produce fuerzas internas). La fuerza de inercia f_I se relaciona con la aceleración \ddot{u}^t de la masa mediante

$$f_I = m\ddot{u}^t \quad (6.2)$$

$$f_D = c\dot{u} \quad (7.2)$$

$$f_S = ku \quad (8.2)$$

Al sustituir las ecuaciones (6.2), (7.2) y (8.2) en (4.2), se obtiene:

$$m\ddot{u}^t + c\dot{u} + ku = 0 \quad (9.2)$$

Reemplazando ecuación (5) en (10), se obtiene:

$$\begin{aligned} m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + c\dot{u} + ku &= 0 \\ m\ddot{u} + c\dot{u} + ku &= -m\ddot{u}_g \end{aligned} \quad (10.2)$$

Esta es la ecuación del movimiento que controla el desplazamiento relativo o la deformación u de la estructura elástica lineal de la figura sometida a la aceleración del terreno \ddot{u}_g .

Al comparar las ecuaciones, se observa que las ecuaciones de movimiento para la estructura sometida a dos excitaciones distintas [la aceleración del terreno $\ddot{u}_g(t)$ y la fuerza externa $= -m\ddot{u}_g(t)$] son una misma.

Así, el desplazamiento relativo o deformación $u(t)$ de la estructura debida a la aceleración del terreno $\ddot{u}_g(t)$ será idéntica al desplazamiento $u(t)$ de la estructura si su base fuese estacionaria y se sometiera a una fuerza externa $= -m\ddot{u}_g(t)$.

Entonces, el movimiento del terreno puede sustituirse por la fuerza sísmica efectiva:

$$p(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (11.2)$$

Esta fuerza es igual a la masa por la aceleración del terreno, que actúa opuesta a la aceleración. Es importante reconocer que la fuerza sísmica efectiva es proporcional a la masa de la estructura. Por lo tanto, si la masa estructural se incrementa, el diseñador estructural aumentará la fuerza sísmica efectiva.

Métodos de solución de la ecuación diferencial

La ecuación de movimiento para un sistema lineal de 1GDL sometido a una fuerza externa es la ecuación diferencial de segundo orden que se obtuvo con anterioridad:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (12.2)$$

Para definir por completo el problema es necesario especificar el desplazamiento inicial $u(0)$ y la velocidad inicial $\dot{u}(0)$ en el tiempo cero. Por lo regular, la estructura está en reposo antes de la aparición de la excitación dinámica, de modo que la velocidad inicial y el desplazamiento inicial son cero. En las siguientes secciones se realiza una revisión breve de los cuatro métodos de solución.

Solución clásica

La solución completa de la ecuación diferencial lineal de movimiento consiste en la suma de la solución complementaria $u_c(t)$ y la solución particular $u_p(t)$, es decir, $u(t) = u_c(t) + u_p(t)$. Como la ecuación diferencial es de segundo orden, se involucran dos constantes de integración. Éstas aparecen en la solución complementaria y se evalúan a partir del conocimiento de las condiciones iniciales.

Ejemplo

Considere una fuerza escalonada: $p(t) = p_0, t \geq 0$. En este caso, la ecuación diferencial de movimiento para un sistema sin amortiguamiento (es decir, $c = 0$) es:

$$m\ddot{u} + ku = p_0$$

La solución particular para la ecuación es:

$$u_p(t) = p_0/k \quad (13.2)$$

Y la solución complementaria es:

$$u_c(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t \quad (14.2)$$

Donde A y B son constantes de integración y $\omega_n = \sqrt{k/m}$.

$$u(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t + p_0/k \quad (15.2)$$

Si el sistema está inicialmente en reposo, $u(0) = 0$ y $\dot{u}(0) = 0$ en $t = 0$. Es posible determinar las constantes A y B para estas condiciones iniciales:

$$A = -p_0/k, \quad B = 0$$

Al sustituir la ecuación en la ecuación se obtiene:

$$u(t) = p_0/k(1 - \cos \omega_n t) \quad (16.2)$$

La solución clásica será el principal método que se utilizará aquí a fin de resolver la Ecuación diferencial para la vibración libre y para las excitaciones que pueden describirse de manera analítica, como las fuerzas escalonadas, armónicas y de impulso.

CAPITULO III

3. Metodología de la investigación

3.1. Población y Muestra

3.1.1. Población

No presenta

3.1.2. Muestra

Prototipos de ensayo – Pórtico de Aluminio

3.1.3. Unidad de Análisis

Desplazamientos generados en escala real Análisis teórico y experimental

3.2. Método

3.2.1. Tipo de investigación

Experimental:

Es un proceso sistemático y una aproximación científica a la investigación en la cual el investigador manipula una o más variables y controla y mide cualquier cambio en otras variables.

3.2.2. Diseño de la investigación

El trabajo realizado fue de tipo experimental, debido a que la variable dependiente a estudiar se determina únicamente por ensayos controlados, al igual que la obtención de las características de la variable independiente.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

3.2.3.1 Variables de estudio

- Dependiente:
Comportamiento de un pórtico a escala.
- Independiente:
Mesa de vibración de un grado de libertad.

3.2.3.2. Operacionalización de las variables

Variable dependiente:

- Desplazamientos laterales:
Excentricidades producidas por fuerzas externas, actuantes sobre una determinada estructura al afectar su estado de equilibrio.
- Fuerza basal:
- Módulo de elasticidad
- Frecuencia Natural del Portico

Variable independiente:

- Vibración inducida:
La vibración que se inducirá mediante el motor de 1hp que generara el movimiento horizontal por el cual se obtendrá parámetros para utilizar en el cálculo estructural del pórtico a escala para encontrar su desplazamiento.
- Frecuencia natural del motor.
Cantidad de vueltas que da el eje del motor en un periodo de tiempo determinado, cuyo valor es clave para obtener la aceleración de la base.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Comportamiento de un pórtico a escala.	Desplazamientos laterales	Excentricidad producida por fuerza externa.
	Fuerza basal	Fuerza en la base producida por una aceleración de la misma.
	Módulo de elasticidad	Comportamiento elástico del material del pórtico.
	Frecuencia natural del pórtico	Cantidad de oscilaciones en un periodo de tiempo.
Mesa de vibración de un grado de libertad.	Vibración inducida	Movimiento horizontal de mesa de vibración que generará una fuerza basal.
	Frecuencia natural del motor	Cantidad de vueltas que da el motor en un periodo de tiempo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Instrumentos

Mesa vibratoria: especificaciones técnicas

PARÁMETROS	DIMENSIÓN
Longitud de plataforma	0.80 m
Ancho de plataforma	0.80 m
Peso máximo de soporte	57 kg
Grados de Libertad de desplazamiento	1 (horizontal)
Aceleración máxima	7.31 s/m ²
Frecuencia máxima de operación	1 Hz

Pórtico:

PARÁMETROS	DIMENSIÓN
Altura de columnas	0.50 m
Longitud de viga	0.30 m
Material del pórtico	Aluminio
Peso de pórtico	0.208 g

3.3.2. Procedimiento y análisis de datos

Se definieron 5 frecuencias para el movimiento del sistema de vibración, para ello se debió realizar el siguiente procedimiento

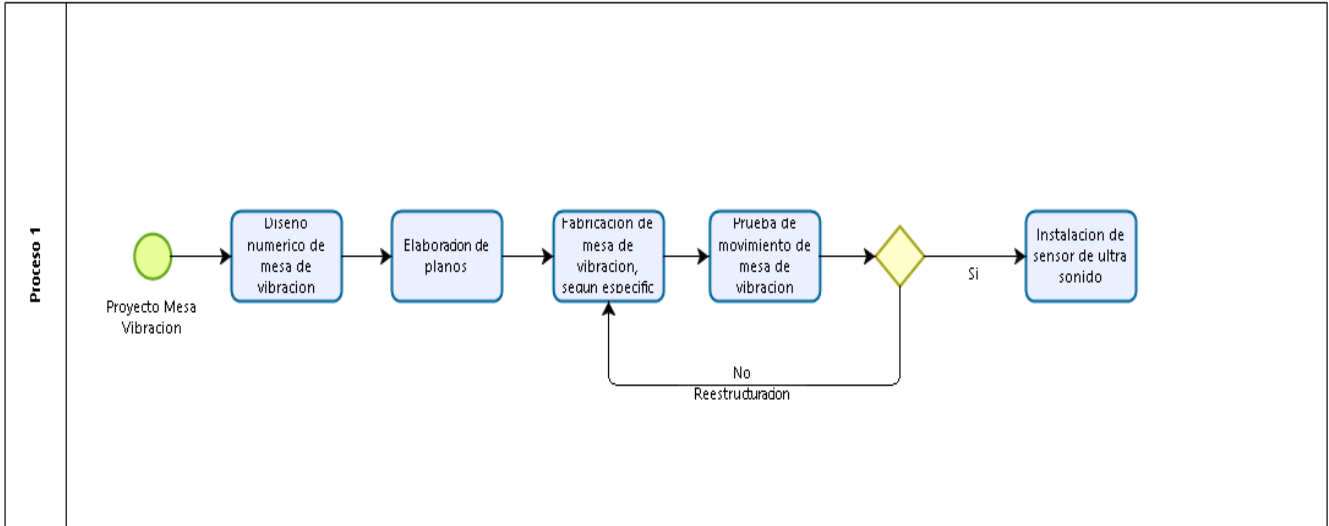
- Convertir la frecuencia registrada por el variador de velocidad a la frecuencia de salida del sistema mediante la fórmula adecuada.
- Transformación de la frecuencia de salida en una frecuencia angular en rad/s para tener datos manejables y trabajables
- Calculo de la aceleración de la mesa de vibración en función a la frecuencia de salida.
- Definir la fuerza basal en el instante en el que la frecuencia de salida está trabajando
- Calculo de inercia respecto a las secciones de los elementos vigas y columna del pórtico a ensayar.
- Obtener rigidez de cada elemento del Pórtico para calcular la rigidez lateral
- Someter al pórtico a la fuerza basal inducida por la mesa vibratoria y con los datos de rigidez encontrar desplazamiento de pórtico a partir de análisis estático y dinámico.

CAPITULO IV

4. Desarrollo de la tesis

4.1. Mesa Vibratoria

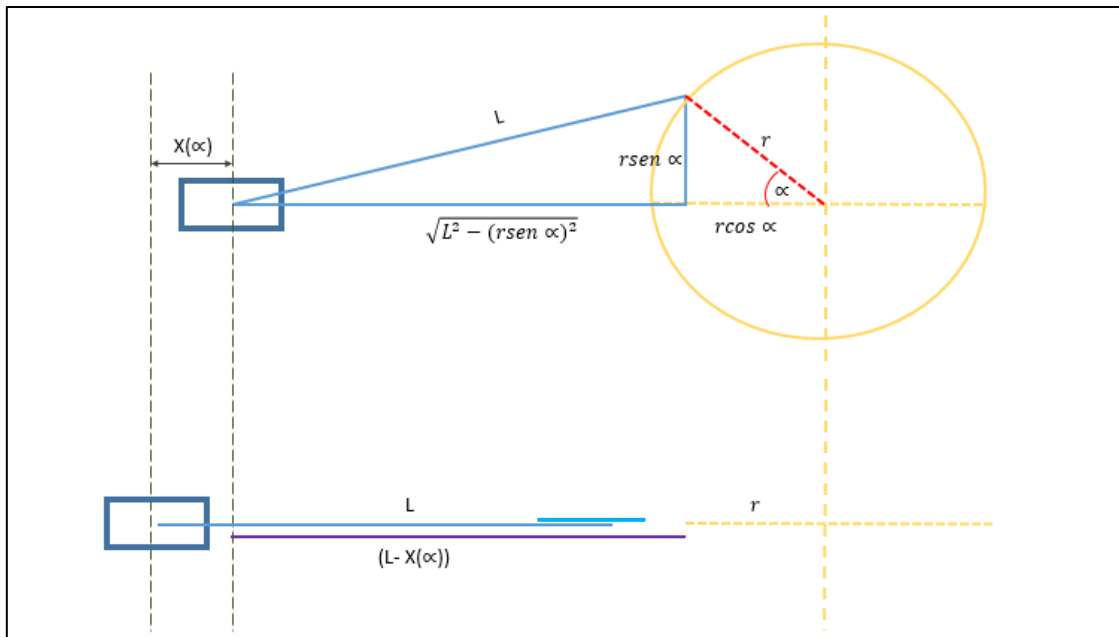
4.1.1. Flujo grama



4.1.1.1. Diseño numérico de mesa de vibración

Modelo Matemático de mesa vibratoria: Formulas para dimensionamiento de mesa de vibración

Para la fabricación de nuestra mesa de vibración, tomamos como referencia el Movimiento Armónico Simple (MAS), asumiendo que su movimiento de análisis se desarrollara bajo una frecuencia constante. Para ello se realizó la siguiente expresión gráfica asumiendo que el eje del movimiento de la mesa y el radio del timón de giro forman un ángulo.



Fuente: Propia

Por lo tanto, según la gráfica antes mencionada podemos deducir lo siguiente:

$$L^2 = (r \operatorname{sen} \alpha)^2 + y^2$$

$$y^2 = L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2$$

$$y = \sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2}$$

$$(L - X(\alpha)) + r = \sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2} + r \cos \alpha$$

$$X(\alpha) = (L + r) - \sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2} - r \cos \alpha$$

Ecuación del movimiento de mesa vibratoria:

$$X(\alpha) = (L + r) - \sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2} - r \cos \alpha$$

(4.1)

Calculo de velocidad de mesa vibratoria (según posición del “x”)

$$v(\alpha) = \frac{dX(\alpha)}{dt}$$

$$v(\alpha) = \frac{d(L+r)}{dt} + \frac{d(\sqrt{L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2})}{dt} + \frac{d(r \cos \alpha)}{dt}$$

$$v(\alpha) = \frac{d(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{1/2}}{dt} - \frac{r(-\operatorname{sen} \alpha)d(\alpha)}{dt}$$

$$v(\alpha) = \frac{1}{2}(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} x \frac{-2r^2(\operatorname{sen} \alpha)(\cos \alpha)d(\alpha)}{dt} + \frac{r \operatorname{sen} \alpha d(\alpha)}{dt}$$

$$v(\alpha) = \frac{d(\alpha)}{dt} \left(-\frac{r^2}{2}(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} x 2(\operatorname{sen} \alpha)(\cos \alpha) + r(\operatorname{sen} \alpha) \right)$$

$\frac{d(\alpha)}{dt} = w$

$$v(\alpha) = w \left(-\frac{r^2}{2}(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} x 2(\operatorname{sen} \alpha)(\cos \alpha) + r(\operatorname{sen} \alpha) \right)$$

(4.2)

Calculo de aceleración de mesa vibratoria

$$a(\alpha) = \frac{d \left(w \left(-\frac{r^2}{2}(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} x (\operatorname{sen}(2\alpha)) \right) \right)}{dt} + \frac{d(r \operatorname{sen} \alpha)}{dt} w$$

$$a(\alpha) = \frac{d(w(\mu)x(\gamma))}{dt} + r \cos \alpha * \frac{d(\alpha)}{dt} w$$

$$a(\alpha) = w(\mu' \gamma + \mu \gamma') + r \cos \alpha \left(\frac{d \alpha}{dt} \right) * w$$

$$\mu = -\frac{r^2}{2}(L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\mu' = \left(-\frac{1}{2}\right) \left(-\frac{r^2}{2}\right) (L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{3}{2}} (-2(r^2 \operatorname{sen} \alpha)(\cos \alpha))$$

$$\mu' = \left(-\frac{r^4}{4}\right) (L^2 - (r \operatorname{sen} \alpha)^2)^{-\frac{3}{2}} (\operatorname{sen} 2 \alpha) \frac{d \alpha}{dt}$$

$$\gamma = \operatorname{sen}(2 \alpha)$$

$$\gamma' = \cos(2 \alpha) * 2 \frac{d \alpha}{dt}$$

$$a(\alpha) = w \left(-\frac{r^4}{4} (L^2 - (r \sin \alpha)^2)^{-\frac{3}{2}} * (\sin 2\alpha) \frac{d\alpha}{dt} * (\sin 2\alpha) \right) + w \left(\frac{r^2}{2} (L^2 - (r \sin \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} \right) \left(2 * \cos(2\alpha) * \frac{d\alpha}{dt} \right) + w * r \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

$$a(\alpha) = w^2 \left(-\frac{r^4}{4} (L^2 - (r \sin \alpha)^2)^{-\frac{3}{2}} * (\sin 2\alpha)^2 \right) - w^2 \left(\frac{r^2}{2} (L^2 - (r \sin \alpha)^2)^{-\frac{1}{2}} (2 \cos(2\alpha)) \right) + w^2 r \cos \alpha \quad (4.3)$$

Finalmente podemos conocer con exactitud los valores teóricos para el desplazamiento, velocidad y aceleración en función en la posición en la que se encuentra nuestra mesa de vibración.

Análisis de la potencia del motor

En el cálculo de la potencia del motor necesaria para lograr el movimiento de la mesa y vencer la resistencia que podría generar el roce de los rodamientos con los rieles, se tuvo que determinar primero la resistencia máxima necesaria para mover la mesa de vibración.

$$F = \mu_s \times N \quad (4.4)$$

μ_s : Coeficiente de fricción

N: Peso de cargas

$$N = (P1 + P2) \times 10 \quad (4.5)$$

P1: Masa de la mesa

P2: Masa de prototipo

Reemplazando (4.5) en (4.4)

$$F = \mu_s \times (P1 + P2) \times 10 \quad (4.6)$$

Para definir el valor del coeficiente de fricción, tomar en cuenta los datos de la Figura 06 en la cual usaremos como dato de μ_s el correspondiente a “Rodamiento de bolas de contacto angular” el cual tiene un valor de $\mu_s = 0.0015$

Tipos de Rodamientos	Valores aprox. de μ
Rodillos de Bolas de Ranura Profunda	0.0013
Rodillos de Bolas de Contacto Angular	0.0015
Rodillos de Bolas Auto-alineantes	0.0010
Rodillos de Bolas de Empuje	0.0011
Rodamientos de Rodillos Cilíndricos	0.0010
Rodamientos de Rodillos Cónicos	0.0022
Rodamientos de Rodillos Esféricos	0.0028
Rodamientos de Agujas con Jaula	0.0015
Rodamientos de Agujas de Complemento Total	0.0025
Rodamientos de Rodillos Esféricos de Empuje	0.0028

Figura 6: Tipos de rodamientos

Fuente: www.Rodamientos.mx

Una vez calculado el valor de la fuerza necesaria para poder vencer la inercia propia de la mesa, procedemos a calcular la potencia necesaria para poder generar el movimiento de nuestra mesa de vibración, para lo cual nos valemos de la siguiente formula:

$$P = \frac{F \times 2\pi \times r \times n}{60 \times 1000} \quad (4.7)$$

Análisis de peso máximo que puede soportar la mesa de vibración

Para calcular la resistencia máxima de nuestra mesa de vibración se tuvo que tomar en cuenta el valor máximo del peso de la estructura el cual se calculó de la siguiente manera:

Elemento	Cant	Peso
Tubos cuadrados metálicos	---	10.00 kg
Tablero de MDF – Superficie de apoyo y trabajo	01	5.20 kg
Tablero de MDF – Tablero de medición de desplazamientos	01	1.36 kg
Soporte de Cámara + Cámara	01	2.00 kg
		18.56 kg

A continuación se tomaron en cuenta los valores siguientes

- Número de rodamientos empleados: 08 Unidades
- M_t : Peso total de la estructura móvil:
- M_p : Peso máximo de prototipo:
- r : Resistencia máxima admisible de rodamiento:

$$8r = M_t + M_p \quad (4.8)$$

$$M_p = 8r - M_t$$

$$M_p = 8 \times 9.36 - 18.56$$

$$\mathbf{M_p = 56.32 \text{ kg}}$$

Una vez calculado el peso máximo del prototipo y el peso de la mesa móvil podemos reemplazar los valores en la formula (4.6) Con el propósito de calcular la fuerza máxima de la mesa de vibración.

$$F = \mu_s \times (P_1 + P_2) \times 10$$

$$F = 0.0015 \times (18.56 + 56.32) \times 10$$

$$F = 1.12 \text{ N}$$

Posteriormente procedemos a reemplazar el valor calculado de la formula (4.6) en la formula (4.7) con el propósito de calcular el valor de la potencia de nuestro motor eléctrico.

$$\mathbf{P = \frac{F \times 2\pi \times r \times n}{60 \times 1000}}{0.7355}$$

$$\mathbf{P = \frac{1.12 \times 2\pi \times 0.15 \times 60}{60 \times 1000}}{0.7355}$$

$$\mathbf{P = 0.001435 \text{ hp}}$$

Una vez obtenida la potencia necesaria para generar el movimiento de la mesa de vibración, procedemos a escoger una potencia comercial para, en esta oportunidad se escogió un **motor siemens trifásico de 1 hp** de potencia.

Análisis de reducción de revoluciones

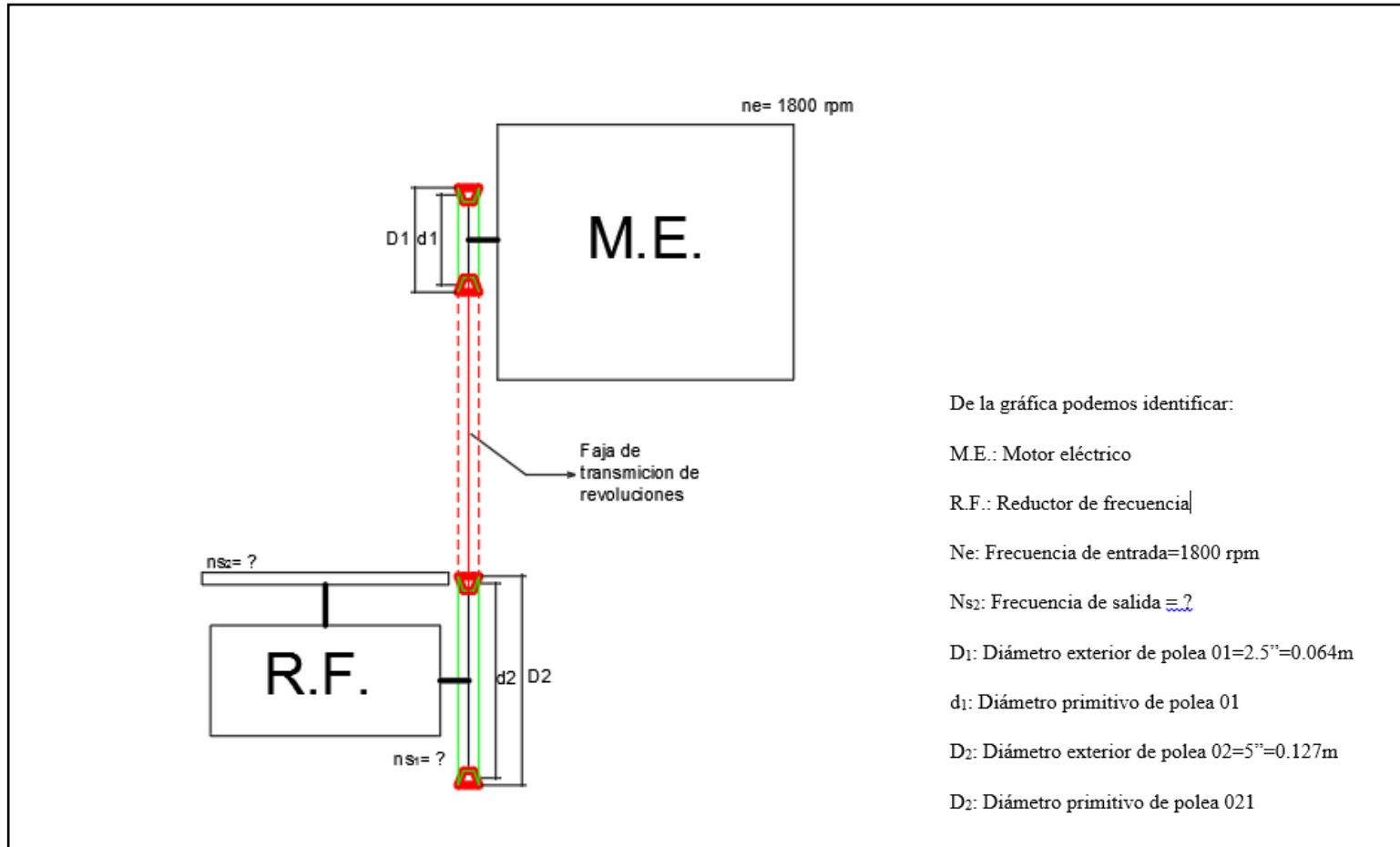
Teniendo en cuenta la potencia seleccionada para el motor, se tuvo que escoger un motor de las siguientes características

- Potencia del motor: 1hp
- Revoluciones del motor: 1800 rpm
- Tipo de corriente: Trifásica
- Marca del motor: Siemens

En nuestro caso en específico se decidió que el rango de frecuencias sería de:

- Frecuencia de salida: 0 ~ 100 rpm
- Frecuencia de entrada: 1800 rpm

Teniendo en cuenta todos los datos presentados a continuación, se decidió realizar un mecanismo capaz de transformar la frecuencia de entrada de 1800 rpm a una frecuencia de salida de un rango de entre (0 ~ 100) rpm



Fuente: Propia

Teniendo en cuenta los datos presentados, procedimos a realizar la transformación de revoluciones, con el uso de las siguientes formulas.

Cálculo de diámetro primitivo de polea 01:

$$d_1 = D_1 - t$$

$$d_1 = 0.064 - 0.0087$$

$$d_1 = 0.0553$$

Cálculo de diámetro primitivo de polea 02:

$$d_2 = D_2 - t$$

$$d_2 = 0.127 - 0.0087$$

$$d_2 = 0.1183$$

Una vez calculados los diámetros primitivos de ambas poleas, procedimos a realizar el cálculo de la frecuencia de salida ns_1 :

$$ns_1 \times d_2 = ne \times d_1 \quad (4.9)$$

$$ns_1 = \frac{ne \times d_1}{d_2}$$

$$ns_1 = \frac{1800 \times 0.0553}{0.1183}$$

$$ns_1 = \frac{1800 \times 0.0553}{0.1183}$$

$$ns_1 = 841.42 \text{ rpm}$$

Una vez calculado el valor máximo de revoluciones de salida ns_1 , procedemos a calcular el valor máximo de revoluciones de salida ns_2 , el cual se obtuvo gracias al uso de un reductor para motor con una relación de reducción de 14:1, para lo cual se realizó la siguiente operación:

$$ns_2 = ns_1 \times \frac{1}{14}$$

$$ns_2 = 841.42 \times \frac{1}{14}$$

$$ns_2 = 841.42 \times \frac{1}{14}$$

$$ns_2 = 60.10 \text{ rpm}$$

Teniendo en cuenta que nuestra mesa de vibración cuenta con un regulador de frecuencia o variador el cual está conectado entre el motor eléctrico de 1800 rpm y la fuente de corriente eléctrica de modo que pueda controlar la frecuencia de salida del motor eléctrico en un rango de entre [20 rpm – 1800 rpm]. Por lo cual para poder leer nuestra frecuencia de salida final de nuestra mesa de vibración es necesario crear una tabla de referencia para lo cual una formula general es imprescindible:

$$ns_1 = \frac{ne \times d_1}{d_2}$$

$$ns_2 = ns_1 \times \frac{1}{14}$$

Reemplazando (ns_1) en (ns_2)

$$ns_2 = \frac{ne \times d_1}{d_2} \times \frac{1}{14}$$

$$ns_2 = \frac{ne \times d_1}{14 \times d_2}$$

En base a la formula general antes presentada, podemos elaborar una tabla guía para poder conocer las frecuencias conocidas múltiplos de 20.

Tabla de frecuencias de variador y de salida

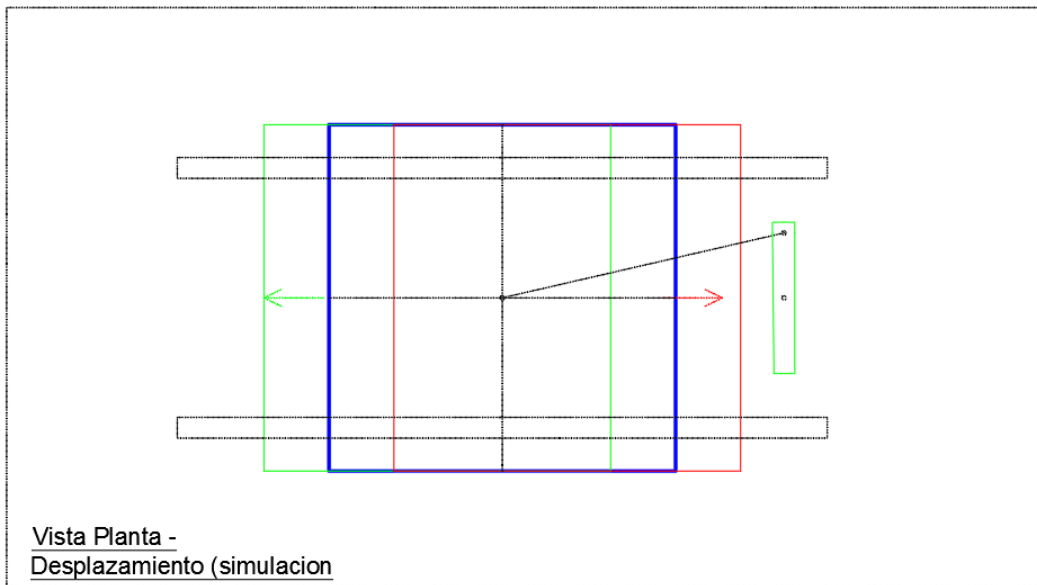
ne	Diametro		ns2	w
	d1	d2		
300	0.0553	0.1183	10.02	1.05
320	0.0553	0.1183	10.68	1.12
340	0.0553	0.1183	11.35	1.19
360	0.0553	0.1183	12.02	1.26
380	0.0553	0.1183	12.69	1.33
400	0.0553	0.1183	13.36	1.40
420	0.0553	0.1183	14.02	1.47
440	0.0553	0.1183	14.69	1.54
460	0.0553	0.1183	15.36	1.61
480	0.0553	0.1183	16.03	1.68
500	0.0553	0.1183	16.69	1.75
520	0.0553	0.1183	17.36	1.82
540	0.0553	0.1183	18.03	1.89
560	0.0553	0.1183	18.70	1.96
580	0.0553	0.1183	19.37	2.03
600	0.0553	0.1183	20.03	2.10
620	0.0553	0.1183	20.70	2.17
640	0.0553	0.1183	21.37	2.24
660	0.0553	0.1183	22.04	2.31
680	0.0553	0.1183	22.70	2.38
700	0.0553	0.1183	23.37	2.45
720	0.0553	0.1183	24.04	2.52
740	0.0553	0.1183	24.71	2.59
760	0.0553	0.1183	25.38	2.66
780	0.0553	0.1183	26.04	2.73
800	0.0553	0.1183	26.71	2.80
820	0.0553	0.1183	27.38	2.87
840	0.0553	0.1183	28.05	2.94
860	0.0553	0.1183	28.72	3.01
880	0.0553	0.1183	29.38	3.08
900	0.0553	0.1183	30.05	3.15
920	0.0553	0.1183	30.72	3.22
940	0.0553	0.1183	31.39	3.29
960	0.0553	0.1183	32.05	3.36
980	0.0553	0.1183	32.72	3.43
1000	0.0553	0.1183	33.39	3.50
1020	0.0553	0.1183	34.06	3.57
1040	0.0553	0.1183	34.73	3.64

Fuente: Propia – Cuadro de transformación de frecuencias.

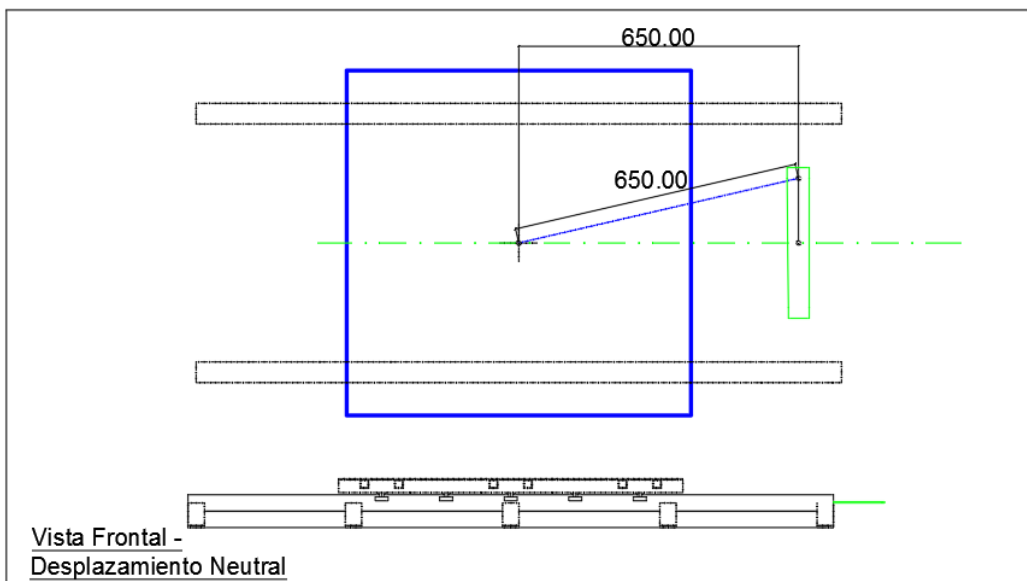
4.1.1.2. Elaboración de Planos

Plano de simulación de desplazamiento + vista frontal de desplazamiento neutro

Luego de la descripción analítica del movimiento de la mesa de vibración se desarrollaron los planos correspondientes al sistema de desplazamiento, soporte y estructura propia de la mesa los cuales se muestran en las siguientes imágenes.



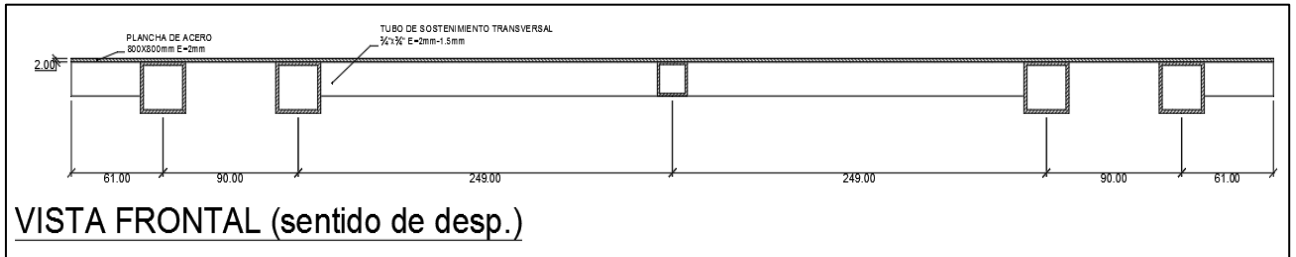
Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Vista frontal de mesa de vibración (Esqueleto de soporte)

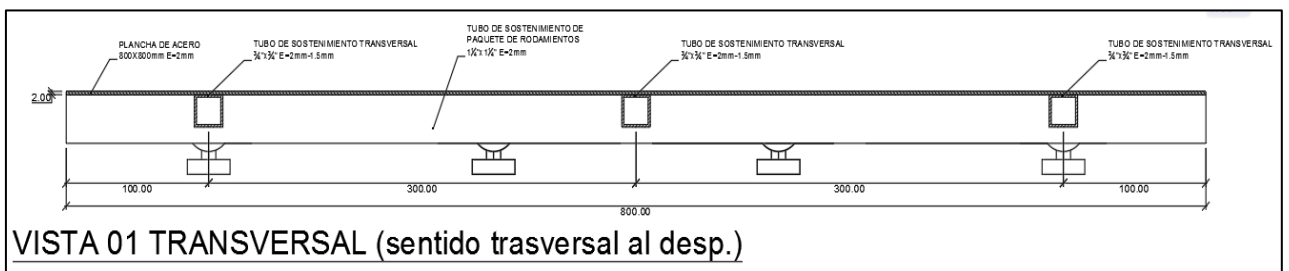
A continuación mostramos las medidas de las vigas de soporte que se encuentran en el sentido del movimiento, en la gráfica apreciamos 4 vigas principales las cuales se encargaran de transmitir el peso hacia los rieles y también se consideró una viga de centro para evitar la torsión durante el movimiento.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

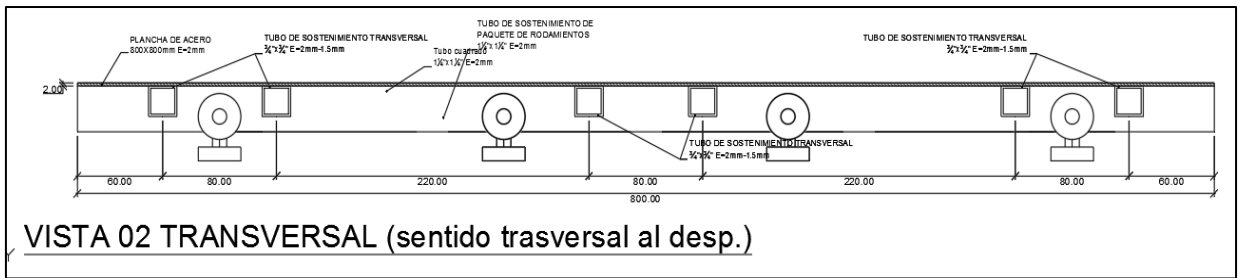
Vista transversal al movimiento de mesa de vibración (Esqueleto de soporte)

En esta vista, podemos apreciar las vigas de sostenimiento de $\frac{3}{4}'' \times \frac{3}{4}''$ (e=1.5mm) que se encargan de transmitir directamente hacia las vigas principales de $1 \frac{1}{4}'' \times 1 \frac{1}{4}''$ (e=2mm) además presentamos la distancia exacta a la que deben colocarse.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

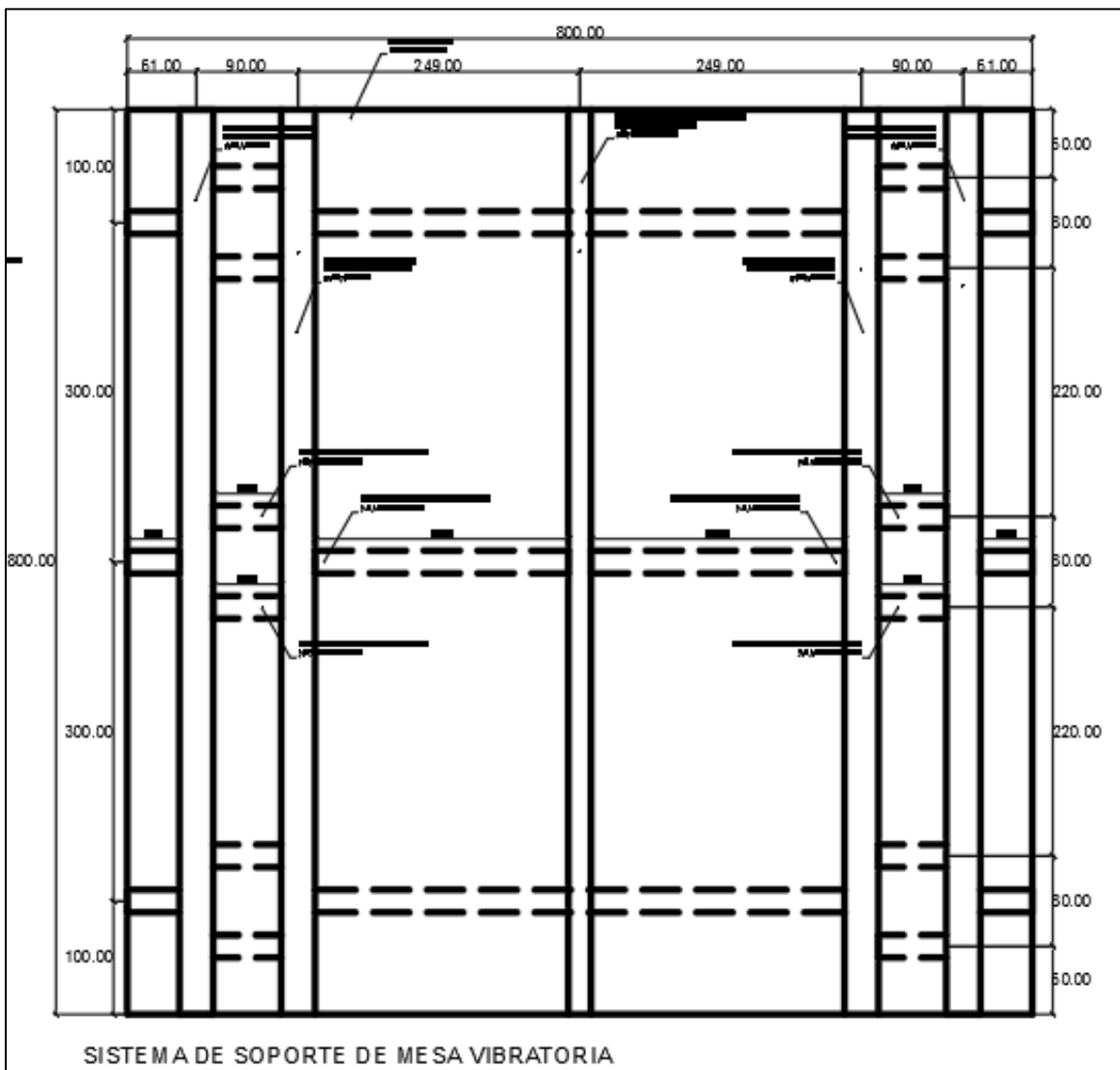
En este plano podemos apreciar vigas de separación las cuales se encargan de crear un espacio adecuado entre las vigas principales y lograr que los rodamientos horizontales logren generar el mínimo rozamiento con la pared lateral del riel.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Vista en planta (Esqueleto de soporte)

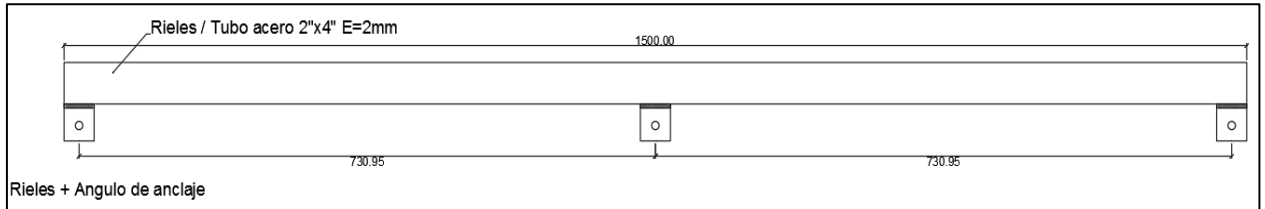
A continuación podemos apreciar claramente las medidas del esqueleto de soporte que conforma la mesa de vibración, de modo que se puede realizar el replanteo del mismo con total perfección. (Ver detalle en anexos)



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Detalle de riel + Angulo de anclaje

En la siguiente imagen, mostramos la separación adecuada de los ángulos de anclaje que se encargaran de fijar los rieles de 2"x4" (e=2mm) hacia los pedestales



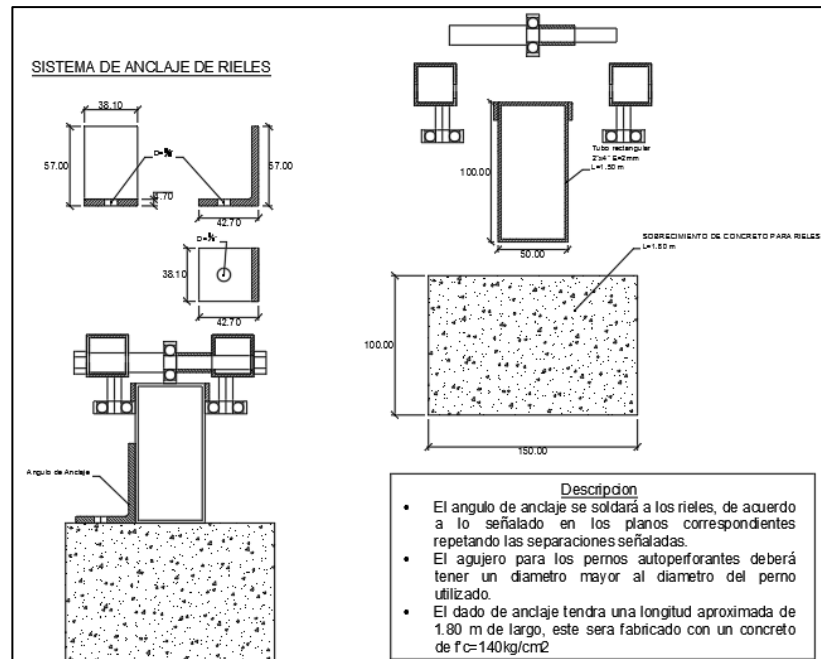
Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Procedimiento constructivo para esqueleto de soporte + rieles y ángulos de anclaje

Descripcion
<ul style="list-style-type: none">• Se colocará primero el tubo guía principal de $\frac{3}{4}$" al cual se soldaran los tubos transversales de sostenimiento de $\frac{3}{4}$", tal y como se indica en el plano.• Los tubos donde se colocaran los paquetes de rodamientos, serán tubos cuadrados de $1\frac{1}{4}$" de lado.• Primero se soldaran los paquetes de rodamientos a los tubos de $1\frac{1}{4}$" y luego estos serán unidos a los tubos transversales de sostenimiento de $\frac{3}{4}$" de lado, tal y como indican los planos.• Una vez terminada la red de sostenimiento, se colocará la plancha de acero de 800mm X 800mm con espesor de 2mm o menos.• Los ganchos de anclaje angulares serán soldados a los rieles de 2"x4" tal y como se indica.

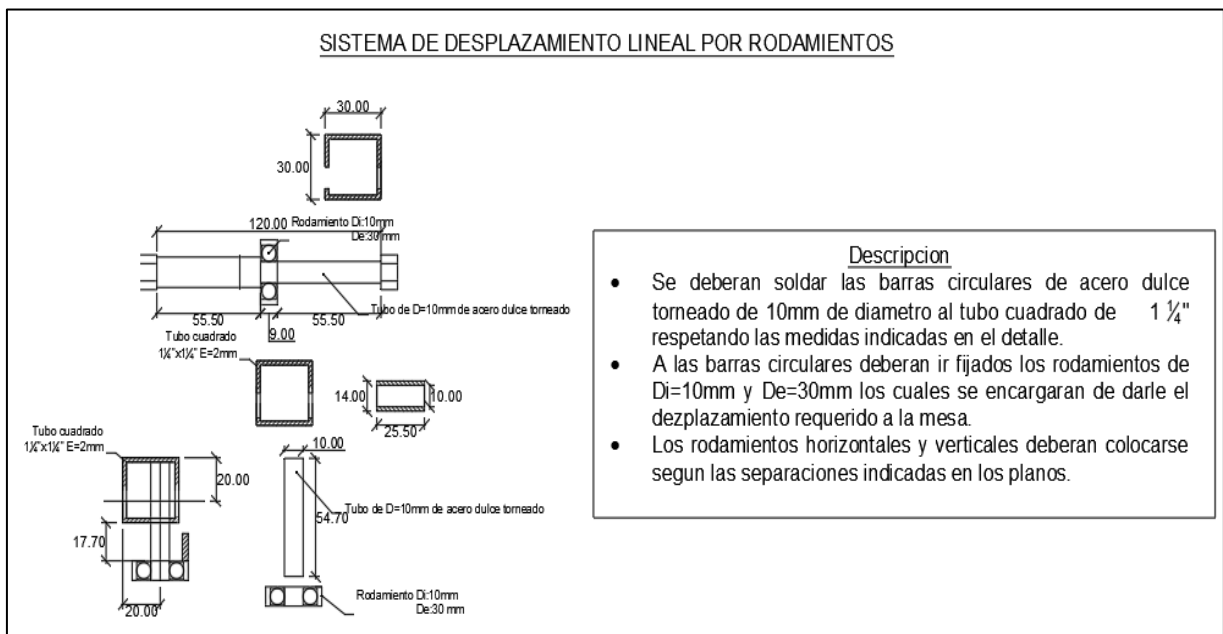
Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Detalle de rieles de anclaje + acoplamiento de rodamiento a sistema de rieles

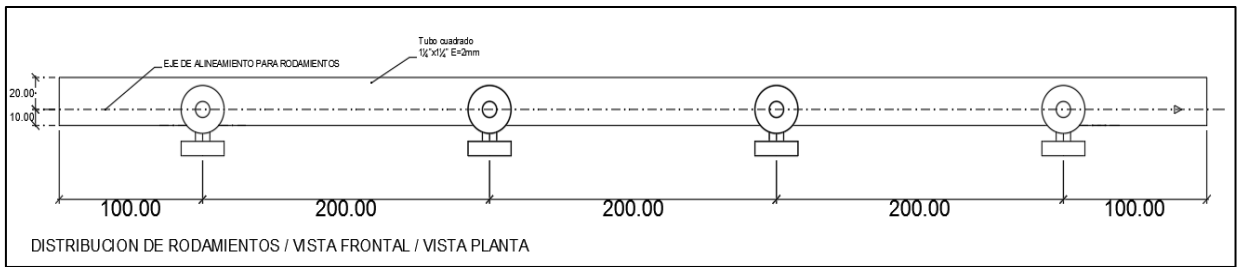


Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Detalle de ensamblaje de rodamientos verticales y horizontales + distribución de rodamientos



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

4.1.1.3. Fabricación de mesa vibratoria

Al finalizar la elaboración de los planos respectivo, procedimos a realizar el replanteo de nuestro esqueleto de soporte en una mesa de trabajo, para lo cual contamos ya con los materiales indicados en los planos, como:

- Tubo cuadrado de 1 1/4" x 1 1/4" e=2mm
- Tubo cuadrado de 3/4" x 3/4" e=1.5mm

Posteriormente procedemos a realizar los cortes a medida de nuestra mesa de vibración.

Recordar realizar en las vigas principales de 1 1/4" x 1 1/4" los agujeros de 20 mm para los ejes de los rodamientos verticales y horizontales, los cuales tendrán las siguientes medidas y especificaciones, además de fabricar los ejes de 20 mm de diámetro, que servirán para soportar los rodamientos y darles las medidas de posición correspondientes.

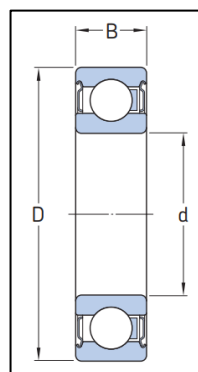
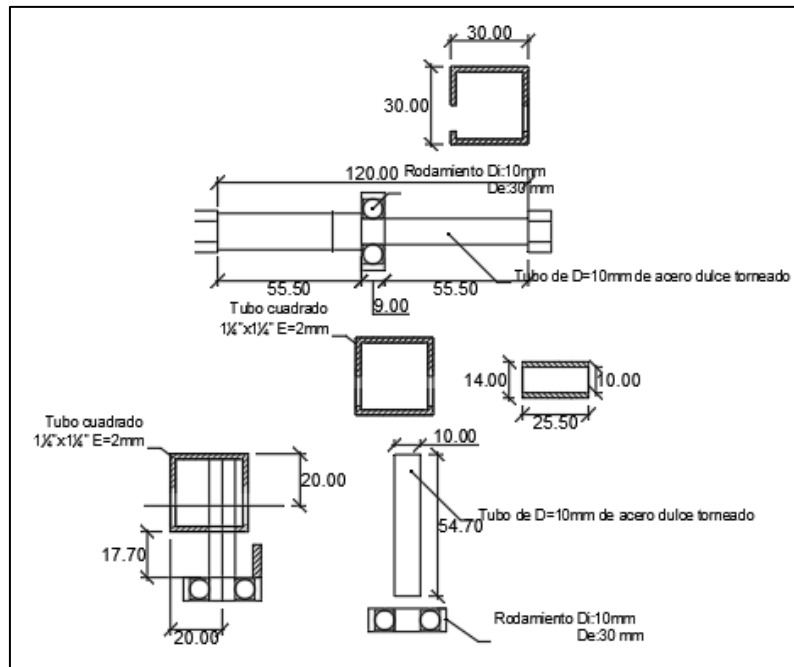


Figura 7: Rodamientos

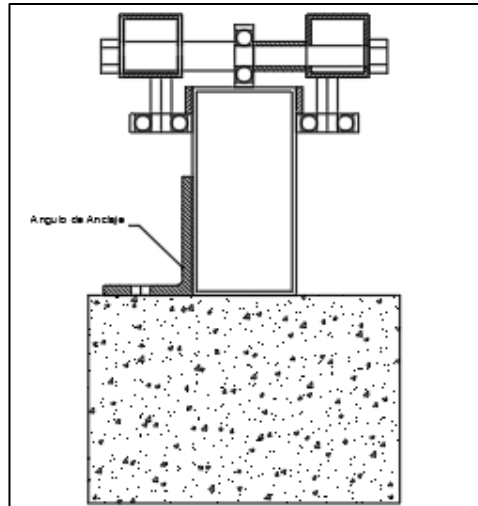
Fuente: Rodamientos SKF- www.skf.com

- Rodamiento rígido de bolas SKF E2-tapados
- $d=20\text{mm}$
- $D=42\text{mm}$
- $B=12\text{mm}$
- Capacidad de carga básica dinámica: 9.36 kN
- Capacidad de carga básica estática: 5 kN
- Carga límite de fatiga: 0.212
- Masa: 0.067 kg
- Designación: E2.6004-2RSH

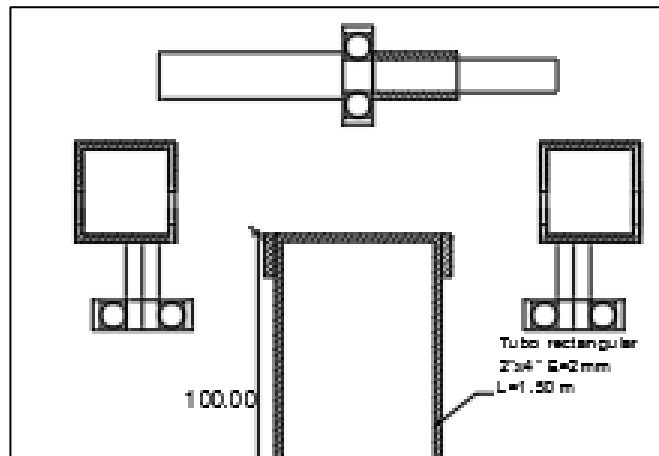
El ensamblaje de los rodamientos se realizará de la siguiente manera:



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.



Fuente: Propia – Ver detalle en Anexos.

Una vez ensamblados los rodamientos a la viga principal, procedemos a unir todos los elementos de nuestro esqueleto utilizando soldadura de arco con electrodos para tubos delgados.



Fuente: Propia – Plataforma móvil terminada.

Al mismo tiempo que se fabrica nuestro esqueleto de soporte, procedemos a construir 06 Pedestales para el soporte de nuestra mesa de vibración, con el fin de estabilizarla y evitar el desplazamiento de todo el sistema. Las medidas para cada pedestal son:

- $b = 0.25\text{m}$
- $a = 0.20\text{m}$
- $h_{\text{sup}} = 0.30\text{m}$
- $h_{\text{suel}} = 0.30\text{m}$
- $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Propia – Montaje de encofrado de madera para pilares.



Fuente: Propia – Montaje de encofrado de madera para pilares.



Fuente: Propia – Pilares desencofrados y terminados.



Fuente: Propia – Pilares desencofrados y terminados.

Una vez construidos los pedestales, procedemos a la instalación de los rieles de nuestra mesa de vibración junto con la mesa de vibración en su posición, para poder realizar las pruebas de ubicación y alineamiento de los ejes.



Fuente: Propia – Montaje de rieles y prueba de plataforma móvil.



Fuente: Propia – Prueba de plataforma móvil y movimiento de rodamientos.

Es importante lograr que el eje de giro del motor coincida con el eje de giro de la chumacera de piso para evitar excentricidades innecesarias. Los ejes mencionados anteriormente serán enlazados mediante una varilla de transmisión de movimiento con longitud $L=1.00\text{m}$ lo suficientemente resistente para absorber aceleraciones altas en los puntos máximos de estas.



Fuente: Propia – Montaje de brazo transmisión + chumacera de base en mesa móvil.

Finalmente colocamos nuestro motor en nuestra base perfectamente adaptada para su instalación. Cabe mencionar que el motor debe conectarse a un variador de voltaje con el objetivo de poder variar las revoluciones de salida del motor.



Soporte para motor

Fuente: Propia – Anclaje de base de apoyo para motor a cemento.

Especificaciones de motor:

- Corriente: Trifásica
- Potencia: 1hp
- Rpm: 1800 rpm



- Marca: Siemens

Especificaciones de variador:

- Corriente: Monofásica
- Potencia: 1hp
- Rpm: 0-1800 rpm
- Marca: Euro drive – Movitrac 07



Instalación de sensor de ultra sonido

Finalmente, al terminar el ensamblaje general de la mesa de vibración y realizar las pruebas de movimiento teniendo como resultado un movimiento sin falla del sistema, procedimos a la instalación de un sensor de ultrasonido para obtener las lecturas de desplazamiento de los prototipos a ensayar.



Fuente: Propia – Sensor de ultrasonido para medición de desplazamientos.



Fuente: Propia – Cable de sensor conectado a microprocesador.

Dicho sensor de ultrasonido se tuvo que conectar con un micro-procesador Arduino-Uno, en el cual se programó de modo que pueda arrojar las lecturas de desplazamiento en un determinado intervalo de tiempo.



Fuente: Propia – Microprocesador Adunino.

4.1.1.4. Prueba de movimiento de mesa vibratoria

Una vez ensamblada nuestra mesa de vibración e instalada a la corriente doméstica, procedimos a realizar las pruebas de movimiento haciendo uso de nuestro variador.



Fuente: Propia – Mesa de vibración terminada – prototipo 01.

Luego de realizar las pruebas, pudimos observar que había un problema en el movimiento del motor el cual se reflejaba en el variador, el cual arrojaba el error “E-06” el cual es un error de sobrecarga del motor. Las conclusiones fueron las siguientes:

- Cuando la mesa alcanza su desplazamiento máximo alcanza también su aceleración máxima en sentido opuesto para lograr su regreso, ese movimiento genera un sobreesfuerzo en el motor,

debido a que este está conectado de manera directa al timón de giro, por lo que el variador arroja un error.

- El peso del timón de giro + la chumacera en el extremo de timón, generaban un peso excesivo que desplazaba el eje del motor provocando daños en el sistema de movimiento del propio motor.
- La conexión del variador con el motor no era la adecuada ya que el variador era de segunda mano y puede haber sufrido problemas en su sistema.

Para lograr solucionar este problema se optaron por distintas soluciones:

- Crear un sistema de poleas que transmitan las revoluciones del motor y a la vez logren reducir su revolución de salida a un intervalo de entre (0 - 60 rpm)
- Instalar un moto-reductor externo, con el propósito de reducir revoluciones sin perder potencia.



Fuente: Propia – Modo reductor + poleas y faja de transmisión de movimiento.

Luego de probar las dos posibles soluciones, la solución más acertada fue el uso del moto-reductor, el cual tiene las siguientes especificaciones:

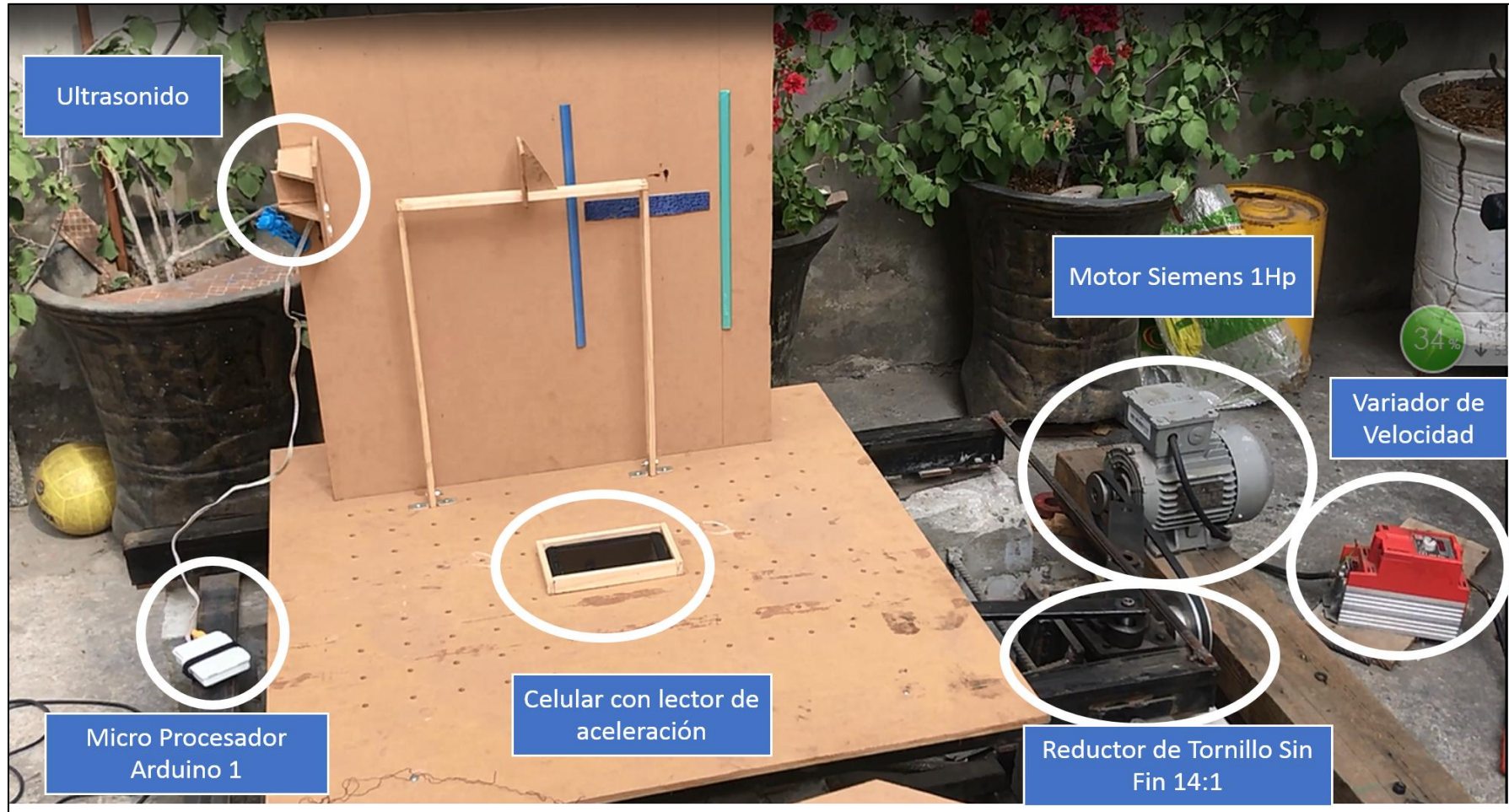
- Razón de reducción: 14:1
- Tipo de mecanismo: Tornillo sin-fin + corona
- Fabricación: Casera



El motor se conectó directamente al moto-reductor mediante un juego de poleas, donde el diámetro de la polea del motor era $D1=2.5''$ y $D2=5''$, el objetivo de este juego de poleas es lograr reducir aún más las revoluciones de salidas de nuestro sistema de modo que podamos obtener un rango de (0 – 60 rpm).

Esta solución logró darle un movimiento constante a nuestra mesa de vibración, evitando sobre-esfuerzos en el motor y transmitiendo el mismo torque.

Mesa de vibración de 01 grado de libertad con frecuencia variable.



Fuente: Propia – Mesa de vibración más partes.

4.1.2. Diagrama "θ vs t" de Mesa vibratoria

4.1.2.1. Análisis teórico

Ecuación de movimiento de mesa de vibración

Luego de calcular la ecuación de movimiento de la mesa de vibración en función del Angulo de giro del timón (θ), se creyó conveniente identificar la ecuación de movimiento en función del tiempo (t).

Se tomaron en cuenta los conceptos de Vibración Libre No Amortiguada, debido a que inicialmente se idealizó un movimiento constante y sin amortiguamiento que actuará en nuestros prototipos de ensayo.

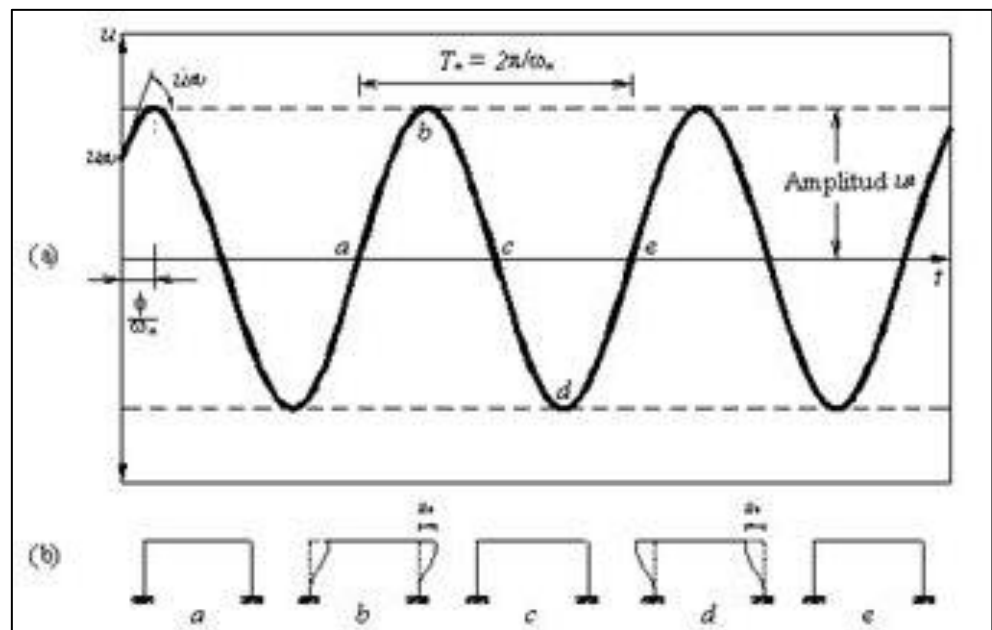


Figura 8: Vibración Libre No Amortiguada

Fuente: mecánica vectorial para ingenieros dinámica, 2009

$$u_{(t)} = A \cdot \cos\omega_n t + B \cdot \text{Sen}\omega_n t$$

Donde:

- $A = x_0$
- $B = \frac{v_0}{\omega_n}$

Calculo de velocidad inicial para ecuaciones de movimiento

Considerando que la mesa de vibración se encuentra en reposo antes del inicio del movimiento nuestras condiciones generales serían:

- $x_0 = 0$
- $v_0 = ?$

Considerando entonces que nuestra ecuación de movimiento sería una función seno tenemos:

$$B \cdot \text{Sen}\omega_n t = B$$

Por lo tanto:

$$\text{Sen}\omega_n t = 1$$

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

Entonces:

$$u_{(t)} = 0 \cdot \text{cos}\omega_n t + \frac{v_0}{\omega_n} \cdot \text{Sen}\omega_n t$$

$$u_{(t)} = \frac{v_0}{\omega_n} \cdot \text{Sen}\omega_n t$$

$$\frac{u_{(t)} \cdot \omega_n}{\text{Sen}\omega_n t} = v_0$$

(4.10)

Teniendo en cuenta que los valores para nuestros ensayos, tenemos:

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s

- $u_{(t)} = 0.15$

- $\omega_n = 1.40$

- $\text{Sen}\omega_n t = 1$

$$\frac{0.15 \times 1.40}{\text{Sen}\omega_n t 1} = v_0$$

$$v_0 = 0.21 \frac{m}{s}$$

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s

- $u_{(t)} = 0.15$

- $\omega_n = 2.10$

- $\text{Sen}\omega_n t = 1$

$$\frac{0.15 \times 2.10}{\text{Sen}\omega_n t 1} = v_0$$

$$v_0 = 0.315 \text{ m/s}$$

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s

- $u_{(t)} = 0.15$

- $\omega_n = 2.80$

- $\text{Sen}\omega_n t = 1$

$$\frac{0.15 \times 2.80}{\text{Sen}\omega_n t 1} = v_0$$

$$v_0 = 0.42 \text{ m/s}$$

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s

- $u_{(t)} = 0.15$

- $\omega_n = 3.50$

- $\text{Sen}\omega_n t = 1$

$$\frac{0.15 \times 3.50}{\text{Sen} \omega_n t 1} = v_0$$

$$v_0 = 0.525 \text{ m/s}$$

Cálculo de ecuación de movimiento según frecuencia de ensayo.

Por lo tanto nuestra ecuación de movimiento para nuestros ensayos con sus respectivas aceleraciones sería:

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s

$$u_{400(t)} = 0.15 \cdot \text{Sen}1.40t$$

$$v_{400(t)} = 0.21 \cdot \text{Cos}1.40t$$

$$a_{400(t)} = -0.294 \cdot \text{Sen}1.40t$$

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s

$$u_{600(t)} = 0.15 \cdot \text{Sen}2.10t$$

$$v_{600(t)} = 0.315 \cdot \text{Cos}2.10t$$

$$a_{600(t)} = -0.6615 \cdot \text{Sen}2.10t$$

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s

$$u_{800(t)} = 0.15 \cdot \text{Sen}2.80t$$

$$v_{800(t)} = 0.42 \cdot \text{Cos}2.80t$$

$$a_{800(t)} = -1.176 \cdot \text{Sen}2.80t$$

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s

$$u_{1000(t)} = 0.15 \cdot \text{Sen}3.50t$$

$$v_{1000(t)} = 0.525. \text{Cos}3.50t$$

$$a_{1000(t)} = -1.8375. \text{Sen}3.50t$$

Cálculo de aceleraciones máximas según frecuencia de ensayo

Teniendo las ecuaciones de movimiento respectivas procedemos a identificar las aceleraciones máximas correspondientes, para ello identificamos el tiempo en el que se produce la aceleración máxima.

$$\text{Sen}\omega_n t = 1$$

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

$$t = \frac{\pi}{2. \omega_n}$$

Por lo tanto para nuestros distintos ensayos tenemos:

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm → 13.36 rpm = 1.40 rad/s

$$t = \frac{\pi}{2. \omega_n} = \frac{\pi}{2 \times 1.40} = 1.122 \text{ s}$$

$$a_{400(1.122)} = -0.294. \text{Sen}1.40(1.122)$$

$$a_{400(1.122)} = -0.294 \text{ m/s}^2$$

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm → 20.03 rpm = 2.10 rad/s

$$t = \frac{\pi}{2. \omega_n} = \frac{\pi}{2 \times 2.10} = 0.748 \text{ s}$$

$$a_{600(0.748)} = -0.6615. \text{Sen}2.10(0.748)$$

$$a_{600(0.748)} = -0.6615 \text{ m/s}^2$$

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm → 26.71 rpm = 2.80 rad/s

$$t = \frac{\pi}{2 \cdot \omega_n} = \frac{\pi}{2 \times 2.80} = 0.561 \text{ s}$$

$$a_{800(0.561)} = -1.176 \cdot \text{Sen}2.80(0.561)$$

$$a_{800(0.561)} = -1.176 \text{ m/s}^2$$

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s

$$t = \frac{\pi}{2 \cdot \omega_n} = \frac{\pi}{2 \times 3.50} = 0.449 \text{ s}$$

$$a_{1000(0.449)} = -1.8375 \cdot \text{Sen}3.50(0.449)$$

$$a_{1000(0.449)} = -1.8375 \text{ m/s}^2$$

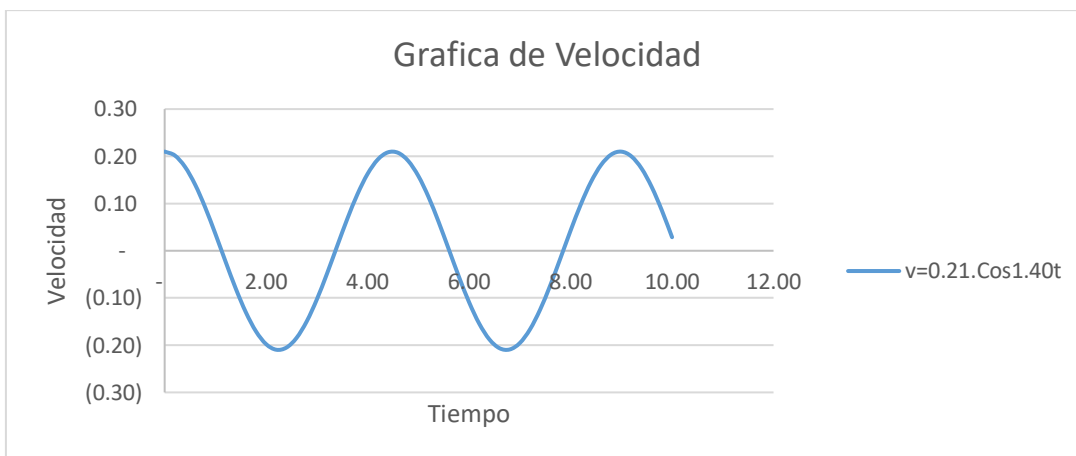
Finalmente, teniendo ya las fórmulas de desplazamiento y aceleración para las frecuencias utilizadas en nuestros ensayos, procedimos a tabular (ver anexo 1) y presentar las gráficas correspondientes.

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s (**Tabla 1 – Ver anexos**)
 - Desplazamiento



Fuente: Propia – Representación gráfica de desplazamiento de mesa de vibración a 1.40 rad/s.

- Velocidad



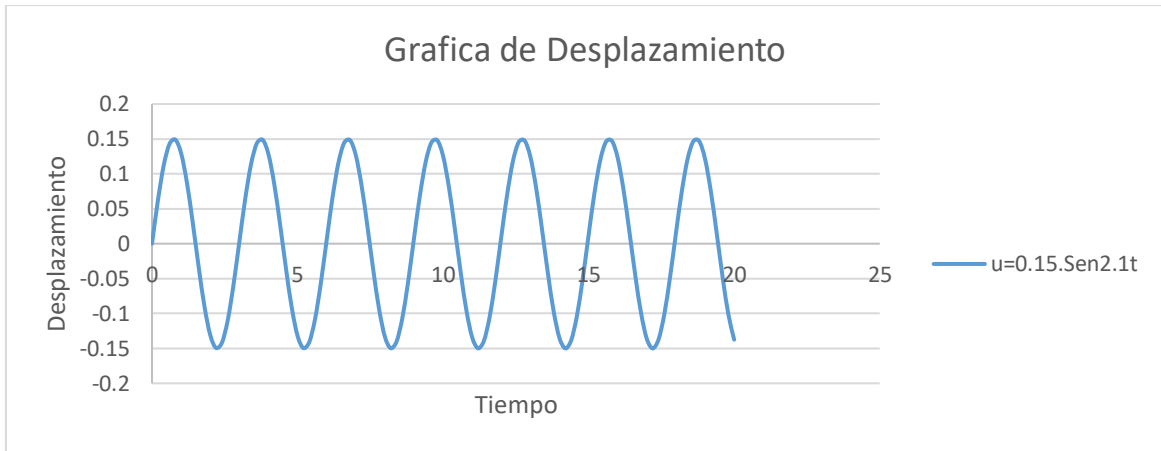
Fuente: Propia – Representación gráfica de velocidad de mesa de vibración a 1.40 rad/s.

- Aceleración



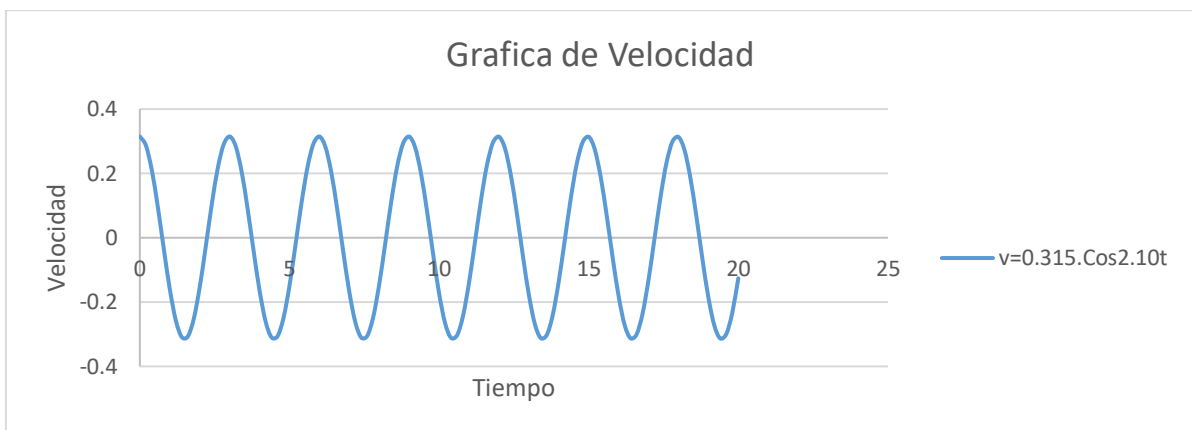
Fuente: Propia – Representación gráfica de aceleración de mesa de vibración a 1.40 rad/s.

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s (**Tabla 2 – Ver anexos**)
 - Desplazamiento



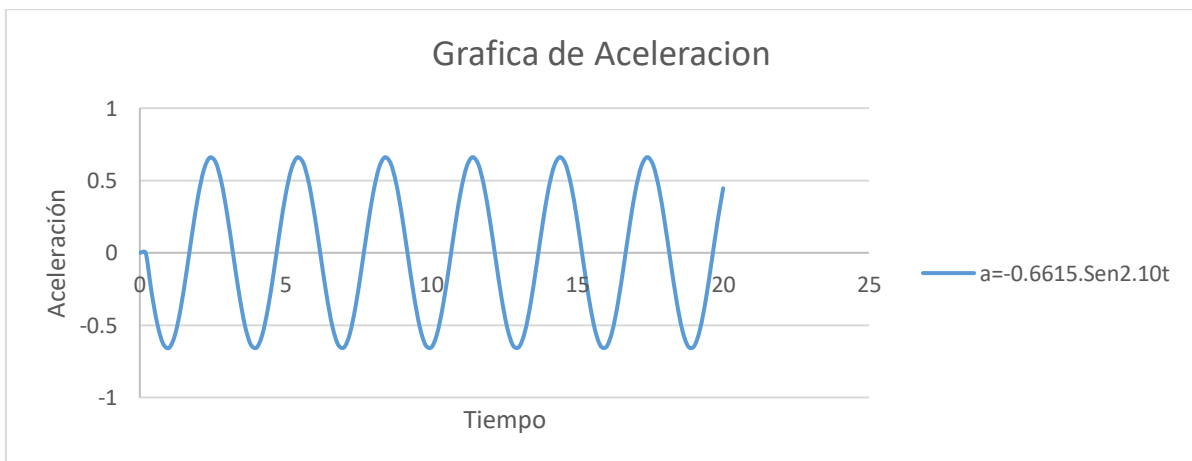
Fuente: Propia – Representación gráfica de desplazamiento de mesa de vibración a 2.10 rad/s.

- Velocidad



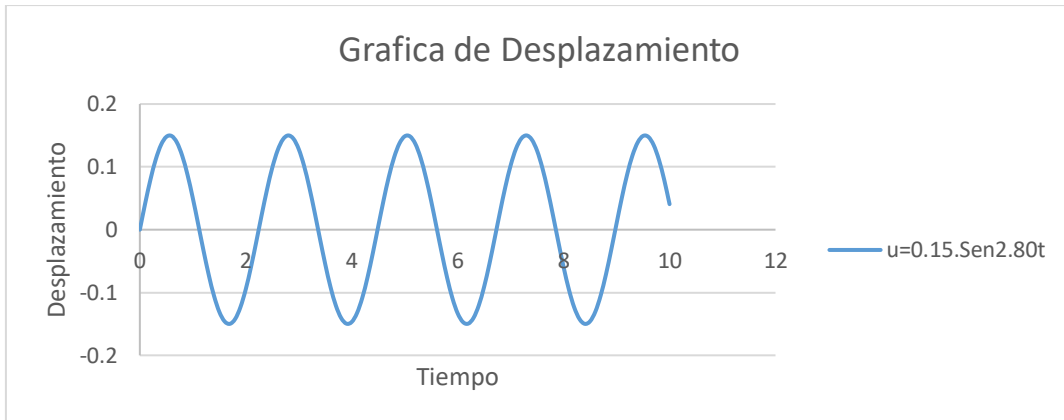
Fuente: Propia – Representación gráfica de velocidad de mesa de vibración a 2.10 rad/s.

- Aceleración



Fuente: Propia – Representación gráfica de aceleración de mesa de vibración a 2.10 rad/s.

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s (**Tabla 3 – Ver anexos**)
 - Desplazamiento



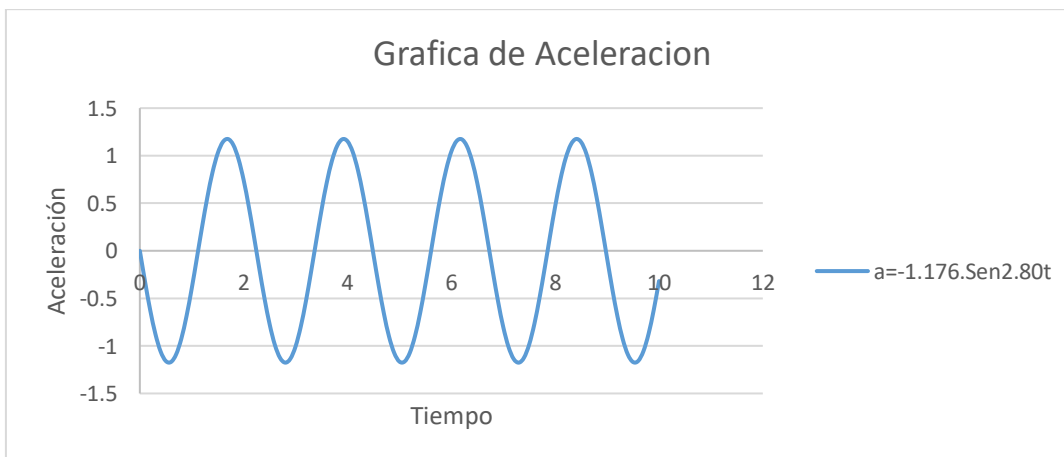
Fuente: Propia – Representación gráfica de desplazamiento de mesa de vibración a 2.80 rad/s.

- Velocidad



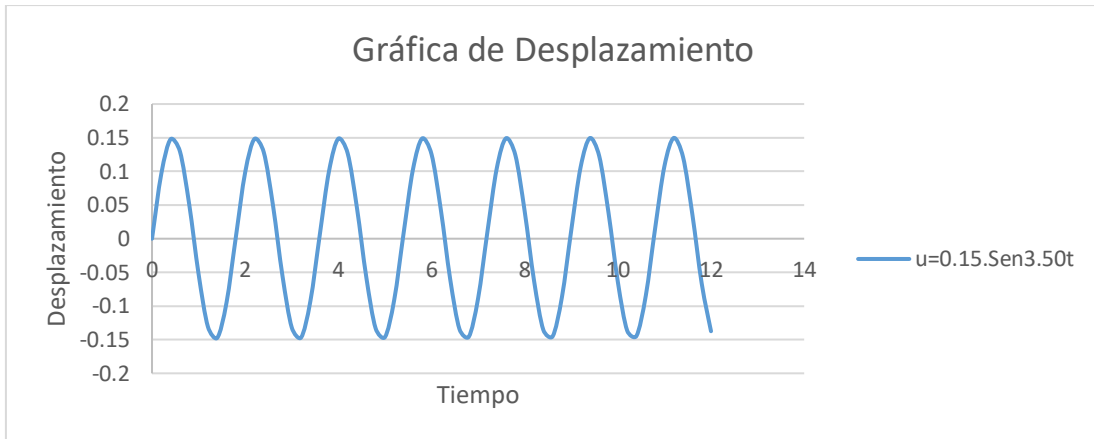
Fuente: Propia – Representación gráfica de velocidad de mesa de vibración a 2.80 rad/s.

- Aceleración



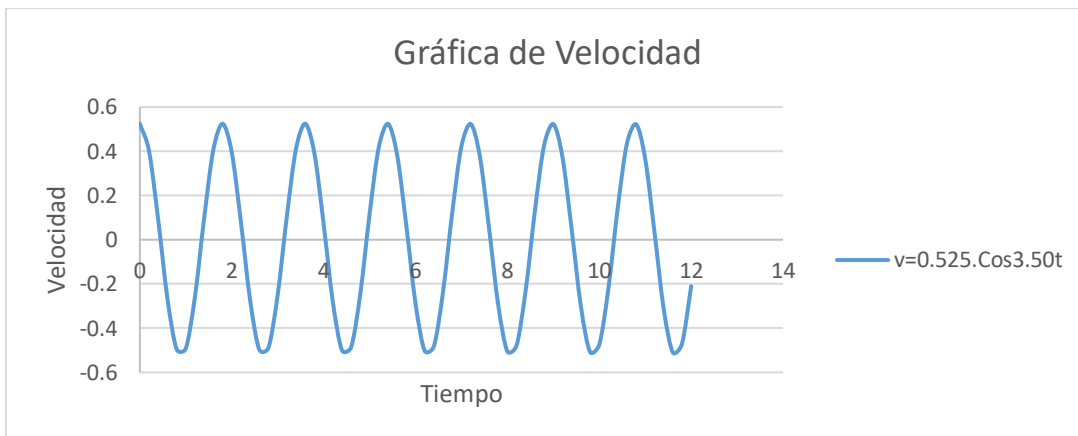
Fuente: Propia – Representación gráfica de aceleración de mesa de vibración a 2.80 rad/s.

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s (Tabla 4 – Ver anexos)
 - Desplazamiento



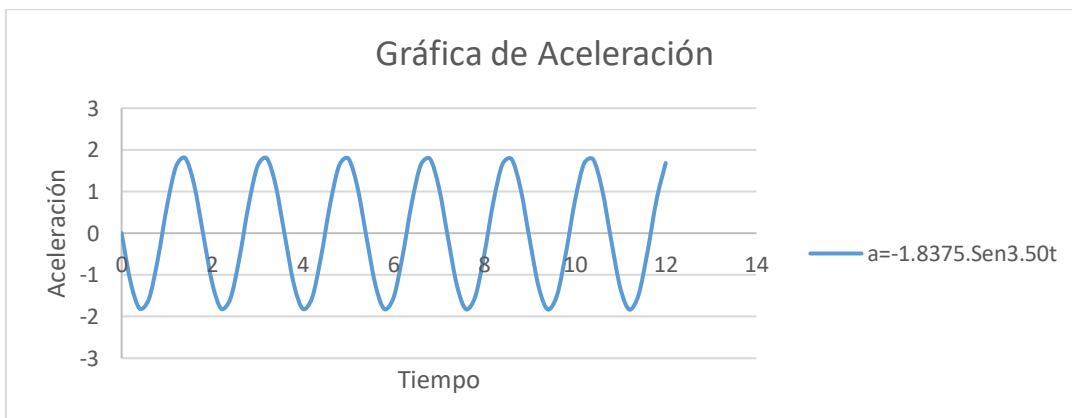
Fuente: Propia – Representación gráfica de desplazamiento de mesa de vibración a 3.50 rad/s.

- Velocidad



Fuente: Propia – Representación gráfica de velocidad de mesa de vibración a 3.50 rad/s.

- Aceleración



Fuente: Propia – Representación gráfica de aceleración de mesa de vibración a 3.50 rad/s.

4.1.3.2. Análisis Experimental

Para el cálculo de aceleración se usó acelerómetros de teléfonos Smartphone mediante una aplicación para celular llamada “Acceler Sensor Log”

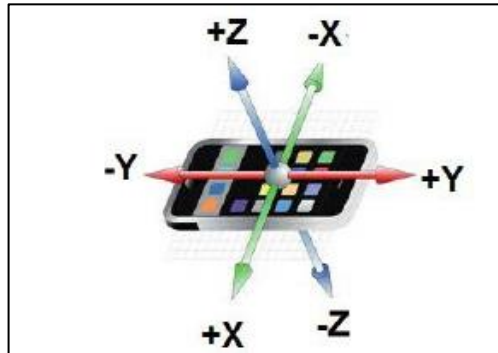


Figura 8: Direcciones del dispositivo

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería

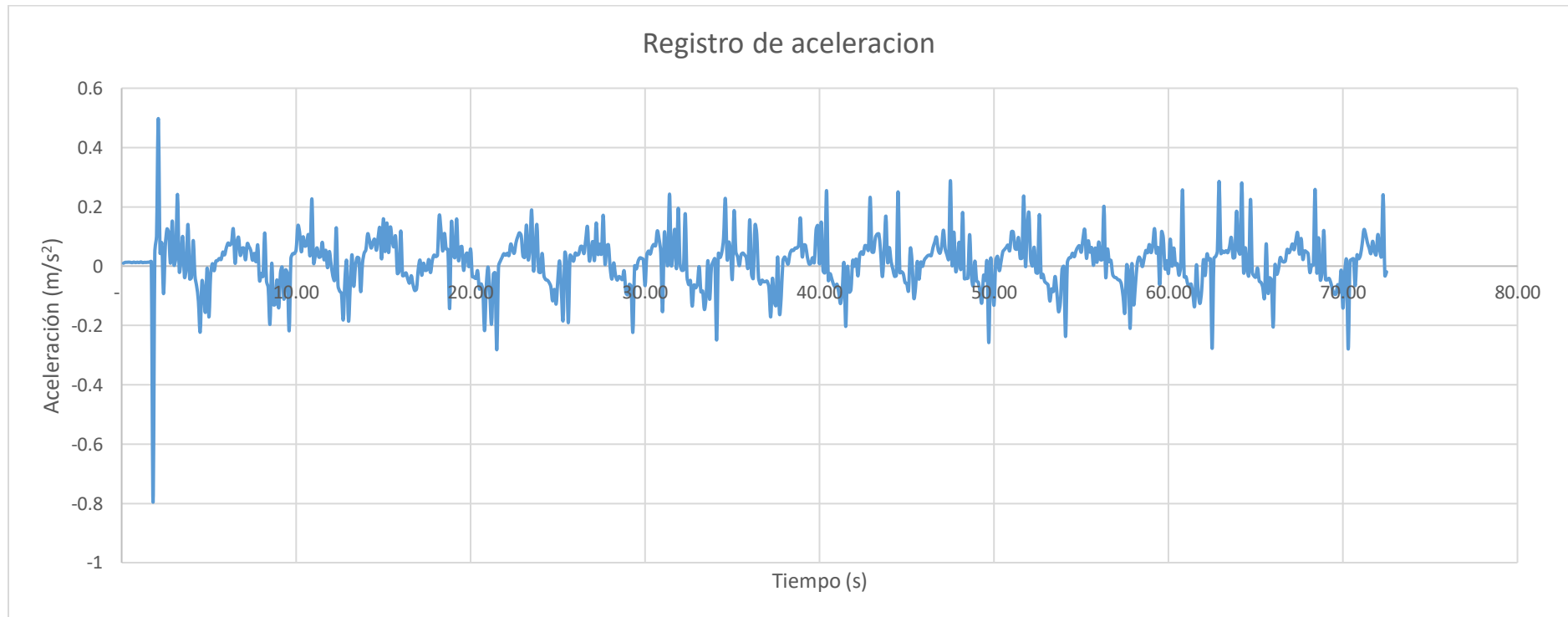
Se sometió la mesa a diferentes revoluciones

- Para 400 rpm
- Para 600 rpm
- Para 800 rpm
- Para 1000 rpm

Según las lecturas obtenidas con un lector de aceleraciones, que en esta oportunidad fue un celular Smartphone, a intervalos de tiempo de ($\Delta t = 0.1s$) tabulamos nuestros valores (ver anexo 2) para obtener graficas de Desplazamiento vs Tiempo

Registro de aceleración experimental

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s (Tabla 5 – Ver anexos)

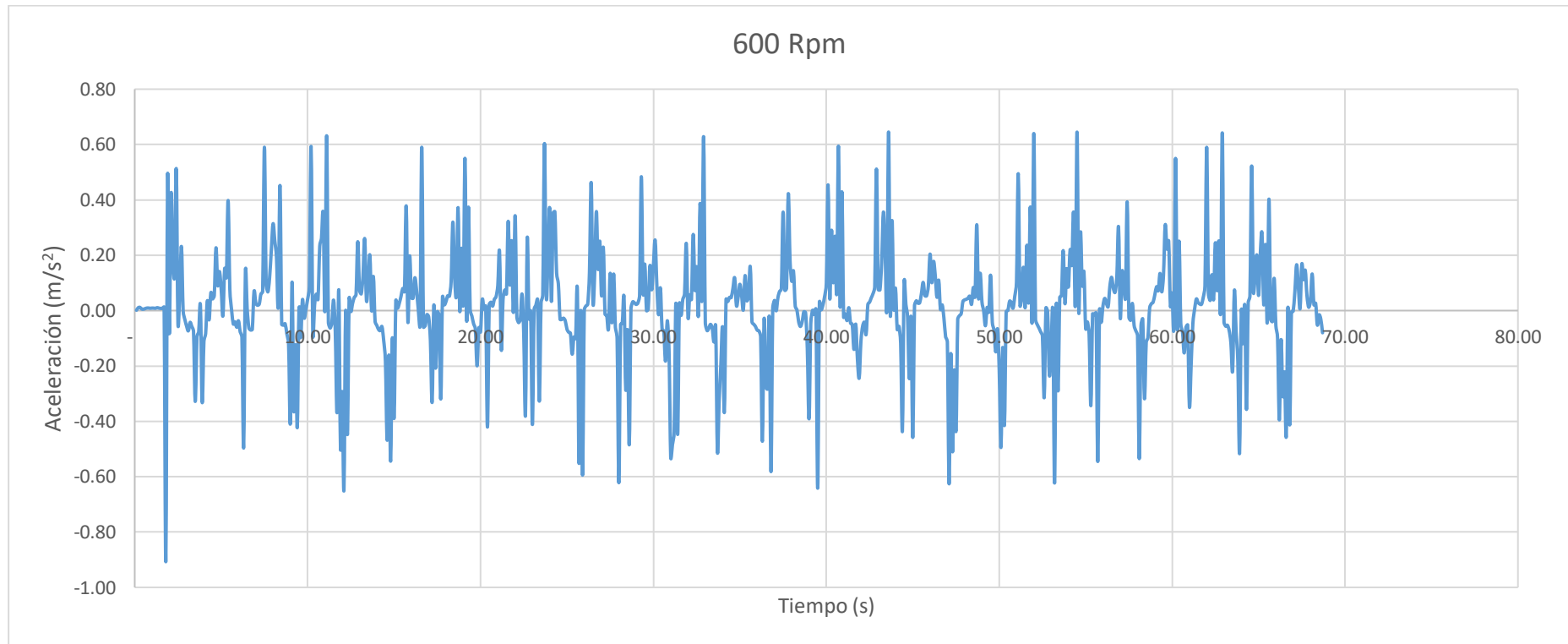


Fuente: Propia – Registro de aceleración para 1.40 rad/s

Aceleración Máxima = 0.288 m/s^2 (Valor experimental)

Registro de aceleración experimental

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s (Tabla 6 – Ver anexos)

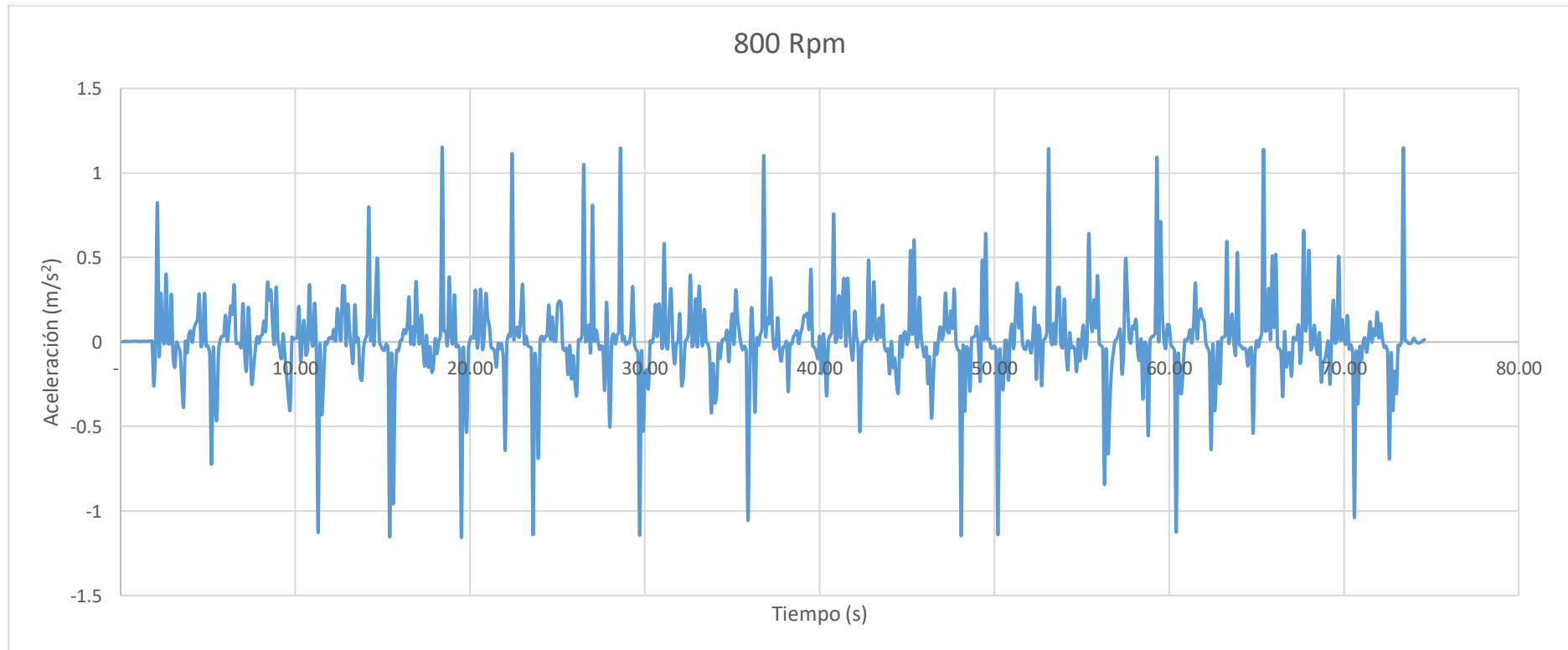


Fuente: Propia – Registro de aceleración para 2.10 rad/s

Aceleración Máxima = 0.648 m/s^2 (Valor Experimental)

Registro de aceleración experimental

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s (**Tabla 7 – Ver anexos**)

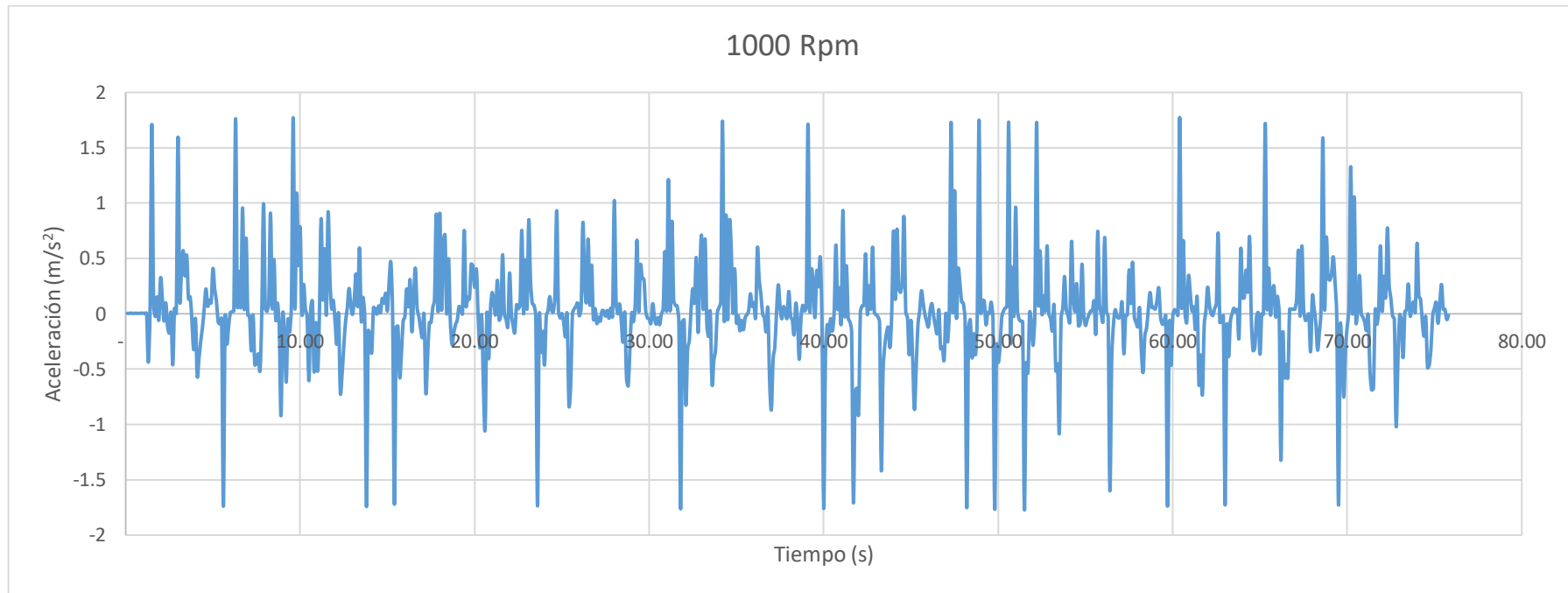


Fuente: Propia – Registro de aceleración para 2.80 rad/s

Aceleración Máxima = 1.157 m/s^2 (Valores experimentales)

Registro de aceleración experimental

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s (**Tabla 8 – Ver anexos**)



Fuente: Propia – Registro de aceleración para 3.50 rad/s

Aceleración Máxima = 1.773 m/s^2 (Valores experimental)

4.1.3. Pórtico

4.1.3.1. Cálculo de módulo de elasticidad

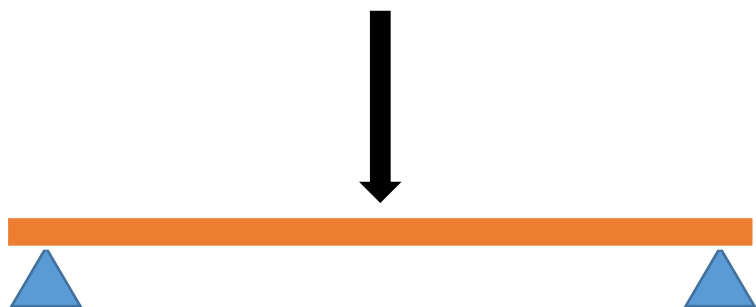
Ensayo de Flexión

El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza al centro del material, en este caso aluminio, soportado en cada extremo para determinar la resistencia del material hacia una carga estática aplicada lentamente.

Tendremos 1 parámetro importante:

Módulo de elasticidad: es la pendiente de la parte lineal de la curva Esfuerzo vs Deformación en la región elástica. Es una medida de rigidez de un material.

Sensor de ultrasonido



Módulo de Elasticidad		
Peso (Kgf)	Lecturas (cm)	Desplazamiento (cm)
0	5.6	0
0.3	5.8	0.2
0.6	6	0.4
0.9	6.2	0.6
1.2	6.4	0.8
1.5	6.6	1

Fuente: Propia – Lectura de deflexión de viga para Mod. Elasticidad

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}}$$

Cálculo del Módulo de elasticidad

$$E = \frac{F * L^3}{48 * I * \delta} \quad (4.11)$$

$$E = \frac{1.5 * 9.81 * 33.3^3}{48 * \left(\frac{1.9 * 0.2^3}{12}\right) * 1}$$

$$E = 8,936,951.225 \left(\frac{N}{cm^2}\right)$$

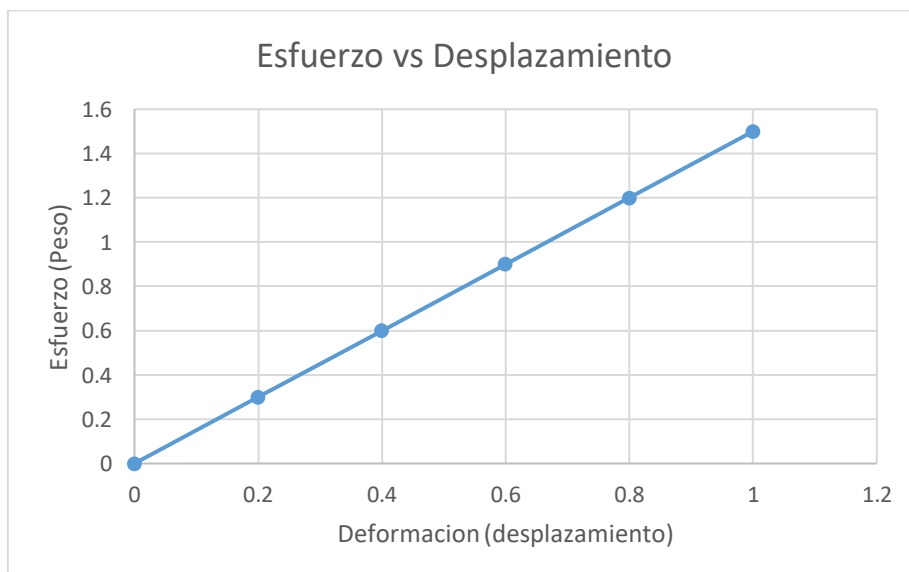
Donde:

F= Fuerza aplicada (N)

L = Longitud del miembro ensayado (cm)

I = Inercia (cm⁴)

δ = Deformacion (cm)



4.1.3.2. Cálculo de Rigidez (K) y frecuencia natural (ω_n)

Cálculo de Rigidez

$$K = \frac{24EI}{H^3} \quad (4.12)$$
$$K = \frac{24 * 8,936,951.225 * 10^4 * \left(\frac{0.019 * 0.002^3}{12}\right)}{0.5^3}$$
$$K = 217.35 \text{ (N/m)}$$

E = Modulo de elasticidad (N/m²)

I = Inercia (m⁴)

H = Altura de Pórtico (m)

Cálculo de Frecuencia natural

$$w = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (4.13)$$
$$w = \sqrt{\frac{217.35}{0.208}}$$
$$w = 32.33 \left(\frac{rad}{s}\right)$$

4.1.3.3. Ensayo de pórticos a diferentes frecuencias

4.1.2.3.1. Análisis Experimental

Se sometió el pórtico de aluminio a las 04 frecuencias escogidas por un rango de tiempo de 120 segundos.

Las respuestas de desplazamiento se registraron en tablas (ver anexo 3) por medio de las lecturas obtenidas por el lector de ultrasonido a cada 1s.

Para nuestros ensayos se usaron las revoluciones: 400, 600, 800 y 1000 rpm.

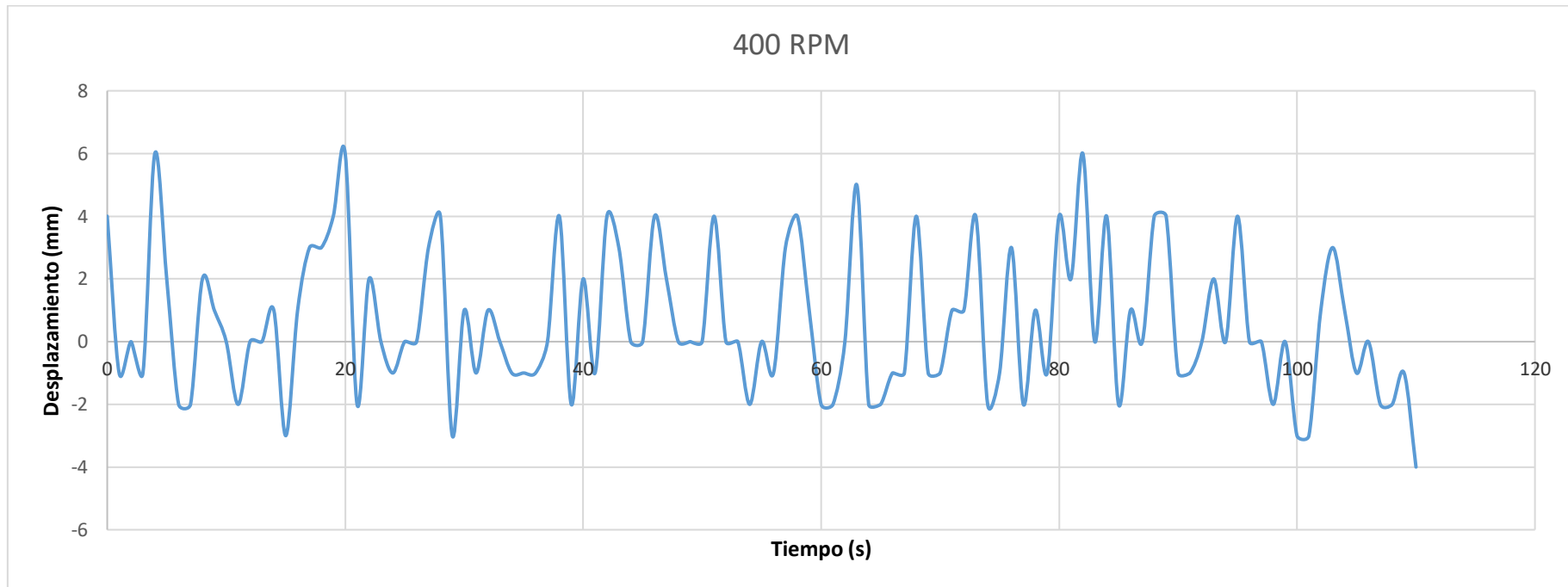
Tabla de conversión de frecuencia de entrada **ns1** a frecuencia de salida **ns2**

ne	Diametro		ns2	w
	d1	d2		
300	0.0553	0.1183	10.02	1.05
320	0.0553	0.1183	10.68	1.12
340	0.0553	0.1183	11.35	1.19
360	0.0553	0.1183	12.02	1.26
380	0.0553	0.1183	12.69	1.33
400	0.0553	0.1183	13.36	1.40
420	0.0553	0.1183	14.02	1.47
440	0.0553	0.1183	14.69	1.54
460	0.0553	0.1183	15.36	1.61
480	0.0553	0.1183	16.03	1.68
500	0.0553	0.1183	16.69	1.75
520	0.0553	0.1183	17.36	1.82
540	0.0553	0.1183	18.03	1.89
560	0.0553	0.1183	18.70	1.96
580	0.0553	0.1183	19.37	2.03
600	0.0553	0.1183	20.03	2.10
620	0.0553	0.1183	20.70	2.17
640	0.0553	0.1183	21.37	2.24
660	0.0553	0.1183	22.04	2.31
680	0.0553	0.1183	22.70	2.38
700	0.0553	0.1183	23.37	2.45
720	0.0553	0.1183	24.04	2.52
740	0.0553	0.1183	24.71	2.59
760	0.0553	0.1183	25.38	2.66
780	0.0553	0.1183	26.04	2.73
800	0.0553	0.1183	26.71	2.80
820	0.0553	0.1183	27.38	2.87
840	0.0553	0.1183	28.05	2.94
860	0.0553	0.1183	28.72	3.01
880	0.0553	0.1183	29.38	3.08
900	0.0553	0.1183	30.05	3.15
920	0.0553	0.1183	30.72	3.22
940	0.0553	0.1183	31.39	3.29
960	0.0553	0.1183	32.05	3.36
980	0.0553	0.1183	32.72	3.43
1000	0.0553	0.1183	33.39	3.50
1020	0.0553	0.1183	34.06	3.57
1040	0.0553	0.1183	34.73	3.64

Fuente: Propia – Tabla de conversión de frecuencias.

Respuesta de desplazamiento experimental

- Frecuencia de trabajo: 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s (Tabla 9– Ver anexos)

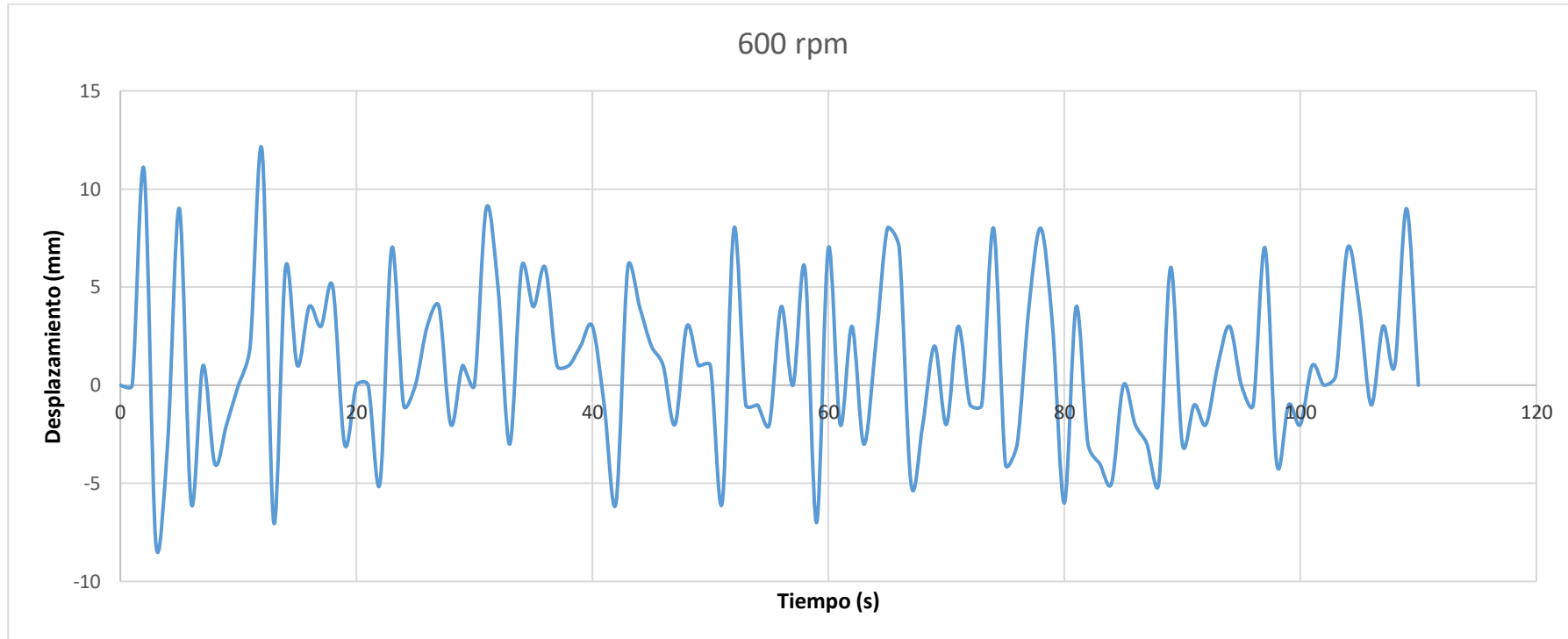


Fuente: Propia – Respuesta de desplazamiento experimental para 1.40 rad/s

Desplazamiento Máximo = 6mm (Valor experimental)

Respuesta de desplazamiento experimental

- Frecuencia de trabajo: 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s (Tabla 10 – Ver anexos)

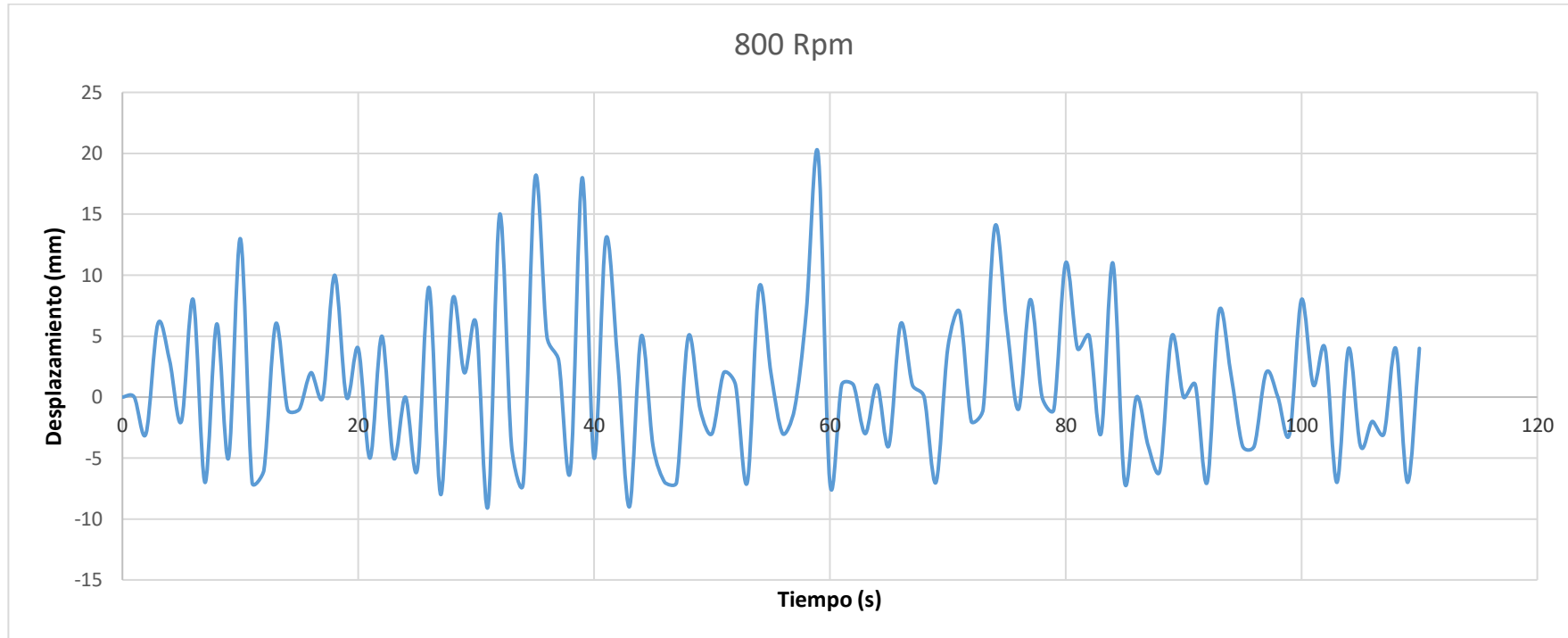


Fuente: Propia – Respuesta de desplazamiento experimental para 2.10 rad/s

Desplazamiento Máximo = 12mm (Valor experimental)

Respuesta de desplazamiento experimental

- Frecuencia de trabajo: 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s (Tabla 11 – Ver anexos)

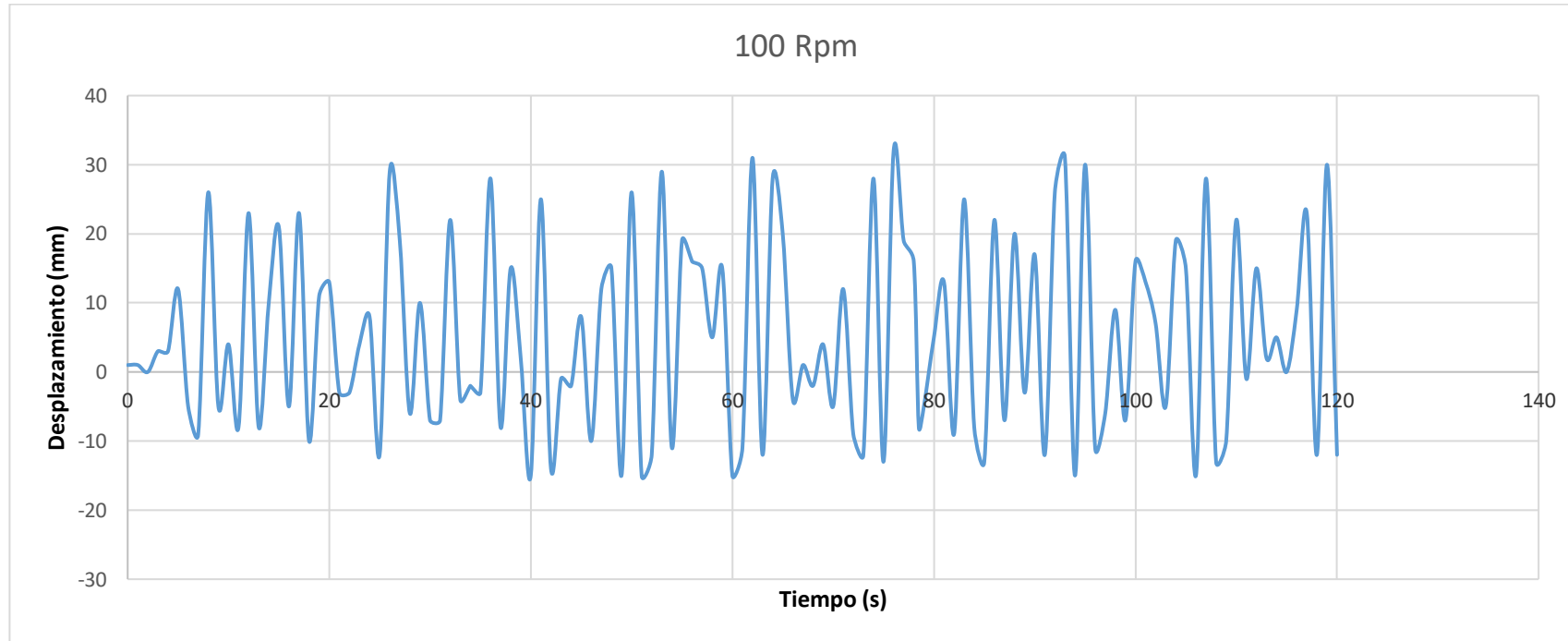


Fuente: Propia – Respuesta de desplazamiento experimental para 2.80 rad/s

Desplazamiento Máximo = 20mm (Valor experimental)

Respuesta de desplazamiento experimental

- Frecuencia de trabajo: 1000 rpm \rightarrow 33.39 rpm = 3.50 rad/s (**Tabla 8 – Ver anexos**)



Fuente: Propia – Respuesta de desplazamiento experimental para 3.50 rad/s

Desplazamiento Máximo = 32mm (Valor experimental)

4.1.3.3.2. Análisis Teórico

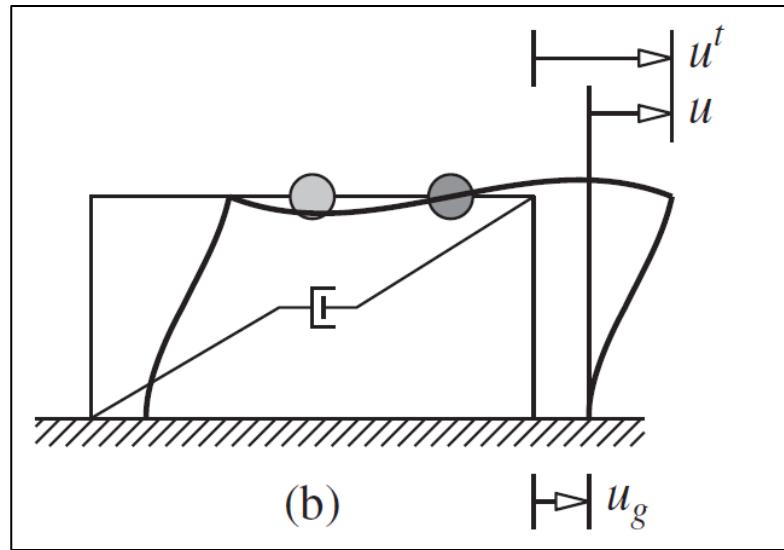


Figura 10: Desplazamiento de pórtico simple

Fuente: Análisis de edificios, Universidad de Valencia

Cálculo de fórmula de desplazamiento (Sin considerar amortiguamiento)

$$mx'' + kx = Po \quad (4.14)$$

*No consideramos amortiguación ya que asumimos e idealizamos ensayos en un rango de tiempo donde existe movimiento armónico simple en la base y la aceleración tiene un rango constante.

$$\frac{mx''}{m} + \frac{kx}{m} = \frac{Po}{m}$$

$$x'' + w^2x = a_s$$

$$w^2x = a_s - x''$$

$$w^2x = a_s - (-Aw^2 \cos(wt) - Bw^2 \sin(wt))$$

$$x = a_s + A \cos(wt) + B \sin(wt)$$

$$x = \frac{Po}{K} + A \cos(wt) + B \sin(wt) \quad (4.15)$$

Como el sistema esta inicialmente en reposo $x(0)=0$, $x'(0)=0$ en $t=0$. Es posible determinar las constantes A y B para estas condiciones iniciales:

$$A = \frac{P_0}{K}, \quad B = 0$$

$$x = \frac{P_0}{K} + A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$$

$$x = \frac{P_0}{K} (1 - \cos(\omega t))$$

$$x = \frac{a_s * m}{K} (1 - \cos(\omega t))$$

El máximo desplazamiento se encuentra en 180° .

Reemplazando los datos en la formula obtenemos:

$$x = \frac{a_s * m}{K} (1 - (-1))$$

$$x = \frac{a_s * m}{K} (2) \quad (4.16)$$

	K (N/m)	m(N)	As (m/s ²)	Desplazamiento
400 Rpm	217.35	2.04	0.29	5.45
600 Rpm	217.35	2.04	0.65	12.20
800 Rpm	217.35	2.04	1.17	21.97
1000 Rpm	217.35	2.04	1.81	33.98

Fuente: Propia

CAPITULO V

5. Discusión de resultados

5.1. Comparación de resultados teóricos vs experimentales

5.1.1. Mesa vibratoria (Aceleración de la base)

Aceleración (m/s ²)				
Ítem	Descripción	Teórico	Experimental	% Error
1	400 rpm	0.29	0.288	0.7
2	600 rpm	0.65	0.648	0.3
3	800 rpm	1.17	1.157	1.1
4	1000 rpm	1.81	1.773	2.0

5.1.2. Ensayo de pórticos (desplazamientos)

Desplazamiento (mm)				
Ítem	Descripción	Teórico	Experimental	% Error
1	400 rpm	5.45	6	10.2
2	600 rpm	12.20	12	1.7
3	800 rpm	21.97	20	9.0
4	1000 rpm	33.98	32	5.8

5.1.3. Ensayo de pórticos (Frecuencia Natural)

La frecuencia natural de forma experimental fue hallada sometiendo el pórtico a 10 oscilaciones y calculando el tiempo en que fueron realizadas

	N° Veces	Tiempo de oscilación (s)	Frecuencia (Hz)	Frecuencia (Rad/s)
Pórtico	10	1.7	5.88	36.96

Desplazamiento (mm)				
Ítem	Descripción	Teórico	Experimental	% Error
1	Pórtico	32.33	36.96	14.32

5.2. Contrastación de hipótesis

Hipótesis: El comportamiento de un pórtico a escala sometido en una mesa de vibración de un grado de libertad diferirá con su resultado número en un margen de error aceptable

Como se pudo apreciar en el anterior punto, la mesa vibratoria resulto ser una herramienta útil para el cálculo de los puntos a comprar (aceleración de la base, desplazamiento). Todos los resultados se encuentran en un margen de error menor al 15% y en algunos casos cercanos a casi la exactitud.

Por lo tanto afirmamos que la hipótesis fue verificada.

6. Conclusiones

1. El pre-dimensionamiento de esta mesa vibratoria se hizo en función a su ángulo de giro, teniendo como variables la longitud de la barra de transmisión, radio de timón de giro. Las dimensiones dispuestas para la mesa vibratoria fueron de 0.8m x 0.8m para una carga máxima de 57 kg. Se trabajó con una revolución de entrada entre $0 \approx 2000$ RPM y una amplitud de desplazamiento máximo de 15cm. Así mismo, la potencia hallada para esta mesa de vibración es de 1Hp. De igual forma la Frecuencia para la mesa vibratoria fue calculada en base a las revoluciones generadas por el motor. Esta mesa vibratoria fue diseñada con aceleración variable, controlada por un variador de velocidad el cual regula la frecuencia dada, así como la asignación de una escala de valores que indique los cambios de velocidad en un panel de control general. Además se instaló un moto-reductor para reducir las revoluciones inducidas el cual optimizo el funcionamiento de la mesa vibratoria.
2. Se sometió un pórtico de aluminio a 4 tipos de frecuencias, escogidos aleatoriamente por los tesistas, las cuales fueron de 400 rpm, 600 rpm, 800 rpm y 1000 rpm. Dichas revoluciones luego de un cálculo de conversión y reducción debido al sistema de poleas y moto-reductor, tenían valores de salida de 1.40 rad/s, 2.10 rad/s, 2.80 rad/s y 3.50 rad/s respectivamente, estas revoluciones se transformaron en aceleraciones de la base y se graficaron para posteriormente poder comprar sus desplazamientos teóricos vs experimentales.
3. La recolección de datos experimentales fue gracias a un sensor de ultrasonido se tuvo que conectar con un micro-procesador Arduino-Uno, el cual se programó de modo que arrojó las lecturas de desplazamiento en un determinado intervalo de tiempo el cual se graduó de modo que se obtuvieron las lecturas cada segundo.

4. El módulo de elasticidad del pórtico investigado se calculó mediante un ensayo de flexión, utilizando también como herramienta para medición de desplazamiento el sensor de ultrasonido. Se pudo observar que la gráfica de Esfuerzo vs Deformación dio como resultado un incremento lineal, lo cual concuerda con el resultado esperado, el cual fue de 8 936 951.225 N/cm².
5. Se comprueba que los desplazamientos teóricos y experimentales así como la aceleración de la mesa teórica y experimental tienen un rango de error entre 0 – 15%. Lo cual es un error aceptable bajo las condiciones que fue hecha esta mesa de vibración.
6. La presente investigación provee el material necesario para la construcción de una mesa vibratoria, la cual facilitaría la caracterización dinámica de equipos y estructuras complejas bajo ambientes de carga dinámica permitiendo a su vez el trabajo interdisciplinario de diferentes áreas de la ingeniería como son: Ingeniería de sistemas e Ingeniería Civil.

7. Recomendaciones

- Para la fabricación de los diferentes elementos de la mesa de vibración y montaje de los mismos, se debe tener un minucioso cuidado con la exactitud de las medidas y la calibración de todos los elementos, ya sea en posición o encaje. Además realizar el montaje de la mesa de vibración en un ambiente cerrado donde las condiciones climáticas no afecten los materiales utilizados, ni alteren los resultados de las herramientas de medición utilizadas.
- Para la construcción de la cimentación de la mesa vibratoria se debe tener en cuenta que los rieles deben estar apoyados en una superficie lo suficientemente estable y rígida para evitar los desplazamientos lateral durante el movimiento y así garantizar el correcto funcionamiento de los equipos para que no afecte en los resultados de futuros ensayos.
- Se debe continuar realizando pruebas para observar cómo se comporta el sistema con diferentes cargas, puesto que el sistema debe cambiar su comportamiento dependiendo de las cargas expuestas.
- Con el modelo matemático descrito es muy sencillo en futuros trabajos implementar un sistema de control que aumente el rendimiento. Para así garantizar una mayor exactitud y precisión para el registro de desplazamientos en pórticos y/o otras estructuras que sean sometidas.
- Se precisa un especial cuidado en la elección del reductor para el motor, se recomienda el uso de un reductor de tornillo sin fin debido a su precisión y fácil mantenimiento.
- Es importante realizar mantenimiento a los rieles, engrasándolos antes de su uso, así como una revisión periódica del reductor y motor.
- Se recomienda configurar con ayuda de un software y un micro controlador del variador de frecuencia para poder emular sismos en posibles usos posteriores de este diseño.

8. Referencias Bibliográficas

- Biggs, J. (1972). ., “*Dynamic Analysis of One-Degree Systems*” en *Notas del curso Fundamentals of Earthquake Engineering for Buildings*. Massachusetts Institute Of Technology. Cambridge, Massachusetts

- BOZZO ROTONDO, Luis (2004). *Diseño sismo resistente de edificios* (1ª Edición), España: Editorial Reverté S.A.

- FACULTAD DE INGENIERIA. (2013). *Guía de elaboración del proyecto de tesis* (1ª Edición), Trujillo: Upao.

- KUMAR CHOPRA, Anil (2014). *Dinámica Estructural* (4ª Edición), México: Pearson.

- MORALES, Roberto (2006). *Diseño en concreto Armado* (3ª Edición), Lima: Fondo Editorial ICG.

- RUSSELL HIBBELER. (2010). *Análisis Estructural*. MEXICO: PEARSON.

10.Anexos

Anexo 1

- **Tabla 1:** 400 rpm → 13.36 rpm = 1.40 rad/s (Tabulación)

t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)	t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)
-	-	0.21	-				
0.20	0.04	0.20	-0.08	10.20	0.15	-0.03	-0.29
0.40	0.08	0.18	-0.16	10.40	0.14	-0.09	-0.27
0.60	0.11	0.14	-0.22	10.60	0.11	-0.14	-0.22
0.80	0.14	0.09	-0.26	10.80	0.08	-0.17	-0.16
1.00	0.15	0.04	-0.29	11.00	0.05	-0.20	-0.09
1.20	0.15	-0.02	-0.29	11.20	0.00	-0.21	-0.01
1.40	0.14	-0.08	-0.27	11.40	-0.04	-0.20	0.07
1.60	0.12	-0.13	-0.23	11.60	-0.08	-0.18	0.15
1.80	0.09	-0.17	-0.17	11.80	-0.11	-0.14	0.21
2.00	0.05	-0.20	-0.10	12.00	-0.13	-0.10	0.26
2.20	0.01	-0.21	-0.02	12.20	-0.15	-0.04	0.29
2.40	-0.03	-0.21	0.06	12.40	-0.15	0.02	0.29
2.60	-0.07	-0.18	0.14	12.60	-0.14	0.07	0.28
2.80	-0.11	-0.15	0.21	12.80	-0.12	0.13	0.24
3.00	-0.13	-0.10	0.26	13.00	-0.09	0.17	0.18
3.20	-0.15	-0.05	0.29	13.20	-0.05	0.20	0.11
3.40	-0.15	0.01	0.29	13.40	-0.01	0.21	0.03
3.60	-0.14	0.07	0.28	13.60	0.03	0.21	-0.06
3.80	-0.12	0.12	0.24	13.80	0.07	0.19	-0.13
4.00	-0.09	0.16	0.19	14.00	0.10	0.15	-0.20
4.20	-0.06	0.19	0.12	14.20	0.13	0.11	-0.25
4.40	-0.02	0.21	0.04	14.40	0.14	0.05	-0.28
4.60	0.02	0.21	-0.05	14.60	0.15	-0.00	-0.29
4.80	0.06	0.19	-0.12	14.80	0.14	-0.06	-0.28
5.00	0.10	0.16	-0.19	15.00	0.13	-0.12	-0.25
5.20	0.13	0.11	-0.25	15.20	0.10	-0.16	-0.19
5.40	0.14	0.06	-0.28	15.40	0.06	-0.19	-0.12
5.60	0.15	0.00	-0.29	15.60	0.02	-0.21	-0.04
5.80	0.14	-0.06	-0.28	15.80	-0.02	-0.21	0.04
6.00	0.13	-0.11	-0.25	16.00	-0.06	-0.19	0.12
6.20	0.10	-0.15	-0.20	16.20	-0.10	-0.16	0.19
6.40	0.07	-0.19	-0.13	16.40	-0.12	-0.12	0.24
6.60	0.03	-0.21	-0.05	16.60	-0.14	-0.07	0.28
6.80	-0.01	-0.21	0.03	16.80	-0.15	-0.01	0.29
7.00	-0.05	-0.20	0.11	17.00	-0.15	0.05	0.29
7.20	-0.09	-0.17	0.18	17.20	-0.13	0.10	0.26
7.40	-0.12	-0.12	0.24	17.40	-0.10	0.15	0.21
7.60	-0.14	-0.07	0.28	17.60	-0.07	0.19	0.14
7.80	-0.15	-0.02	0.29	17.80	-0.03	0.21	0.06
8.00	-0.15	0.04	0.29	18.00	0.01	0.21	-0.02
8.20	-0.13	0.10	0.26	18.20	0.05	0.20	-0.10
8.40	-0.11	0.15	0.21	18.40	0.09	0.17	-0.17
8.60	-0.08	0.18	0.15	18.60	0.12	0.13	-0.23
8.80	-0.04	0.20	0.07	18.80	0.14	0.08	-0.27
9.00	0.01	0.21	-0.01	19.00	0.15	0.02	-0.29
9.20	0.05	0.20	-0.09	19.20	0.15	-0.04	-0.29
9.40	0.08	0.17	-0.16	19.40	0.13	-0.09	-0.26
9.60	0.11	0.13	-0.23	19.60	0.11	-0.14	-0.22
9.80	0.14	0.09	-0.27	19.80	0.08	-0.18	-0.15
10.00	0.15	0.03	-0.29	20.00	0.04	-0.20	-0.08

- **Tabla 2:** 600 rpm → 20.03 rpm = 2.10 rad/s (Tabulación)

t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)	t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)
-	-	0.32	-				
0.20	0.06	0.29	-0.27	10.20	0.08	-0.27	-0.36
0.40	0.11	0.21	-0.49	10.40	0.02	-0.31	-0.10
0.60	0.14	0.10	-0.63	10.60	-0.04	-0.30	0.18
0.80	0.15	-0.03	-0.66	10.80	-0.10	-0.24	0.42
1.00	0.13	-0.16	-0.57	11.00	-0.13	-0.14	0.59
1.20	0.09	-0.26	-0.39	11.20	-0.15	-0.01	0.66
1.40	0.03	-0.31	-0.13	11.40	-0.14	0.12	0.61
1.60	-0.03	-0.31	0.14	11.60	-0.10	0.23	0.46
1.80	-0.09	-0.25	0.39	11.80	-0.05	0.30	0.23
2.00	-0.13	-0.15	0.58	12.00	0.01	0.31	-0.04
2.20	-0.15	-0.03	0.66	12.20	0.07	0.28	-0.31
2.40	-0.14	0.10	0.63	12.40	0.12	0.19	-0.52
2.60	-0.11	0.21	0.49	12.60	0.15	0.08	-0.64
2.80	-0.06	0.29	0.26	12.80	0.15	-0.06	-0.65
3.00	0.00	0.31	-0.01	13.00	0.12	-0.18	-0.55
3.20	0.06	0.29	-0.28	13.20	0.08	-0.27	-0.35
3.40	0.11	0.21	-0.50	13.40	0.02	-0.31	-0.09
3.60	0.14	0.09	-0.63	13.60	-0.04	-0.30	0.19
3.80	0.15	-0.04	-0.66	13.80	-0.10	-0.24	0.43
4.00	0.13	-0.16	-0.57	14.00	-0.14	-0.14	0.60
4.20	0.09	-0.26	-0.38	14.20	-0.15	-0.01	0.66
4.40	0.03	-0.31	-0.12	14.40	-0.14	0.12	0.61
4.60	-0.03	-0.31	0.15	14.60	-0.10	0.23	0.45
4.80	-0.09	-0.25	0.40	14.80	-0.05	0.30	0.22
5.00	-0.13	-0.15	0.58	15.00	0.01	0.31	-0.06
5.20	-0.15	-0.02	0.66	15.20	0.07	0.28	-0.32
5.40	-0.14	0.11	0.62	15.40	0.12	0.19	-0.53
5.60	-0.11	0.22	0.48	15.60	0.15	0.07	-0.64
5.80	-0.06	0.29	0.25	15.80	0.15	-0.06	-0.65
6.00	0.01	0.31	-0.02	16.00	0.12	-0.18	-0.54
6.20	0.07	0.28	-0.29	16.20	0.08	-0.27	-0.34
6.40	0.11	0.20	-0.51	16.40	0.02	-0.31	-0.08
6.60	0.14	0.09	-0.64	16.60	-0.04	-0.30	0.20
6.80	0.15	-0.04	-0.65	16.80	-0.10	-0.24	0.44
7.00	0.13	-0.17	-0.56	17.00	-0.14	-0.13	0.60
7.20	0.08	-0.26	-0.37	17.20	-0.15	-0.00	0.66
7.40	0.03	-0.31	-0.11	17.40	-0.14	0.13	0.61
7.60	-0.04	-0.31	0.16	17.60	-0.10	0.23	0.45
7.80	-0.09	-0.25	0.41	17.80	-0.05	0.30	0.21
8.00	-0.13	-0.15	0.59	18.00	0.02	0.31	-0.07
8.20	-0.15	-0.02	0.66	18.20	0.07	0.27	-0.33
8.40	-0.14	0.11	0.62	18.40	0.12	0.19	-0.53
8.60	-0.11	0.22	0.47	18.60	0.15	0.07	-0.65
8.80	-0.05	0.29	0.24	18.80	0.15	-0.07	-0.65
9.00	0.01	0.31	-0.03	19.00	0.12	-0.19	-0.53
9.20	0.07	0.28	-0.30	19.20	0.07	-0.27	-0.33
9.40	0.12	0.20	-0.51	19.40	0.02	-0.31	-0.07
9.60	0.14	0.08	-0.64	19.60	-0.05	-0.30	0.21
9.80	0.15	-0.05	-0.65	19.80	-0.10	-0.23	0.45
10.00	0.13	-0.17	-0.55	20.00	-0.14	-0.13	0.61

- **Tabla 3:** 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s (Tabulación)

t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)	t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)
-	-	0.42	-				
0.20	0.08	0.36	-0.62	10.20	-0.04	-0.40	0.33
0.40	0.14	0.18	-1.06	10.40	-0.11	-0.28	0.88
0.60	0.15	-0.05	-1.17	10.60	-0.15	-0.07	1.16
0.80	0.12	-0.26	-0.92	10.80	-0.14	0.16	1.09
1.00	0.05	-0.40	-0.39	11.00	-0.09	0.34	0.68
1.20	-0.03	-0.41	0.25	11.20	-0.01	0.42	0.07
1.40	-0.11	-0.30	0.83	11.40	0.07	0.37	-0.57
1.60	-0.15	-0.10	1.14	11.60	0.13	0.20	-1.03
1.80	-0.14	0.14	1.11	11.80	0.15	-0.02	-1.17
2.00	-0.09	0.33	0.74	12.00	0.12	-0.24	-0.96
2.20	-0.02	0.42	0.14	12.20	0.06	-0.39	-0.46
2.40	0.06	0.38	-0.50	12.40	-0.02	-0.41	0.19
2.60	0.13	0.23	-0.99	12.60	-0.10	-0.32	0.78
2.80	0.15	0.01	-1.18	12.80	-0.14	-0.12	1.13
3.00	0.13	-0.22	-1.01	13.00	-0.14	0.11	1.13
3.20	0.07	-0.38	-0.53	13.20	-0.10	0.31	0.79
3.40	-0.01	-0.42	0.11	13.40	-0.03	0.41	0.21
3.60	-0.09	-0.33	0.72	13.60	0.06	0.39	-0.44
3.80	-0.14	-0.15	1.10	13.80	0.12	0.25	-0.95
4.00	-0.15	0.09	1.15	14.00	0.15	0.03	-1.17
4.20	-0.11	0.29	0.85	14.20	0.13	-0.20	-1.04
4.40	-0.04	0.41	0.29	14.40	0.07	-0.36	-0.59
4.60	0.05	0.40	-0.36	14.60	-0.01	-0.42	0.05
4.80	0.11	0.27	-0.90	14.80	-0.08	-0.35	0.66
5.00	0.15	0.06	-1.16	15.00	-0.14	-0.17	1.08
5.20	0.14	-0.17	-1.07	15.20	-0.15	0.06	1.16
5.40	0.08	-0.35	-0.65	15.40	-0.11	0.27	0.89
5.60	0.00	-0.42	-0.03	15.60	-0.04	0.40	0.35
5.80	-0.08	-0.36	0.60	15.80	0.04	0.41	-0.30
6.00	-0.13	-0.19	1.04	16.00	0.11	0.29	-0.86
6.20	-0.15	0.03	1.17	16.20	0.15	0.08	-1.15
6.40	-0.12	0.25	0.94	16.40	0.14	-0.15	-1.10
6.60	-0.05	0.39	0.42	16.60	0.09	-0.34	-0.71
6.80	0.03	0.41	-0.22	16.80	0.01	-0.42	-0.10
7.00	0.10	0.31	-0.80	17.00	-0.07	-0.37	0.54
7.20	0.14	0.11	-1.14	17.20	-0.13	-0.21	1.01
7.40	0.14	-0.12	-1.12	17.40	-0.15	0.01	1.18
7.60	0.10	-0.32	-0.77	17.60	-0.13	0.23	0.98
7.80	0.02	-0.42	-0.18	17.80	-0.06	0.38	0.49
8.00	-0.06	-0.39	0.47	18.00	0.02	0.42	-0.16
8.20	-0.12	-0.24	0.97	18.20	0.10	0.32	-0.75
8.40	-0.15	-0.02	1.17	18.40	0.14	0.13	-1.12
8.60	-0.13	0.21	1.02	18.60	0.15	-0.10	-1.14
8.80	-0.07	0.37	0.56	18.80	0.10	-0.30	-0.82
9.00	0.01	0.42	-0.08	19.00	0.03	-0.41	-0.24
9.20	0.09	0.34	-0.69	19.20	-0.05	-0.39	0.41
9.40	0.14	0.16	-1.09	19.40	-0.12	-0.26	0.93
9.60	0.15	-0.07	-1.16	19.60	-0.15	-0.04	1.17
9.80	0.11	-0.28	-0.87	19.80	-0.13	0.19	1.05
10.00	0.04	-0.40	-0.32	20.00	-0.08	0.36	0.61

- **Tabla 4:** 1000 rpm → 33.39 rpm = 3.50 rad/s (Tabulación)

t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)	t (s)	Desp (m)	Vel (m/s)	a (m/s ²)
-	-	0.53	-				
0.20	0.10	0.40	-1.18	10.20	-0.14	-0.22	1.67
0.40	0.15	0.09	-1.81	10.40	-0.14	0.14	1.77
0.60	0.13	-0.27	-1.59	10.60	-0.08	0.43	1.04
0.80	0.05	-0.49	-0.62	10.80	0.02	0.52	-0.19
1.00	-0.05	-0.49	0.64	11.00	0.11	0.37	-1.32
1.20	-0.13	-0.26	1.60	11.20	0.15	0.04	-1.83
1.40	-0.15	0.10	1.81	11.40	0.12	-0.31	-1.48
1.60	-0.09	0.41	1.16	11.60	0.04	-0.51	-0.44
1.80	0.00	0.52	-0.03	11.80	-0.07	-0.47	0.81
2.00	0.10	0.40	-1.21	12.00	-0.14	-0.21	1.68
2.20	0.15	0.08	-1.82	12.20	-0.14	0.15	1.76
2.40	0.13	-0.27	-1.57	12.40	-0.08	0.44	1.01
2.60	0.05	-0.50	-0.59	12.60	0.02	0.52	-0.22
2.80	-0.05	-0.49	0.67	12.80	0.11	0.36	-1.34
3.00	-0.13	-0.25	1.62	13.00	0.15	0.03	-1.83
3.20	-0.15	0.11	1.80	13.20	0.12	-0.32	-1.47
3.40	-0.09	0.41	1.14	13.40	0.03	-0.51	-0.41
3.60	0.01	0.52	-0.06	13.60	-0.07	-0.47	0.84
3.80	0.10	0.39	-1.23	13.80	-0.14	-0.20	1.70
4.00	0.15	0.07	-1.82	14.00	-0.14	0.16	1.75
4.20	0.13	-0.28	-1.55	14.20	-0.08	0.44	0.98
4.40	0.05	-0.50	-0.56	14.40	0.02	0.52	-0.25
4.60	-0.06	-0.49	0.70	14.60	0.11	0.35	-1.36
4.80	-0.13	-0.24	1.63	14.80	0.15	0.02	-1.84
5.00	-0.15	0.12	1.79	15.00	0.12	-0.32	-1.45
5.20	-0.09	0.42	1.11	15.20	0.03	-0.51	-0.38
5.40	0.01	0.52	-0.09	15.40	-0.07	-0.46	0.87
5.60	0.10	0.38	-1.25	15.60	-0.14	-0.19	1.71
5.80	0.15	0.06	-1.82	15.80	-0.14	0.17	1.74
6.00	0.13	-0.29	-1.54	16.00	-0.08	0.45	0.96
6.20	0.04	-0.50	-0.53	16.20	0.02	0.52	-0.28
6.40	-0.06	-0.48	0.73	16.40	0.11	0.35	-1.38
6.60	-0.13	-0.23	1.64	16.60	0.15	0.01	-1.84
6.80	-0.15	0.12	1.79	16.80	0.12	-0.33	-1.43
7.00	-0.09	0.42	1.09	17.00	0.03	-0.52	-0.35
7.20	0.01	0.52	-0.12	17.20	-0.07	-0.46	0.90
7.40	0.10	0.38	-1.28	17.40	-0.14	-0.19	1.72
7.60	0.15	0.05	-1.83	17.60	-0.14	0.17	1.73
7.80	0.12	-0.29	-1.52	17.80	-0.08	0.45	0.93
8.00	0.04	-0.51	-0.50	18.00	0.03	0.52	-0.31
8.20	-0.06	-0.48	0.76	18.20	0.11	0.34	-1.40
8.40	-0.14	-0.23	1.66	18.40	0.15	0.00	-1.84
8.60	-0.15	0.13	1.78	18.60	0.11	-0.34	-1.41
8.80	-0.09	0.43	1.06	18.80	0.03	-0.52	-0.32
9.00	0.01	0.52	-0.15	19.00	-0.08	-0.45	0.92
9.20	0.11	0.37	-1.30	19.20	-0.14	-0.18	1.73
9.40	0.15	0.05	-1.83	19.40	-0.14	0.18	1.72
9.60	0.12	-0.30	-1.50	19.60	-0.07	0.46	0.91
9.80	0.04	-0.51	-0.47	19.80	0.03	0.52	-0.34
10.00	-0.06	-0.47	0.79	20.00	0.12	0.33	-1.42

Anexo 2

- **Tabla 5:** 400 rpm \rightarrow 13.36 rpm = 1.40 rad/s (Datos Experimentales-Tabulación)

400 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
0.10	0.009736	5.10	-0.028626	10.10	0.136292	15.10	0.049134
0.20	0.012604	5.20	0.0083	10.20	0.112916	15.20	0.14566
0.30	0.012848	5.30	-0.015564	10.30	0.048096	15.30	0.045746
0.40	0.013336	5.40	0.01654	10.40	0.098754	15.40	0.13147
0.50	0.012786	5.50	0.018586	10.50	0.067962	15.50	0.088134
0.60	0.011596	5.60	0.025726	10.60	0.07132	15.60	0.064758
0.70	0.01358	5.70	0.022614	10.70	0.10611	15.70	0.100158
0.80	0.01178	5.80	0.047302	10.80	0.037322	15.80	-0.024444
0.90	0.013244	5.90	0.038056	10.90	0.226928	15.90	-0.017212
1.00	0.011902	6.00	0.061982	11.00	0.010834	16.00	0.1185
1.10	0.014252	6.10	0.07788	11.10	0.036774	16.10	-0.031494
1.20	0.011718	6.20	0.07071	11.20	0.061768	16.20	-0.031188
1.30	0.012726	6.30	0.078888	11.30	0.030364	16.30	-0.02304
1.40	0.01242	6.40	0.125214	11.40	0.033326	16.40	-0.044006
1.50	0.013122	6.50	0.009796	11.50	0.080444	16.50	-0.057282
1.60	0.013154	6.60	0.079742	11.60	0.021392	16.60	-0.032288
1.70	0.015136	6.70	0.09723	11.70	0.053132	16.70	-0.062684
1.80	-0.796127	6.80	0.036682	11.80	-0.00534	16.80	-0.082428
1.90	0.042968	6.90	0.06012	11.90	0.049286	16.90	-0.076874
2.00	0.101226	7.00	0.060212	12.00	0.008666	17.00	-0.009858
2.10	0.49768	7.10	0.021302	12.10	-0.032258	17.10	0.020142
2.20	0.04535	7.20	0.075592	12.20	-0.047364	17.20	-0.030944
2.30	0.079406	7.30	0.065338	12.30	0.129486	17.30	0.009674
2.40	-0.092834	7.40	0.052918	12.40	-0.06488	17.40	-0.013946
2.50	0.066192	7.50	0.019744	12.50	-0.084808	17.50	-0.01181
2.60	0.125336	7.60	0.042846	12.60	-0.09317	17.60	0.022338
2.70	0.110626	7.70	0.015412	12.70	-0.181304	17.70	-0.021668
2.80	0.009858	7.80	0.07071	12.80	-0.04251	17.80	0.01767
2.90	0.152192	7.90	-0.048188	12.90	0.015076	17.90	0.036896
3.00	0.003724	8.00	-0.024292	13.00	-0.184662	18.00	0.032012
3.10	0.029388	8.10	-0.034546	13.10	-0.067994	18.10	0.037048
3.20	0.241882	8.20	0.111878	13.20	0.038422	18.20	0.170104
3.30	-0.016998	8.30	-0.048858	13.30	-0.06778	18.30	0.121766
3.40	0.018738	8.40	-0.072998	13.40	-0.000244	18.40	0.050904
3.50	0.099548	8.50	-0.195678	13.50	0.029724	18.50	0.110382
3.60	-0.037078	8.60	0.009034	13.60	0.025634	18.60	0.05783
3.70	-0.007354	8.70	-0.129852	13.70	-0.086212	18.70	0.055114
3.80	0.140716	8.80	-0.12915	13.80	0.008118	18.80	-0.14325
3.90	-0.042878	8.90	-0.046386	13.90	0.043824	18.90	0.146972
4.00	-0.038208	9.00	-0.141052	14.00	0.055816	19.00	0.041534
4.10	0.086456	9.10	-0.024322	14.10	0.108704	19.10	0.029754
4.20	-0.031616	9.20	-0.004212	14.20	0.088288	19.20	0.15918
4.30	-0.068116	9.30	-0.111878	14.30	0.060914	19.30	0.02063
4.40	-0.11908	9.40	-0.012696	14.40	0.080352	19.40	0.062438
4.50	-0.222198	9.50	-0.026978	14.50	0.090058	19.50	0.065522
4.60	-0.052186	9.60	-0.218414	14.60	0.053498	19.60	-0.013946
4.70	-0.083984	9.70	0.025146	14.70	0.09729	19.70	0.032746
4.80	-0.154602	9.80	0.041718	14.80	0.128234	19.80	0.043426
4.90	-0.006562	9.90	0.042236	14.90	0.024292	19.90	-0.001832
5.00	-0.17157	10.00	0.055206	15.00	0.15976	20.00	0.057586

400 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
20.10	-0.035218	25.10	0.017272	30.10	0.038514	35.10	0.18628
20.20	-0.036254	25.20	-0.079468	30.20	0.050904	35.20	0.049652
20.30	-0.040832	25.30	-0.18216	30.30	0.04074	35.30	0.03238
20.40	-0.015716	25.40	0.044404	30.40	0.063262	35.40	0.001618
20.50	-0.0766	25.50	0.014466	30.50	0.07312	35.50	0.037872
20.60	-0.0596	25.60	-0.190918	30.60	0.068848	35.60	0.044128
20.70	-0.080842	25.70	0.03653	30.70	0.118774	35.70	0.037934
20.80	-0.21759	25.80	0.029724	30.80	0.091278	35.80	0.028412
20.90	-0.066834	25.90	0.016938	30.90	0.044342	35.90	-0.0047
21.00	-0.003388	26.00	0.043702	31.00	-0.153808	36.00	0.156372
21.10	-0.091552	26.10	0.037842	31.10	0.108734	36.10	-0.026368
21.20	-0.195374	26.20	0.041108	31.20	0.047242	36.20	-0.040894
21.30	-0.027436	26.30	0.06543	31.30	0.006134	36.30	0.137482
21.40	-0.022736	26.40	0.065552	31.40	0.24292	36.40	0.107208
21.50	-0.282136	26.50	0.042694	31.50	0.005616	36.50	-0.03769
21.60	-0.001954	26.60	0.090638	31.60	0.047302	36.60	-0.060914
21.70	0.016448	26.70	0.132324	31.70	0.123382	36.70	-0.047486
21.80	0.029084	26.80	0.019562	31.80	-0.007874	36.80	-0.052734
21.90	0.04187	26.90	0.052368	31.90	0.195068	36.90	-0.052002
22.00	0.036804	27.00	0.082122	32.00	0.009552	37.00	-0.051026
22.10	0.04306	27.10	0.01944	32.10	-0.0141	37.10	-0.073364
22.20	0.036164	27.20	0.145538	32.20	-0.012756	37.20	-0.171234
22.30	0.074462	27.30	0.04071	32.30	0.177002	37.30	-0.041474
22.40	0.056336	27.40	0.073884	32.40	-0.03424	37.40	-0.118592
22.50	0.043548	27.50	0.042388	32.50	-0.062408	37.50	-0.132202
22.60	0.078674	27.60	0.171631	32.60	-0.049164	37.60	0.031098
22.70	0.098846	27.70	0.007538	32.70	-0.134948	37.70	-0.158538
22.80	0.112396	27.80	0.067688	32.80	-0.063996	37.80	-0.103882
22.90	0.102112	27.90	0.071534	32.90	-0.073304	37.90	0.017364
23.00	0.033996	28.00	-0.005616	33.00	-0.060516	38.00	0.030792
23.10	0.029876	28.10	-0.043548	33.10	-0.001954	38.10	0.018738
23.20	0.138488	28.20	0.010894	33.20	-0.086578	38.20	0.00711
23.30	0.022094	28.30	-0.028748	33.30	-0.084046	38.30	0.04126
23.40	0.065186	28.40	-0.047088	33.40	-0.146424	38.40	0.053924
23.50	0.18863	28.50	-0.035126	33.50	-0.101654	38.50	0.052612
23.60	-0.012726	28.60	-0.040192	33.60	0.018524	38.60	0.060914
23.70	0.055024	28.70	-0.04486	33.70	-0.111938	38.70	0.060914
23.80	0.139496	28.80	-0.016174	33.80	-0.003022	38.80	0.069976
23.90	-0.017974	28.90	-0.089448	33.90	0.014984	38.90	0.162812
24.00	-0.021362	29.00	-0.096558	34.00	0.024628	39.00	0.033326
24.10	0.042786	29.10	-0.06128	34.10	-0.249268	39.10	0.071044
24.20	-0.031556	29.20	-0.069336	34.20	0.042388	39.20	0.069152
24.30	-0.045228	29.30	-0.222718	34.30	0.028992	39.30	0.031188
24.40	-0.047454	29.40	0.00055	34.40	0.047424	39.40	0.007354
24.50	-0.055268	29.50	-0.00943	34.50	0.096314	39.50	0.009644
24.60	-0.069976	29.60	0.016022	34.60	0.227692	39.60	0.028504
24.70	-0.117248	29.70	0.027558	34.70	0.024292	39.70	0.01233
24.80	-0.07846	29.80	0.026246	34.80	0.081086	39.80	0.122132
24.90	-0.127778	29.90	0.021514	34.90	0.04779	39.90	0.13562
25.00	-0.045716	30.00	-0.065856	35.00	-0.042328	40.00	0.007476

400 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
40.10	0.148682	45.10	-0.082702	50.10	0.019134	55.10	0.093598
40.20	-0.01535	45.20	0.059144	50.20	0.03305	55.20	0.122376
40.30	-0.022004	45.30	0.015656	50.30	-0.015106	55.30	0.026398
40.40	0.25476	45.40	-0.106994	50.40	0.014556	55.40	0.085388
40.50	-0.047242	45.50	-0.07254	50.50	0.04779	55.50	0.047302
40.60	-0.025452	45.60	0.0159	50.60	0.05603	55.60	0.061798
40.70	-0.042938	45.70	-0.044098	50.70	0.063324	55.70	0.002686
40.80	-0.061798	45.80	0.013062	50.80	0.07077	55.80	0.061248
40.90	-0.07071	45.90	-0.00113	50.90	0.052398	55.90	0.012786
41.00	-0.061248	46.00	0.020202	51.00	0.115692	56.00	0.081542
41.10	-0.088868	46.10	0.028472	51.10	0.11496	56.10	0.021636
41.20	-0.126496	46.20	0.035248	51.20	0.060242	56.20	0.022552
41.30	-0.081542	46.30	0.036926	51.30	0.05725	56.30	0.201904
41.40	0.009736	46.40	0.035584	51.40	0.096282	56.40	-0.036102
41.50	-0.203476	46.50	0.062042	51.50	0.026092	56.50	0.057038
41.60	-0.003082	46.60	0.08075	51.60	0.027832	56.60	0.015228
41.70	-0.08725	46.70	0.097962	51.70	0.236634	56.70	0.019104
41.80	-0.07904	46.80	0.054626	51.80	0	56.80	-0.027924
41.90	0.018676	46.90	0.043518	51.90	0.127778	56.90	-0.037322
42.00	-0.00058	47.00	0.067962	52.00	0.179504	57.00	-0.039184
42.10	0.023316	47.10	0.121186	52.10	0.023162	57.10	-0.045562
42.20	-0.033082	47.20	0.059144	52.20	0.00058	57.20	-0.047668
42.30	0.037384	47.30	0.038636	52.30	0.063874	57.30	-0.061248
42.40	0.048188	47.40	0.022888	52.40	-0.020996	57.40	-0.104004
42.50	0.040222	47.50	0.28833	52.50	-0.022918	57.50	-0.156616
42.60	0.068786	47.60	0.004822	52.60	0.173736	57.60	0.003754
42.70	0.06662	47.70	0.114562	52.70	-0.037964	57.70	-0.01706
42.80	0.053864	47.80	-0.015838	52.80	-0.027526	57.80	-0.210052
42.90	0.2323	47.90	0.01056	52.90	-0.051116	57.90	0.007934
43.00	0.048646	48.00	0.080506	53.00	-0.057556	58.00	-0.129456
43.10	0.047088	48.10	-0.01001	53.10	-0.064422	58.10	-0.066468
43.20	0.095916	48.20	0.181092	53.20	-0.117858	58.20	0.005706
43.30	0.107666	48.30	-0.042022	53.30	-0.076934	58.30	0.03003
43.40	0.108246	48.40	-0.041352	53.40	-0.085114	58.40	0.021912
43.50	0.04892	48.50	-0.039916	53.50	-0.034852	58.50	-0.001526
43.60	-0.03537	48.60	0.106292	53.60	-0.088074	58.60	0.024566
43.70	0.051116	48.70	-0.029022	53.70	-0.153748	58.70	0.05246
43.80	0.168854	48.80	-0.066436	53.80	-0.122436	58.80	0.04538
43.90	0.01361	48.90	0.016938	53.90	-0.010284	58.90	0.072846
44.00	0.06253	49.00	-0.048584	54.00	-0.001404	59.00	0.04544
44.10	0.016052	49.10	-0.054962	54.10	-0.237366	59.10	0.072602
44.20	-0.009704	49.20	-0.087922	54.20	0.010772	59.20	0.126068
44.30	-0.034638	49.30	-0.123932	54.30	0.027252	59.30	0.04422
44.40	-0.031158	49.40	-0.03128	54.40	0.029358	59.40	0.061738
44.50	0.250488	49.50	-0.04776	54.50	0.04367	59.50	-0.062744
44.60	-0.021912	49.60	0.012664	54.60	0.031646	59.60	0.114716
44.70	-0.01886	49.70	-0.257934	54.70	0.051636	59.70	0.0961
44.80	-0.026214	49.80	0.020446	54.80	0.06372	59.80	-0.007934
44.90	-0.055206	49.90	-0.059052	54.90	0.068298	59.90	0.018464
45.00	-0.059174	50.00	-0.13031	55.00	0.04721	60.00	-0.02362

400 Rpm					
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
60.10	0.091094	65.10	-0.006196	70.10	-0.021668
60.20	-0.000336	65.20	-0.05008	70.20	0.019532
60.30	0.06128	65.30	-0.05484	70.30	-0.279632
60.40	0.004456	65.40	-0.071228	70.40	0.016724
60.50	0.008362	65.50	-0.106476	70.50	0.022706
60.60	-0.030792	65.60	0.075378	70.60	0.024476
60.70	0.000916	65.70	-0.089172	70.70	-0.06601
60.80	0.257202	65.80	-0.03946	70.80	0.037232
60.90	-0.036164	65.90	-0.047698	70.90	0.024598
61.00	-0.03537	66.00	-0.205474	71.00	0.037018
61.10	-0.059968	66.10	0.003022	71.10	0.075286
61.20	-0.06952	66.20	-0.027588	71.20	0.122802
61.30	-0.060822	66.30	-0.010864	71.30	0.107148
61.40	-0.096466	66.40	0.028412	71.40	0.078704
61.50	-0.133484	66.50	0.018616	71.50	0.06076
61.60	0.004212	66.60	0.013764	71.60	0.042266
61.70	-0.08731	66.70	0.017762	71.70	0.083832
61.80	-0.125976	66.80	0.05603	71.80	0.050598
61.90	-0.081512	66.90	0.0448	71.90	0.038848
62.00	0.021636	67.00	0.056916	72.00	0.10672
62.10	-0.031922	67.10	0.074952	72.10	0.056794
62.20	0.039948	67.20	0.055298	72.20	0.032898
62.30	0.02121	67.30	0.088074	72.30	0.240906
62.40	0.02417	67.40	0.112396	72.40	-0.032074
62.50	-0.277496	67.50	0.040252	72.50	-0.019256
62.60	0.024964	67.60	0.093476		
62.70	0.032166	67.70	0.02298		
62.80	0.051728	67.80	0.05066		
62.90	0.285798	67.90	0.0484		
63.00	0.042816	68.00	0.041412		
63.10	0.050872	68.10	-0.02127		
63.20	0.046052	68.20	0.004058		
63.30	0.05185	68.30	0.004334		
63.40	0.045502	68.40	0.258666		
63.50	0.065704	68.50	-0.020386		
63.60	0.096344	68.60	0.095672		
63.70	0.027954	68.70	-0.045776		
63.80	0.030732	68.80	-0.019958		
63.90	0.18518	68.90	0.120362		
64.00	0.055512	69.00	-0.044952		
64.10	0.042054	69.10	-0.046356		
64.20	0.280854	69.20	-0.041442		
64.30	-0.017486	69.30	-0.055542		
64.40	0.062104	69.40	-0.078704		
64.50	-0.010894	69.50	-0.094056		
64.60	-0.031678	69.60	-0.093872		
64.70	0.224976	69.70	-0.062378		
64.80	-0.02063	69.80	-0.08722		
64.90	-0.033294	69.90	-0.014222		
65.00	-0.036896	70.00	-0.141816		

- **Tabla 6:** 600 rpm \rightarrow 20.03 rpm = 2.10 rad/s (Datos experimentales – Tabulación)

600 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
0.10	0.001403	5.10	-0.0191613	10.10	0.0873172	15.10	0.0356914
0.20	0.0102488	5.20	0.1520323	10.20	0.5931792	15.20	0.0090551
0.30	0.0116518	5.30	0.1199565	10.30	-0.0847205	15.30	0.0261119
0.40	0.0060375	5.40	0.3979092	10.40	0.0198996	15.40	0.0514855
0.50	0.0050899	5.50	0.0770339	10.50	0.0595217	15.50	0.0797364
0.60	0.0072657	5.60	0.0039307	10.60	0.0409906	15.60	0.0686803
0.70	0.0091609	5.70	-0.0483253	10.70	0.2324702	15.70	0.37854
0.80	0.0093012	5.80	-0.040641	10.80	0.2608982	15.80	-0.0410619
0.90	0.0083536	5.90	-0.0600139	10.90	0.3487053	15.90	0.1969536
1.00	0.0091241	6.00	-0.0368851	11.00	-0.0004554	16.00	0.0466417
1.10	0.0088435	6.10	-0.077349	11.10	0.63167096	16.10	0.0446752
1.20	0.0083168	6.20	-0.0975637	11.20	-0.0415518	16.20	0.1183051
1.30	0.0105639	6.30	-0.4937893	11.30	-0.0633121	16.30	0.0723304
1.40	0.008878	6.40	0.1381702	11.40	-0.0439737	16.40	0.0050899
1.50	0.0080017	6.50	0.0086342	11.50	0.0379385	16.50	-0.0540477
1.60	0.008142	6.60	-0.0624703	11.60	-0.0751387	16.60	0.5900558
1.70	0.0122843	6.70	-0.0702259	11.70	-0.3672019	16.70	-0.0594872
1.80	-0.901779	6.80	-0.0676637	11.80	0.0754906	16.80	-0.0547837
1.90	0.477097	6.90	0.069138	11.90	-0.4956845	16.90	-0.0143543
2.00	-0.0835958	7.00	0.0268479	12.00	-0.2924128	17.00	-0.0232323
2.10	0.4218798	7.10	0.0193384	12.10	-0.6481377	17.10	-0.1072168
2.20	0.1716513	7.20	0.0235129	12.20	0.001334	17.20	-0.330597
2.30	0.120727	7.30	0.0606441	12.30	-0.4479549	17.30	0.0207414
2.40	0.5134083	7.40	0.0700143	12.40	0.0430974	17.40	-0.20815
2.50	-0.0450271	7.50	0.590088	12.50	-0.003404	17.50	-0.0044574
2.60	0.0601887	7.60	0.0944771	12.60	0.0264615	17.60	-0.0173719
2.70	0.2319435	7.70	0.0673486	12.70	0.0481505	17.70	-0.3195068
2.80	-0.0008763	7.80	0.1188686	12.80	0.0586086	17.80	0.0490981
2.90	-0.0323932	7.90	0.219029	12.90	0.2489658	17.90	0.0213026
3.00	-0.0563638	8.00	0.3136809	13.00	0.0745062	18.00	0.0322529
3.10	-0.073278	8.10	0.2524043	13.10	0.060398	18.10	0.05359
3.20	-0.0427455	8.20	0.1917947	13.20	0.1232547	18.20	0.0524676
3.30	-0.0574149	8.30	0.0149155	13.30	0.2595642	18.30	0.1045833
3.40	-0.0753503	8.40	0.4520604	13.40	0.0383939	18.40	0.3197184
3.50	-0.328186	8.50	-0.0490981	13.50	0.104374	18.50	0.1209041
3.60	-0.0959859	8.60	-0.0526079	13.60	0.1995503	18.60	0.0545376
3.70	-0.0768223	8.70	-0.0479757	13.70	-0.000736	18.70	0.3720434
3.80	0.0166359	8.80	-0.0847205	13.80	0.1236043	18.80	-0.0022816
3.90	-0.3312276	8.90	-0.1229028	13.90	-0.0384997	18.90	0.2253816
4.00	-0.1130772	9.00	-0.4070701	14.00	-0.0532404	19.00	0.02369
4.10	-0.083421	9.10	0.1028997	14.10	-0.0679788	19.10	0.5501186
4.20	0.0356569	9.20	-0.3629538	14.20	-0.0720866	19.20	-0.0387803
4.30	-0.0337272	9.30	-0.1232202	14.30	-0.0580474	19.30	0.3737983
4.40	0.0636272	9.40	-0.4233196	14.40	-0.108445	19.40	0.0043861
4.50	0.0420785	9.50	0.0039652	14.50	-0.1830225	19.50	-0.0195477
4.60	0.0547124	9.60	-0.0978466	14.60	-0.4685215	19.60	-0.0482218
4.70	0.2270652	9.70	0.0392725	14.70	-0.1603146	19.70	-0.0666103
4.80	0.0910731	9.80	-0.0270227	14.80	-0.5440811	19.80	-0.1995158
4.90	0.1412936	9.90	0.0049841	14.90	-0.0980904	19.90	-0.0622932
5.00	0.0788578	10.00	0.0410964	15.00	-0.3897672	20.00	-0.0771742

600 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
20.10	0.0398337	25.10	-0.0783334	30.10	0.2536693	35.10	0.0548527
20.20	0.0049473	25.20	-0.082087	30.20	0.0875978	35.20	0.0031234
20.30	0.0161782	25.30	-0.1574718	30.30	-0.01495	35.30	0.1266587
20.40	-0.4207574	25.40	-0.0952131	30.40	0.0825447	35.40	0.0360433
20.50	0.0208472	25.50	-0.1007929	30.50	-0.0664355	35.50	0.0493787
20.60	0.030498	25.60	0.0734551	30.60	-0.073876	35.60	0.1588771
20.70	0.0162495	25.70	-0.5523634	30.70	-0.1826361	35.70	-0.0406042
20.80	0.0408503	25.80	0.000667	30.80	-0.036639	35.80	-0.0493442
20.90	0.0505724	25.90	-0.5944419	30.90	-0.1409785	35.90	-0.0570998
21.00	0.0918091	26.00	0.0017549	31.00	-0.530219	36.00	-0.0706468
21.10	0.2126419	26.10	0.0168452	31.10	-0.4839269	36.10	-0.0734183
21.20	-0.1407324	26.20	0.02369	31.20	-0.4366895	36.20	-0.0942655
21.30	0.039974	26.30	0.1377838	31.30	0.0267766	36.30	-0.472107
21.40	0.0742256	26.40	0.4630452	31.40	-0.447465	36.40	-0.0302864
21.50	0.0608189	26.50	0.0323932	31.50	0.0243915	36.50	-0.2741991
21.60	0.3227015	26.60	0.1325536	31.60	-0.0174777	36.60	-0.282693
21.70	0.0919839	26.70	0.3579352	31.70	0.04071	36.70	-0.0266731
21.80	0.2526849	26.80	0.1495414	31.80	0.0612421	36.80	-0.5818793
21.90	-0.0067022	26.90	0.2497386	31.90	0.2421923	36.90	0.0078614
22.00	0.342957	27.00	0.0527827	32.00	-0.0238303	37.00	0.036639
22.10	-0.0226711	27.10	0.2293468	32.10	0.0573459	37.10	-0.0008418
22.20	-0.043447	27.20	-0.0122843	32.20	0.0409561	37.20	0.0469568
22.30	-0.0324277	27.30	-0.0168452	32.30	0.2751812	37.30	0.0696279
22.40	0.0595562	27.40	-0.0648209	32.40	0.0741911	37.40	0.0791407
22.50	-0.084019	27.50	0.1348352	32.50	0.1576834	37.50	0.3559365
22.60	-0.3736948	27.60	-0.044045	32.60	-0.0162495	37.60	0.0738047
22.70	0.257669	27.70	0.1321695	32.70	0.3870992	37.70	0.0813165
22.80	-0.0296907	27.80	-0.0604348	32.80	0.0355511	37.80	0.4226526
22.90	-0.0024564	27.90	-0.1018808	32.90	0.628602	37.90	0.1800026
23.00	-0.4115275	28.00	-0.621902	33.00	-0.0427455	38.00	0.1059886
23.10	0.0040365	28.10	-0.0509243	33.10	-0.0717002	38.10	0.1422067
23.20	0.0185311	28.20	-0.0460805	33.20	-0.0644345	38.20	0.016951
23.30	0.0397624	28.30	0.0473777	33.30	-0.0496938	38.30	0.0024564
23.40	-0.3272624	28.40	-0.2881325	33.40	-0.0625393	38.40	-0.0405352
23.50	0.028428	28.50	-0.0709274	33.50	-0.1133578	38.50	-0.0573459
23.60	0.0578358	28.60	-0.4850148	33.60	-0.0562235	38.60	-0.0410619
23.70	0.6035683	28.70	0.0060007	33.70	-0.5086703	38.70	-0.0041768
23.80	0.0552046	28.80	0.0313053	33.80	-0.3257881	38.80	-0.0079304
23.90	0.1848119	28.90	0.0282509	33.90	-0.1961463	38.90	-0.1373284
24.00	0.3698676	29.00	0.0223215	34.00	-0.0622587	39.00	-0.3911357
24.10	0.033166	29.10	0.0275494	34.10	-0.3686049	39.10	-0.048185
24.20	0.3524957	29.20	0.0552759	34.20	0.041308	39.20	0.0005957
24.30	0.3572337	29.30	0.483765	34.30	0.0328141	39.30	-0.0141427
24.40	0.1367672	29.40	0.0650325	34.40	0.0479757	39.40	0.0050531
24.50	0.0974602	29.50	0.1680012	34.50	0.0473777	39.50	-0.6416816
24.60	-0.0310937	29.60	0.0004209	34.60	0.0805782	39.60	0.0307073
24.70	-0.0320068	29.70	0.0070196	34.70	0.1178497	39.70	0.0030544
24.80	-0.0274091	29.80	0.1625962	34.80	0.0182137	39.80	0.0198628
24.90	-0.0367103	29.90	0.0751042	34.90	0.0486772	39.90	0.0509243
25.00	-0.0672428	30.00	0.1639302	35.00	0.0950383	40.00	0.0986884

600 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
40.10	0.4543075	45.10	0.0170223	50.10	-0.4946311	55.10	-0.0408503
40.20	0.043447	45.20	0.0352015	50.20	-0.1330803	55.20	-0.086825
40.30	0.2904831	45.30	0.0267076	50.30	-0.4154582	55.30	-0.343567
40.40	0.1005123	45.40	0.028497	50.40	-0.004738	55.40	-0.0121785
40.50	0.2687941	45.50	0.0615917	50.50	0.0002806	55.50	-0.0162495
40.60	0.0650325	45.60	0.1019521	50.60	0.0338307	55.60	-0.0082478
40.70	0.5941613	45.70	0.0543973	50.70	0.0280761	55.70	-0.545169
40.80	0.0121072	45.80	0.0538016	50.80	0.0086687	55.80	0.0023874
40.90	0.429184	45.90	0.0887547	50.90	0.0525734	55.90	-0.0424304
41.00	-0.0235129	46.00	0.2042538	51.00	0.1030745	56.00	0.0166359
41.10	-0.0120382	46.10	0.1006871	51.10	0.494583	56.10	0.0440105
41.20	-0.0356569	46.20	0.1775462	51.20	0.0184253	56.20	0.0254081
41.30	0.0105984	46.30	0.1257824	51.30	0.0455883	56.30	0.014214
41.40	-0.0453077	46.40	0.0478699	51.40	0.1565955	56.40	0.0883706
41.50	-0.0499054	46.50	0.1097422	51.50	0.0109503	56.50	0.1203061
41.60	-0.1403115	46.60	0.0045977	51.60	0.2362261	56.60	0.0800883
41.70	-0.0487462	46.70	0.0207414	51.70	0.0286373	56.70	0.0661894
41.80	-0.1767044	46.80	-0.0263557	51.80	0.3742192	56.80	0.1171137
41.90	-0.2434205	46.90	-0.095634	51.90	-0.0424994	56.90	0.3021004
42.00	-0.111251	47.00	-0.1142341	52.00	0.63977	57.00	-0.0265328
42.10	-0.0563638	47.10	-0.625886	52.10	-0.0309534	57.10	0.1395387
42.20	-0.0422901	47.20	-0.1550499	52.20	-0.0503976	57.20	0.096968
42.30	-0.086089	47.30	-0.5101791	52.30	-0.0628912	57.30	0.046046
42.40	0.0214084	47.40	-0.2136953	52.40	-0.0771397	57.40	0.3929251
42.50	0.0303232	47.50	-0.4349691	52.50	-0.0922645	57.50	-0.0235842
42.60	0.0463611	47.60	-0.0317607	52.60	-0.3150149	57.60	-0.0352705
42.70	0.0612421	47.70	-0.0183195	52.70	0.008878	57.70	0.0261809
42.80	0.0869653	47.80	-0.0109135	52.80	-0.004738	57.80	-0.0530288
42.90	0.5113728	47.90	0.0329544	52.90	-0.2331717	57.90	-0.0731377
43.00	0.0765785	48.00	0.0387458	53.00	-0.137609	58.00	-0.0918436
43.10	0.0744372	48.10	0.0409561	53.10	-0.0037904	58.10	-0.5348512
43.20	0.1742135	48.20	0.0453422	53.20	-0.6229757	58.20	-0.0552759
43.30	0.35604	48.30	0.05152	53.30	0.0214084	58.30	-0.0303577
43.40	0.214958	48.40	0.0227769	53.40	-0.290168	58.40	-0.3186995
43.50	0.0047725	48.50	0.0836671	53.50	0.0472742	58.50	-0.1157084
43.60	0.64516751	48.60	0.0506069	53.60	0.0535555	58.60	-0.0979869
43.70	-0.0167049	48.70	0.3102769	53.70	0.2167474	58.70	0.0095818
43.80	0.325473	48.80	0.046115	53.80	0.0255852	58.80	0.0248814
43.90	0.0076498	48.90	0.1350813	53.90	0.1510157	58.90	0.0304635
44.00	0.0813855	49.00	0.0319355	54.00	0.0855278	59.00	0.0574517
44.10	-0.0682249	49.10	-0.0010879	54.10	0.2199076	59.10	0.0862293
44.20	-0.0566444	49.20	-0.0547837	54.20	0.1657196	59.20	0.0721556
44.30	-0.1183419	49.30	0.0117208	54.30	0.3542161	59.30	0.134274
44.40	-0.4347943	49.40	-0.0051934	54.40	0.0180734	59.40	0.0675234
44.50	0.1034264	49.50	0.1279582	54.50	0.6449674	59.50	0.1279582
44.60	0.0226021	49.60	-0.0422556	54.60	-0.0023161	59.60	0.3093983
44.70	-0.024426	49.70	-0.0709619	54.70	0.2846572	59.70	0.2220834
44.80	-0.2460517	49.80	-0.1490837	54.80	0.0912134	59.80	0.2505804
44.90	-0.023023	49.90	-0.0661549	54.90	0.1391523	59.90	0.0168452
45.00	-0.4582037	50.00	-0.2154502	55.00	-0.0652418	60.00	0.0632408

600 Rpm			
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
60.10	-0.0618033	65.10	0.2044999
60.20	0.549907	65.20	0.2774628
60.30	-0.0658375	65.30	0.0202492
60.40	0.25093	65.40	0.2391034
60.50	-0.0466072	65.50	-0.0433067
60.60	-0.0774203	65.60	0.4027185
60.70	-0.1530857	65.70	-0.0315859
60.80	-0.0606096	65.80	-0.0399395
60.90	-0.0525021	65.90	0.1167273
61.00	-0.3469504	66.00	-0.0543973
61.10	-0.1937612	66.10	-0.1005836
61.20	-0.0466417	66.20	-0.39505
61.30	0.0052302	66.30	-0.1045833
61.40	0.0417979	66.40	-0.3096444
61.50	0.0295504	66.50	-0.2246456
61.60	0.023759	66.60	-0.4537463
61.70	0.0229172	66.70	0.0123188
61.80	0.0480447	66.80	-0.413132
61.90	0.0897023	66.90	-0.0053705
62.00	0.589828	67.00	-0.0024564
62.10	0.060996	67.10	0.0697682
62.20	0.0365332	67.20	0.1658599
62.30	0.1295015	67.30	0.0867192
62.40	0.0410619	67.40	0.0076866
62.50	0.2451409	67.50	0.167509
62.60	0.0718037	67.60	0.1114971
62.70	0.2518776	67.70	0.1452243
62.80	-0.0052992	67.80	0.0525366
62.90	0.64202225	67.90	0.0118979
63.00	-0.0410619	68.00	0.0343942
63.10	-0.0563638	68.10	0.1323788
63.20	-0.0531001	68.20	0.0209507
63.30	-0.0722614	68.30	0.0265328
63.40	-0.1175691	68.40	-0.0520812
63.50	-0.2171338	68.50	-0.0153019
63.60	0.0715231	68.60	-0.031234
63.70	-0.0757712	68.70	-0.0801228
63.80	-0.1819691		
63.90	-0.5149171		
64.00	-0.0052302		
64.10	-0.1196736		
64.20	0.0168452		
64.30	-0.3571647		
64.40	0.0276897		
64.50	0.0539764		
64.60	0.5224		
64.70	0.0680846		
64.80	0.1243426		
64.90	0.1999367		
65.00	0.0546434		

- **Tabla 7:** 800 rpm \rightarrow 26.71 rpm = 2.80 rad/s (Datos experimentales – Tabulación)

800 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
0.10	0.0013797	5.10	-0.0812025	10.10	0.0277479	15.10	-0.04803705
0.20	0.0032346	5.20	-0.7239024	10.20	0.20813625	15.20	-0.0120096
0.30	0.00387315	5.30	-0.03650265	10.30	-0.1113183	15.30	-0.0388503
0.40	0.00325485	5.40	-0.37299285	10.40	0.0576369	15.40	-1.153427
0.50	0.00286335	5.50	-0.458892	10.50	0.12301875	15.50	-0.06507405
0.60	0.0039555	5.60	-0.05467095	10.60	-0.07811235	15.60	-0.95782905
0.70	0.00403785	5.70	0.01231875	10.70	-0.0420633	15.70	-0.2337201
0.80	0.00498555	5.80	0.033453	10.80	0.33902415	15.80	-0.0480789
0.90	0.0040581	5.90	0.0358425	10.90	0.0299727	15.90	-0.051705
1.00	0.00370845	6.00	0.15789465	11.00	-0.02175255	16.00	0.0054594
1.10	0.00309015	6.10	0.00498555	11.10	0.22986855	16.10	0.01353375
1.20	0.00341955	6.20	0.0930879	11.20	-0.0658773	16.20	0.072468
1.30	0.00424305	6.30	0.2127087	11.30	-1.12713525	16.30	0.048924
1.40	0.0041202	6.40	0.16644285	11.40	-0.0266139	16.40	0.09768195
1.50	0.0035019	6.50	0.3356046	11.50	-0.42424425	16.50	0.265896
1.60	0.0040581	6.60	-0.0064476	11.60	-0.2578014	16.60	-0.00885735
1.70	0.0047385	6.70	-0.00554175	11.70	-0.0023274	16.70	0.0889893
1.80	0.00385155	6.80	-0.01075275	11.80	-0.01254555	16.80	-0.0088992
1.90	-0.2605608	6.90	-0.03304125	11.90	0.01994085	16.90	0.3577284
2.00	-0.00162675	7.00	0.2263248	12.00	0.0271917	17.00	0.09312975
2.10	0.82393335	7.10	-0.0630342	12.10	0.0195696	17.10	-0.01097955
2.20	-0.07506405	7.20	-0.16601085	12.20	0.07401375	17.20	0.15871815
2.30	0.2885355	7.30	0.20067885	12.30	0.0069012	17.30	-0.02024865
2.40	0.0259551	7.40	0.0112266	12.40	0.19489005	17.40	-0.1425276
2.50	-0.00718875	7.50	-0.2464506	12.50	0.10779615	17.50	0.0398601
2.60	0.401193	7.60	-0.1606338	12.60	0.0154089	17.60	-0.1499013
2.70	-0.0043254	7.70	-0.05234355	12.70	0.3302289	17.70	-0.02665575
2.80	-0.0110619	7.80	0.0301374	12.80	0.32985765	17.80	-0.1775871
2.90	0.2825415	7.90	-0.00776655	12.90	-0.0230094	17.90	-0.1441125
3.00	-0.08727885	8.00	0.03267	13.00	0.2242242	18.00	0.02008395
3.10	-0.15016995	8.10	0.0448443	13.10	0.06501195	18.10	-0.0691929
3.20	-0.00325485	8.20	0.12382335	13.20	-0.0351216	18.20	0.00803385
3.30	-0.0273564	8.30	0.0648675	13.30	-0.11780775	18.30	0.04043655
3.40	-0.05938785	8.40	0.3510756	13.40	0.2187648	18.40	1.15360457
3.50	-0.23860305	8.50	0.24744015	13.50	0.00181305	18.50	0.0675459
3.60	-0.38131425	8.60	0.30439665	13.60	0.0227205	18.60	0.06373485
3.70	-0.00057645	8.70	0.0917703	13.70	-0.2023893	18.70	-0.01512
3.80	-0.0649296	8.80	-0.00652995	13.80	-0.22663395	18.80	0.3850227
3.90	0.0421875	8.90	0.3250989	13.90	-0.0407862	18.90	0.0402921
4.00	0.0641466	9.00	0.0132867	14.00	0.0190134	19.00	-0.00887895
4.10	-0.0024516	9.10	-0.0424548	14.10	0.04717305	19.10	0.2794716
4.20	0.07741305	9.20	-0.0975996	14.20	0.7992135	19.20	-0.0272322
4.30	0.1096713	9.30	0.04914945	14.30	0.0181062	19.30	-0.02043495
4.40	0.13603815	9.40	-0.08635275	14.40	0.1311147	19.40	-0.048924
4.50	0.2809755	9.50	-0.19973115	14.50	-0.0177984	19.50	-1.15748568
4.60	-0.02525445	9.60	-0.33142365	14.60	0.3035934	19.60	-0.0564624
4.70	0.00152415	9.70	-0.3988656	14.70	0.48653595	19.70	-0.2721384
4.80	0.2882061	9.80	0.02727405	14.80	0.00774495	19.80	-0.5308254
4.90	-0.0237924	9.90	0.018333	14.90	-0.02348325	19.90	-0.04566915
5.00	-0.02377215	10.00	0.0201879	15.00	-0.0456273	20.00	0.014688

800 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
20.10	0.03127005	25.10	0.2424951	30.10	-0.16378605	35.10	-0.0132246
20.20	0.0225774	25.20	0.2305476	30.20	-0.27582525	35.20	0.3054267
20.30	0.3065391	25.30	-0.03536865	30.30	0.0043875	35.30	0.141291
20.40	-0.02826225	25.40	-0.0498096	30.40	-0.00492345	35.40	0.06043815
20.50	0.07745355	25.50	-0.0380889	30.50	0.03870585	35.50	-0.0151821
20.60	0.3106593	25.60	-0.1928097	30.60	0.2218347	35.60	-0.0460809
20.70	-0.0380889	25.70	-0.01932255	30.70	0.0315171	35.70	-0.0249669
20.80	0.02894265	25.80	-0.21952755	30.80	0.22496535	35.80	-0.05565915
20.90	0.28629045	25.90	-0.08128485	30.90	0.11024775	35.90	-1.0558404
21.00	0.14366025	26.00	-0.24130035	31.00	-0.0231741	36.00	-0.2077029
21.10	0.09424215	26.10	-0.3113181	31.10	0.58269375	36.10	0.19828935
21.20	-0.0313524	26.20	0.01126845	31.20	-0.0066123	36.20	-0.0126684
21.30	-0.03821175	26.30	0.00875475	31.30	-0.0411777	36.30	-0.41583915
21.40	-0.0597591	26.40	0.0474201	31.40	0.19363455	36.40	0.02119635
21.50	-0.1478412	26.50	1.0501353	31.50	0.30901095	36.50	-0.02008395
21.60	-0.0105462	26.60	0.00197775	31.60	-0.00751815	36.60	0.0431352
21.70	-0.03971565	26.70	0.01493505	31.70	-0.12998205	36.70	0.0814293
21.80	-0.012339	26.80	0.0991656	31.80	-0.0136782	36.80	1.1036115
21.90	-0.1018224	26.90	-0.0505305	31.90	0.0082404	36.90	0.0389529
22.00	-0.64235025	27.00	0.80897805	32.00	0.16153965	37.00	0.14048775
22.10	-0.0120501	27.10	0.0100116	32.10	-0.2542779	37.10	0.1100007
22.20	0.04367115	27.20	0.07106805	32.20	-0.2039958	37.20	0.3783483
22.30	0.03386475	27.30	0.0175716	32.30	-0.00090585	37.30	0.06115905
22.40	1.11452895	27.40	-0.04348485	32.40	0.01386315	37.40	-0.0409509
22.50	0.01670625	27.50	-0.02298915	32.50	0.06573285	37.50	-0.0220617
22.60	0.0634662	27.60	-0.0337419	32.60	0.39561075	37.60	0.14460795
22.70	0.0859194	27.70	-0.2821905	32.70	-0.0238329	37.70	-0.05009715
22.80	0.02793285	27.80	0.233226	32.80	0.0152226	37.80	-0.11414115
22.90	0.16238475	27.90	-0.13770675	32.90	0.25572105	37.90	-0.0332883
23.00	0.33885945	28.00	-0.5016978	33.00	-0.02960145	38.00	-0.0250695
23.10	-0.0090639	28.10	0.01297755	33.10	0.32985765	38.10	0.00131895
23.20	0.0335772	28.20	0.0482436	33.20	0.09508725	38.20	-0.29490075
23.30	-0.0206199	28.30	-0.0121122	33.30	-0.0208467	38.30	-0.01091745
23.40	-0.0290655	28.40	0.0367902	33.40	0.1929744	38.40	-0.0135135
23.50	-0.0379647	28.50	0.0588519	33.50	0.00453195	38.50	0.02980665
23.60	-1.1399806	28.60	1.14734472	33.60	-0.0097848	38.60	0.0462456
23.70	-0.08196525	28.70	0.0141723	33.70	-0.06851385	38.70	0.06468255
23.80	-0.2106702	28.80	0.0332262	33.80	-0.4203711	38.80	-0.0105462
23.90	-0.68731875	28.90	-0.0137808	33.90	-0.12693375	38.90	0.05067495
24.00	0.0144396	29.00	-0.0014418	34.00	-0.35875845	39.00	0.0850554
24.10	0.0343386	29.10	-0.0052731	34.10	-0.3137076	39.10	0.15538095
24.20	0.00663255	29.20	0.0640224	34.20	-0.0157167	39.20	0.1506438
24.30	0.03355695	29.30	0.3278394	34.30	-0.0983826	39.30	0.16815195
24.40	0.0380268	29.40	-0.00790965	34.40	0.00276075	39.40	0.08268615
24.50	0.2178387	29.50	-0.04698675	34.50	0.0181899	39.50	0.43131015
24.60	0.01435725	29.60	-0.06517665	34.60	0.0175716	39.60	-0.0190755
24.70	0.1479033	29.70	-1.14295512	34.70	0.0646407	39.70	-0.0323001
24.80	0.0061182	29.80	-0.064908	34.80	-0.11768355	39.80	-0.0610983
24.90	0.00698355	29.90	-0.5282712	34.90	0.06111855	39.90	-0.09551925
25.00	0.2103813	30.00	-0.18434385	35.00	0.16611345	40.00	0.03359745

800 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
40.10	-0.1877013	45.10	0.0332478	50.10	-0.05918265	55.10	0.09591075
40.20	0.04583385	45.20	0.5413311	50.20	-1.1400792	55.20	-0.09869175
40.30	-0.07706205	45.30	0.04476195	50.30	-0.05854275	55.30	-0.00665415
40.40	-0.3197016	45.40	0.6035202	50.40	-0.22234905	55.40	0.6419385
40.50	0.00597375	45.50	0.02741715	50.50	-0.27601155	55.50	0.1642383
40.60	0.03755295	45.60	-0.02982825	50.60	0.00568485	55.60	0.0618597
40.70	0.0593676	45.70	0.26443395	50.70	0.00881685	55.70	0.24993225
40.80	0.75824235	45.80	0.0402921	50.80	-0.22653135	55.80	0.0849312
40.90	0.0011124	45.90	-0.0380052	50.90	0.01969245	55.90	0.39221145
41.00	0.0290034	46.00	-0.0885357	51.00	0.10458315	56.00	-0.00992925
41.10	0.2741769	46.10	-0.0334746	51.10	-0.0402921	56.10	-0.02014605
41.20	0.0236898	46.20	-0.24665715	51.20	0.1456164	56.20	-0.0405189
41.30	0.23435865	46.30	-0.09084285	51.30	0.3481704	56.30	-0.84315195
41.40	0.36730665	46.40	-0.4496634	51.40	0.08278875	56.40	-0.0398601
41.50	-0.02638845	46.50	-0.23170185	51.50	0.28138725	56.50	-0.65380365
41.60	0.3778947	46.60	-0.01108215	51.60	0.00103005	56.60	-0.3782457
41.70	0.07401375	46.70	-0.07306605	51.70	-0.0394686	56.70	-0.1646514
41.80	-0.04027185	46.80	0.01755	51.80	-0.0420228	56.80	-0.0654237
41.90	-0.10013355	46.90	0.09034875	51.90	0.00496395	56.90	0.00498555
42.00	0.17983215	47.00	0.01271025	52.00	-0.00776655	57.00	0.01664415
42.10	0.0359667	47.10	0.06354855	52.10	-0.06505245	57.10	0.04564755
42.20	-0.0315792	47.20	0.28960605	52.20	0.03788235	57.20	0.0734157
42.30	-0.53101035	47.30	0.0723654	52.30	0.20022525	57.30	-0.19029735
42.40	-0.0248427	47.40	0.0533736	52.40	-0.22136085	57.40	-0.0362961
42.50	0.00074115	47.50	0.1837674	52.50	0.0960552	57.50	0.48470265
42.60	0.00341955	47.60	0.0819234	52.60	0.0713556	57.60	0.29974185
42.70	0.02443095	47.70	0.3125952	52.70	-0.2592432	57.70	0.03032235
42.80	0.4850118	47.80	-0.0020601	52.80	0.0063234	57.80	-0.00731295
42.90	0.0201879	47.90	-0.04616325	52.90	0.0183951	57.90	0.0928206
43.00	0.06099435	48.00	-0.0555363	53.00	0.0652995	58.00	0.07829865
43.10	0.3560598	48.10	-1.14576128	53.10	1.14408855	58.10	0.13020885
43.20	0.03726405	48.20	-0.035802	53.20	0.0451953	58.20	-0.0576369
43.30	0.01336905	48.30	-0.4098654	53.30	-0.0175095	58.30	-0.1096092
43.40	0.14164065	48.40	-0.0304668	53.40	0.1111752	58.40	0.01435725
43.50	0.0286335	48.50	-0.0420849	53.50	-0.00780705	58.50	-0.3383856
43.60	0.21864195	48.60	-0.291357	53.60	0.31313115	58.60	-0.00218295
43.70	-0.01998135	48.70	0.02259765	53.70	0.3221127	58.70	-0.02249505
43.80	-0.05378535	48.80	0.02725245	53.80	-0.0121743	58.80	-0.55486485
43.90	-0.04214565	48.90	0.04282605	53.90	-0.0339687	58.90	0.0044901
44.00	-0.18906075	49.00	0.08900955	54.00	0.2541753	59.00	0.03032235
44.10	0.0040986	49.10	-0.0528579	54.10	-0.05316705	59.10	0.03388635
44.20	-0.1503549	49.20	-0.21474855	54.20	-0.16489845	59.20	0.05666895
44.30	-0.0969408	49.30	0.4848471	54.30	0.05182785	59.30	1.09244565
44.40	-0.2445147	49.40	0.0145017	54.40	-0.03304125	59.40	0.00496395
44.50	-0.29846475	49.50	0.6417117	54.50	-0.02515185	59.50	0.71294445
44.60	0.03021975	49.60	0.0155736	54.60	-0.0492939	59.60	0.19697175
44.70	-0.0893808	49.70	0.01965195	54.70	-0.17484795	59.70	0.01625265
44.80	0.04566915	49.80	-0.0336393	54.80	0.0172422	59.80	-0.0380673
44.90	0.0603774	49.90	-0.03670785	54.90	-0.1128438	59.90	0.1018224
45.00	-0.01579905	50.00	-0.02414205	55.00	0.01926045	60.00	0.09558135

800 Rpm					
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
60.10	-0.01452195	65.10	-0.03038445	70.10	-0.00999135
60.20	-0.0312903	65.20	0.01765395	70.20	0.1563489
60.30	-0.0564624	65.30	0.06204465	70.30	-0.0406215
60.40	-1.12441635	65.40	1.13901075	70.40	-0.0164997
60.50	-0.0850554	65.50	0.06579495	70.50	-0.06655635
60.60	-0.2617353	65.60	0.0695439	70.60	-1.03909365
60.70	-0.3047058	65.70	0.31729185	70.70	-0.07018245
60.80	-0.14532885	65.80	0.01458405	70.80	-0.3663603
60.90	0.01268865	65.90	0.5092578	70.90	-0.03186675
61.00	0.0060561	66.00	0.0855279	71.00	-0.10423215
61.10	0.0300132	66.10	0.518589	71.10	0.0012366
61.20	0.0717687	66.20	-0.0296838	71.20	0.0236277
61.30	-0.00620055	66.30	-0.03847905	71.30	-0.06099435
61.40	0.10847655	66.40	-0.066474	71.40	0.0220212
61.50	0.3487887	66.50	-0.3223395	71.50	0.1206711
61.60	0.02076435	66.60	0.0595944	71.60	-0.00103005
61.70	0.1652481	66.70	-0.1449576	71.70	0.0764235
61.80	0.19579725	66.80	-0.0695439	71.80	0.0409509
61.90	0.1397466	66.90	-0.06396165	71.90	0.1764126
62.00	0.1222371	67.00	-0.20234745	72.00	0.02465775
62.10	-0.0061587	67.10	0.02665575	72.10	0.1092177
62.20	-0.03611115	67.20	0.01452195	72.20	0.02010555
62.30	-0.06750405	67.30	0.01858005	72.30	-0.0306936
62.40	-0.63695295	67.40	0.09729045	72.40	-0.02554335
62.50	-0.0146259	67.50	-0.1271808	72.50	-0.0628074
62.60	-0.40228515	67.60	0.01254555	72.60	-0.6931899
62.70	-0.2048814	67.70	0.659097	72.70	-0.0658557
62.80	0.00273915	67.80	0.0738693	72.80	-0.4062609
62.90	-0.2490264	67.90	0.1478628	72.90	-0.17410545
63.00	0.0225774	68.00	0.5400945	73.00	-0.30557115
63.10	0.02780865	68.10	-0.04459725	73.10	-0.02066175
63.20	0.0391797	68.20	-0.01843695	73.20	-0.02288655
63.30	0.59509485	68.30	0.09902115	73.30	0.01186515
63.40	-0.0028836	68.40	-0.02574855	73.40	1.148694
63.50	0.05244615	68.50	-0.07182945	73.50	0.012771
63.60	0.16448535	68.60	0.0528579	73.60	0.0036045
63.70	-0.00702405	68.70	-0.2338443	73.70	-0.0082188
63.80	-0.07244775	68.80	-0.1224639	73.80	-0.0082404
63.90	0.52950645	68.90	-0.1065609	73.90	0.0004536
64.00	-0.01025865	69.00	-0.05094225	74.00	0.02268
64.10	-0.02253555	69.10	0.0002268		
64.20	-0.0395712	69.20	-0.2506329		
64.30	-0.0363582	69.30	0.0300753		
64.40	-0.0503658	69.40	0.2478924		
64.50	-0.14232105	69.50	-0.00679725		
64.60	-0.04109535	69.60	0.0180036		
64.70	-0.0336798	69.70	0.50695065		
64.80	-0.5398893	69.80	0.01893105		
64.90	-0.09063765	69.90	0.13249575		
65.00	0.0068391	70.00	0.02243295		

• **Tabla 8:** 1000 rpm → 33.39 rpm = 3.50 rad/s(Datos Experimentales – Tabulación)

1000 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
0.10	0.00380511	5.10	0.22405167	10.10	-0.00245106	15.10	0.29457855
0.20	0.00361845	5.20	0.11827053	10.20	0.26572428	15.20	0.46138527
0.30	0.00595323	5.30	-0.07237206	10.30	0.04034151	15.30	-0.03191427
0.40	0.00361845	5.40	-0.09240282	10.40	-0.03240387	15.40	-1.721136
0.50	0.00443547	5.50	-0.04267629	10.50	-0.60479982	15.50	-0.12261267
0.60	0.00445842	5.60	-1.738891	10.60	0.03469275	15.60	-0.1109403
0.70	0.0035955	5.70	-0.03277719	10.70	0.11236473	15.70	-0.57332925
0.80	0.00413253	5.80	-0.27461817	10.80	-0.52659081	15.80	-0.36522324
0.90	0.00557991	5.90	-0.11451132	10.90	-0.07951563	15.90	-0.06707367
1.00	0.00546363	6.00	0.00968796	11.00	-0.51923763	16.00	-0.02642769
1.10	0.00366588	6.10	0.01872414	11.10	-0.02152557	16.10	0.22433166
1.20	0.00375921	6.20	0.02815506	11.20	0.85908429	16.20	0.06331446
1.30	-0.43684866	6.30	1.76252115	11.30	0.1231497	16.30	0.30683538
1.40	0.06254334	6.40	0.08444223	11.40	0.58803714	16.40	-0.16052607
1.50	1.70998212	6.50	0.38222001	11.50	-0.01316718	16.50	0.1397961
1.60	0.08455851	6.60	0.06718995	11.60	0.91798623	16.60	0.41306022
1.70	-0.02502621	6.70	0.95716035	11.70	0.34171479	16.70	0.05348574
1.80	0.15286995	6.80	0.03705048	11.80	0.04755546	16.80	-0.02474622
1.90	-0.0577116	6.90	0.68321844	11.90	0.11964753	16.90	-0.13206807
2.00	0.32324769	7.00	-0.01146276	12.00	-0.07566462	17.00	-0.21333555
2.10	0.14334417	7.10	-0.01818711	12.10	-0.2760885	17.10	-0.0090117
2.20	-0.06602256	7.20	-0.33496749	12.20	0.00039627	17.20	-0.71471349
2.30	0.09912717	7.30	-0.01085535	12.30	-0.70824618	17.30	-0.39503682
2.40	-0.1104966	7.40	-0.46133937	12.40	-0.54879264	17.40	-0.08269191
2.50	-0.17257329	7.50	-0.45183807	12.50	-0.29399562	17.50	-0.07876899
2.60	0.00968796	7.60	-0.36286551	12.60	-0.06938397	17.60	0.06004638
2.70	-0.46185345	7.70	-0.51066963	12.70	0.04890951	17.70	0.13339917
2.80	0.04937616	7.80	0.01139238	12.80	0.22895379	17.80	0.9003132
2.90	0.00555696	7.90	0.99423378	12.90	0.07839567	17.90	0.01860633
3.00	1.59581295	8.00	0.04769622	13.00	-0.00518211	18.00	0.90881082
3.10	0.12728223	8.10	0.02180556	13.10	0.13101696	18.10	0.0320535
3.20	0.40257819	8.20	0.09980343	13.20	0.36018189	18.20	0.64425546
3.30	0.57076191	8.30	0.91016487	13.30	0.06746994	18.30	0.70871283
3.40	0.34150518	8.40	0.04799916	13.40	0.59576517	18.40	-0.00273105
3.50	0.52841151	8.50	0.48956481	13.50	-0.06331446	18.50	0.498015
3.60	0.13454208	8.60	-0.05217759	13.60	0.14876037	18.60	-0.04778955
3.70	0.15310251	8.70	0.09662868	13.70	-0.03095649	18.70	-0.27613593
3.80	-0.07178913	8.80	-0.10664406	13.80	-1.74213715	18.80	-0.17740656
3.90	-0.32411214	8.90	-0.92141802	13.90	-0.15282252	18.90	-0.09760941
4.00	-0.04403034	9.00	-0.00716652	14.00	-0.1885878	19.00	-0.05806197
4.10	-0.56067615	9.10	-0.18744489	14.10	-0.35117019	19.10	0.0631737
4.20	-0.40624254	9.20	-0.61766406	14.20	0.05511978	19.20	0.04905027
4.30	-0.24844752	9.30	-0.05395239	14.30	0.04323627	19.30	0.00144738
4.40	-0.12513411	9.40	-0.16524306	14.40	-0.0031977	19.40	0.75285945
4.50	0.04423995	9.50	0.08848143	14.50	0.07155504	19.50	0.07052841
4.60	0.22484421	9.60	1.77192303	14.60	0.0090576	19.60	0.14831667
4.70	0.06905655	9.70	0.05087097	14.70	0.13764798	19.70	0.13318803
4.80	0.12373416	9.80	1.08656775	14.80	0.09623241	19.80	0.44730774
4.90	0.0987768	9.90	0.43836642	14.90	0.18431604	19.90	0.43000956
5.00	0.40815657	10.00	0.77952123	15.00	0.02598399	20.00	0.23910993

1000 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
20.10	0.3996819	25.10	-0.07935345	30.10	-0.08584371	35.10	-0.01737009
20.20	-0.0324972	25.20	-0.20738232	30.20	0.09151542	35.20	-0.15424695
20.30	-0.30749022	25.30	-0.00992205	30.30	-0.03119058	35.30	-0.06037227
20.40	-0.01375011	25.40	-0.8245782	30.40	-0.09396801	35.40	-0.1443249
20.50	-0.65798262	25.50	-0.64560951	30.50	-0.03399201	35.50	-0.03252015
20.60	-1.0378908	25.60	-0.00310437	30.60	-0.09868347	35.60	-0.00903465
20.70	0.00032742	25.70	0.04367997	30.70	0.00126072	35.70	0.02892618
20.80	-0.4064292	25.80	0.06604551	30.80	0.04573476	35.80	0.18083835
20.90	0.025704	25.90	0.09550872	30.90	0.56221686	35.90	0.06802992
21.00	0.19071297	26.00	-0.0189108	31.00	0.03532311	36.00	0.09847386
21.10	0.09597537	26.10	0.05600718	31.10	1.21300848	36.10	-0.03025575
21.20	-0.0053703	26.20	0.82616634	31.20	0.02661435	36.20	0.59469111
21.30	0.30265695	26.30	0.28255581	31.30	0.83566764	36.30	0.31411971
21.40	-0.05610051	26.40	0.10764774	31.40	0.12469041	36.40	0.17731323
21.50	0.0017748	26.50	0.67539861	31.50	0.07655202	36.50	-0.001377
21.60	0.53375886	26.60	0.08014599	31.60	0.06912693	36.60	-0.03586014
21.70	0.00144738	26.70	0.44028198	31.70	-0.0726291	36.70	-0.16251048
21.80	-0.04855914	26.80	-0.04699548	31.80	-1.762713	36.80	0.04970358
21.90	-0.11754684	26.90	0.04697253	31.90	-0.07613127	36.90	-0.60809238
22.00	0.36905283	27.00	-0.0875466	32.00	-0.05467608	37.00	-0.8669286
22.10	0.00557991	27.10	-0.03107277	32.10	-0.82376118	37.10	-0.41158836
22.20	-0.1050804	27.20	-0.06651216	32.20	-0.32229144	37.20	-0.29717037
22.30	-0.1673667	27.30	0.02733804	32.30	-0.24093063	37.30	0.02729214
22.40	0.07989048	27.40	0.0243729	32.40	0.04508145	37.40	0.26187174
22.50	0.04470813	27.50	-0.0216189	32.50	0.22717899	37.50	0.05778198
22.60	0.08388225	27.60	0.02992986	32.60	0.10052712	37.60	-0.045594
22.70	0.75428388	27.70	-0.0406215	32.70	0.50553342	37.70	0.06315075
22.80	-0.00027999	27.80	0.05203836	32.80	-0.16883856	37.80	0.01704267
22.90	0.48781296	27.90	-0.02283219	32.90	0.35296794	37.90	-0.03740085
23.00	0.04543182	28.00	1.02374289	33.00	0.70411365	38.00	0.2020365
23.10	0.85035258	28.10	0.10811439	33.10	0.03840453	38.10	-0.0238833
23.20	0.29553633	28.20	0.00095778	33.20	0.67644819	38.20	-0.05297166
23.30	0.09546129	28.30	0.08885475	33.30	-0.08458299	38.30	-0.18828486
23.40	0.07645869	28.40	-0.06200631	33.40	-0.20579418	38.40	0.094248
23.50	-0.02238849	28.50	-0.25692219	33.50	0.01793007	38.50	-0.05656716
23.60	-1.7360043	28.60	0.00910503	33.60	-0.63489339	38.60	-0.41147208
23.70	-0.02350998	28.70	-0.58542237	33.70	-0.42398595	38.70	-0.02969577
23.80	-0.34825095	28.80	-0.65114199	33.80	-0.32917797	38.80	0.07601499
23.90	-0.15784245	28.90	-0.29497635	33.90	0.00445842	38.90	0.02546991
24.00	-0.46393119	29.00	0.00688653	34.00	0.05708124	39.00	0.05252796
24.10	-0.02154852	29.10	-0.07027137	34.10	0.10505745	39.10	1.71272943
24.20	0.0238833	29.20	0.08934435	34.20	1.74082363	39.20	0.04928283
24.30	0.15569433	29.30	0.6648921	34.30	-0.05976486	39.30	0.39937896
24.40	0.03959487	29.40	0.01996038	34.40	0.89305182	39.40	0.27580851
24.50	0.01515159	29.50	0.43675533	34.50	-0.05336946	39.50	-0.0347157
24.60	0.16316532	29.60	0.32042331	34.60	0.82910853	39.60	0.3856977
24.70	0.93141045	29.70	0.30982347	34.70	0.58876083	39.70	0.24438537
24.80	0.02442033	29.80	0.02498031	34.80	0.00317475	39.80	0.50894226
24.90	-0.03821787	29.90	-0.03709638	34.90	0.4063833	39.90	-0.07536015
25.00	0.00186813	30.00	-0.04706586	35.00	-0.08084673	40.00	-1.76006365

1000 Rpm							
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
40.10	-0.38558142	45.10	-0.42239781	50.10	-0.30382434	55.10	-0.05075469
40.20	-0.10136862	45.20	-0.8651079	50.20	-0.03296385	55.20	-0.00842724
40.30	-0.18875151	45.30	-0.48274713	50.30	0.02395368	55.30	0.0252603
40.40	-0.04323627	45.40	-0.10031751	50.40	0.05299461	55.40	0.03144762
40.50	-0.15569433	45.50	0.02904246	50.50	0.06896322	55.50	0.11189655
40.60	0.01750932	45.60	0.20738232	50.60	1.73166	55.60	-0.16974891
40.70	0.62139879	45.70	0.09662868	50.70	-0.23754474	55.70	0.74566998
40.80	0.04697253	45.80	-0.00868428	50.80	0.41920011	55.80	0.08603037
40.90	0.23574699	45.90	-0.06891732	50.90	-0.01470789	55.90	0.00392139
41.00	-0.08140671	46.00	-0.11738313	51.00	0.96294987	56.00	-0.07045803
41.10	0.93309039	46.10	0.03273129	51.10	0.03527568	56.10	0.68975613
41.20	-0.02063817	46.20	0.09172656	51.20	-0.05059098	56.20	0.01678563
41.30	0.43505244	46.30	-0.0230418	51.30	-0.06709662	56.30	-0.0306765
41.40	-0.03392163	46.40	-0.11096325	51.40	-0.07251282	56.40	-1.59975729
41.50	-0.07265205	46.50	-0.17605251	51.50	-1.77275828	56.50	-0.42699699
41.60	-0.16033941	46.60	0.03590604	51.60	-0.44723889	56.60	-0.10395891
41.70	-1.7028275	46.70	-0.31545081	51.70	-0.5381469	56.70	0.03576528
41.80	-0.70719507	46.80	-0.29805777	51.80	0.0095013	56.80	-0.01926117
41.90	-0.67198977	46.90	-0.41593203	51.90	-0.07909641	56.90	-0.03882375
42.00	-0.89547993	47.00	0.00310437	52.00	-0.28521801	57.00	-0.02362626
42.10	0.00922131	47.10	-0.2543778	52.10	0.01529235	57.10	0.09730647
42.20	0.07204617	47.20	0.05502645	52.20	1.7294494	57.20	-0.36207297
42.30	0.07643421	47.30	1.72907136	52.30	0.09996714	57.30	-0.01643526
42.40	0.54092538	47.40	0.00924426	52.40	0.56781972	57.40	-0.0090117
42.50	-0.00280143	47.50	1.11220137	52.50	0.0026622	57.50	0.39629754
42.60	0.25323336	47.60	-0.02448918	52.60	0.16344531	57.60	0.09235692
42.70	0.04858362	47.70	0.40019598	52.70	0.03315051	57.70	0.46659186
42.80	0.60227838	47.80	0.28871865	52.80	0.61395228	57.80	-0.02726766
42.90	0.01244349	47.90	0.10967958	52.90	0.00604656	57.90	-0.07888527
43.00	-0.00686358	48.00	0.09520425	53.00	-0.04185927	58.00	-0.1136943
43.10	-0.02540106	48.10	-0.05918193	53.10	-0.15396696	58.10	0.05290128
43.20	-0.0735624	48.20	-1.75215616	53.20	0.07722828	58.20	-0.32658615
43.30	-1.41441462	48.30	-0.13655097	53.30	-0.51454512	58.30	-0.52906635
43.40	-0.52519086	48.40	-0.05217759	53.40	-0.45459207	58.40	-0.1984869
43.50	-0.28895274	48.50	-0.39926268	53.50	-1.07986635	58.50	-0.13022442
43.60	-0.17177922	48.60	-0.17976429	53.60	-0.04711176	58.60	0.04143852
43.70	-0.1240371	48.70	-0.36877284	53.70	0.04827915	58.70	0.19267443
43.80	-0.30363768	48.80	-0.01522197	53.80	0.33657858	58.80	0.05883156
43.90	0.02301885	48.90	1.7496045	53.90	0.03966525	58.90	0.06100263
44.00	0.74800476	49.00	0.01342422	54.00	-0.01274643	59.00	0.04370292
44.10	0.12963996	49.10	0.12153861	54.10	-0.07753122	59.10	0.12499488
44.20	0.76460373	49.20	0.11371878	54.20	0.65420046	59.20	0.23327298
44.30	0.22883751	49.30	-0.09807606	54.30	0.15823872	59.30	-0.02750175
44.40	0.19265148	49.40	0.01225683	54.40	0.0202878	59.40	-0.09349983
44.50	0.27991809	49.50	0.00478584	54.50	0.27305451	59.50	-0.07381944
44.60	0.88028244	49.60	0.104193	54.60	-0.1082322	59.60	-0.01977372
44.70	0.01865376	49.70	-0.05850567	54.70	-0.08687034	59.70	-1.73801268
44.80	-0.032895	49.80	-1.7665095	54.80	0.4483818	59.80	-0.09620793
44.90	-0.37017279	49.90	-0.28463355	54.90	-0.01470789	59.90	-0.46619559
45.00	-0.05934564	50.00	-0.43941753	55.00	-0.10515078	60.00	-0.02498031

1000 Rpm					
T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)	T (s)	a (m/s ²)
60.10	0.03525273	65.10	0.00011628	70.10	0.07022394
60.20	0.02231811	65.20	-0.00203184	70.20	1.32920127
60.30	-0.0121635	65.30	1.7197014	70.30	-0.00273105
60.40	1.77363873	65.40	0.06812325	70.40	1.05526089
60.50	0.07459056	65.50	0.41280318	70.50	-0.07771941
60.60	0.66190401	65.60	-0.00779688	70.60	0.02806173
60.70	0.01928412	65.70	0.1989306	70.70	0.34647768
60.80	-0.08045046	65.80	0.24814458	70.80	0.00020961
60.90	0.33949629	65.90	-0.02953206	70.90	-0.03056022
61.00	0.19967724	66.00	0.15777207	71.00	-0.07655202
61.10	0.02540106	66.10	-0.00366588	71.10	-0.1510722
61.20	0.06039522	66.20	-1.32394878	71.20	-0.01204722
61.30	-0.14301675	66.30	-0.18025389	71.30	-0.51090219
61.40	0.14717223	66.40	-0.57398409	71.40	-0.6882858
61.50	-0.63449559	66.50	-0.45674019	71.50	-0.67423122
61.60	-0.37208835	66.60	-0.57258261	71.60	0.03259053
61.70	-0.73261908	66.70	0.04169556	71.70	-0.09529758
61.80	-0.11014623	66.80	0.03889413	71.80	0.03142314
61.90	0.02402253	66.90	0.04267629	71.90	0.61390485
62.00	0.24022989	67.00	0.04263039	72.00	0.02542401
62.10	0.08266743	67.10	0.13400505	72.10	0.33858594
62.20	0.00310437	67.20	0.57480111	72.20	0.15188922
62.30	-0.01526787	67.30	-0.02182851	72.30	0.77576202
62.40	0.04858362	67.40	0.61283079	72.40	0.26738127
62.50	0.09452799	67.50	0.041463	72.50	0.13881537
62.60	0.73051839	67.60	-0.05808492	72.60	-0.02325294
62.70	-0.07699419	67.70	-0.03784302	72.70	-0.05084802
62.80	-0.06261372	67.80	-0.00343179	72.80	-1.01519784
62.90	-0.01968039	67.90	-0.34362882	72.90	-0.4447863
63.00	-1.7271002	68.00	0.15842538	73.00	-0.01365678
63.10	-0.11621574	68.10	0.04445109	73.10	-0.06415443
63.20	-0.38740212	68.20	-0.08320446	73.20	-0.3959946
63.30	-0.07150914	68.30	-0.32717061	73.30	0.01550196
63.40	-0.00095778	68.40	-0.17465103	73.40	0.03637269
63.50	0.04981986	68.50	0.05304204	73.50	0.26901531
63.60	0.01701972	68.60	1.58999895	73.60	-0.01564119
63.70	0.03662973	68.70	0.0531828	73.70	0.04519773
63.80	-0.21230739	68.80	0.69090057	73.80	0.10804554
63.90	0.58803714	68.90	0.32373882	73.90	0.01828044
64.00	0.14439528	69.00	0.30354435	74.00	0.63704151
64.10	0.14434785	69.10	0.36433737		
64.20	0.39433608	69.20	0.51426513		
64.30	0.20089206	69.30	0.28493802		
64.40	0.69942114	69.40	-0.04428738		
64.50	-0.0221085	69.50	-1.7287049		
64.60	-0.33123276	69.60	-0.10659816		
64.70	-0.31015089	69.70	-0.31694409		
64.80	-0.02670768	69.80	-0.75248613		
64.90	0.00730728	69.90	-0.31902183		
65.00	-0.36545733	70.00	-0.11514168		

Anexo 3

• **Tabla 9:** 400 rpm o 1.40 rad/s (Respuesta de desplazamiento experimental - Tabulación)

400 RPM															
tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp
0	223	219	4	31	218	219	-1	62	219	219	0	93	221	219	2
1	218	219	-1	32	220	219	1	63	224	219	5	94	219	219	0
2	219	219	0	33	219	219	0	64	217	219	-2	95	223	219	4
3	218	219	-1	34	218	219	-1	65	217	219	-2	96	219	219	0
4	225	219	6	35	218	219	-1	66	218	219	-1	97	219	219	0
5	221	219	2	36	218	219	-1	67	218	219	-1	98	217	219	-2
6	217	219	-2	37	219	219	0	68	223	219	4	99	219	219	0
7	217	219	-2	38	223	219	4	69	218	219	-1	100	216	219	-3
8	221	219	2	39	217	219	-2	70	218	219	-1	101	216	219	-3
9	220	219	1	40	221	219	2	71	220	219	1	102	220	219	1
10	219	219	0	41	218	219	-1	72	220	219	1	103	222	219	3
11	217	219	-2	42	223	219	4	73	223	219	4	104	220	219	1
12	219	219	0	43	222	219	3	74	217	219	-2	105	218	219	-1
13	219	219	0	44	219	219	0	75	218	219	-1	106	219	219	0
14	220	219	1	45	219	219	0	76	222	219	3	107	217	219	-2
15	216	219	-3	46	223	219	4	77	217	219	-2	108	217	219	-2
16	220	219	1	47	221	219	2	78	220	219	1	109	218	219	-1
17	222	219	3	48	219	219	0	79	218	219	-1	110	215	219	-4
18	222	219	3	49	219	219	0	80	223	219	4	111	220	219	1
19	223	219	4	50	219	219	0	81	221	219	2	112	218	219	-1
20	225	219	6	51	223	219	4	82	225	219	6	113	217	219	-2
21	217	219	-2	52	219	219	0	83	219	219	0	114	218	219	-1
22	221	219	2	53	219	219	0	84	223	219	4	115	223	219	4
23	219	219	0	54	217	219	-2	85	217	219	-2	116	220	219	1
24	218	219	-1	55	219	219	0	86	220	219	1	117	218	219	-1
25	219	219	0	56	218	219	-1	87	219	219	0	118	223	219	4
26	219	219	0	57	222	219	3	88	223	219	4	119	218	219	-1
27	222	219	3	58	223	219	4	89	223	219	4	120	217	219	-2
28	223	219	4	59	220	219	1	90	218	219	-1				
29	216	219	-3	60	217	219	-2	91	218	219	-1				
30	220	219	1	61	217	219	-2	92	219	219	0				

- **Tabla 10:** 600 rpm o 2.10 rad/s (Respuesta de desplazamiento experimental - Tabulación)

600 Rpm															
tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp
0	219	219	0	31	228	219	9	62	222	219	3	93	220	219	1
1	219	219	0	32	224	219	5	63	216	219	-3	94	222	219	3
2	230	219	11	33	216	219	-3	64	221	219	2	95	219	219	0
3	211	219	-8	34	225	219	6	65	227	219	8	96	218	219	-1
4	216	219	-3	35	223	219	4	66	226	219	7	97	226	219	7
5	228	219	9	36	225	219	6	67	214	219	-5	98	215	219	-4
6	213	219	-6	37	220	219	1	68	217	219	-2	99	218	219	-1
7	220	219	1	38	220	219	1	69	221	219	2	100	217	219	-2
8	215	219	-4	39	221	219	2	70	217	219	-2	101	220	219	1
9	217	219	-2	40	222	219	3	71	222	219	3	102	219	219	0
10	219	219	0	41	218	219	-1	72	218	219	-1	103	219.5	219	0.5
11	221	219	2	42	213	219	-6	73	218	219	-1	104	226	219	7
12	231	219	12	43	225	219	6	74	227	219	8	105	223	219	4
13	212	219	-7	44	223	219	4	75	215	219	-4	106	218	219	-1
14	225	219	6	45	221	219	2	76	216	219	-3	107	222	219	3
15	220	219	1	46	220	219	1	77	223	219	4	108	220	219	1
16	223	219	4	47	217	219	-2	78	227	219	8	109	228	219	9
17	222	219	3	48	222	219	3	79	222	219	3	110	219	219	0
18	224	219	5	49	220	219	1	80	213	219	-6	111	216	219	-3
19	216	219	-3	50	220	219	1	81	223	219	4	112	219	219	0
20	219	219	0	51	213	219	-6	82	216	219	-3	113	220	219	1
21	219	219	0	52	227	219	8	83	215	219	-4	114	215	219	-4
22	214	219	-5	53	218	219	-1	84	214	219	-5	115	217	219	-2
23	226	219	7	54	218	219	-1	85	219	219	0	116	218	219	-1
24	218	219	-1	55	217	219	-2	86	217	219	-2	117	219	219	0
25	219	219	0	56	223	219	4	87	216	219	-3	118	215	219	-4
26	222	219	3	57	219	219	0	88	214	219	-5	119	220	219	1
27	223	219	4	58	225	219	6	89	225	219	6	120	213	219	-6
28	217	219	-2	59	212	219	-7	90	216	219	-3				
29	220	219	1	60	226	219	7	91	218	219	-1				
30	219	219	0	61	217	219	-2	92	217	219	-2				

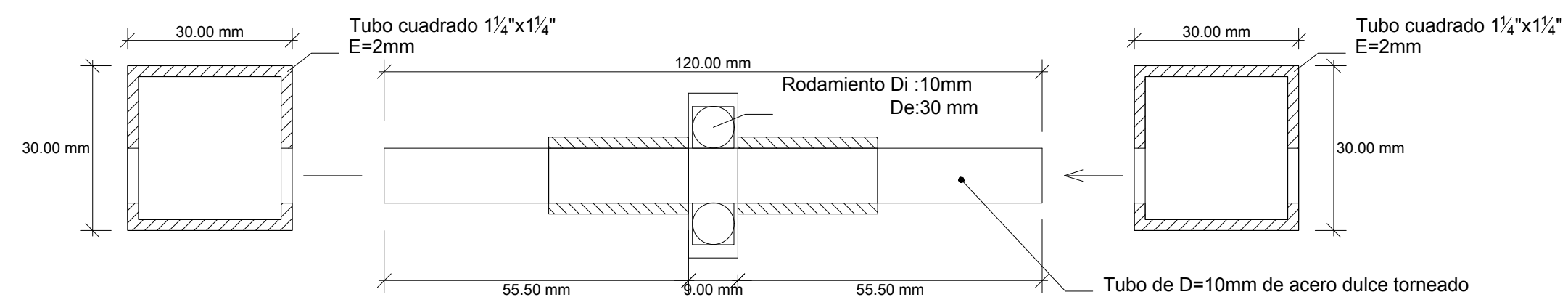
- **Tabla 11:800 rpm o 2.80 rad/s (Respuesta de desplazamiento experimental - Tabulación)**

800 Rpm															
tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp	tiempo	E0	Base	Desp
0	219	219	0	31	210	219	-9	62	220	219	1	93	226	219	7
1	219	219	0	32	234	219	15	63	216	219	-3	94	221	219	2
2	216	219	-3	33	215	219	-4	64	220	219	1	95	215	219	-4
3	225	219	6	34	212	219	-7	65	215	219	-4	96	215	219	-4
4	222	219	3	35	237	219	18	66	225	219	6	97	221	219	2
5	217	219	-2	36	224	219	5	67	220	219	1	98	219	219	0
6	227	219	8	37	222	219	3	68	219	219	0	99	216	219	-3
7	212	219	-7	38	213	219	-6	69	212	219	-7	100	227	219	8
8	225	219	6	39	237	219	18	70	223	219	4	101	220	219	1
9	214	219	-5	40	214	219	-5	71	226	219	7	102	223	219	4
10	232	219	13	41	232	219	13	72	217	219	-2	103	212	219	-7
11	212	219	-7	42	222	219	3	73	218	219	-1	104	223	219	4
12	213	219	-6	43	210	219	-9	74	233	219	14	105	215	219	-4
13	225	219	6	44	224	219	5	75	225	219	6	106	217	219	-2
14	218	219	-1	45	215	219	-4	76	218	219	-1	107	216	219	-3
15	218	219	-1	46	212	219	-7	77	227	219	8	108	223	219	4
16	221	219	2	47	212	219	-7	78	219	219	0	109	212	219	-7
17	219	219	0	48	224	219	5	79	218	219	-1	110	223	219	4
18	229	219	10	49	218	219	-1	80	230	219	11	111	222	219	3
19	219	219	0	50	216	219	-3	81	223	219	4	112	211	219	-8
20	223	219	4	51	221	219	2	82	224	219	5	113	219	219	0
21	214	219	-5	52	220	219	1	83	216	219	-3	114	221	219	2
22	224	219	5	53	212	219	-7	84	230	219	11	115	216	219	-3
23	214	219	-5	54	228	219	9	85	212	219	-7	116	221	219	2
24	219	219	0	55	221	219	2	86	219	219	0	117	221	219	2
25	213	219	-6	56	216	219	-3	87	215	219	-4	118	234	219	15
26	228	219	9	57	218	219	-1	88	213	219	-6	119	210	219	-9
27	211	219	-8	58	226	219	7	89	224	219	5	120	239	219	20
28	227	219	8	59	239	219	20	90	219	219	0				
29	221	219	2	60	212	219	-7	91	220	219	1				
30	225	219	6	61	220	219	1	92	212	219	-7				

• **Tabla 12: 1000 rpm o 3.50 rad/s (Tabulación)**

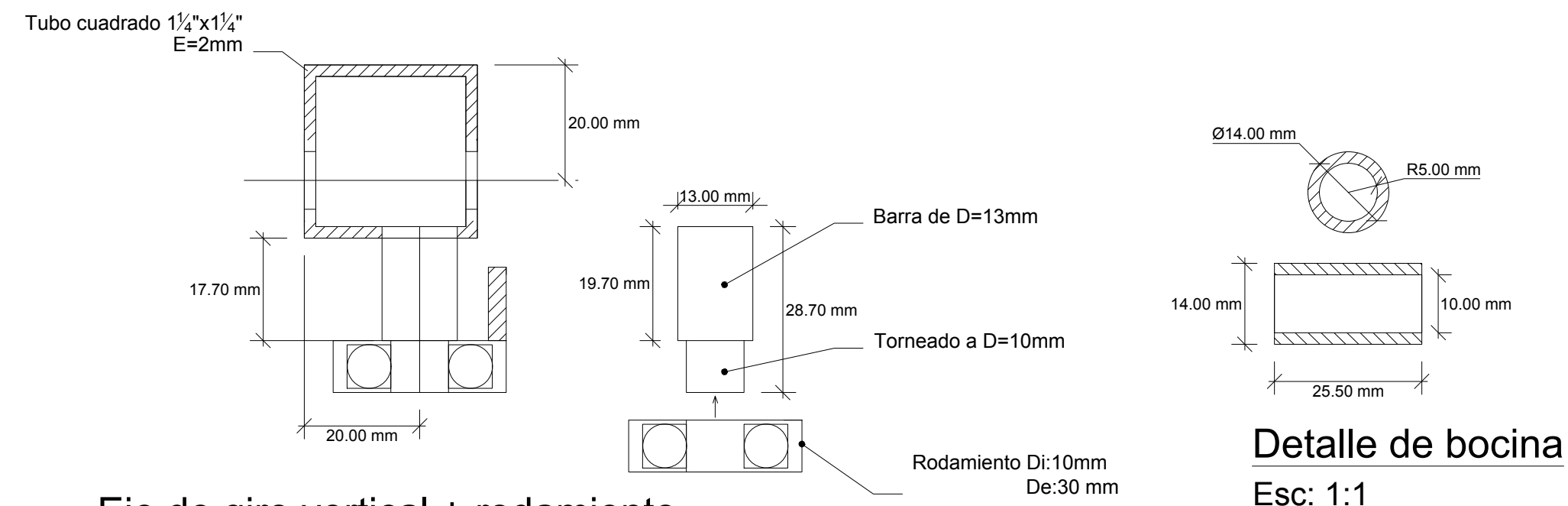
1000 Rpm															
tiempo	E0	base	Desp	tiempo	E0	base	Desp	tiempo	E0	base	Desp	tiempo	E0	base	Desp
0	219	218	1	31	211	218	-7	62	249	218	31	92	244	218	26
1	219	218	1	32	240	218	22	63	206	218	-12	93	249	218	31
2	218	218	0	33	214	218	-4	64	246	218	28	94	203	218	-15
3	221	218	3	34	216	218	-2	65	238	218	20	95	248	218	30
4	221	218	3	35	215	218	-3	66	214	218	-4	96	207	218	-11
5	230	218	12	36	246	218	28	67	219	218	1	97	212	218	-6
6	213	218	-5	37	210	218	-8	68	216	218	-2	98	227	218	9
7	209	218	-9	38	233	218	15	69	222	218	4	99	211	218	-7
8	244	218	26	39	220	218	2	70	213	218	-5	100	234	218	16
9	213	218	-5	40	203	218	-15	71	230	218	12	101	231	218	13
10	222	218	4	41	243	218	25	72	209	218	-9	102	225	218	7
11	210	218	-8	42	204	218	-14	73	206	218	-12	103	213	218	-5
12	241	218	23	43	217	218	-1	74	246	218	28	104	237	218	19
13	210	218	-8	44	216	218	-2	75	205	218	-13	105	233	218	15
14	228	218	10	45	226	218	8	76	250	218	32	106	203	218	-15
15	239	218	21	46	208	218	-10	77	237	218	19	107	246	218	28
16	213	218	-5	47	230	218	12	78	234	218	16	108	205	218	-13
17	241	218	23	48	233	218	15	78.5	210	218	-8	109	208	218	-10
18	208	218	-10	49	203	218	-15	79	213	218	-5	110	240	218	22
19	229	218	11	50	244	218	26	80	223	218	5	111	217	218	-1
20	231	218	13	51	203	218	-15	81	231	218	13	112	233	218	15
21	215	218	-3	52	206	218	-12	82	209	218	-9	113	220	218	2
22	215	218	-3	53	247	218	29	83	243	218	25	114	223	218	5
23	222	218	4	54	207	218	-11	84	210	218	-8	115	218	218	0
24	226	218	8	55	237	218	19	85	205	218	-13	116	227	218	9
25	206	218	-12	56	234	218	16	86	240	218	22	117	241	218	23
26	247	218	29	57	233	218	15	87	211	218	-7	118	206	218	-12
27	237	218	19	58	223	218	5	88	238	218	20	119	248	218	30
28	212	218	-6	59	233	218	15	89	215	218	-3	120	206	218	-12
29	228	218	10	60	203	218	-15	90	235	218	17				
30	211	218	-7	61	207	218	-11	91	206	218	-12				

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LINEAL POR RODAMIENTOS



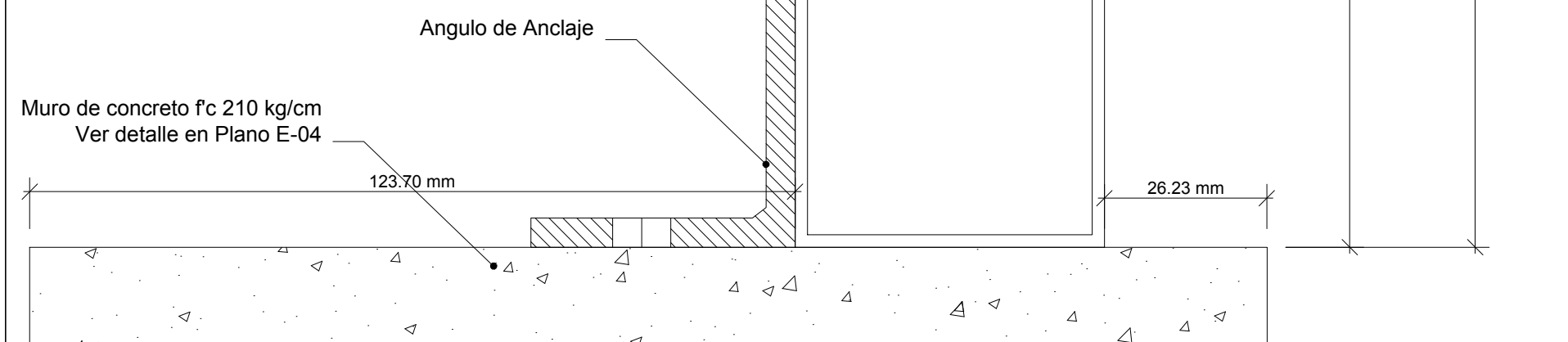
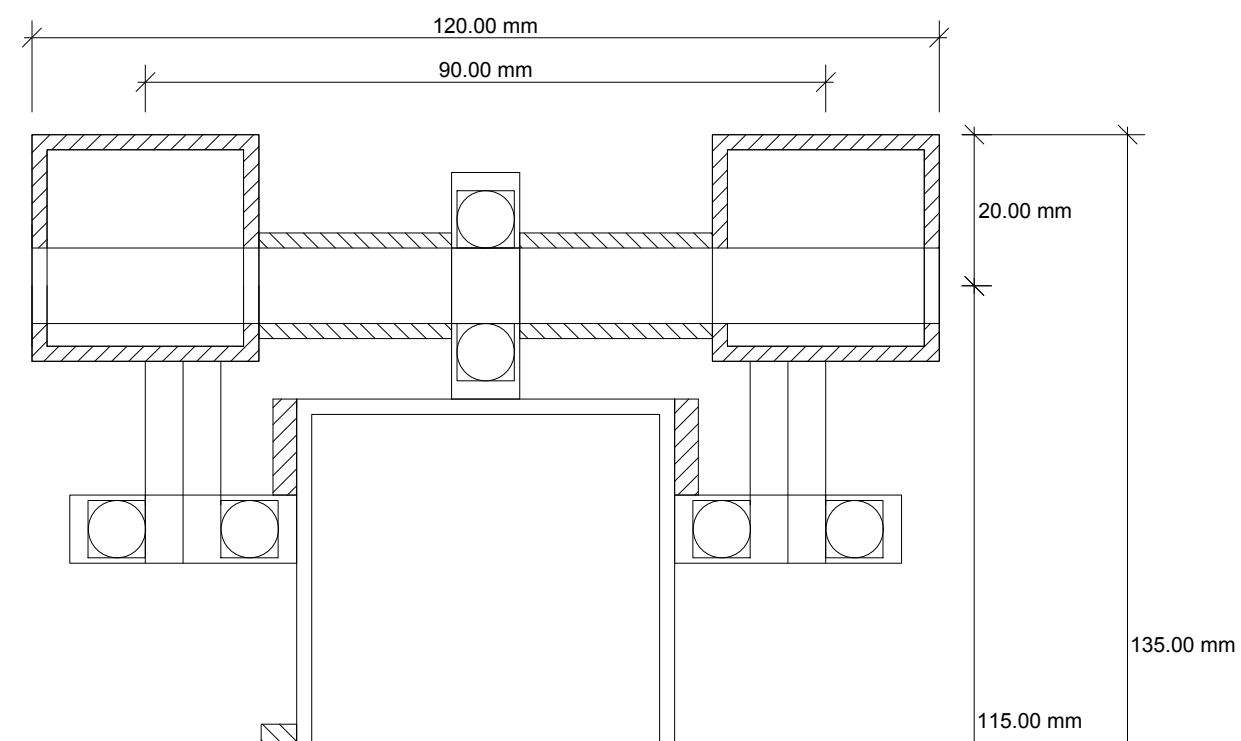
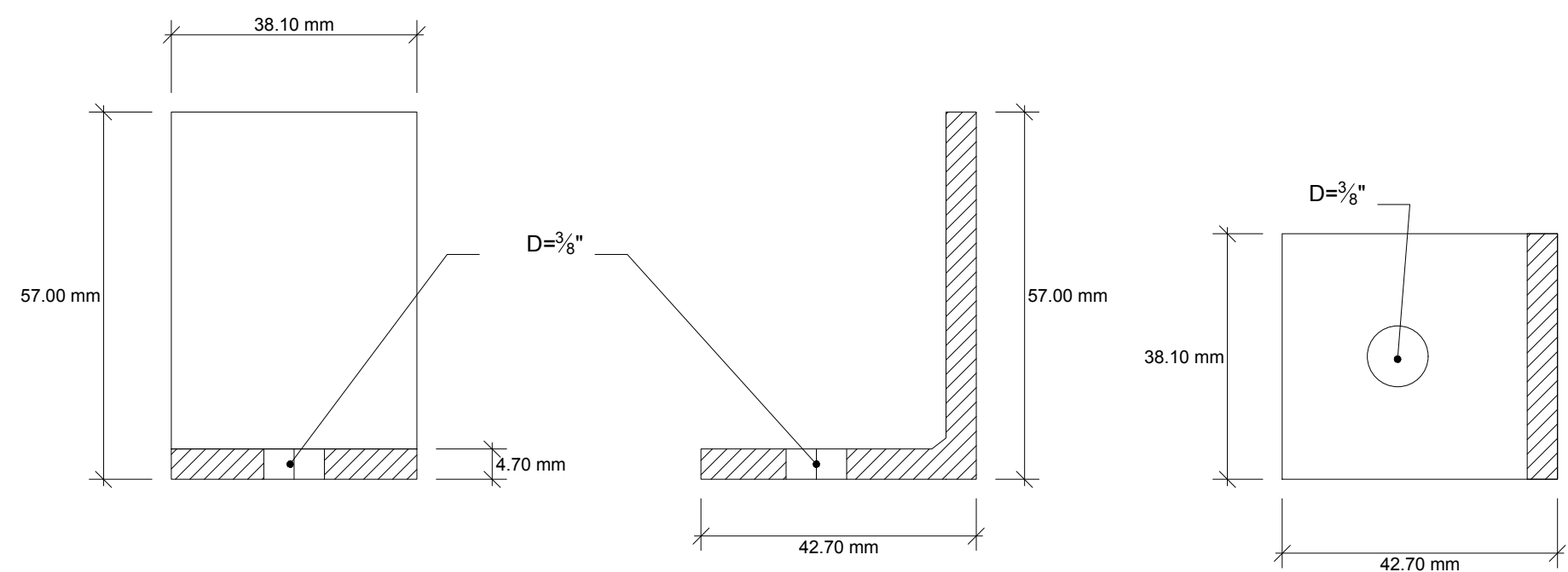
Eje de giro horizontal + rodamiento + bocina de eje

Esc: 1:1



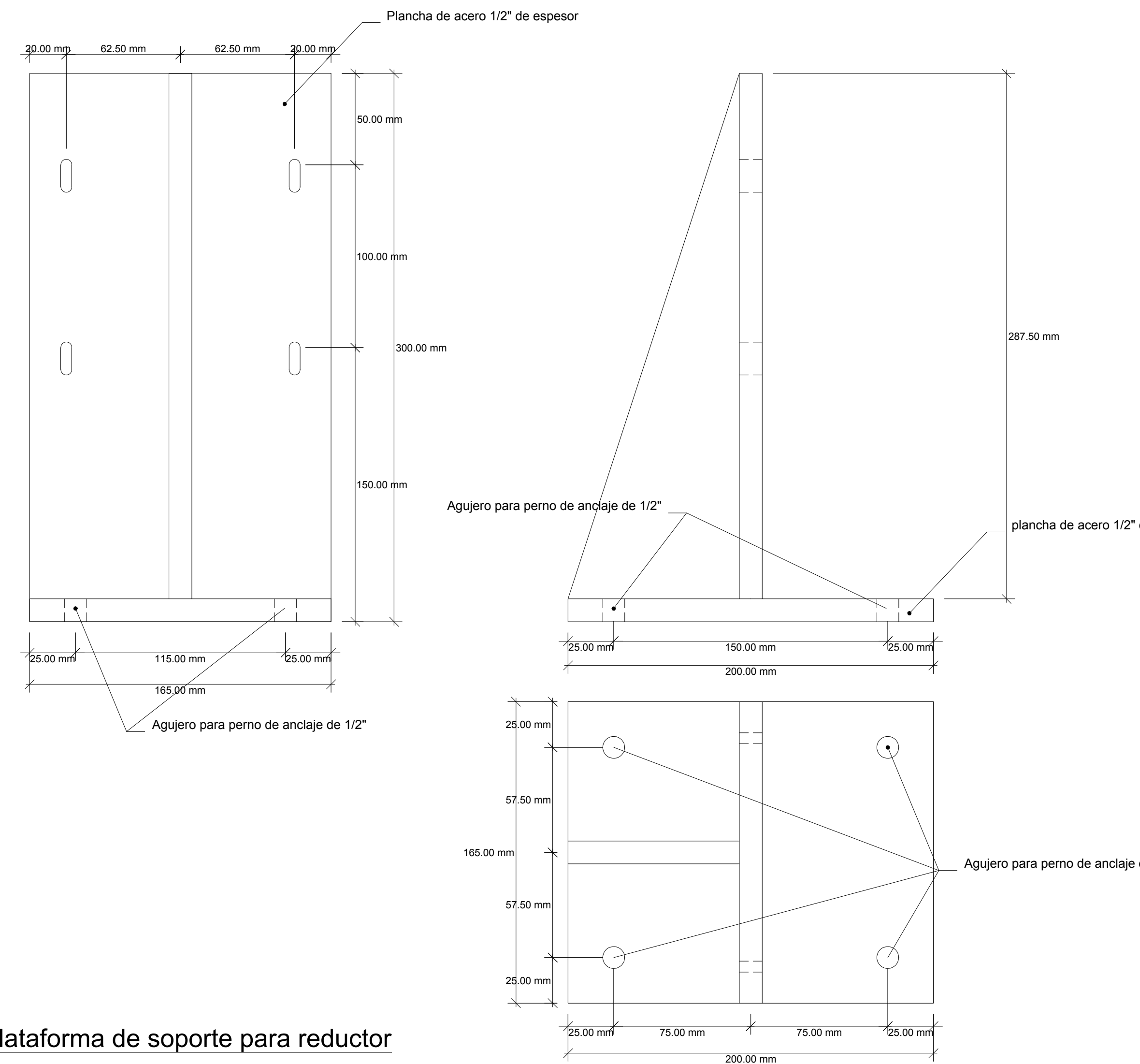
Eje de giro vertical + rodamiento

Esc: 1:1



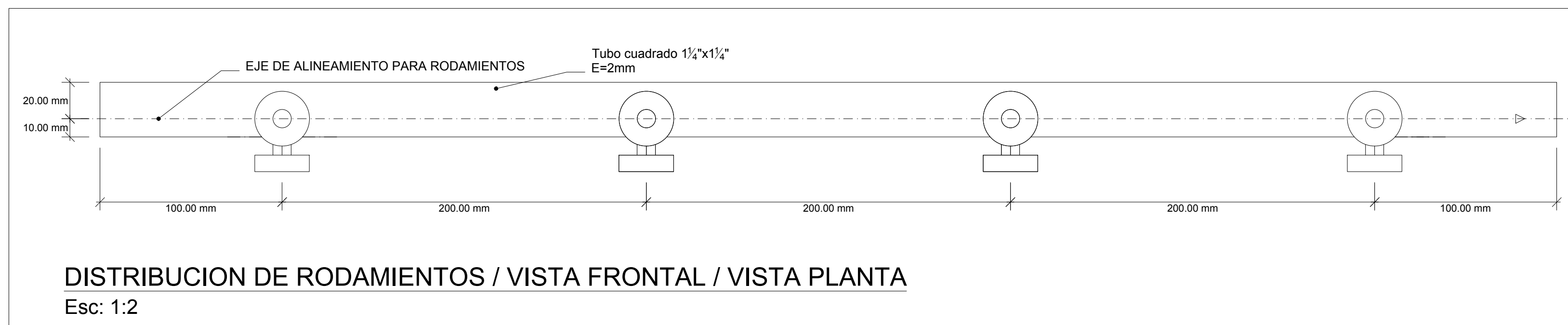
SISTEMA DE ANCLAJE DE RIELES

Esc: 1:1



Plataforma de soporte para reductor

Esc: 1:2



DISTRIBUCION DE RODAMIENTOS / VISTA FRONTAL / VISTA PLANTA

Esc: 1:2

CONSIDERACIONES PARA SISTEMA DE ANCLAJE

- El ángulo de anclaje se soldará a los rieles, de acuerdo a lo señalado en los planos correspondientes repitiendo las separaciones señaladas.
- El agujero para los pernos autopercutorantes deberá tener un diámetro mayor al diámetro del perno utilizado.
- El dado de anclaje tendrá una longitud aproximada de 1.80 m de largo, este será fabricado con un concreto de $f_c=140\text{kg/cm}^2$

CONSIDERACIONES PARA MONTAJE DE RODAMIENTOS

- Se deberán soldar las barras circulares de acero dulce torneado de 10mm de diámetro al tubo cuadrado de $1\frac{1}{4}$ " respetando las medidas indicadas en el detalle.
- A las barras circulares deberán ir fijados los rodamientos de $D_i=10\text{mm}$ y $D_e=30\text{mm}$ los cuales se encargaran de darle el desplazamiento requerido a la mesa.
- Los rodamientos horizontales y verticales deberán colocarse según las separaciones indicadas en los planos.



**UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTENOR
ORREGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis :

**ENSAYO DE
PÓRTICOS A
ESCALA EN UNA
MESA VIBRATORIA
DE UN GRADO DE
LIBERTAD**

Proyecto :

MESA VIBRATORIA

Autores:

**Bach. Okumura Taboada,
Vania Lucía**

**Bach. Uriol Carranza,
Luis Enrique**

Asesor:

**Ing. Galicia Guarniz,
William Conrad**

Especialidad :

Estructuras

Escala :

1 / 50

Distrito :

TRUJILLO

Provincia :

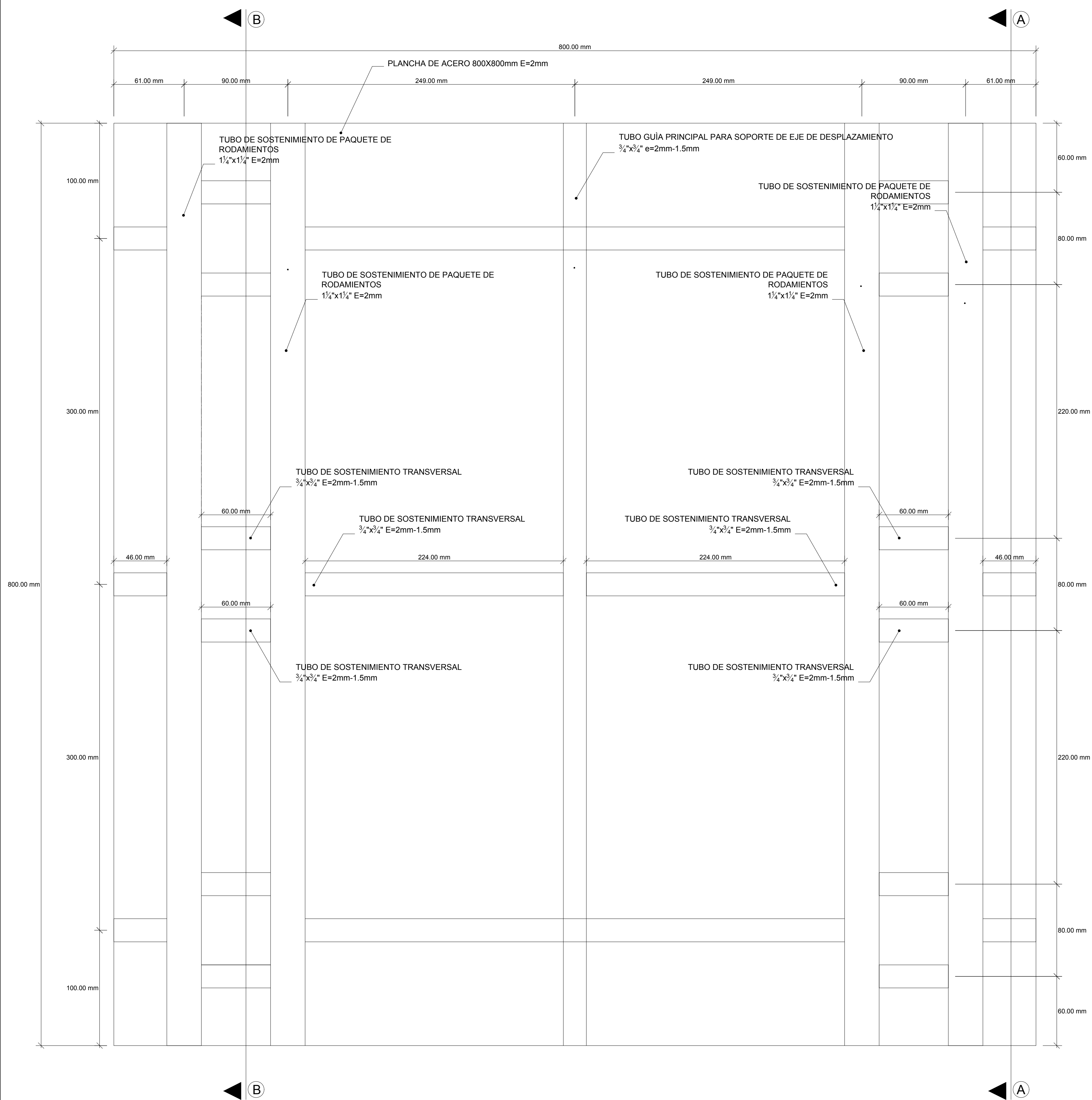
TRUJILLO

Departamento :

LA LIBERTAD

LAMINA No

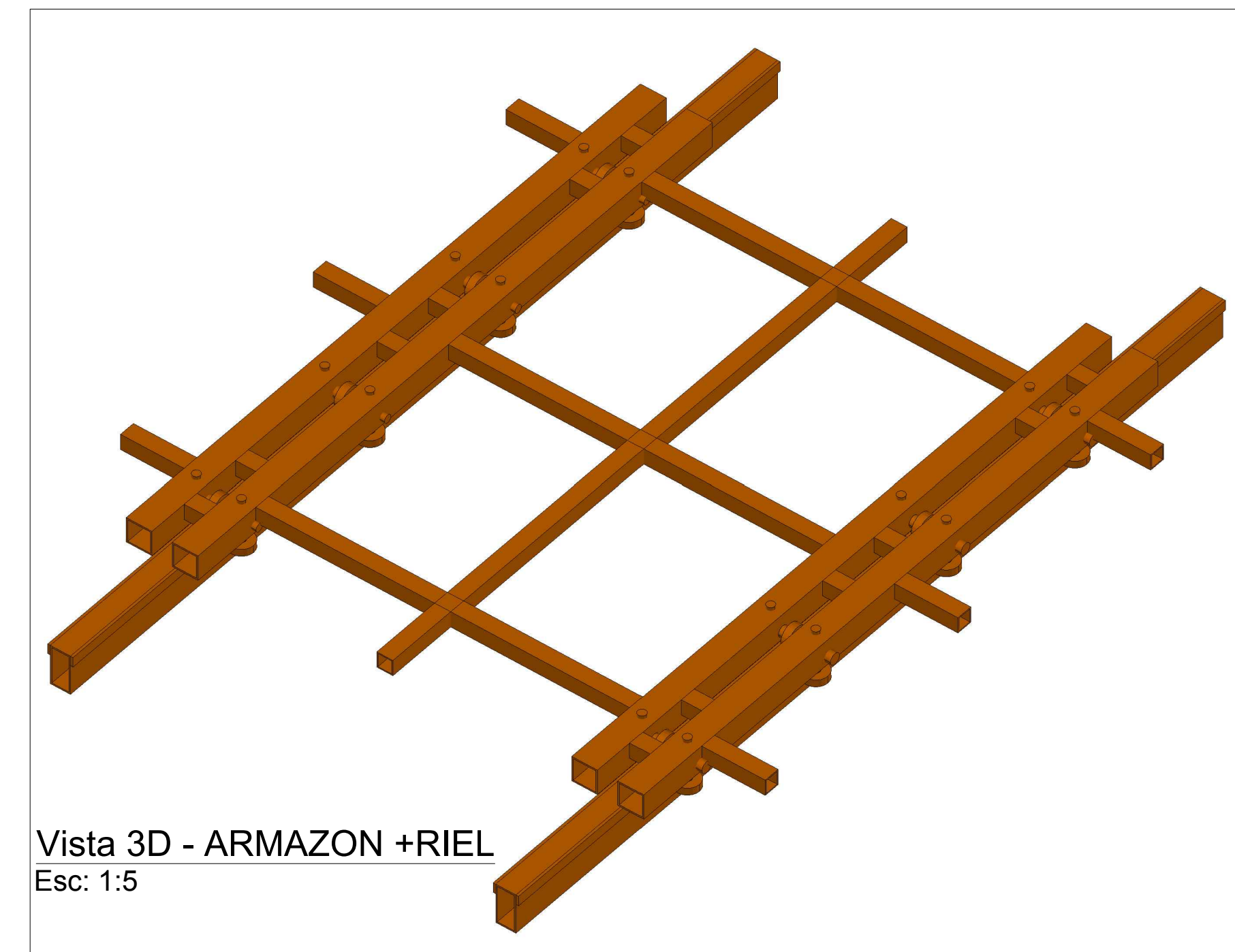
E-01



SISTEMA DE SOPORTE (VISTA EN PLANTA)
Esc: 1:2



Vista 3D - ARMAZON + RIEL
Esc: 1:5



Vista 3D - ARMAZON + RIEL
Esc: 1:5

Especificaciones Técnicas

RODAMIENTOS:
 Designacion : E2.6004-2RSH
 Masa : 0.067 Kg
 C : 9.360 kN
 Pu : 0.212 kN
 d : 20.00 mm
 D : 42.00 mm
 C: Capacidad de carga básica dinámica
 Pu: Carga límite de fatiga
 d: Diámetro interior
 D: Diámetro exterior

ACERO:
 Tipo : ASTM A500 - (LAC)
 Limite de fluencia : 269 Min. Mpa.
 Resistencia a
 Traccion : 310 Min. Mpa.
 Espesor : 2 mm

Procedimiento Constructivo

- Se realizará el replanteo de los ejes en una mesa de trabajo de modo que el ensamblaje sera de manera rápida y precisa.
- Una vez que los tubos guía se hayan ensamblado con los rodamientos segun el plano E-03, deberan ser soldados con los demás elementos según lo indicado en este plano.
- Finalmente, se deberá soldar la plataforma de apoyo de la mesa en caso sea un plancha metálica o montar en caso sea de madera u otro derivado..



**UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTEOR
ORREGO**
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis :
**ENSAYO DE
PÓRTICOS A
ESCALA EN UNA
MESA VIBRATORIA
DE UN GRADO DE
LIBERTAD**

Proyecto :
MESA VIBRATORIA

Autores:
**Bach. Okumura Taboada,
Vanía Lucía**
**Bach. Uriol Carranza,
Luis Enrique**

Asesor:
**Ing. Galicia Guarniz,
William Conrad**

Especialidad :
Estructuras

Escala :
1 / 50

Distrito :
TRUJILLO

Provincia :
TRUJILLO

Departamento :
LA LIBERTAD

LAMINA No

E-02



**UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTENOR
ORREGO**
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis :

**ENSAYO DE
PÓRTICOS A
ESCALA EN UNA
MESA VIBRATORIA
DE UN GRADO DE
LIBERTAD**

Proyecto :

MESA VIBRATORIA

Autores:

**Bach. Okumura Taboada,
Vanía Lucía
Bach. Uriol Carranza,
Luis Enrique**

Asesor:

**Ing. Galicia Guarniz,
William Conrad**

Especialidad :

Estructuras

Escala :

1 / 50

Distrito :

TRUJILLO

Provincia :

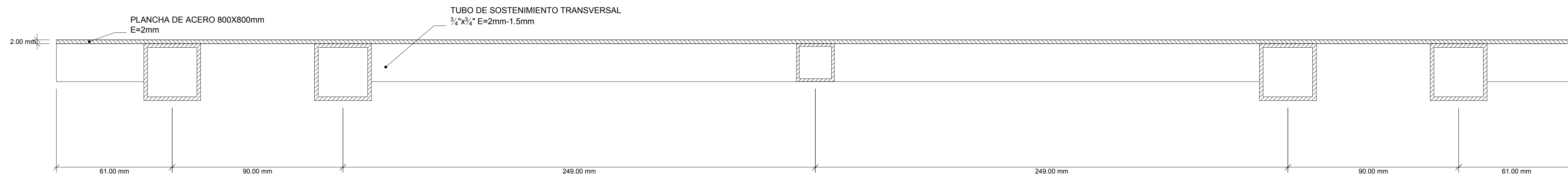
TRUJILLO

Departamento :

LA LIBERTAD

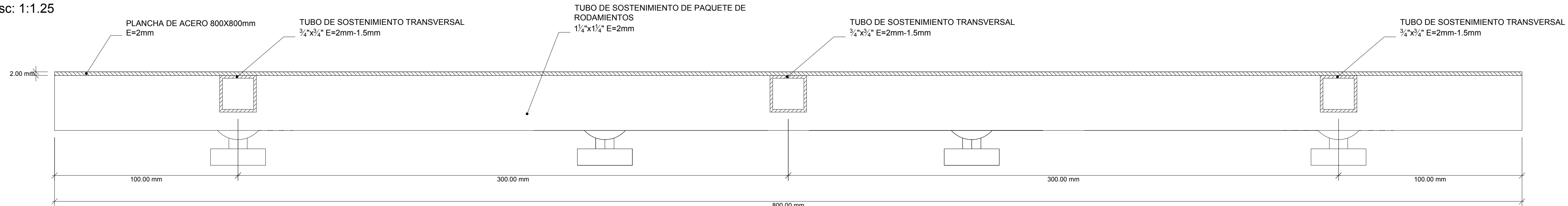
LAMINA No

E-03



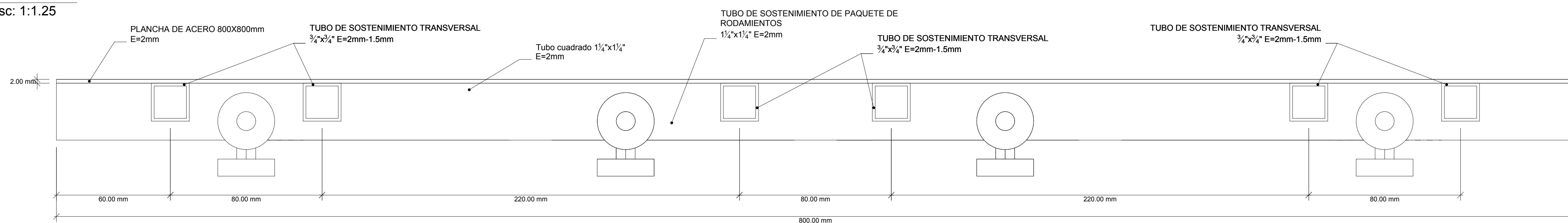
VISTA FRONTAL (sentido de desp.)

Esc: 1:1.25



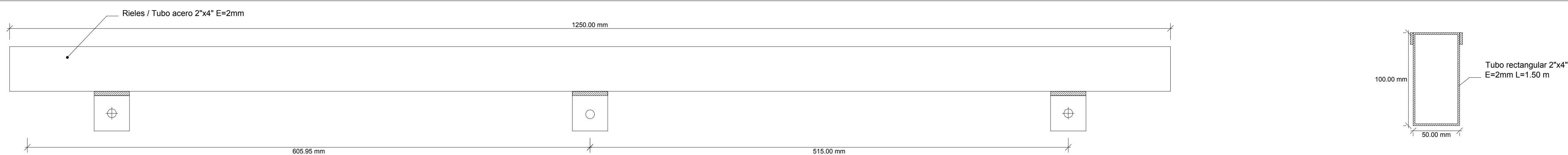
VISTA "A-A"

Esc: 1:1.25



VISTA "B-B"

Esc: 1:1.25



Rieles + Angulo de anclaje

Esc: 1:2.50

Procedimiento Constructivo

- Se colocará primero el tubo guía principal de 3/4" al cual se soldaran los tubos transversales de sostenimiento de 3/4", tal y como se indica en el plano.
- Los tubos donde e colocaran los paquetes de rodamientos, seran tubos cuadrados de 1 1/4" de lado.
- Primero se soldaran los paquetes de rodamientos a los tubos de 1 1/4" y luego estos seran unidos a los tubos transversales de sostenimiento de 3/4" de lado, tal y como indican los planos.
- Una vez terminada la red de sostenimiento, se colocará la plancha de acero de 800mm X 800mm con espesor de 2mm o menos.
- Los ganchos de anclaje angulares seran soldados a los rieles de 2"x4" tal y como se encida.

Especificaciones Técnicas

RODAMIENTOS:

Designacion : E2.6004-2RSH
Masa : 0.067 Kg
C : 9.360 kN
Pu : 0.212 kN
d : 20.00 mm
D : 42.00 mm

C: Capacidad de carga básica dinámica
Pu: Carga límite de fatiga
d: Diámetro interior
D: Diámetro exterior

ACERO:

Tipo : ASTM A500 - (LAC)
Limite de fluencia : 269 min. Mpa.
Resistencia a Traccion : 310 Min. Mpa.
Espesor : 2 mm

Consideraciones de la cimentación

- Los rieles de acero deberan estar anclados a una superficie estable de modo que evite que se desplace durante el desarrollo del movimiento de la mesa de vibracion.
- Se puede construir una cimentacion individual para cada punto de apoyo del riel (pedestal), pero preferiblemente se recomienda construir una cimentación con una longitud similar al largo del riel.
- El nivel superior del cimientno no está definicio y puede variar de acuerdo a lo que se solicite, pero se debe tener en cuenta que el nivel de cimentacion del motor tambien variará.



**UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTEOR
ORREGO**
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis :
**ENSAYO DE
PÓRTICOS A
ESCALA EN UNA
MESA VIBRATORIA
DE UN GRADO DE
LIBERTAD**

Proyecto :
MESA VIBRATORIA

Autores:
**Bach. Okumura Taboada,
Vanía Lucía
Bach. Uriol Carranza,
Luis Enrique**

Asesor:
**Ing. Galicia Guarniz,
William Conrad**

Especialidad :
Estructuras

Escala :
1 / 50

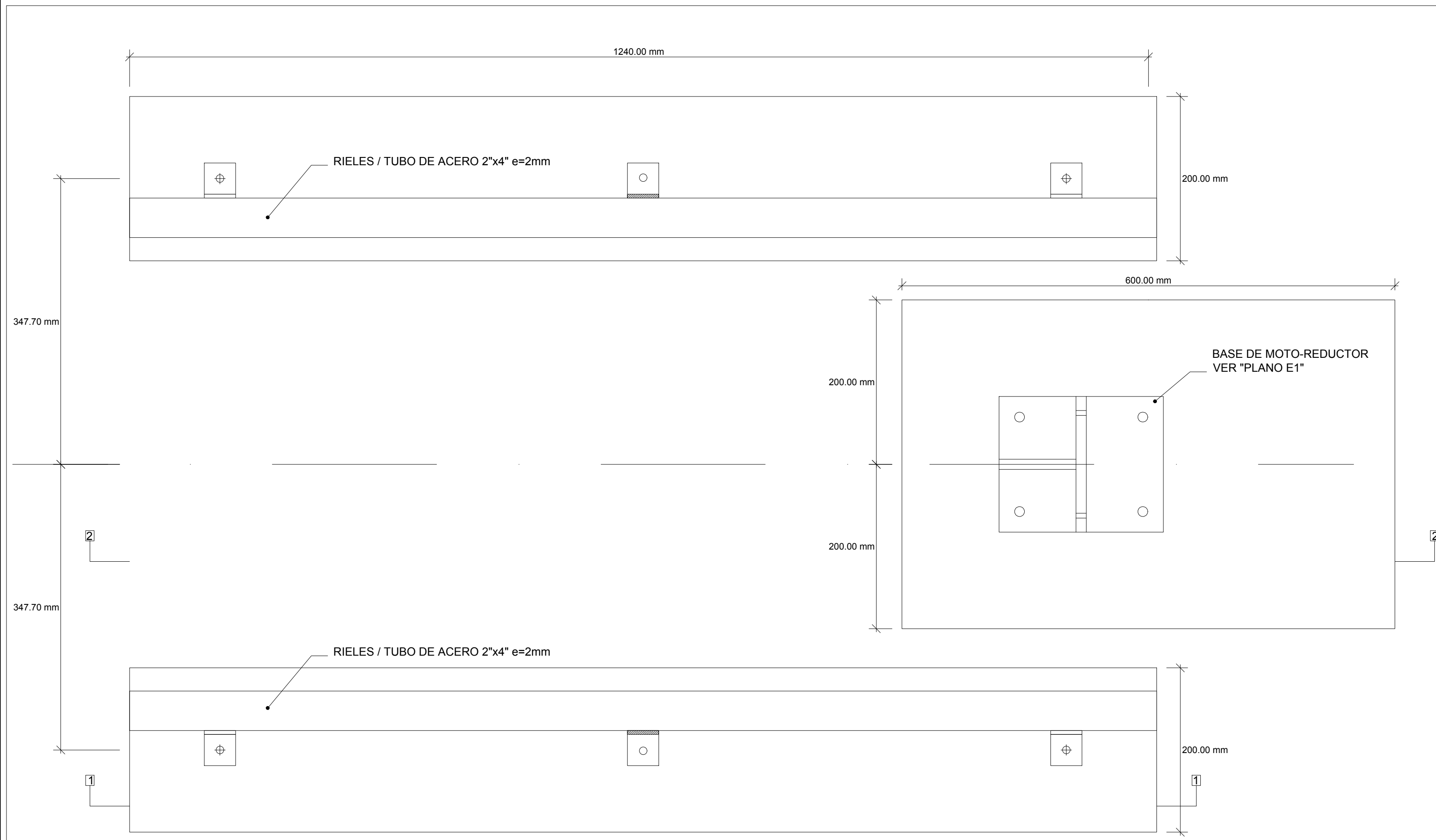
Distrito :
TRUJILLO

Provincia :
TRUJILLO

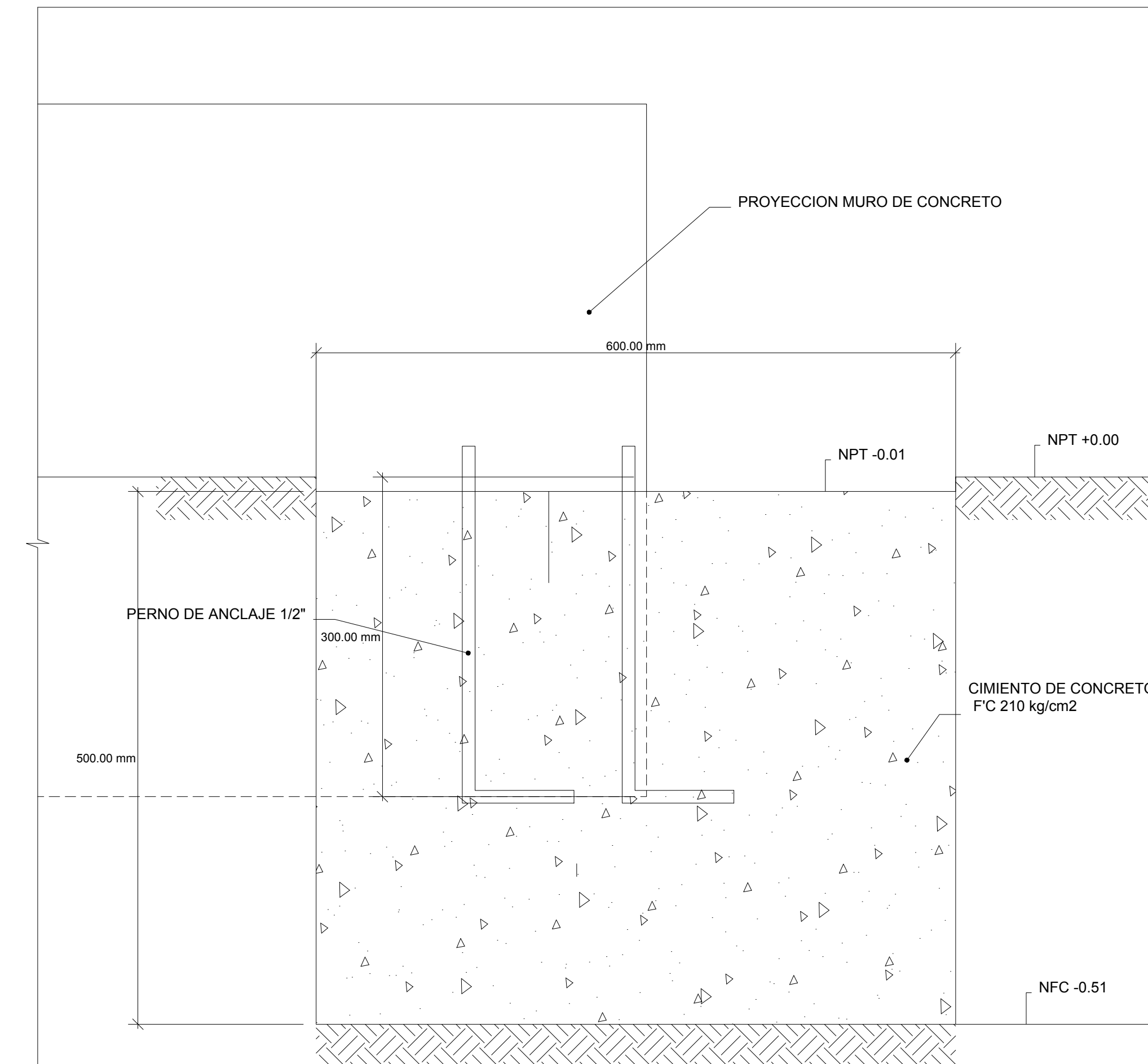
Departamento :
LA LIBERTAD

LAMINA No

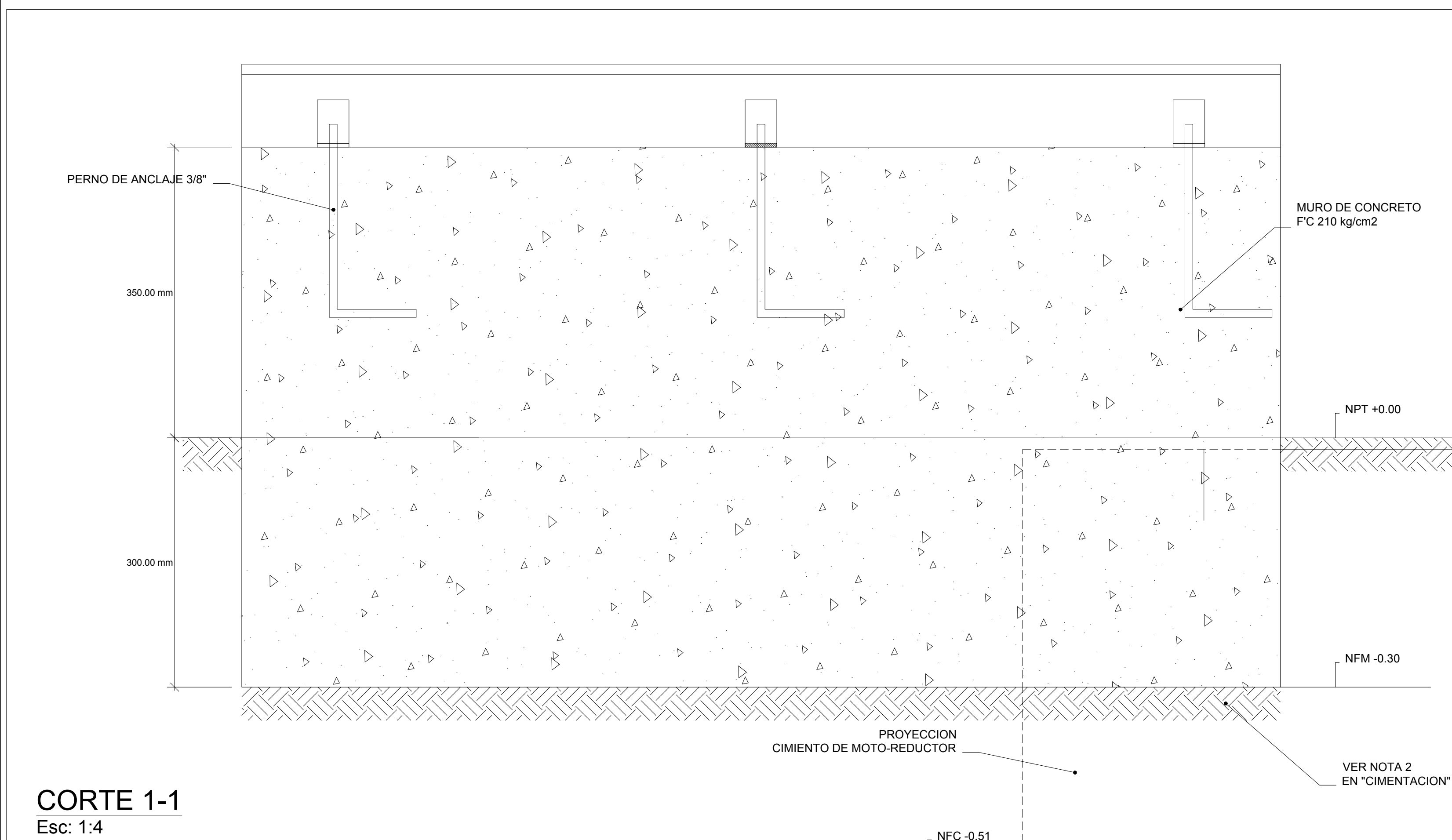
E-04



PLANO EN PLANTA - CIMENTACION
Esc: 1:4



CORTE 2-2
Esc: 1:4



CORTE 1-1
Esc: 1:4

CONCRETO SIMPLE

CEMENTO:

Cemento tipo I

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Muros:

La relacion a/c = 0.50
f'c min = 210 kg/cm2

Cimentacion:

La relacion a/c = 0.50
f'c min = 210 kg/cm2

LEYENDA

NPT = NIVEL DE PISO TERMINADO
NFM = NIVEL DE FONDO DE MURO
NFC = NIVEL DE FONDO DE CIMENTO

CIMENTACION

- PARA EL TRAZADO DE CIMENTACION VER PLANO E-04.
- PARA CONFORMAR EL RELLENO USAR AFIRMADO COMPACTADO AL 95% PROCTOR MODIFICADO EN CAPAS DE 20cm.
- SE DEBE COLOCAR 5cm DE SOLADO BAJO CUALQUIER ESTRUCTURA EN CONTACTO CON EL TERRENO.
- COLOCAR TECKNOPOR DE 1" EN EL PERIMETRO DE LA CIMENTACION PARA EVITAR INCREMENTO DE VIBRACIONES.