



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

TESIS

“DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN MODULO GENERADOR DE
MOVIMIENTOS OSCILATORIOS”

PARA OPTAR AL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ING. WILLIAM JESÚS MARTÍN RAMÍREZ

ASESORES:

M.I. SILVIO JOSÉ VILLAJUANA CERVANTES
M.C. HUGO JOEL CARRILLO ESCALANTE

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO.
05 DE FEBRERO DE 2013

ESCANEEO DE AUTORIZACION DE IMPRESION

DEDICATORIAS

A mi familia.

Dedico esta pequeña muestra de lo que soy como profesional a cada uno de los miembros de mi familia, sin ellos, yo simplemente no hubiera podido realizar nada en mi vida.

A mis asesores.

Dedico el presente trabajo, a los profesores del Instituto Tecnológico De Mérida, los cuales fueron mi guía para la elaboración del presente trabajo, sin la paciencia, comprensión y conocimiento de los mismos, no se hubiera logrado alcanzar los objetivos del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la invaluable colaboración brindada por los Ingenieros Hugo Joel Carrillo Escalante y Silvio José Villajuana Cervantes, durante la realización del presente trabajo.

Reitero agradecimientos también, al Instituto Tecnológico De Mérida, y a todos los maestros que aportaron siempre conocimientos para mi formación profesional, conocimientos fundamentales para mi desarrollo profesional en la Industria, y a todos aquellos que siempre me guiaron, motivaron y me alentaron a siempre estar en la mejora continua de mí ser, como persona y como profesional.

De igual manera se agradece el apoyo brindado por la empresa Grupo Plenum Soft, por brindarme el apoyo con el material necesario para la consecución del presente trabajo.

De igual forma se agradece el apoyo del Dr. José Ramón Atoche Enseñat durante el desarrollo del presente trabajo.

RESUMEN

Con el objetivo de medir y conocer el comportamiento de diversos materiales y componentes electrónicos en un ambiente constante de vibraciones para el diseño y fabricación del Dispositivo de Comunicación de Marina del proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”, se planteó el estudio, diseño y manufactura de un módulo generador de movimientos oscilatorios.

El modulo generador de movimientos oscilatorios tiene la finalidad de representar los movimientos y las condiciones de vibración existentes en las embarcaciones de flota menor debido a sus elementos dinámicos y las corrientes marinas. Dicho equipo se encuentra compuesto por dos elementos. El primero se trata del dispositivo mecánico, el cual se encuentra conformado por una plataforma sostenida por tres motores trifásicos de 220/440 Volts de $\frac{3}{4}$ HP, los cuales se encargan de producir los movimientos y transmitir las vibraciones a los sistemas o componentes fijados en él. El segundo elemento es el gabinete de control, en el cual se encuentran todos los elementos necesarios para controlar los diferentes movimientos o ciclos que se encuentran programados en el relevador inteligente Zelio Logic. Cabe mencionar que para el control de la velocidad y sentido del giro de los motores trifásicos, se utilizaron tres variadores de frecuencia, es decir, uno por cada motor.

Con la construcción y funcionamiento del módulo, se pretende identificar los parámetros y características necesarias para el diseño del gabinete que protegerá los componentes del Dispositivo de Comunicación Marina, así como también contribuir al avance de herramientas que permitan la realización de pruebas de funcionamiento de componentes electrónicos para las embarcaciones de flota menor o cualquier sistema que requiera estar sujeto a condiciones constantes de vibraciones.

ABSTRACT

In order to measure and understand the behavior of different materials and electronic components at a constant ambient of vibration, for the design and manufacture of Marine Communication Device Project "Technological Infrastructure Development and Communication Acquisition Systems for Geospatial Information from Mexico Fishing Sector ", raised the study, design and manufacture of a oscillatory motion generator module.

The oscillatory motion generator module is intended to represent the movement and vibration conditions existing fleet vessels less due to its dynamic elements and sea currents. This team is composed of two elements. The first is the mechanical device, which is composed of a platform supported by three phase motors 220/440 Volts $\frac{3}{4}$ HP, which are responsible for producing the movements and vibrations transmitted to systems or components fixed it . The second element is the control cabinet, which contains all the necessary elements to control the different motions or cycles that are programmed into the smart relay Zelio Logic. It is noteworthy that for controlling the speed and direction of rotation of the AC motors are used three inverters, ie one for each motor.

With the construction and operation of the module, it will be possible to identify the parameters and characteristics needed for the cabinet design that will protect the components of the marine communication device, as well as contribute to the advancement of tools for testing electronic components operating for smaller fleet vessels or any system that requires being subject to constant vibration.

INDICE

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- ANTECEDENTES	1
1.2.- OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO	6
2.1.- INTRODUCCION.....	6
2.2.- VIBRACIONES MECÁNICAS	7
2.3.- ESTADO DE LA TECNOLOGIA	8
2.3.1.- DISPOSITIVOS EXISTENTES DE ENSAYOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS	11
2.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO	14
2.4.1 METODOLOGÍA DE DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD.....	14
2.5 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD).....	23
CAPITULO 3.- MARCO EXPERIMENTAL.....	27
3.1 INTRODUCCIÓN	27
3.2 PRIMERA ETAPA: ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	28
3.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	28
3.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS DEL CLIENTE	29
3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS DEL CLIENTE	31
3.2.4 BENCHMARKING	33
3.2.5 TRADUCCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS EN TÉRMINOS MENSURABLES.....	36
3.3 SEGUNDA ETAPA: DISEÑO CONCEPTUAL.....	38
3.3.1 LÍMITES DE SISTEMA Y FUNCIONES DE SERVICIO	39
3.3.2 DEFINICIÓN DE FUNCIÓN GLOBAL	40
3.3.3 ANÁLISIS FUNCIONAL DESCENDENTE	40
3.3.4 MATRIZ MORFOLÓGICA	43
3.3.5 EVALUACIÓN DE CONCEPTOS	44
3.4 TERCERA ETAPA: DISEÑO DE DETALLE	48

3.4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA.....	48
3.4.2 DIBUJOS DE DETALLE.....	52
3.4.3 DIBUJOS DE ENSAMBLE.....	66
3.4.4 MEDICION Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES	68
3.4.5 SELECCIÓN DE MATERIALES Y/O COMPONENTES.....	71
CAPITULO 4.- RESULTADOS	80
4.1 DEFINICION DE DISEÑO CONCEPTUAL RESULTANTE	80
4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES	83
4.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL MARCO ESTRUCTURAL	83
4.2.2 SELECCIÓN DE MOTORES	85
4.3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO ELECTROMECAÁNICO	86
4.3.1 DISEÑO MECANICO DEL RESORTE.....	88
4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	94
4.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO	99
4.5.1 LISTADO DE MATERIAL UTILIZADO.....	100
4.5.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE DEL PROTOTIPO	101
4.5.3 PROGRAMACIÓN DEL RELEVADOR INTELIGENTE	106
4.6 MEDICION Y ANALISIS DE VIBRACIONES	107
4.7 ENSAYOS DE MOVIMIENTOS DE VIBRACION EN DCM	108
CAPITULO 5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	110
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	110
REFERENCIAS.....	112
ANEXOS.....	115

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Esquema general de funcionamiento del Dispositivo de Comunicación Marítimo.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. 1 Sistema Masa- Resorte- Amortiguador Equivalente.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. 2 Desfase entre magnitudes</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. 3 Dispositivo implementado para ensayos con actuadores neumáticos.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. 4 Dispositivo implementado para ensayos con actuadores electrohidráulicos... </i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. 5 Dispositivo implementado para ensayos con servomotores</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. 6 Dispositivo implementado para ensayos para pruebas de fatiga en MCI</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2. 7 Casa de la Calidad.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. 8 Esquema de 1era. Etapa de la metodología</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. 1 Clasificación de los requerimientos en obligatorios y deseables</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3. 2 Configuración de Dispositivo MAST (1).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. 3 Dispositivo MAST implementado para ensayo de fatiga a un radiador (2).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. 4 Dispositivo MAST implementado para ensayo de comp. Electrónicos (3).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3. 5 Interfaz Gráfica de Dispositivo MAST.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3. 6 Límites de Sistema</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3. 7 Análisis funcional descendente de la Función Global de Servicio (Nivel 1)</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. 8 Análisis funcional descendente de la Función Global de Servicio (Nivel 2)</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. 9 Análisis funcional descendente de la Función A1. Acoplar/desacoplar el DCM en MGMO (Nivel 3).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 10 Análisis funcional descendente de la Función A2. Configurar parámetros de vibración a representar (Nivel 3)</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 11 Análisis funcional descendente de la Función A3. Representar los movimientos vibratorios (Nivel 3)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3. 12 Vista superior de plataforma inferior (bancada).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 13 Vista isométrica de plataforma inferior (bancada)</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 14 Vista superior de plataforma superior (mesa).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 15 Vista isométrica de plataforma superior (mesa)</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 16 Vista frontal de pistón con unión universal</i>	<i>57</i>

<i>Figura 3. 17 Vista isométrica de pistón con unión universal</i>	58
Figura 3. 18 Vista frontal de nivelador	59
Figura 3. 19 Vista Isométrica de nivelador	59
<i>Figura 3. 20 Vista posterior de nivelador</i>	59
<i>Figura 3. 21 Vista frontal de biela, equipada con rotula</i>	60
<i>Figura 3. 22 Vista lateral derecha de resorte de amortiguamiento</i>	61
<i>Figura 3. 23 Vista frontal de rotula de plataforma superior</i>	62
<i>Figura 3. 24 Vista isométrica de rotula de plataforma superior</i>	63
<i>Figura 3. 25 Vista frontal de soporte de fijación de resorte encamisado</i>	64
<i>Figura 3. 26 Vista isométrica de soporte de fijación de resorte encamisado</i>	64
<i>Figura 3. 27 Vista lateral izquierda de elemento accionado eléctricamente</i>	65
<i>Figura 3. 28 Vista isométrica de elemento accionado eléctricamente</i>	66
<i>Figura 3. 29 Vista frontal de ensamble de modulo generador de movimientos oscilatorios</i>	67
<i>Figura 3. 30 Vista isométrica de ensamble de módulo de generador de movimientos oscilatorios</i>	68
<i>Figura 3. 31 Vibrometro portable TV300, implementado para medición de vibraciones</i> ...	70
<i>Figura 3. 32 Diversos materiales implementados en la actualidad</i>	72
<i>Figura 3. 33 Ejemplo de perfiles de hierro existentes</i>	73
<i>Figura 3. 34 Ejemplo de estructura elaborada con perfil de aluminio</i>	74
<i>Figura 3. 35 Ejemplo de perfil de acero utilizado para fabricación de estructura</i>	75
<i>Figura 3. 36 Motor eléctrico de jaula de ardilla</i>	76
<i>Figura 3. 37 Servomotores</i>	77
<i>Figura 3. 38 Motor a pasos</i>	78
<i>Figura 4. 1 Casa de la calidad resultante para el diseño del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”</i>	81
<i>Figura 4. 2 Perfil tubular rectangular (PTR)</i>	83
<i>Figura 4. 3 Motores eléctricos seleccionados</i>	85
<i>Figura 4. 4 Vista isométrica del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”</i>	86
<i>Figura 4. 5 Vista isométrica del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”</i>	87
<i>Figura 4. 6 Vista lateral izquierda del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”</i> .	87
<i>Figura 4. 7 Vista lateral derecha del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”</i> ...	88

<i>Figura 4. 8 Parámetros a considerar para el diseño de un resorte.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 4. 9 Tipo de extremos del resorte.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 4. 10 Diagrama de cuerpo libre del resorte</i>	<i>90</i>
<i>Figura 4. 11 Resorte manufacturado.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 4. 12 Diagrama esquemático del sistema de control del MGMO.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 4. 13 Variador de frecuencia ATV12H075M3.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 4. 14 Relevador Inteligente Zelio SR3B261BD.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4. 15 Fuente de Poder ABL8REM24030.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 4. 16 Interruptor Termomagnético trifásico.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 4. 17 Diagrama unifilar de conexión eléctrico.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 4. 18 Diagrama de conexión eléctrico del control.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 4. 19 Corte con disco del perfil PTR Figura 4. 20 Soldadura del marco estructural</i> <i>.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 4. 21 Esmerilado de la estructura Figura 4. 22 Montaje del soporte del resorte</i> <i>.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4. 23 Montaje del resorte en base Figura 4. 24 Maquinado de platinas de pistón</i> <i>.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4. 25 Torneado de soporte de resorte Figura 4. 26 Posicionamiento de Yugo....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 4. 27 Instalación de cruceta en Yugo Figura 4. 28 Ensamble de levas en flechas</i> <i>.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 4. 29 Vista del ensamble del dispositivo electromecánico finalizado (1).....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 4. 30 Vista lateral del ensamble del dispositivo electromecánico finalizado (2)...</i>	<i>104</i>
<i>Figura 4. 31 Conexión eléctrica de los componentes de sistema de control</i>	<i>104</i>
<i>Figura 4. 32 Interfaz de control del MGMO</i>	<i>105</i>
<i>Figura 4. 33 Estructura de Programación para el control de ciclos (1)</i>	<i>106</i>
<i>Figura 4. 34 Estructura de Programación para el control de ciclos (2)</i>	<i>107</i>
<i>Figura 4. 35 Ensayo de durabilidad realizado a dispositivo de comunicación marítimo..</i>	<i>109</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 2. 1 Diversas aplicaciones existentes de ensayos de vibraciones mecánicas.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3. 1 Ponderación de los requerimientos deseables</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3. 2 Hoja de datos de dispositivo MAST.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. 3 Tabla comparativa (Benchmarking) MAST (X) vs MGMO (O)</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. 4 Traducción de los requerimientos en términos mensurables.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3. 5 Matriz Morfológica.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3. 6 Análisis de Factibilidad.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 3. 7 Análisis de Disponibilidad Tecnológica.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3. 8 Matriz de Decisión.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 3. 9 Descripción de componentes del MGMO</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4. 1 Resultados obtenidos de la Casa de la Calidad</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 4. 2 Características principales del perfil tubular rectangular PTR.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4. 3 Coeficientes para valores de A y m.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4. 4 Parámetros obtenidos de diseño mecánico del resorte</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 4. 5 Resultados de mediciones de vibración realizadas en campo.....</i>	<i>108</i>

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

El presente trabajo surge a partir de la necesidad de diseñar y desarrollar un gabinete para resguardo de un Dispositivo de Comunicación Marítima como parte del proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”.

Dicho proyecto surge como respuesta a las necesidades de información del sector pesquero, haciendo uso de las tecnologías de comunicación e información actuales, con la finalidad de conocer en tiempo real la ubicación geográfica de las embarcaciones, trayectorias de los viajes de pesca, tiempos y permanencias de las embarcaciones, enviar señales de auxilio en caso de emergencia y recolectar información de factores ambientales como temperatura y salinidad. Por tal motivo, se tiene contemplado la construcción de 500 dispositivos, los cuales serán distribuidos en distintos puertos de los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo[1].

Un diagrama funcional aproximado del dispositivo de comunicación marítimo, se presenta en la **Figura 1.1**, en la cual se puede apreciar un esquema general de funcionamiento del dispositivo de comunicación marítimo (DCM), el cual tendrá la secuencia de funcionamiento que se presenta a continuación:

- ❖ El Dispositivo recibe posición GPS, datos del sensor (Termosalinómetro) y envía la información.
- ❖ El servidor satelital recibe y envía la información a nodos centrales (Universidad Riviera y CINVESTAV Unidad Mérida).
- ❖ Los nodos centrales envían la información a los nodos estatales.
- ❖ Finalmente, los nodos estatales pueden enviar notificaciones a las embarcaciones.

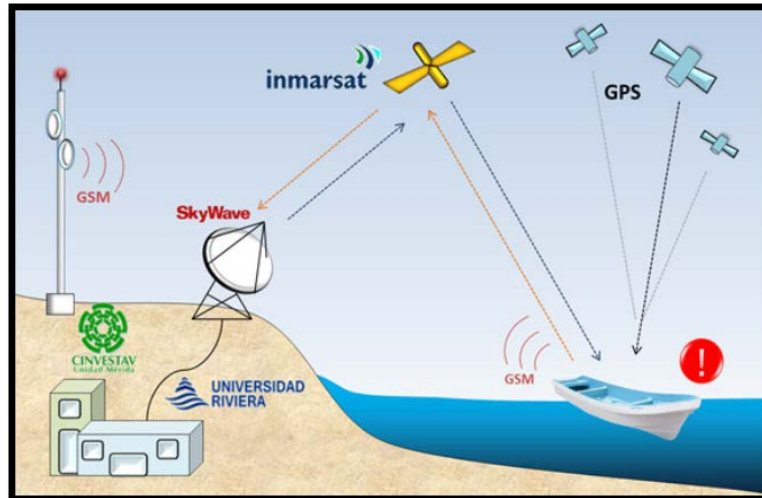


Figura 1.1 Esquema general de funcionamiento del Dispositivo de Comunicación Marítimo.

El dispositivo de comunicación marítima está compuesto por diversos componentes electrónicos de última tecnología, los cuales debido a sus especificaciones técnicas no pueden estar expuestos en ambientes húmedos, corrosivos y de vibración. Debido a lo anterior se tuvo la visión de realizar el diseño del gabinete que albergará y resguardará los componentes del sistema en un ambiente marino.

Debido a las condiciones de operación a las cuales estará sujeto el gabinete que resguardara los componentes del dispositivo, el diseño del mismo deberá ser realizado tomando en cuenta diversos requerimientos y/o especificaciones técnicas importantes a considerar. *Una de ellas muy importante para el desarrollo del DCM es conocer de manera adecuada el comportamiento de los parámetros de movimientos oscilatorios de vibración generados en las embarcaciones de flota menor debido a las corrientes marinas, y/o a sus elementos dinámicos* ya que será necesario evaluar si dichos movimientos generados en condiciones normales de operación, no afectarán el correcto funcionamiento de los componentes electrónicos que estarán ensamblados en el gabinete.

Por tal razón, para poder representar los movimientos oscilatorios a los cuales estará expuesto el dispositivo de comunicación marítima, es necesario contar con un módulo, el cual nos permita representar las condiciones reales de oscilación generadas en una embarcación en condiciones normales de operación. Esto con el fin de obtener información referente a este tópico y poder realizar las adecuaciones necesarias al diseño del gabinete que resguardara los componentes del dispositivo de comunicación marítima.

Todos los productos son sometidos a vibración en algún momento desde su fabricación, algunos durante su transporte, otros durante su aplicación, o de igual manera cuando en algún momento son embarcados en automóviles, barcos, aviones, etc. La fase de diseño y desarrollo de un producto tiene una gran repercusión económica a lo largo de su vida. Entre el 70 y el 80% del costo final del producto se determina en esta fase, además de, por supuesto, contribuir de manera decisiva en el costo de manufactura del mismo. El objetivo de reducir las correcciones o modificaciones en la fase de diseño y desarrollo de un producto sigue siendo uno de los factores clave en la competitividad de las empresas en la mayoría de los sectores industriales, el buen desarrollo de estas etapas repercute en factores clave para la correcta implantación de dichos productos en el mercado, garantizando de esta manera que los productos lanzados al mercado tengan una buena funcionalidad, fiabilidad, fácil manufactura y una robustez adecuada[2].

Los ensayos de durabilidad y/o operación acelerados en componentes o subsistemas en laboratorio han sido durante mucho tiempo una parte importante en el proceso de desarrollo de productos, en especial en determinados sectores como la industria electrónica. *La realización de ensayos de vibración* en un laboratorio nos proporciona información sobre cómo nuestro producto se comporta ante un ambiente determinado de vibración, permitiéndonos entonces adelantarnos a los posibles problemas que se presentarían en estas circunstancias. Por lo tanto, el propósito de los sistemas de ensayo y simulación de vibraciones es por tanto, representar en condiciones controladas de laboratorio

funciones determinadas vibratorias sobre determinados elementos, para caracterizarlos en sus diferentes condiciones.

Si bien es cierto que en la actualidad existe una gran diversidad de sistemas o máquinas generadoras de vibraciones, una gran parte de éstas se utilizan para simular los movimientos producidos por terremotos u otras aplicaciones. Los dispositivos diseñados para representar terremotos se utilizan en su mayoría para realizar pruebas a los mecanismos utilizados en las bases de algunos edificios diseñados para soportar los movimientos generados por dicho fenómeno natural, con el objetivo de brindar mayor seguridad a los usuarios o habitantes de dichos inmuebles. También existen simuladores utilizados en la industria aeronáutica y en el desarrollo de tecnología; como por ejemplo en cámaras fotográficas, así como también los utilizados para la realización de mantenimiento preventivo en sistemas de diversos tipos[3].

Por tal motivo, debido a que la funcionalidad de los componentes electrónicos seleccionados para la fabricación del DCM necesitan ser evaluados en las condiciones de vibración a las cuales estarán expuestos, y debido a que en la actualidad, no existe un dispositivo que nos permita representar específicamente los movimientos de oscilación que se generan en una embarcación de flota menor debido a las corrientes marinas y/o a sus elementos dinámicos. Con el objetivo de medir y conocer el comportamiento de los materiales y componentes electrónicos que conformaran el DCM en un ambiente constante de vibraciones, *se planteó el estudio, diseño y manufactura del presente módulo generador de movimientos oscilatorios*. La complejidad en el comportamiento del funcionamiento de los componentes, hace que la experimentación se considere indispensable en la evaluación de los dispositivos electrónicos desarrollados en la actualidad.

Dicha experimentación permite visualizar y comprobar el funcionamiento, mejorar los modelos analíticos y validar nuevos sistemas constructivos.

1.2.- OBJETIVO GENERAL

Diseñar y manufacturar un módulo que permita simular los movimientos oscilatorios de vibración generados en las embarcaciones de flota menor, ocasionados por las corrientes marinas y/o sus elementos dinámicos.

1.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Estudiar las características de la oscilación generada en una embarcación de flota menor en operación, realizando medición de los parámetros de oscilación pertinentes (aceleración, desplazamiento, velocidad, etc.) ocasionados por las corrientes marinas; con el fin de establecer los parámetros físicos a representar.
- ❖ Implementar una metodología de diseño para el desarrollo del módulo planteado, de un modo conceptual y de detalle.
- ❖ Elaborar del diseño conceptual del prototipo.
- ❖ Estudiar, analizar y seleccionar los mecanismos, elementos y/o componentes mecánicos, eléctricos, y electrónicos adecuados a implementar para la manufactura del módulo.
- ❖ Construcción del prototipo.
- ❖ Realizar ensayos de operación.

CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO

2.1.- INTRODUCCION

En el presente capítulo se describe de manera breve y concisa los fundamentos teóricos, conceptos, y definiciones que se implementaron para la lograr alcanzar el objetivo general del presente trabajo.

Inicialmente se hace mención de las definiciones y conceptos más relevantes referentes al estudio de vibraciones mecánicas, debido a que estos principios son los fundamentales para poder analizar e interpretar los parámetros que se presentan en las embarcaciones al estar navegando en el océano. De la misma forma se mencionan algunos dispositivos que existen en la actualidad para ensayos de vibraciones mecánicas.

Como siguiente tópico fundamental, se describirá la metodología de diseño usada para la obtención del diseño y desarrollo del módulo, haciendo énfasis en el por qué se tomó la decisión de seleccionar esta metodología, y así mismo de describirán de manera breve e individual cada una de las etapas que abarca esta metodología, con el fin de lograr el adecuado diseño del producto en cuestión.

Finalmente en el presente capítulo, se hace referencia al uso del Diseño Asistido por Computadora, mejor conocido por sus siglas en inglés CAD (Computer Aided Design) debido a que esta es una de las herramientas computacionales por medio de la cual se realizó fundamentalmente el diseño conceptual y de detalle de módulo en cuestión.

2.2.- VIBRACIONES MECÁNICAS

Movimiento vibratorio o vibración: Las vibraciones son oscilaciones y las oscilaciones son movimientos, entonces podemos decir que las vibraciones son oscilaciones de un cuerpo con una determinada amplitud en relación al tiempo con respecto a una posición de equilibrio estable[4].

Para producir este movimiento oscilatorio, es necesario que el cuerpo o sistema posea por lo menos un elemento inercial (poseedor de energía cinética) y un restaurador (poseedor de energía potencial); por ejemplo en la **Figura 2.1**, en un sistema masa-resorte la masa posee las características energéticas cinéticas, y el resorte, las características restauradoras[5].

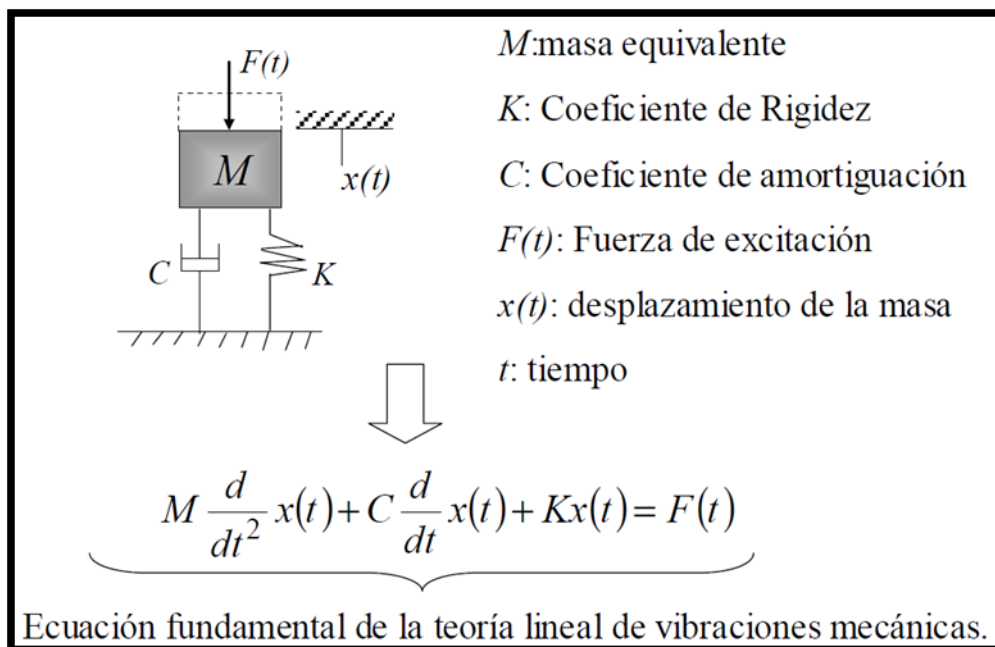


Figura 2. 1 Sistema Masa- Resorte- Amortiguador Equivalente

Las magnitudes fundamentales que caracterizan las vibraciones son la amplitud o desplazamiento, la velocidad, la aceleración y la frecuencia. Algunas de estas magnitudes se observan en la **Figura 2.2**, y se describen a continuación:

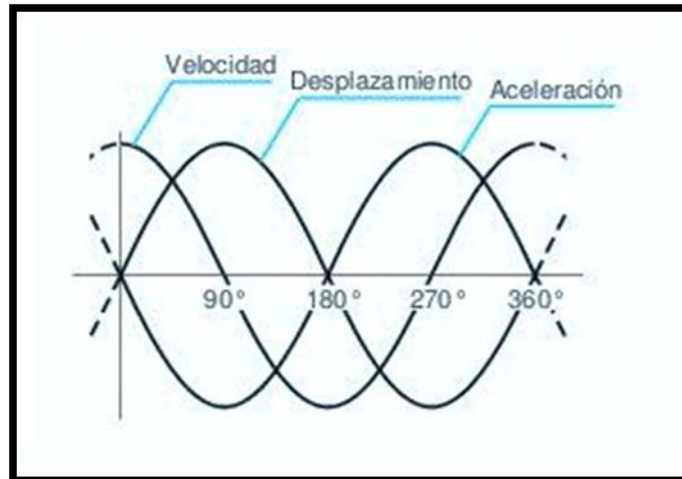


Figura 2. 2 Desfase entre magnitudes

- Desplazamiento o Amplitud: Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- Velocidad: Es el desplazamiento de la partícula en un segundo. Se mide en metros por segundo (m/s).
- Aceleración: Es la variación de la velocidad en un segundo. Se mide en metros por segundo al cuadrado (m/s^2).
- Frecuencia: Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de vibración se usan los CPM (ciclos por minuto) o Hz (Hertz)[4].

2.3.- ESTADO DE LA TECNOLOGIA

Los sistemas mecánicos, y electrónicos al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, responden variando sus estados de equilibrio y, como consecuencia, presentan cambios de configuración que perturban su normal funcionamiento, presentan molestias al personal que los maneja y acortan la vida útil de los componentes electrónicos y de los mecanismos, es por tal razón que un factor determinante en el diseño del DCM es el poder comprender los parámetros

de vibración a los cuales estará sujeto el mismo, y poder conocer si estos agentes externos afectaran su correcto funcionamiento.

Todos los elementos que contienen materia en el espacio, poseen una característica conocida como frecuencia natural de vibración, la cual tiene un valor determinado, el cual si se llega dar el caso que se aplique una fuerza externa de vibración al sistema, la cual posea una frecuencia de excitación igual a la frecuencia natural del mismo, se presenta el fenómeno conocido como resonancia[6], el cual genera un daño irreparable al sistema, y es por esta razón por la cual es necesario, aislar de la vibración todos los elementos del DCM.

En la actualidad existen diversos equipos o sistemas utilizados para realizar ensayos de simulación de vibraciones mecánicas en distintos ámbitos de la industria, algunos de estos son en sectores tales como:

- ❖ La industria de la automoción o aeronáutica
- ❖ En el estudio en materiales compuestos
- ❖ En la aplicación del mantenimiento predictivo
- ❖ En el estudio de transporte de cargas (mercancías)
- ❖ En el estudio de vibraciones en componentes electrónicos y electrodomésticos
- ❖ En ensayos multiaxiales de componentes y subsistemas, sometiéndolos a estados de vibraciones en varias direcciones simultáneamente.

Algunas de estas aplicaciones se mencionan y describen de manera breve a continuación en la **Tabla 2.1**:

Tabla 2. 1 Diversas aplicaciones existentes de ensayos de vibraciones mecánicas

Industria	Aplicación	
Automotriz	En esta industria es necesario, conocer de manera específica el comportamiento de los diversos componentes que irán ensamblados en un automóvil, esto con el fin de asegurar el ciclo de vida de dichos elementos.	
Grupos electrógenos (Generación de energía eléctrica)	En esta industria los generadores son sometidos a ensayos de vibración, por medio de simuladores, los cuales representan las condiciones de vibración que se presentan durante un sismo, Estos ensayos son realizados por el International Building Code (IBC) empleándose para cumplir con estas normas aisladores de vibración por medio de elastómeros o por medio de aisladores de resortes.	
Transporte de cargas	En esta industria, se realizan ensayos de vibración en laboratorio por medio de simuladores, con el fin de conocer el comportamiento de la cargas a transportar en condiciones vibratorias. Con estos ensayos los ingenieros de embalaje logran desarrollar métodos de transporte optimizados que aseguren la recepción final de los productos en las mejores condiciones.	
Electrónica	En la industria electrónica se realizan ensayos de vibraciones a componentes electrónicos, con el fin de conocer el comportamiento dinámico de estos elementos, y verificar si estas condiciones no ocasionan daños en los mismos. Con los resultados obtenidos se implementan sistemas que sean capaces de operar en condiciones de vibración sin afectar su normal funcionamiento.	

Para entender mejor la finalidad de estos dispositivos, a continuación se define de manera específica la definición del concepto. Un **simulador** es un dispositivo o sistema diseñado para representar situaciones, parámetros o procesos como se dan u ocurren en la vida real[7], en este caso el modulo generador de movimientos oscilatorios, está cumpliendo con la función de representar las vibraciones generadas en la embarcación de flota menor en la cual será instalado el DCM.

Como se ha mencionado anteriormente, existen diversas aplicaciones en las cuales se han implementado los dispositivos cuya función es representar movimientos de vibración generados en distintas circunstancias, y cada dispositivo se encuentra compuesto por distintos componentes principales, pero en general la gran mayoría de los actuales sistemas existentes para la realización de ensayos de simulación de vibraciones mecánicas, están basados en la aplicación de cargas cíclicas constantes o aleatorias ya sea de forma individual o multiaxial. De igual forma un dato relevante es que hoy en día estos simuladores están formados frecuentemente por actuadores hidráulicos, neumáticos o eléctricos, dimensionados para poder representar los movimientos deseados.

Por lo general, la unidad de control de estos simuladores permite tanto el control en fuerza, posición, y velocidad de los movimientos que son generados con los mismos, de igual forma dicha unidad de control permite configurar los parámetros a representar con el fin de tener la flexibilidad de poder simular una gran diversidad de situaciones o condiciones.

2.3.1.- DISPOSITIVOS EXISTENTES DE ENSAYOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Algunos de los principales tipos de dispositivos para simulación de vibraciones mecánicas existentes son:

- ❖ Sistemas de vibración uniaxiales (electrodinámicos y electrohidráulicos)
- ❖ Sistemas con mesa deslizante
- ❖ Mesas deslizantes independientes
- ❖ Servo controladores de ensayos de vibración
- ❖ Sistemas de vibración multiaxiales.
- ❖ Sistemas de vibración mecánica.

Como mínimo, todo dispositivo para ensayos de vibraciones incluye: una mesa o plataforma/base, dispositivos de accionamiento, sistema de control o interfaz hombre máquina, mecanismos de automoción auxiliares, una bancada, y el mecanismo de sujeción del elemento a examinar.

De igual forma la mayoría implementa el uso de la instrumentación de velocidad y fuerza para suministrar información adicional y detallada acerca del evento ensayado, pero no es un factor que siempre se presente en los dispositivos existentes hoy en día. A continuación en las **Figuras 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6** se puede observar como están constituidos algunos de los principales dispositivos para la realización de ensayos de vibraciones mecánicas:



Figura 2. 3 Dispositivo implementado para ensayos con actuadores neumáticos

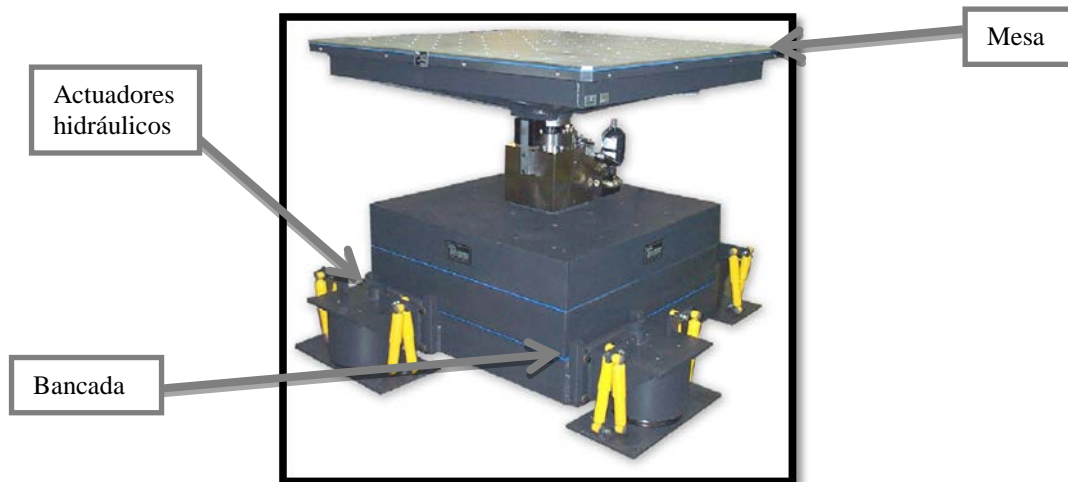


Figura 2. 4 Dispositivo implementado para ensayos con actuadores electrohidráulicos

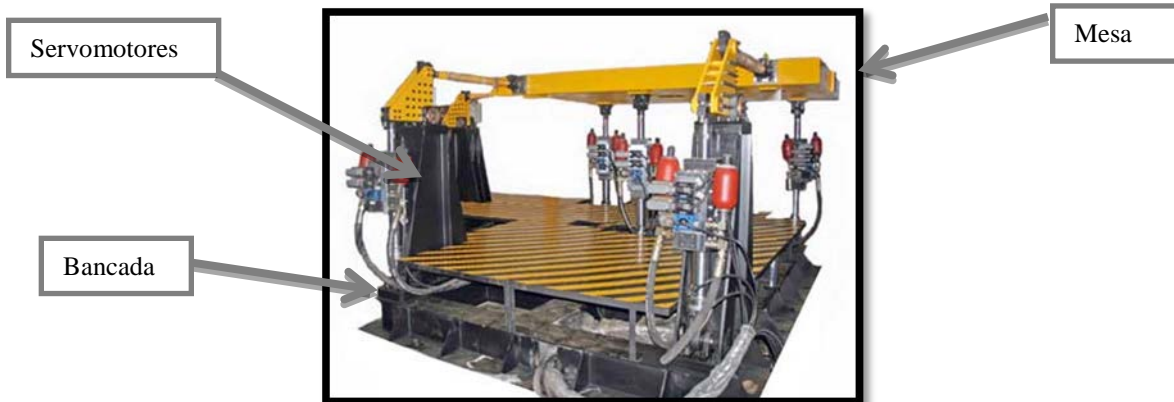


Figura 2. 5 Dispositivo implementado para ensayos con servomotores

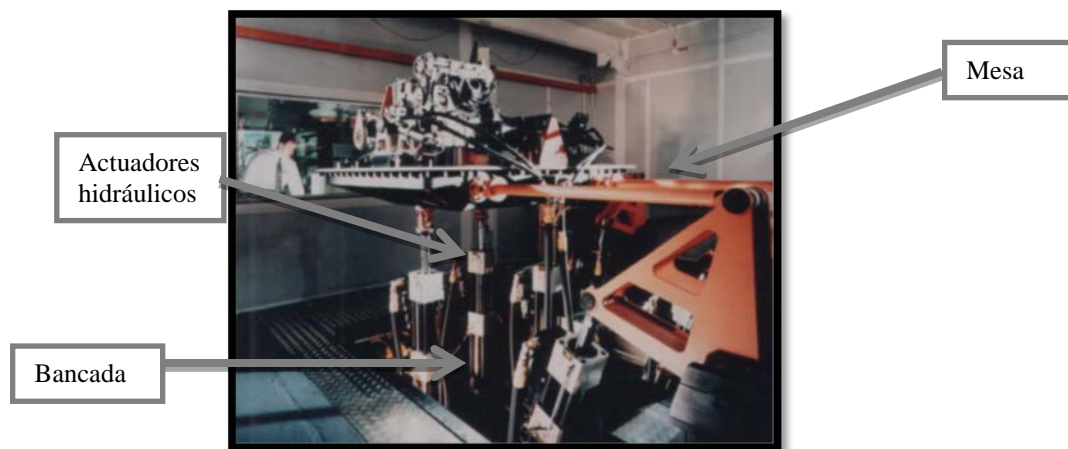


Figura 2. 6 Dispositivo implementado para ensayos para pruebas de fatiga en MCI

2.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO

La metodología de QFD, más allá de la concepción matricial de la casa de la calidad, en la actualidad ha demostrado ser una poderosa herramienta que permite a los ingenieros de diseño concentrar sus esfuerzos en la satisfacción de las necesidades del cliente final. Algunas de las empresas más importantes que han usado dicha metodología son: Apple, General Motors, 3M, Toyota entre otros. Esta metodología en los últimos años ha ido evolucionando y es frecuentemente empleada por diversas importantes empresas para el diseño de productos de consumo, servicios, necesidades militares y productos de innovación.

2.4.1 METODOLOGÍA DE DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD

El método de Despliegue de la Función de Calidad (mejor conocido como QFD, por sus siglas en inglés *Quality Function Deployment*) es un método de diseño de productos y servicios que recoge “la voz del cliente” (The Voice of the Customer, VOC) y la traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del usuario o cliente final. El QFD se desarrolló en el Japón hacia el final de la década de 1960, por los profesores Shigeru Mizuno, Yasushi Furukawa y Yoji Akao. Desde sus inicios fue considerada parte de las herramientas de la gestión total de la calidad, conocida en aquel país como Total Quality Control (TQC), y fue diseñada específicamente para la creación de nuevas aplicaciones y productos[8].

El despliegue de funciones de calidad es una metodología que tiene como objetivo integrar los requerimientos y expectativas de los clientes al proceso de diseño[9].

Clientes → QFD → Proceso de diseño

De igual forma, el QFD es una metodología, la cual busca establecer un procedimiento estandarizado, el cual tiene como finalidad primordial, determinar e interpretar las necesidades del cliente y sus requerimientos, esta metodología puede ser considerada como una filosofía, ya que la misma busca asegurar que los deseos y necesidades de los clientes sean traducidos en características técnicas manejadas por la compañía mediante la función del diseño, o mejor aún, a través de un equipo multifuncional que incluye los diversos departamentos de la empresa y que repercuten en el diseño de un producto como son: ventas, marketing, Ingeniería de diseño, Ingeniería de manufactura y operaciones[10]. Ésta metodología utiliza un método gráfico, por medio de la implementación de un mapa conceptual mejor conocido como “Casa de la Calidad” en la cual se expresan las relaciones entre los deseos de los clientes y las características del diseño. A continuación se enlistan algunos beneficios que trae el uso de ésta metodología.

- ❖ Al identificar de manera anticipada los requerimientos, considerando todas las necesidades, se reducen los cambios y variaciones, ya que el producto cubre todas las necesidades previsibles de los clientes internos y externos.
- ❖ Menor tiempo de desarrollo desde el diseño conceptual hasta el inicio de la producción en serie.
- ❖ Pocos cambios de ingeniería con el producto en producción.
- ❖ Diseño congruente con las necesidades y expectativas del cliente, a través de equipos multidisciplinarios.
- ❖ Traduce los requerimientos del cliente desde un lenguaje ambiguo a los requerimientos de diseño específicos para el desarrollo del producto y su fácil manufactura.
- ❖ Los requerimientos del cliente son medibles, alcanzables y potencialmente mejorables.
- ❖ Identifica las características críticas para la calidad del producto y su desempeño y adecuada aceptación en el mercado.

- ❖ En los mandos superiores, ayuda a que los directivos cambien su enfoque orientado hacia los el alcance de los resultados, hacia un enfoque orientado hacia los procesos que repercutan en el lograr los resultados deseados.
- ❖ Promueve una mejor intercomunicación y labor de equipo en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

Por consiguiente, el método de Despliegue de Función de la Calidad (QFD), es un método estructurado para traducir los requisitos del cliente en los requisitos técnicos apropiados para cada etapa del desarrollo de un producto y de su producción. Es una manera de desarrollar un diseño dirigido satisfaciendo al consumidor y traducir las demandas de los clientes a objetivos de diseño y a puntos importantes de la garantía de calidad que se utilizarán a través de la etapa de la producción[10].

Las funciones de calidad son todas las actividades que contribuyen a formar la calidad del producto: la planeación, el diseño, la producción, el control, etc. son funciones de calidad.

Desplegar las funciones de calidad consiste en poner en relieve las actividades que deben de realizarse para lograr un producto de calidad[11], el QFD se apoya en gráficos para que la información relevante que se vaya generando pueda utilizarse fácilmente durante el proceso de diseño. Los gráficos que resultan de QFD se conocen como “Quality House” o casa de la calidad. Esta herramienta del QFD es la más importante de esta metodología, la cual es una matriz en la cual se correlacionan los principales análisis llevados a cabo durante la realización del QFD.

En la **Figura 2.7** se presenta gráficamente la Casa de la Calidad, así como también se describe cada uno de los elementos que la componen:

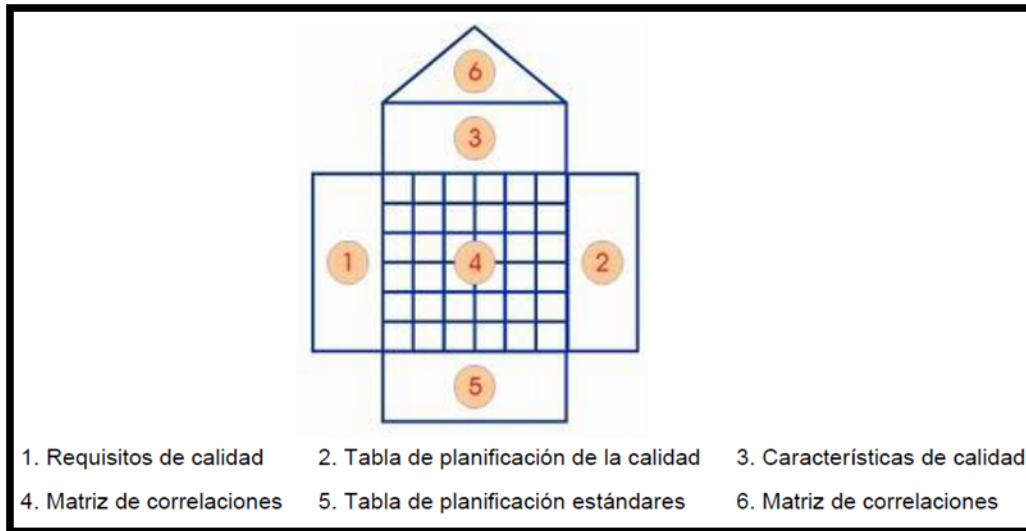


Figura 2. 7 Casa de la Calidad

1. Requerimientos de los clientes.- Este es primordialmente el primer paso a realizar para iniciar con el análisis del QFD, (tras haber identificado el/los clientes) ya que en esta etapa se debe identificar el listado de requerimientos que el cliente busca satisfacer. Una vez que se conocen dichos requerimientos se debe realizar una ponderación o evaluación de la importancia de los mismos, con el fin de identificar cual es la relevancia que le da el cliente a cada uno de los mismos.

2. Evaluación competitiva.- En este paso se realiza una evaluación competitiva, es decir, un benchmarking en el cual se compara nuestro producto con sus competidores más relevantes en el mercado, tomándose en consideración a los competidores que mejor satisfagan los requerimientos considerados por el cliente como funciones que contribuyen a formar la calidad en el producto.

3. Características técnicas de diseño.- En esta sección, después de haber determinado las necesidades/requerimientos del cliente y haber realizado la evaluación competitiva, se procede a determinar las características técnicas del producto, aquellas que repercutan en satisfacer los requerimientos establecidos por el cliente.

4. Relaciones.- En esta sección, la cual es una parte fundamental en el desarrollo del QFD, se define de la relación cuantitativa entre las necesidades del cliente y las características técnicas de diseño del producto. De igual forma en esta sección se establece de manera priorizada el grado de relación que existe, y se realiza una ponderación estableciendo en que magnitud contribuye esta relación en la satisfacción de los requerimientos del cliente. Se implementan escalas ponderadas no lineales, para identificar el grado de relación, utilizando nomenclaturas como: Relación Débil, Relación Media y Relación Fuerte

5. Correlaciones.- Se identifican las correlaciones existentes entre las características técnicas. Ayuda a identificar qué efectos adversos pueden ocurrir cuando se cambian una o más características de diseño, y de igual forma ayuda a definir cuál de las características tiene un mayor impacto cuando sufre un cambio. Se utilizan notaciones para establecer relaciones positivas y negativas.

6. Objetivos.- En esta sección se determinan las especificaciones técnicas para cada característica técnica de la empresa y de los competidores más relevantes en relación con los requerimientos de diseño. En base a lo anterior se establece una meta de especificación de diseño, en base a las prioridades calculadas y los costos.

El Despliegue de Funciones de la Calidad, es una metodología que principalmente dirige el proceso de diseño de un producto a lo largo de su concepción, abarcando desde que se identifica el cliente, sus necesidades, hasta la ingeniería de detalle y la manufactura del producto. De esta forma, el QFD, cuenta con diversas técnicas e instrumentos metodológicos, que ayudan a desarrollar el proceso. Fundamentalmente, con el objeto de desarrollar dicho proceso, el QFD se divide en tres etapas[9]:

- ❖ Especificaciones o comprensión del problema.
- ❖ Diseño conceptual.
- ❖ Diseño de detalle.

2.4.1.1 PRIMERA ETAPA: ESPECIFICACIONES

La información que se genera en esta primera etapa (**Figura 2.8**), permite pasar de los requerimientos del cliente a las metas del diseño a partir de la información obtenida durante el proceso de identificación de la necesidad.

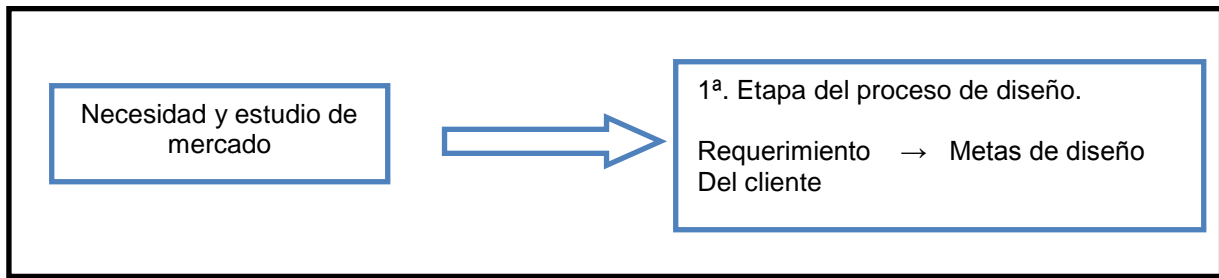


Figura 2. 8 Esquema de 1era. Etapa de la metodología

Ésta primera etapa el Despliegue de Funciones de la Calidad se puede aplicar mediante los siguientes 6 pasos.

- 1) Identificación del cliente:** En este primer paso, se define e identifica hacia quien o quienes va dirigido el producto que se está diseñando. En algunas ocasiones se diseña en base a un solo cliente, sin embargo lo más común es que exista más de un solo cliente. El cliente puede ser interno, o externo.
- 2) Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente:** Tras haber identificado el cliente, la siguiente fase a realizar, es visitar y preguntar, hasta entender claramente las demandas del cliente, es decir se determinan los requerimientos y expectativas del cliente, con el fin de entender cuáles son sus preferencias, y que es lo que el cliente necesita. Por lo general se debe elaborar un listad o consolidado de requerimientos, que idealmente no supere los 15 o 16. Posteriormente se realiza una clasificación de los requerimientos en obligatorios y deseables. Los primeros son los requerimientos que de no cumplirse se puede considerar que se obtendría como resultado un producto que no cumpliría las necesidades del cliente, y que se traduciría en una

disminución de calidad en los atributos del producto. Los deseables son aquellos que de no cumplirse el producto no deja de cumplir las necesidades del cliente, es decir, estos pueden ser cumplidos solo parcialmente o no ser cumplidos[12].

3) Determinación de la importancia relativa de los requerimientos y expectativas del cliente: Ahora en esta etapa, se procede a realizar una evaluación de la importancia de los requerimientos que han sido ya identificados, cabe mencionar que los requerimientos que se analizan y a los que se realiza una ponderación son los requerimientos deseables, ya que los requerimientos obligatorios, como se mencionó anteriormente deben ser cumplidos, de lo contrario el producto no cumpliría las necesidades del cliente[13].

4) Benchmarking: En base a las características validadas para los requerimientos de nuestro nuevo producto, se procede a desarrollar un análisis técnico de nuestro actual producto en contra de nuestros competidores más cercanos, evaluando el desempeño de éstos frente a los requerimientos determinados, para lo cual se mide en una unidad determinada cada característica. Con estos datos, es posible determinar la dirección del esfuerzo de mejora, e incluso determinar un estándar ideal a alcanzar en relación al objetivo técnico esperado.

5) Traducir los requerimientos y expectativas del cliente en términos mensurables de ingeniería: En este paso, tras ya conocer los requerimientos del cliente, se procede a realizar una traducción de los requerimientos y expectativas del cliente en términos cuantitativos (mensurables), los cuales nos ayuden a convertir los mismos en características técnicas de nuestro producto. En este análisis, se podrá encontrar requerimientos que son directamente traducidos, pero de igual forma habrá otros que será necesario analizarlos de manera más exhaustiva para lograr una adecuada interpretación de los mismos en términos de ingeniería.

6) Establecer metas de diseño: El sexto y último paso de la metodología consiste en fijar las metas de diseño. Cada meta de diseño debe expresar una

característica mensurable que deberá tener el producto, y que se debe alcanzar a través del proceso de diseño. El establecimiento de las metas de diseño se lleva a cabo tomando en cuenta:

1. Los requerimientos del cliente
2. Las características del producto de la competencia.
3. El valor agregado que se desea imprimir al nuevo producto.

2.4.1.2 SEGUNDA ETAPA: DISEÑO CONCEPTUAL

El “*diseño conceptual*” se refiere a la parte más creativa en el desarrollo de producto[13]. Tiene que ver con la ingeniería del mismo, con las funciones, los elementos que lo conforman y sus características. Un concepto es una idea que puede representarse mediante un esquema, un croquis, un diagrama, un bosquejo o un modelo tridimensional aproximado. En otras palabras es una representación de algo que podía convertirse en el futuro de un producto. El concepto describe de manera aproximada el tipo de tecnología, los principios de funcionamiento y la forma general del producto. “La fase del diseño conceptual” es probablemente la que requiere mayor creatividad dentro del proceso de diseño.

Como primer paso de esta etapa de diseño conceptual, como todo producto que se lanza al mercado, ya sea que se trate de una sola pieza o de un conjunto de componentes, el producto debe ser visto como un sistema por medio del cual puedan cumplirse las “*Funciones de Servicio*” del mismo[14], es decir, se puedan cumplir las funciones que debe ser capaz de satisfacer el producto. Entre estas funciones de servicio (las cuales pueden ser una o más) se debe identificar “*La Función Global de Servicio*”, la cual es la función que justifica la concepción del producto. Para poder identificar las funciones de servicio, es necesario establecer los límites entre aquello que se va a diseñar y el entorno que lo rodea y/o restringe. El entorno de un sistema es el conjunto de los elementos físicos y

humanos (materiales, energía, usuario, atmósfera, etc.) que están en relación con el producto durante su ciclo de vida.

Posteriormente a haber identificado las funciones de servicio, se procede a utilizar una herramienta llamada “*Análisis Funcional Descendente*”, en la cual se implementa un método gráfico para describir las funciones del producto. Con esta herramienta se busca analizar de manera interna por medio de una sucesión coherente de diagramas, las subfunciones intrínsecas en las funciones de servicio del producto, el análisis se hace de manera descendente, es decir, partiendo desde lo más general hasta lo más particular. De esta manera, la función global de servicio, es la función más general, y a partir de ella se realiza el análisis obteniendo en un segundo nivel las funciones complementarias y finalmente, se desglosaran las funciones en los niveles que sean necesarios.

Una vez conociendo las funciones anteriormente mencionadas, se procede a realizar una generación de conceptos de diseño, que busquen satisfacer de diversas formas las funciones y funciones complementarias de nuestro producto. Para esto, se implementa una herramienta conocida como “Matriz Morfológica”, en la cual se enlistan todas y cada una de las funciones identificadas, y se plantean conceptos de diseño que puedan satisfacer las mismas. En esta herramienta no se realiza la evaluación de los conceptos de diseño planteados.

Después de tener la matriz morfológica, se procede a realizar un análisis de evaluación de dichos conceptos, inicialmente se realiza un análisis de factibilidad de los mismos, con el fin de determinar si los conceptos propuestos son factibles de realizarse. En esta etapa se pueden producir tres resultados: “No es factible, no funciona”, “Tal vez podría funcionar si se hacen algunos ajustes”, “Es muy factible”.

Por lo general estos primeros juicios se basan en la experiencia del diseñador, en los conocimientos que ha acumulado durante su vida profesional.

Una vez realizada la evaluación de factibilidad, se realiza una evaluación de “Disponibilidad de Tecnología” a todos los conceptos de diseño que aprobaron la evaluación de factibilidad, esto con el fin de corroborar que los conceptos considerados, tengan la disponibilidad tecnológica para poder ser implementados en nuestro producto. En esta evaluación se tiene el objetivo de determinar si la tecnología implicada en el concepto esta: “Desarrollada y madura”, “Disponible”, y “Al alcance para su utilización”.

Finalmente, se realiza la evaluación de conceptos, implementando una “Matriz de Decisión” herramienta por medio de la cual se va calificando cada concepto con respecto a otro en base a su capacidad para cumplir con los requerimientos del cliente. La comparación de los resultados proporciona las bases para identificar las mejores opciones y permite contar con una referencia para tomar decisiones.

2.4.1.3 TERCERA ETAPA: DISEÑO DE DETALLE

En esta fase, tras conocer los conceptos de diseño que mejor se adecuan a la satisfacción de los requerimientos del cliente, se procede a presentar el diseño conceptual del producto mediante dibujos o planos, en los cuales se pueda observar que dicho diseño propuesto cumple con el objetivo.

En esta misma fase, se realiza el sustento con memorias de cálculo la selección de los componentes, materiales y mecanismos que conforman nuestro diseño.

2.5 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

Hoy en día, la industria necesita adaptarse a las nuevas tecnologías emergentes que le permitan simplificar, optimizar y elevar la calidad de los procesos de diseño y manufactura. Esto significa que es propicio el ambiente para

la utilización de sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora CAD/CAM.

Como una herramienta que potencialmente ayuda y soporta a los ingenieros de diseño a lograr concebir de manera virtual, las ideas plasmadas en el diseño conceptual de un producto, el Diseño Asistido por Computadora, mejor conocido como “CAD (Computer Aided Design)” por sus siglas en inglés, es una herramienta computacional, que mediante el uso de software y el uso de una interfaz gráfica permite diseñar bocetos en dos o tres dimensiones con geometría alámbrica, esto es, por medio del uso de coordenadas, líneas, arcos, superficies y sólidos, etc. para obtener un modelo numérico de un objeto o de un conjunto de ellos[15]. De igual forma pueden asociarse propiedades diversas a las entidades o conjuntos de estas, que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción. De los modelos pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica. Así mismo, es un herramienta que permite el diseño de objetos por computadora, presentando múltiples ventajas como la interactividad y facilidad de crear nuevos diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo antes de la construcción del prototipo, modificando, si es necesario, sus parámetros; la generación de planos con todo tipo de vistas, detalles y secciones, y la posibilidad de conexión con un sistema de fabricación asistida por computadora para la mecanización automática de un prototipo[16].

Otro de los conceptos derivados de la utilización de programas informáticos para la reproducción y fabricación de los diseños elaborados a partir de programas CAD, es la Manufactura Asistida por Computadora (CAM, Computer Aided Manufacturing), la cual, es utilizada para dirigir y controlar equipos de producción, provocando como consecuencia la automatización total o parcial de la fabricación de piezas. El resultado de la integración de estas dos tecnologías, es el término conocido como CAD/CAM, por medio del cual se utiliza un modelo elaborado en algún software CAD, para posteriormente exportarlo en algún formato, a un centro de maquinado asistido por computadora, y de esta manera obtener la manufactura

del producto. De la misma forma de esta unión se puede integrar de igual forma el uso de la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE, Computer Aided Engineering), técnica derivada del CAD, por medio de la cual se pueden realizar simulaciones paramétricas del desempeño de los bocetos o modelos que se estén generando mediante el software CAD, y así poder hacer mejoras a los diseños del producto o bien apoyar la resolución de problemas de ingeniería.

De igual manera por medio del CAD, se puede realizar la integración del CAD/CNC, integración que nos permite la fabricación de piezas diseñadas, a través de los programas CAD-CAM. La conexión de las máquinas, tanto con los sistemas CAM específicos como con el resto del sistema a través del servidor de la red posibilita los diversos flujos de información, tanto con el área de CAD-CAM como con el área de CMM (Metrología asistida por computadora). Los beneficios del CAD incluyen menores costos de desarrollo de productos, aumento de la productividad, mejora en la calidad del producto y un menor tiempo de lanzamiento al Mercado. Algunos de los beneficios del uso del software CAD/CAM/CAE son[17]:

- ❖ Mejor visualización del producto final, los sub-ensambles parciales y los componentes en un sistema CAD agilizan el proceso de diseño.
- ❖ Ofrece gran exactitud de forma que se reducen los errores.
- ❖ Brinda una documentación más sencilla y robusta del diseño, incluyendo geometría y dimensiones, lista de materiales, etc.
- ❖ Permite una reutilización sencilla de diseños de datos y mejores prácticas.
- ❖ Análisis de estrés y dinámica de componentes y ensambles utilizando el análisis de elementos finitos (FEA)
- ❖ Análisis Termal y de fluidos utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD)
- ❖ Análisis de Cinemática y de dinámica de mecanismos (Dinámica multicuerpos)
- ❖ Simulación mecánica de eventos (MES)

- ❖ Análisis de control de sistemas
- ❖ Simulación de procesos de manufactura como forja, moldes y troquelados
- ❖ Optimización del proceso del producto.

CAPITULO 3.- MARCO EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe de manera detallada y precisa, todas y cada una de las actividades que fueron realizadas como parte de la metodología de diseño “Despliegue de Función de la Calidad”, con el fin de obtener el diseño conceptual del módulo generador de movimientos oscilatorios.

En el inicio del presente capítulo se describen los análisis realizados, mismos que fueron implementados como parte de la metodología de diseño para realizar la identificación del cliente a satisfacer.

De igual forma se describen las herramientas utilizadas para identificar, interpretar y traducir los requerimientos del cliente, y que posteriormente con la evaluación obtenida se pueda determinar las características técnicas pertinentes que nos den como resultado la generación de conceptos, la definición del modelo funcional, y la evaluación del mismo, con el fin de obtener las especificaciones de diseño a cumplir, con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente.

Consecutivamente, se describirán los elementos seleccionados que en conjunto conformaran el módulo en cuestión, se hará mención de la selección de materiales, componentes mecánicos, eléctricos y electromecánicos que serán implementados como parte del diseño conceptual del módulo generador de movimientos oscilatorios.

3.2 PRIMERA ETAPA: ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El modulo generador de movimientos oscilatorios tiene la finalidad de representar los movimientos y las condiciones de vibración existentes en las embarcaciones de flota menor debido a sus elementos dinámicos y las corrientes marinas. Dicho equipo se encontrará compuesto por dos elementos principales: El primero se tratara del dispositivo electromecánico, el cual se encontrará conformado por diversos componentes mecánicos, que ayudaran a cumplir la función principal. Así mismo estará compuesto por elementos eléctricos, y electromecánicos que ayudaran a proveer la energía necesaria para cumplir el objetivo deseado.

El segundo elemento es el sistema de control, en el cual se encontraran todos los elementos necesarios para controlar las diferentes condiciones de oscilación que se deseen representar.

Con la construcción y funcionamiento del presente modulo, se pretende identificar los parámetros y características necesarias para el diseño del gabinete que protegerá los componentes del Dispositivo de Comunicación Marítima (DCM), así como también se pretende contribuir al avance de herramientas que permitan la elaboración de ensayos de funcionamiento en ambientes de vibración, a componentes electrónicos que en el ciclo de vida para el cual sean concebidos, puedan estar sujetos a este tipo de circunstancias.

3.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

En esta etapa del proceso de diseño, llevado a cabo para la obtención del “Modulo Generador de Movimientos Oscilatorios” se distinguen 2 clientes que serán necesarios de satisfacer, con la elaboración del presente trabajo:

- ❖ **El cliente Interno (diseñador):** Este es identificado como el personal que se encuentra diseñando el presente modulo, ya que el “diseñador de un producto” busca ciertas necesidades a cumplir que le ayuden a facilitar el proceso de diseño del producto que se encuentra desarrollando. Tales como que el mismo pueda ser de fácil manufactura, o de fácil ensamble, etc.
- ❖ **El cliente Externo (consumidor):** Este es identificado como el usuario final al que está dirigido el producto que se está diseñando, es decir el “consumidor”, y como tal, este cliente tiene sus propios requerimientos los cuales son necesarios para cumplir con las expectativas del mercado actual, así como también, las necesidades de este cliente ayudan a que el producto que se está diseñando este a la altura competitiva de los demás productos similares existentes en la actualidad. En este caso el cliente externo son los ingenieros que se encuentran diseñando el Dispositivo de Comunicación Marítima (DCM), mismos que tendrán la necesidad de realizar ensayos de vibración a los componentes electrónicos que seleccionen para conformar el DCM.

3.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS DEL CLIENTE

Una etapa muy importante en la metodología de diseño llevada a cabo en el presente proyecto, es la adecuada identificación de las necesidades o requisitos que hace manifiestos el cliente, ya que de la correcta realización de esta actividad depende que el producto diseñado tenga una buena y aceptable implantación en el mercado actual, cumpliendo con los estándares de calidad de hoy en día, y que los clientes interno y externo, a quienes está dirigido el producto tengan una total satisfacción con el mismo. Por tal motivo, a continuación se enuncia un listado de los requerimientos y expectativas más relevantes que fueron manifestados por el cliente:

1. *Simple manufactura.*
2. *Fácil ensamble.*
3. *Bajo mantenimiento.*
4. *Tecnología de fabricación disponible.*
5. *Costo de fabricación bajo.*
6. *Fácil operación.*
7. *Que sea compacto.*
8. *Resistente a vibraciones.*
9. *Que sea seguro para el operador.*
10. *Resistente al medio ambiente.*
11. *Materia prima disponible en el mercado.*
12. *Que sea durable.*
13. *Implementar componentes estandarizados.*
14. *Tiempo de desarrollo del producto.*

Un aspecto muy relevante a considerar, es que no todos los requerimientos y expectativas del cliente tienen el mismo grado de importancia, por tal razón la metodología implementada en el presente proyecto, clasifica los requerimientos en: deseables y obligatorios.

Los primeros, se refieren a aquellos cuyo cumplimiento es completamente indispensable, es decir; sin ellos el producto no podría considerarse satisfactorio en ningún grado, y no se podría considerar como un producto con un buen estándar de calidad. Los segundos, se refieren a aquellos, en los cuales puede existir cierta flexibilidad, de manera que su cumplimiento puede ocurrir de manera total o parcial, y de cualquier forma el producto puede ser considerado como satisfactorio[11].

En la **Figura 3.1**, se puede observar la clasificación de los requerimientos:

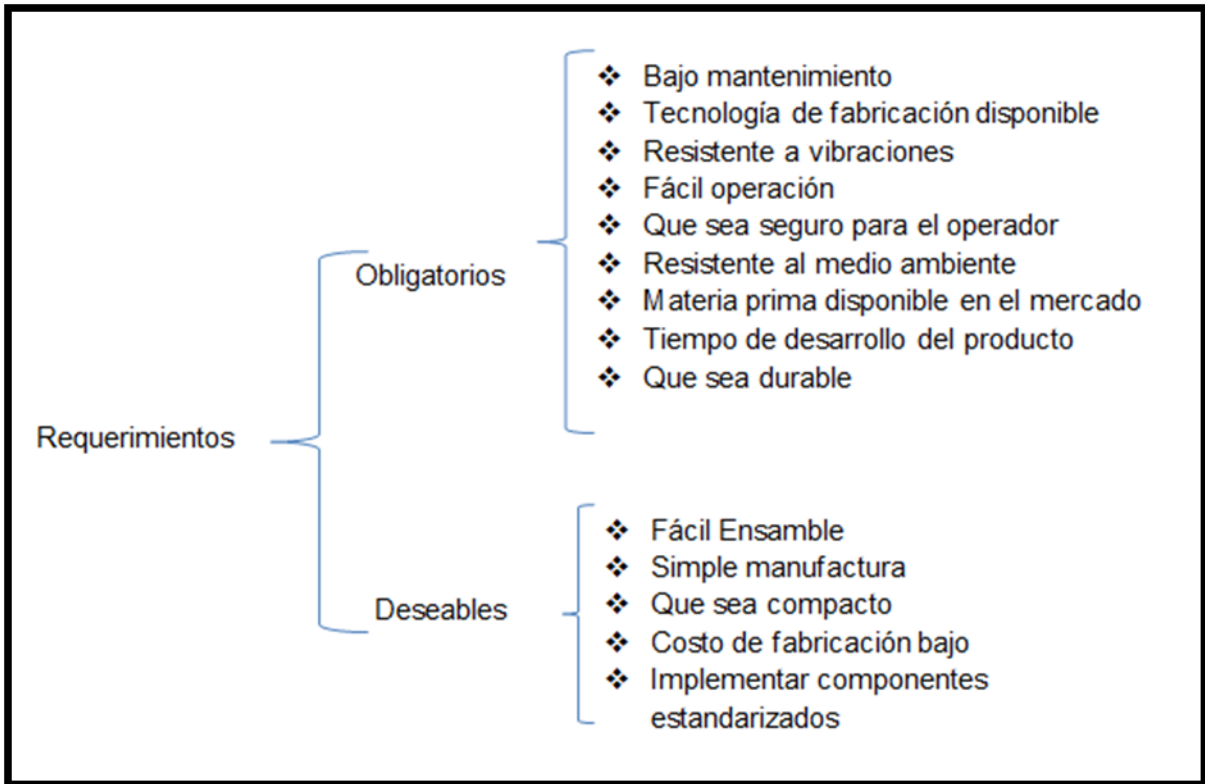


Figura 3. 1 Clasificación de los requerimientos en obligatorios y deseables

3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS REQUERIMIENTOS Y EXPECTATIVAS DEL CLIENTE

Posteriormente a haber determinado el listado de los requerimientos deseables de nuestros clientes, el siguiente paso a realizar fue elaborar una ponderación de los mismos, entre sí, con el fin de determinar aquellos que poseen un mayor grado de importancia.

En la siguiente **Tabla 3.1**, se puede observar la ponderación y análisis llevada a cabo:

Tabla 3. 1 Ponderación de los requerimientos deseables

Requerimientos deseables	Fácil ensamble	Simple manufactura	Que sea compacto	Costo de fabricación bajo	Implementar componentes estandarizados	Total	Porcentaje de importancia	
<i>Fácil ensamble</i>	0	0	0	0	1	1	10.00%	
<i>Simple manufactura</i>	1	0	1	0	1	3	30.00%	
<i>Que sea compacto</i>	1	0	0	0	1	2	20.00%	
<i>Costo de fabricación bajo</i>	1	1	1	0	1	4	40.00%	
<i>Implementar componentes estandarizados</i>	0	0	0	0	0	0	0.00%	
						TOTAL	10	100.00%

Como consecuencia de la elaboración de esta tabla, se obtuvo como resultado el listado de los requerimientos deseables del cliente, enunciados por grado de importancia, iniciando con el de mayor relevancia. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

1. Costo de fabricación bajo
2. Simple manufactura
3. Que sea compacto
4. Fácil ensamble
5. Implementar componentes estandarizados

3.2.4 BENCHMARKING

Como una herramienta fundamental que se lleva a cabo con el fin de realizar un análisis comparativo de las especificaciones de diseño de nuestro producto en contra de su competencia directa, y que consiste en determinar en qué grado este producto competidor satisface los requerimientos y expectativas del cliente, en comparación con el nuestro, se elaboró un Benchmarking de nuestro producto, con el fin de conocer su competencia, y tener la seguridad de que se pueda ofrecer al mercado un mejor producto.

Con esta herramienta se procede a realizar una evaluación competitiva de nuestro producto, y de su competidor, utilizando parámetros cuantitativos y cualitativos, identificando cuales son las fortalezas y debilidades de nuestro diseño. De esta manera se logra identificar y proponer acciones que ayuden a mejorar y/o corregir la calidad del producto que se pretende posicionar en el mercado[18].

En el proceso de elaboración del Benchmarking, se investigaron diversos productos existentes hoy en día en el mercado, analizando cada uno de los productos encontrados se llegó al resultado de que el competidor directo del MGMO de acuerdo a las necesidades que busca satisfacer nuestro producto, es el dispositivo MAST (Multi Axis Shaking Table) de fabricante Instron Structural Testing Systems. Este dispositivo es utilizado para el desarrollo de una gran variedad de ensayos incluyendo ensayos funcionales de componentes electrónicos, ensayos de durabilidad, evaluación de chirridos y traqueteos, evaluación del confort, evaluación del comportamiento vibro-acústico de componentes, ensayos bajo norma, simulación de transporte de cargas y entre otras aplicaciones.

A continuación en las **Figuras 3.2, 3.3 y 3.4**, se muestran algunas imágenes correspondientes al MAST.

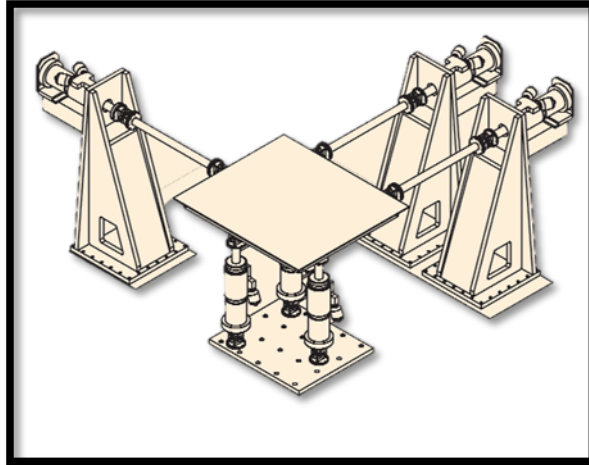


Figura 3. 2 Configuración de Dispositivo MAST (1)

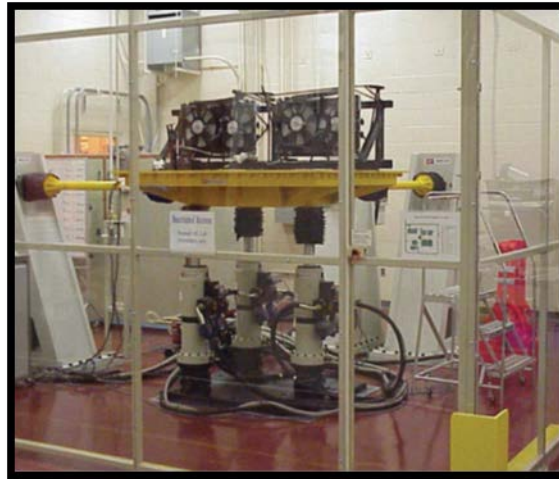


Figura 3. 3 Dispositivo MAST implementado para ensayo de fatiga a un radiador (2)



Figura 3. 4 Dispositivo MAST implementado para ensayo de comp. Electrónicos (3)

Como se puede observar en las figuras anteriores, el dispositivo MAST, es un sistema de vibración multiaxial, diseñado para el ensayo de una amplia gama de productos que en algún momento de su vida útil se encuentren sometidos a vibración. La principal característica de este sistema, es la generación de movimiento y vibración hasta un máximo de 6 grados de libertad, individual o simultáneamente.

De igual forma, para configurar los parámetros a representar con el dispositivo MAST, este cuenta con un software, llamado "RS Console", mismo que realiza la función de operar como interfaz gráfica del mismo, en la **Figura 3.5**, se puede observar dicho software.



Figura 3. 5 Interfaz Gráfica de Dispositivo MAST

En la **Tabla 3.2**, se puede observar las especificaciones técnicas del Dispositivo MAST:

Tabla 3. 2 Hoja de datos de dispositivo MAST.

CARACTERISTICA	UNIDAD
Dimensiones mesa	1200 x 1400
Carga máxima	80 Kg.
Carreras máximas	150mm
Aceleración máxima	10 m/s ²
Máxima frecuencia	0 - 80Hz

Tras haber realizado la investigación pertinente referente a las especificaciones técnicas y el funcionamiento de nuestro competidor directo, se procedió a realizar un Benchmarking competitivo, entre nuestro producto y el competidor directo MAST, el resultado de dicho análisis comparativo se presenta a continuación en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3. 3 Tabla comparativa (Benchmarking) MAST (X) vs MGMO (O)

	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
<i>Simple manufactura</i>			X	O	
<i>Fácil ensamble</i>			X	O	
<i>Bajo mantenimiento</i>			X	O	
<i>Tecnología de fabricación disponible</i>			X	O	
<i>Costo de fabricación bajo</i>	X		O		
<i>Fácil operación</i>				O	X
<i>Que sea compacto</i>		X			O
<i>Resistente a vibraciones</i>				O,X	
<i>Que sea seguro</i>			O	X	
<i>Resistente al medio ambiente</i>				O,X	
<i>Materia prima disponible en el mercado</i>				X	O
<i>Que sea durable</i>			O	X	
<i>Tiempo de desarrollo del producto</i>			X	O	
<i>Implementar componentes estandarizados</i>				X,O	

3.2.5 TRADUCCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS EN TÉRMINOS MENSURABLES

Esta actividad en la metodología de QFD, juega un papel muy decisivo e importante, ya que en esencia el “Despliegue de Funciones de la Calidad” busca integrar los requerimientos del cliente con el proceso de diseño, por lo tanto, esto significa el que los requerimientos que han sido determinados en etapas anteriores de la metodología, deben poder ser traducidos en un lenguaje que sea concreto y que pueda medirse, es decir, en esta etapa se traducen los requerimientos y

expectativas del cliente en términos mensurables. De otra manera lo que se busca en esta etapa es traducir los requerimientos en términos mensurables de ingeniería, que puedan llegar a convertirse posteriormente en características técnicas.

A continuación se presenta en la **Tabla 3.4** la traducción de los requerimientos en términos mensurables para el presente diseño conceptual:

Tabla 3. 4 Traducción de los requerimientos en términos mensurables

Requerimientos del cliente	Traducción en términos mensurables	Unidades
Simple manufactura	Tiempo necesario para manufactura	días
	Número de personas utilizadas para manufactura	#
	Numero maquinas y/o herramientas necesarias para manufactura	#
Fácil ensamble	Tiempo requerido para ensamble	horas
	Numero de máquinas y/o herramientas necesarias para ensamble	#
	Grado de escolar de mano obra para ensamble	escolaridad
	Numero de partes para ensamble	#
Bajo mantenimiento	Tiempo de operación sin requerir mantenimiento	días
	Tiempo necesario para realizar mantenimiento	horas
	Numero de partes críticas a dar mantenimiento	numero
Tecnología de fabricación disponible	Tiempo de entrega de material	días
	Numero de procesos de manufactura a utilizar	#
	Tipo de materiales a utilizar	Tipo de material
Costo de fabricación bajo	costo de materia prima	Pesos
	costo de manufactura	Pesos
Resistente a vibraciones	Aceleración de la vibración	m/s ²

Fácil operación	Grado escolar del operador	Escolaridad
Que sea compacto	Masa	Kg.
	Volumen	m ³
	Numero de partes que lo componen	#
Que sea seguro	Distancia de seguridad entre el MGMO y usuarios ajenos a su operación	m
Resistente al medio ambiente	Resistencia a la corrosión	mm/año
	Espesor de recubrimientos superficiales	µm
	Resistente a la humedad	%
Materia prima disponible en el mercado	Tipo de material	Material
Que sea durable	Tipo de material	Material
	Resistencia del material	Mpa
	Espesor de recubrimiento superficial en el material	µm
Tiempo de desarrollo del producto	Tiempo máximo de desarrollo del producto	días
Implementar componentes estandarizados	Cantidad de piezas disponibles en el mercado	#

3.3 SEGUNDA ETAPA: DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa, se describirá la segunda parte de la metodología de Despliegue de la Función de la Calidad, esta etapa se basa en una estrategia muy simple. “La estructura o la forma siguen a la función”[14]. Esto quiere decir que antes de comenzar con la definición de las formas, es necesario tener identificadas todas las funciones que debe realizar el producto para que responda a las expectativas del cliente. De la misma manera se describirá cada uno de los pasos llevados a cabo, a través del QFD, para la evaluación, interpretación, análisis y generación del diseño conceptual del presente proyecto.

3.3.1 LÍMITES DE SISTEMA Y FUNCIONES DE SERVICIO

En esta fase, se aborda el establecimiento de los “Límites del Sistema”, es decir, cuando un ingeniero diseñador se plantea la concepción de un nuevo producto, trátase de una pieza o de un conjunto de componentes, este debe ser visto como un sistema por medio del cual se pueda cumplir una “Función Global de Servicio”, misma que debe satisfacer el objetivo general del producto a concebir, y entre otras funciones de servicio que también son relevantes. Como ningún sistema se diseña independientemente de su entorno deben establecerse los límites entre aquello que se pretende diseñar y el entorno que lo rodea e identificar los elementos con los que interactúa durante su ciclo de vida.

El entorno de un sistema es el conjunto de los elementos físicos y humanos (materiales, energía, usuario, atmósfera, etc.) que están en relación con el producto durante su ciclo de vida. En la **Figura 3.6** se puede observar los límites del sistema establecidos para el diseño.

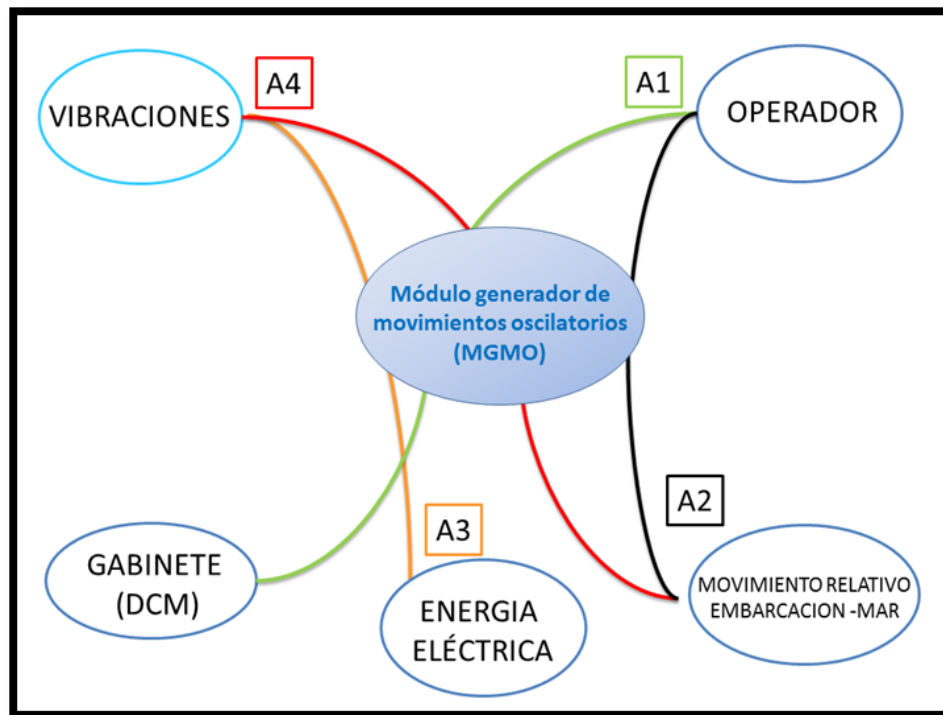


Figura 3. 6 Límites de Sistema

3.3.2 DEFINICIÓN DE FUNCIÓN GLOBAL

Posteriormente a determinar los elementos que se encuentran vinculados con nuestro producto, se procedió a identificar las funciones de servicio que el MGMO deberá ser capaz de satisfacer, las cuales se mencionan a continuación:

A1.- Acoplar/Desacoplar el Dispositivo de Comunicación Marítimo (DCM) en el Modulo generador de movimientos oscilatorios (MGMO).

A2.- Configurar parámetros de vibración a representar.

A3.- Representar los movimientos vibratorios.

A4.- Resistir los esfuerzos debidos a las vibraciones.

Una vez que se han definido las funciones de servicio para las cuales será concebido el producto, se realiza un análisis para seleccionar la función más importante, aquella que por el hecho de cumplirse se logra el objetivo principal del producto, a esta función se le conoce como: “Función Global de Servicio”. A continuación se hace mención de la FGS:

❖ *Representar los movimientos vibratorios.*

3.3.3 ANÁLISIS FUNCIONAL DESCENDENTE

Una vez que ya se conoce la Función Global de Servicio, se procede a realizar el “Análisis Funcional Descendente”, el cual es una herramienta, que forma parte de la metodología QFD, la cual busca descomponer por medio de un método grafico la FGS del producto, desglosando de manera interna esta, y cada una de las demás funciones de servicio identificadas. A continuación en las **Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, y 3.11**, se puede observar los resultados obtenidos tras realizar en tres niveles el análisis funcional descendente.

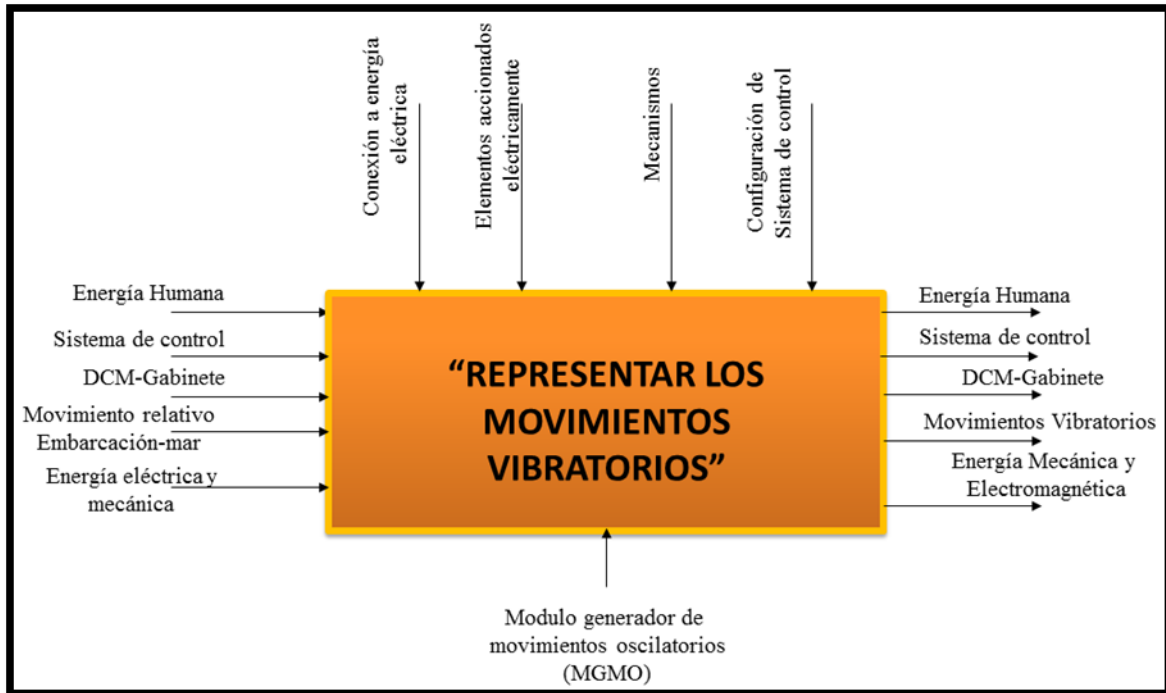


Figura 3. 7 Análisis funcional descendente de la Función Global de Servicio (Nivel 1)

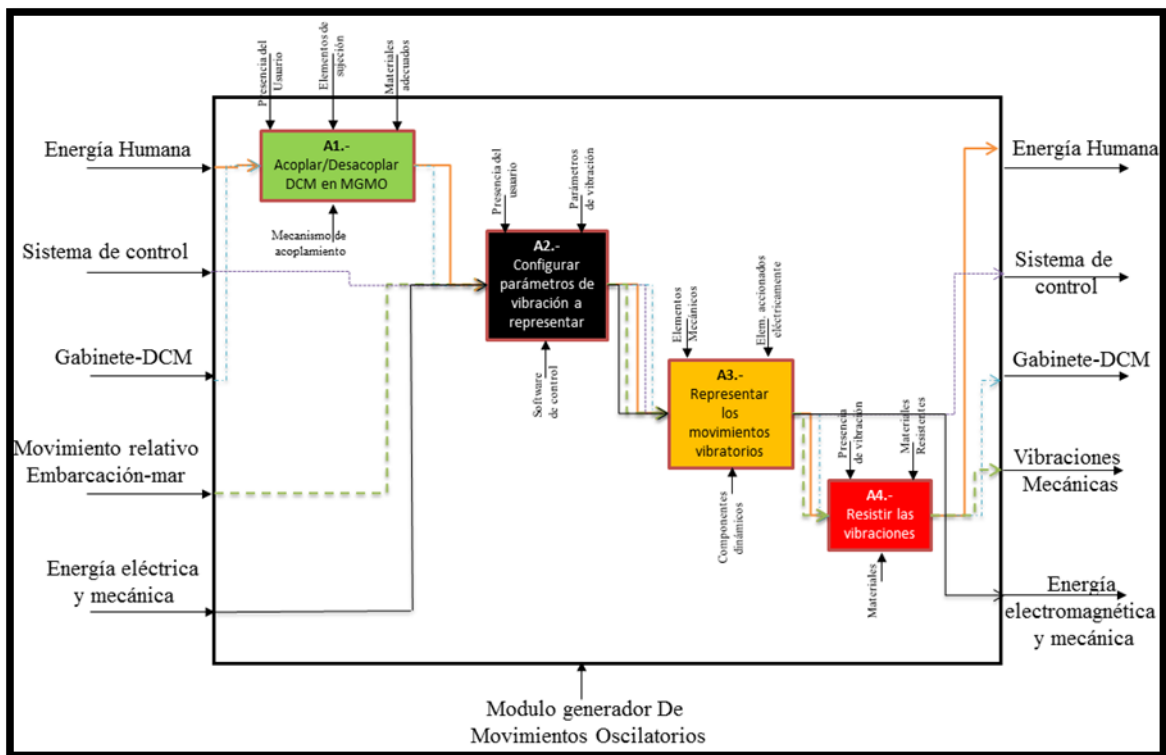


Figura 3. 8 Análisis funcional descendente de la Función Global de Servicio (Nivel 2)

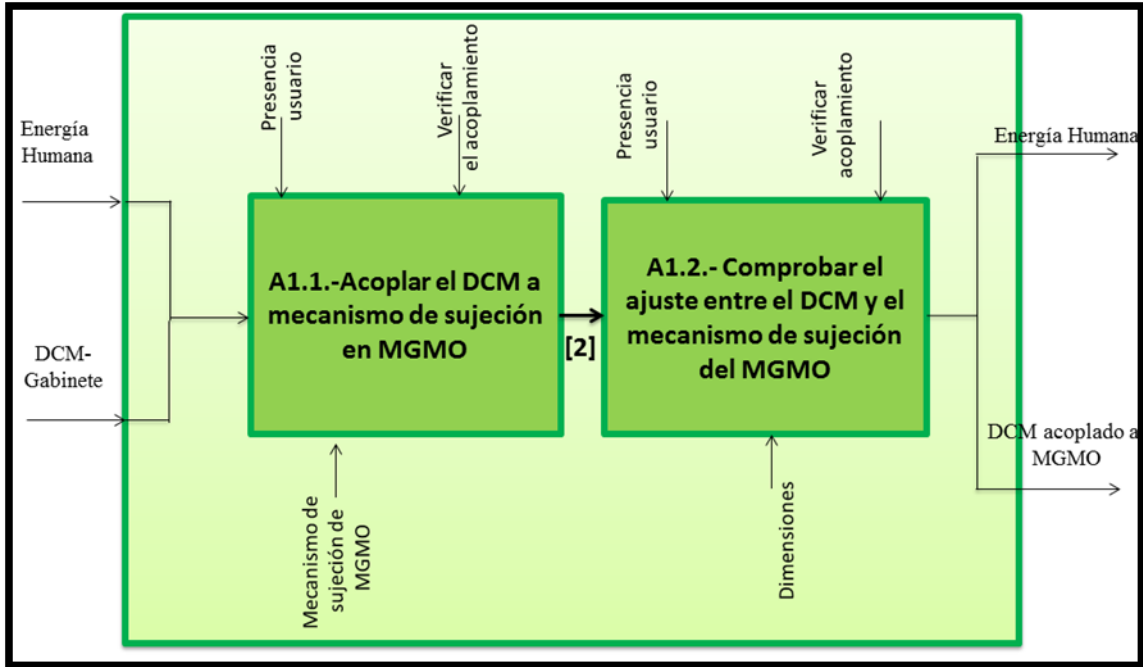


Figura 3. 9 Análisis funcional descendente de la Función A1. Acoplar/desacoplar el DCM en MGMO (Nivel 3)

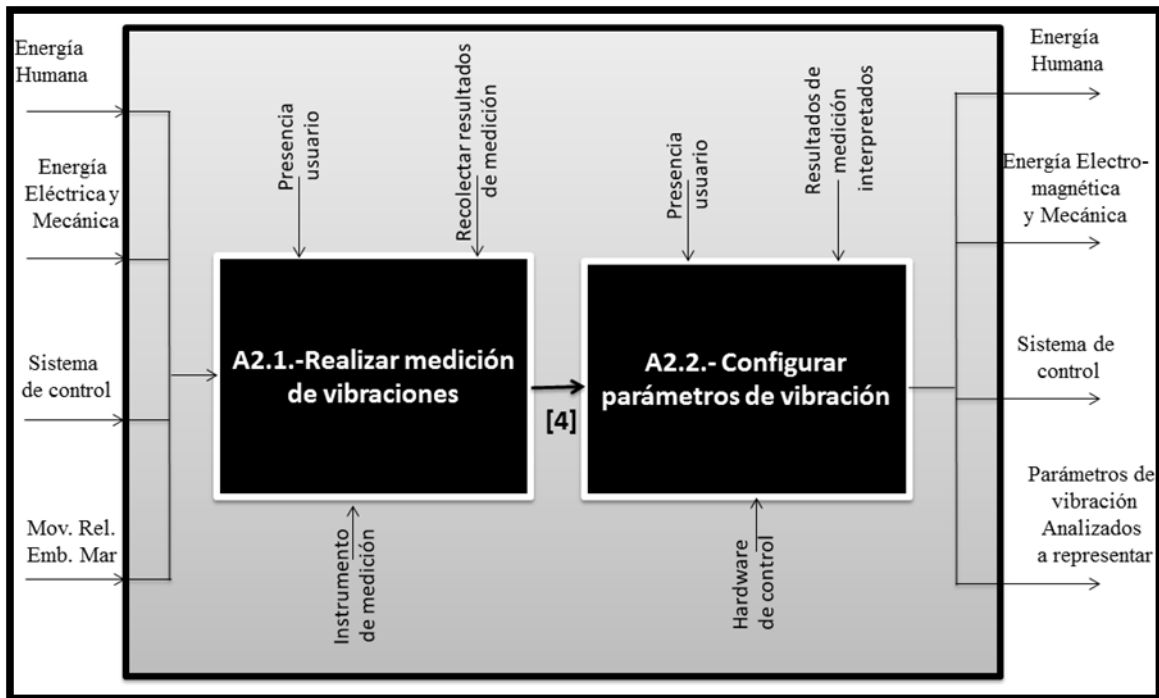


Figura 3. 10 Análisis funcional descendente de la Función A2. Configurar parámetros de vibración a representar (Nivel 3)

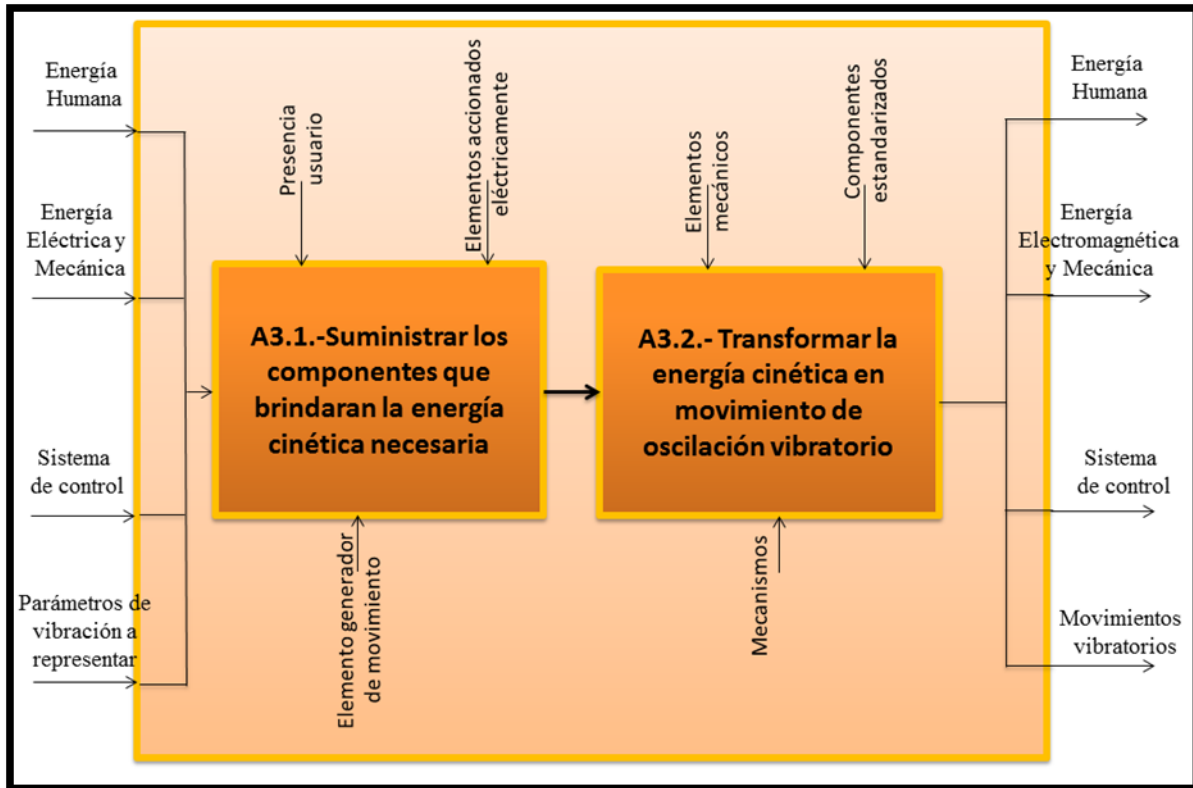

























Figura 3. 11 Análisis funcional descendente de la Función A3. Representar los movimientos vibratorios (Nivel 3)

3.3.4 MATRIZ MORFOLÓGICA

Tras conocer todas y cada una de las funciones de servicio que deberá satisfacer nuestro producto, se procedió a realizar un análisis para determinar los conceptos que logren cumplir de manera individual todas y cada una de las funciones identificadas. Para esto, se implementa la herramienta conocida como “Matriz Morfológica”, la cual es una matriz en la cual se enlistan las soluciones propuestas para satisfacer las funciones de servicio, detallándose de manera gráfica las posibles opciones que se tienen para cumplir las mismas. A continuación en la **Tabla 3.5** se observa dicha matriz:

Tabla 3. 5 Matriz Morfológica

FUNCIONES/CONCEPTOS	Subfuncion	1	2	3	4
A1: ACOPLAR/DESACOPLAR DCM EN MGMO	A1.1.- Acoplar DCM a mecanismo de sujecion en MGMO	 IMPLEMENTACION DE VENTOSAS DE HULE	 IMPLEMENTACION DE RESORTES DE SUJECION	 IMPLEMENTACION DE SARGENTOS DE SUJECION LATERALES	 IMPLEMENTACION DE PERILLAS CON TORNILLO DE PRENSA
	A1.2.- Comprobar el ajuste entre el DCM y el mecanismo de sujecion del MGMO	 COMPROBACION VISUAL Y MANUAL DEL AJUSTE			
A2: CONFIGURAR LOS PARAMETROS DE VIBRACION A REPRESENTAR	A2.1.- Realizar medicion de vibraciones	 VIBROMETRO CON SENSOR SISMICO	 VIBROMETRO CON ACELEROMETRO PIEZOELECTRICO	 VIBROMETRO CON SENSOR DE PROXIMIDAD	 VIBROMETRO CON SENSOR LASER
	A2.2.- Configurar parametros de vibracion	 IMPLEMENTACION DE CONTROL MANUAL (ANALOGICO)	 IMPLEMENTACION DE RELEVADOR INTELIGENTE ZELIO LOGIC	 IMPLEMENTACION DE CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)	
A3: REPRESENTAR LOS MOVIMIENTOS VIBRATORIOS	A3.1.- Suministrar los componentes que brindaran la energia cinetica necesaria	 MOTOR ELECTRICO	 SERVOMOTOR	 MOTOREDUCTOR	 MOTOR A PASOS
	A3.2.- Transformar la energia cinetica en movimiento de oscilacion vibratorio	 IMPLEMENTACION DE BIELA MANIVELA	 IMPLEMENTACION DE BIELA MANIVELA EXCENTRICO	 IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE LEVA CON MUELLE DE RECUPERACION	 IMPLEMENTACION DE MECANISMO BIELA - LEVA - RODAMIENTO-ROTULA CON MUELLE DE RECUPERACION
A4: RESISTIR LOS ESFUERZOS OCASIONADOS POR LAS VIBRACIONES	N/A	 ACERO	 ALUMINIO	 HIERRO	

3.3.5 EVALUACIÓN DE CONCEPTOS

La evaluación de conceptos es la parte final del diseño conceptual, su objetivo consiste en seleccionar el mejor concepto de diseño entre los que se generaron previamente en la matriz morfológica. Esta fase de la metodología consiste en invertir la menor cantidad de recursos para decidir cuál es el concepto idóneo para que en la etapa de diseño de detalle sea desarrollado por completo.

El primer paso en la evaluación de conceptos es realizar un análisis de factibilidad, en el cual se realiza una evaluación de los mismos con el fin de determinar si las soluciones propuestas son factibles de realizarse. Este análisis generalmente es evaluado en base a los conocimientos y a la experiencia del diseñador. En este análisis se realizan juicios como: “No Funciona”, “Podría funcionar si se hacen ajustes”, y “Es Muy Factible”. En la **Tabla 3.6** se puede observar la evaluación de conceptos por factibilidad.

Tabla 3. 6 Análisis de Factibilidad

Función	Subfunción	Opciones	Evaluación
			1- no funciona 2- podría funcionar si se hacen ajustes 3- es muy factible
A1.- ACOPLAR/DESACOPLAR DCM EN MGMO	A1.1.- ACOPLAR DCM A MECANISMO DE SUJECION EN MGMO	IMPLEMENTACION DE VENTOSAS DE HULE	1
		IMPLEMENTACION DE RESORTES DE SUJECION	2
		IMPLEMENTACION DE SARGENTOS DE SUJECION LATERALES	3
		IMPLEMENTACION DE PERILLAS CON TORNILLO - PRENSA	3
	A1.2.- COMPROBAR EL AJUSTE ENTRE EL DCM Y EL MECANISMO DE SUJECION DEL MGMO	COMPROBACION VISUAL Y MANUAL DEL AJUSTE	3
A2.- CONFIGURAR PARAMETROS DE VIBRACION A REPRESENTAR	A2.1.- REALIZAR MEDICION DE VIBRACIONES	VIBROMETRO CON SENSOR SISMICO	1
		VIBROMETRO CON ACELEROMETRO PIEZOELECTRICO	3
		VIBROMETRO CON SENSOR DE PROXIMIDAD	1
		VIBROMETRO CON SENSOR LASER	3
	A2.2.- CONFIGURAR PARAMETROS DE VIBRACION	IMPLEMENTACION DE CONTROL MANUAL (ANALOGICO)	2
		IMPLEMENTACION DE RELEVADOR INTELIGENTE	3
A3.- REPRESENTAR LOS MOVIMIENTOS VIBRATORIOS	A3.1.- PROPORCIONAR LOS COMPONENTES QUE BRINDARAN LA ENERGIA CINETICA NECESARIA	IMPLEMENTACION DE CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)	3
		MOTOR ELECTRICO	3
		MOTOREDUCTOR	3
		SERVOMOTOR	3
	A3.2.- TRANSFORMAR LA ENERGIA CINETICA EN MOVIMIENTO DE OSCILACION VIBRATORIO	MOTOR A PASOS	3
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO BIELA-MANIVELA	2
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE LEVA SEGUIDORA CON MUELLE DE RECUPERACION	2
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO COMPUESTO, BIELA-LEVA- RODAMIENTO-ROTULA CON ELEMENTO DE RECUPERACION	3
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO BIELA-MANIVELA EXCENTRICO	2
		ACERO	3
A4.- RESISTIR LOS ESFUERZOS OCASIONADOS POR LAS VIBRACIONES	NA	ALUMINIO	1
		HIERRO	3

Una vez que se ha realizado el análisis por factibilidad, se identifica los conceptos que aprobaron este análisis, y posteriormente se procede a realizar una evaluación de los mismos por disponibilidad de tecnología. En este análisis se emplean juicios como: “Desarrollada”, “Disponible” y “Al alcance para su utilización”.

Esta herramienta busca definir si los conceptos seleccionados cuentan con la disponibilidad tecnológica para ser implementados en el modelo conceptual definido[9]. A continuación en la **Tabla 3.7** se puede observar el análisis por disponibilidad tecnológica.

Tabla 3. 7 Análisis de Disponibilidad Tecnológica

Función	Subfunción	Opciones	Evaluación 1- desarrollada 2- disponible 3- al alcance para su utilización
A1.- ACOPLAR/DESACOPLAR DCM EN MGMO	A1.1.- ACOPLAR DCM A MECANISMO DE SUJECION EN MGMO	IMPLEMENTACION DE VENTOSAS DE HULE	
		IMPLEMENTACION DE RESORTES DE SUJECION	1, 2 Y 3
		IMPLEMENTACION DE SARGENTOS DE SUJECION LATERALES	1, 2 Y 3
		IMPLEMENTACION DE PERILLAS CON TORNILLO - PRENSA	1, 2 Y 3
	A1.2.- COMPROBAR EL AJUSTE ENTRE EL DCM Y EL MECANISMO DE SUJECION DEL MGMO	COMPROBACION VISUAL Y MANUAL DEL AJUSTE	1, 2 Y 3
A2.- CONFIGURAR PARAMETROS DE VIBRACION A REPRESENTAR	A2.1.- REALIZAR MEDICION DE VIBRACIONES	VIBROMETRO CON SENSOR SISMICO	
		VIBROMETRO CON ACCELEROMETRO PIEZOELECTRICO	1, 2 Y 3
		VIBROMETRO CON SENSOR DE PROXIMIDAD	
		VIBROMETRO CON SENSOR LASER	1
	A2.2.- CONFIGURAR PARAMETROS DE VIBRACION	IMPLEMENTACION DE CONTROL MANUAL (ANALOGICO)	1, 2 Y 3
		IMPLEMENTACION DE RELEVADOR INTELIGENTE	1, 2 Y 3
IMPLEMENTACION DE CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)		1, 2 Y 3	
A3.- REPRESENTAR LOS MOVIMIENTOS VIBRATORIOS	A3.1.- PROPORCIONAR LOS COMPONENTES QUE BRINDARAN LA ENERGIA CINETICA NECESARIA	MOTOR ELECTRICO	1, 2 Y 3
		MOTOREDUCTOR	1, 2
		SERVOMOTOR	1, 2
		MOTOR A PASOS	1, 2
	A3.2.- TRANSFORMAR LA ENERGIA CINETICA EN MOVIMIENTO DE OSCILACION VIBRATORIO	IMPLEMENTACION DE MECANISMO BIELA-MANIVELA	1, 2 Y 3
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE LEVA SEGUIDORA CON MUELLE DE RECUPERACION	1, 2 Y 3
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO COMPUESTO, BIELA-LEVA- RODAMIENTO-ROTULA CON ELEMENTO DE RECUPERACION	1, 2, 3
		IMPLEMENTACION DE MECANISMO BIELA-MANIVELA EXCENTRICO	1, 2 Y 3
A4.- RESISTIR LOS ESFUERZOS OCASIONADOS POR LAS VIBRACIONES	NA	ACERO	1, 2 Y 3
		ALUMINIO	
		HIERRO	1, 2 Y 3

Finalmente, al haber obtenido los resultados del análisis por factibilidad y por disponibilidad de tecnología, el siguiente paso es decidir para cada función que se busca satisfacer cuál de los conceptos generados es el adecuado para lograr satisfacer de manera adecuada las funciones de nuestro producto. Para lograr esto se realiza un análisis por medio de una “Matriz de Decisión”.

Esta herramienta consiste en calificar cada concepto con respecto a otro en base a su capacidad para cumplir con los requerimientos del cliente. La comparación de los resultados proporciona las bases para identificar las mejores opciones y permite contar con una referencia para tomar las decisiones pertinentes.

A continuación en la **Tabla 3.8**, se puede observar la Matriz de Decisión realizada:

Tabla 3. 8 Matriz de Decisión

Ideas a comparar	Importancia	Criterios de evaluación													
		Método de Evaluación		Primer		Segundo		Tercer							
Feetibilidad		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Disponibilidad Tecnológica		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Bajo mantenimiento	1	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Tecnología de fabricación disponible	2	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Resistente a vibraciones	3	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Fácil operación	4	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Que sea seguro para el operador	5	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Resistente al medio ambiente	6	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Materia prima disponible en el mercado	7	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Tiempo de desarrollo del producto	8	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Que sea durable	9	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Fácil Ensamble	10	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Simple manufactura	11	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Que sea compacto	12	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Costo de fabricación bajo	13	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Implementar componentes estandarizados	14	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
Totales		8	10	13	14	11	11	12	8	12	11	13	13	12	12

3.4 TERCERA ETAPA: DISEÑO DE DETALLE

La etapa final de la metodología de QFD, es la de “Diseño de Detalle”. En esta etapa tras haber seleccionado los conceptos adecuados para la satisfacción de los requerimientos y expectativas del cliente, se procede a conjuntar los mismos con el fin de obtener un diseño conceptual en el cual se pueda establecer las especificaciones de diseño, características técnicas (elementos / componentes / materiales / o mecanismos) que serán necesarias de implementarse para la fabricación del prototipo[19]. En esta etapa se describe de manera explícita cada uno de los componentes que conformaran el MGMO, así como también se hace mención de los fundamentos teóricos que sustentan la selección de los diversos componentes y/o materiales. En esta etapa tras ya conocer los conceptos de diseño que serán los idóneos para conformar el modelo conceptual se procede a realizar los bocetos, dibujos y modelados pertinentes para la obtención del diseño conceptual.

3.4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA


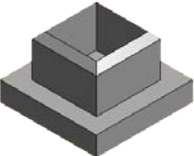
Tras conocer los componentes seleccionados para el diseño conceptual de nuestro producto, se procedió inicialmente a realizar el modelado por computadora de aquellos los cuales son componentes ya desarrollados (estandarizados), que serán implementados como parte de nuestro diseño conceptual. Para lograr esto, se utilizó el software CAD (Diseño Asistido por Computadora) llamado: “Inventor Professional” del fabricante Autodesk, el cual es uno de los software más amigables y potentes que existen hoy en día en el mercado. Cabe mencionar que estos componentes fueron modelados de acuerdo a las hojas de especificaciones y/o hojas de datos de cada componente. Esto con el fin de posteriormente realizar el ensamble de los mismos a nuestro diseño conceptual.

Posteriormente, se procedió a realizar el modelado de los elementos no desarrollados/estandarizados (diseñados específicamente para nuestro diseño) que son necesarios para la obtención de nuestro diseño.

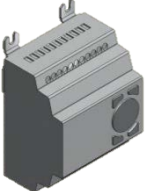

En la **Tabla 3.9**, se puede observar el modelado de cada uno de los componentes que conformaran el diseño conceptual de nuestro MGMO.

Tabla 3. 9 Descripción de componentes del MGMO

COMPONENTE	DESCRIPCION
<p>Resorte de amortiguamiento</p> 	<p>Este resorte permite la amortiguación necesaria para los movimientos transmitidos a la plataforma superior, dimensionado de acuerdo a la rigidez, número de vueltas, extremos y espesor de alambre adecuados.</p>
<p>Leva de acoplamiento con rodamiento</p> 	<p>Este componente mecánico, el cual está compuesto por un rodamiento, y un porta flecha, de tal manera que permite el acoplamiento entre el motor eléctrico y las bielas de transmisión de movimiento hacia la plataforma superior.</p>
<p>Tornillo de ensamble de componentes</p> 	<p>Los tornillos permiten el ensamble de los diversos componentes del MGMO, tales como: los motores eléctricos, la leva de acoplamiento con rodamiento, pistón con unión universal, el soporte de resorte-camisa, y entre otros componentes.</p>
<p>Tuerca de ensamble de componentes</p> 	<p>Permite complementar la implementación de los tornillos de sujeción implementados para el ensamble de los componentes del prototipo.</p>

<p>Plataforma superior/Mesa</p> 	<p>Este elemento es el que recibe la transmisión de los movimientos de vibración que serán generados, y en ella será instalado el dispositivo de comunicación marítima, el cual será sometido a dichas oscilaciones.</p>
<p>Rotula de acoplamiento-biela</p> 	<p>Permite el acoplamiento de las bielas acopladas a los motores eléctricos, y estas realizaran la función de acoplar dichas bielas a la plataforma superior, logrando así la transmisión del movimiento generado en los motores.</p>
<p>Elemento generador de energía cinética</p> 	<p>Estos elementos alimentados por medio de energía eléctrica, proporcionaran la energía cinética necesaria en nuestro dispositivo, misma que se habrá de transformar para obtener los movimientos oscilatorios.</p>
<p>Pistón con unión universal</p> 	<p>Este elemento sirve como guía-soporte para la plataforma superior del MGMO, este opera como un pistón alternativo, realizando un desplazamiento vertical de determinada carrera, el cual al operar en conjunto con el resorte, la unión universal, y la camisa de la plataforma inferior, permite guiar y mantener en la dirección deseada la plataforma superior.</p>
<p>Tapón PTR</p> 	<p>Permite tapar los orificios que quedan en los extremos de los perfiles tubulares rectangulares con el fin de mejorar la estética del prototipo.</p>

<p>Nivelador</p> 	<p>Este elemento permite nivelar la posición horizontal del MGMO, con respecto a nivel del piso del lugar en el que se están realizando las pruebas o ensayos.</p>
<p>Biela-Rotula-Cople</p> 	<p>Permite la transmisión del movimiento de los motores hacia la plataforma superior, operando como una articulación que conecta las levas ensambladas en los motores con la mesa.</p>
<p>Plataforma inferior</p> 	<p>Actúa como bancada del módulo en cuestión, y realiza la función de alojar los motores eléctricos, los niveladores y el soporte centralizado del resorte, y de la plataforma superior.</p>
<p>Soporte de resorte- camisa</p> 	<p>Permite el desplazamiento del pistón con unión universal ensamblado en la plataforma superior, y a su vez realiza la función de funcionar como base del resorte.</p>
<p>Interruptor</p> 	<p>Permite cerrar y abrir los circuitos eléctricos correspondientes que alimentaran los elementos que brindaran la energía cinética, los controles de velocidad, y el sistema de control en general.</p>

<p>Controlador</p> 	<p>Brinda el medio a través del cual se configuraran los parámetros de vibración que se representaran, y estará instalado en un gabinete de control.</p>
<p>Controlador de velocidad</p> 	<p>Brinda la capacidad de poder controlar la velocidad, sentido de giro, y la frecuencia a la que operaran los motores eléctricos, y podrán ser operados de manera remota y de manera manual.</p>

3.4.2 DIBUJOS DE DETALLE

Ahora en la etapa de diseño de detalle, se procederá a observar los dibujos bidimensionales de los diversos componentes que conforman el MGMO, tomándose la decisión de que todos los modelados obtenidos fueran realizados en la escala natural, esto con el fin de facilitar en su momento la etapa de manufactura del prototipo. En la siguiente sección se presentan los dibujos de detalle que integran el MGMO, en esta sección se describen por separado todos los componentes del módulo, y se presenta la ubicación de cada uno de los componentes.

Cabe mencionar que estas imágenes son de carácter representativo, es relevante mencionar que los planos acotados de cada componente se encuentran en la sección de anexos del presente trabajo. Es relevante mencionar que para la elaboración del diseño a detalle del MGMO, se elaboraron reuniones con el equipo de desarrollo de hardware del dispositivo de comunicación marítima, con el fin de conocer las dimensiones de dicho dispositivo, y de esta manera lograr que la

integración del DCM, al momento de realizar las pruebas de operación sean de manera más simple.

3.4.2.1 PLATAFORMA INFERIOR (BANCADA)

Tras obtener la representación gráfica de todos los componentes que conformaran el MGMO, se procedió a desarrollar el diseño conceptual del módulo, siempre teniendo como objetivo principal el satisfacer los requerimientos y funciones que satisfagan las expectativas del cliente. A continuación se presentan en las **Figuras de 3.12, y 3.13** los planos bidimensionales e isométricos representativos de la plataforma inferior del MGMO. De igual forma se describe de manera breve y concisa los principales aspectos considerados para el diseño de dicha pieza. A continuación se describen las principales características que conforman esta pieza.

- ❖ A (1-2), C (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular, que servirán para la elaboración del marco estructural de la plataforma inferior.
- ❖ B (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular que de igual forman parte del marco estructural de la plataforma inferior. Estas servirán para alojar el soporte del resorte de amortiguación del módulo.
- ❖ D (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular, que conforman el perímetro de la bancada inferior, en estos perfiles a su vez irán ensamblados los niveladores.
- ❖ 1E, 1F.- Representación gráfica por medio de anotaciones de los niveles en los cuales ira la configuración de las barras que conformaran la plataforma inferior.
- ❖ ME (1-3).- Posición en la que irán ubicados los motores eléctricos.
- ❖ SOP (RES).- Posición en la que ira ubicado el soporte que servirá para el asentamiento del resorte de amortiguación.

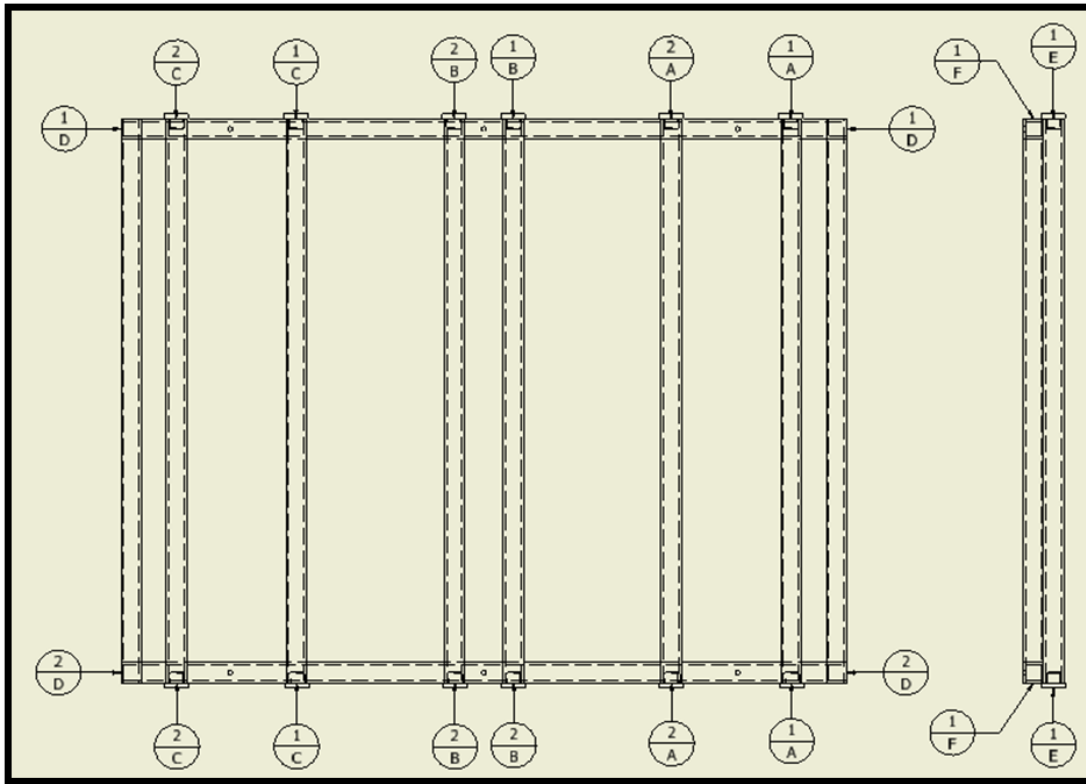


Figura 3. 12 Vista superior de plataforma inferior (bancada)

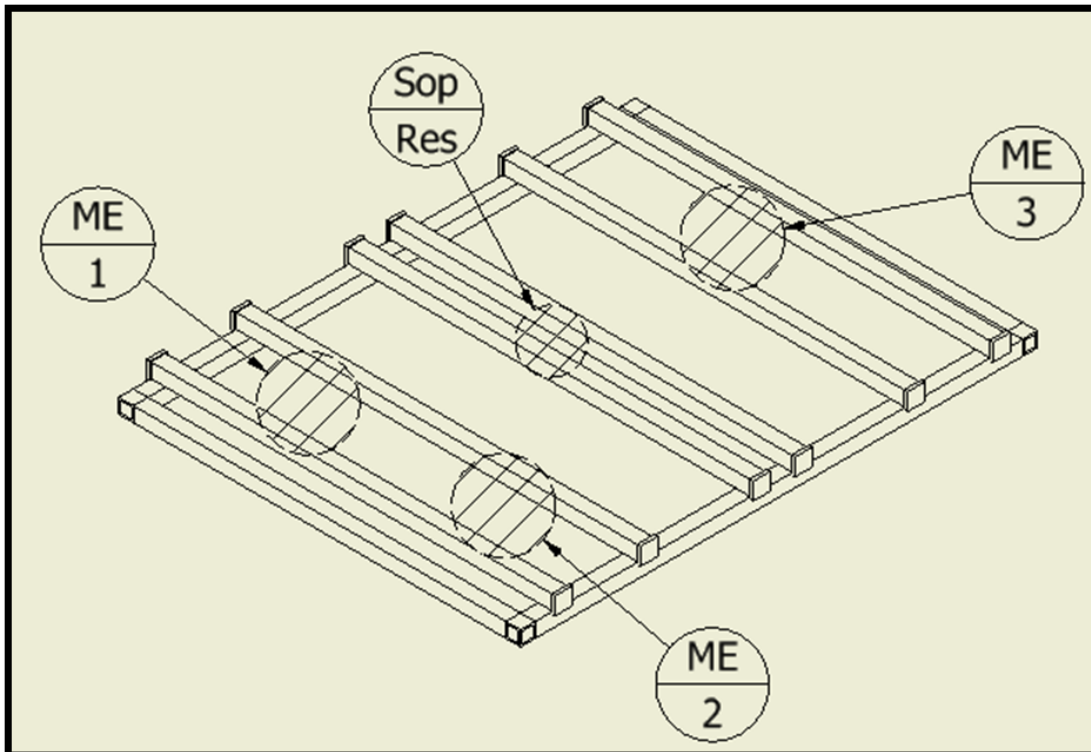


Figura 3. 13 Vista isométrica de plataforma inferior (bancada)

3.4.2.2 PLATAFORMA SUPERIOR – MESA

De la misma forma que la plataforma inferior o bancada, se procedió a diseñar la plataforma superior del módulo en cuestión. Este elemento que formara parte del diseño conceptual brindara la mesa en la cual se montaran los objetos a los que se les vaya a realizar ensayos de vibraciones mecánicas. Así mismo, este componente servirá para que en el mismo se ensamblen los rotulas que conectaran con las bielas de acoplamiento en los motores, y de igual forma en este componente ira ensamblado el “pistón con unión universal”. A continuación en las **Figuras 3.14 y 3.15** se puede observar la plataforma superior, y de igual forma se describen sus principales características.

- ❖ A (1-2), D (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular, que conformaran el marco estructural de la plataforma superior, y en la periferia de este marco ira ensamblada el paño de lámina que servirá para instalar los componentes a ensayar.
- ❖ B (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular, las cuales realizaran la función de incrementar la rigidez del marco estructural, así como también en estas irán ensambladas las rotulas que conectaran con las bielas.
- ❖ C (1-2).- Barras de perfil tubular rectangular que alojaran o ensamblaran el “pistón con unión universal”.
- ❖ E (1-3).- Barras solidas que realizaran la función de incrementar la rigidez del marco estructural de la plataforma superior.
- ❖ F (1-3).- Posición en la que irán ensambladas las rotulas que conectaran con las bielas.
- ❖ Ens (Pist).- Posición en la que ira ensamblado el “Pistón con unión universal”.

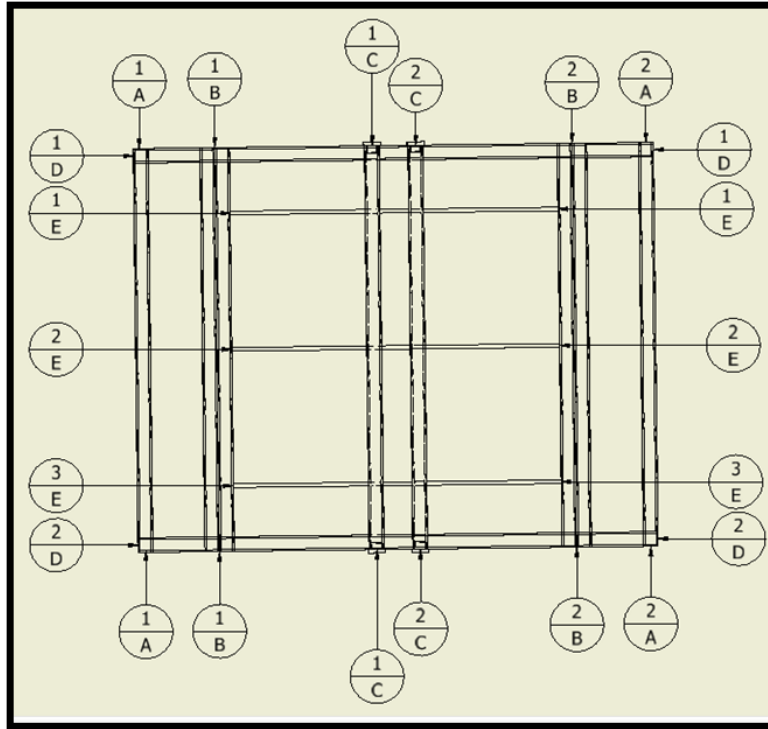


Figura 3. 14 Vista superior de plataforma superior (mesa)

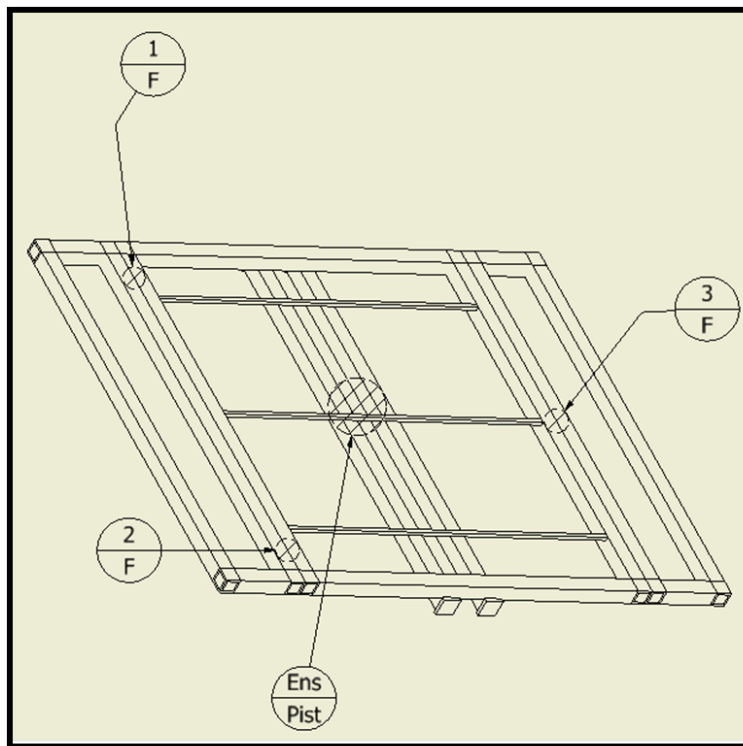


Figura 3. 15 Vista isométrica de plataforma superior (mesa)

3.4.2.3 PISTON CON UNION UNIVERSAL

Otro elemento muy importante del MGMO, es el “Pistón con unión universal” el cual estará ensamblado en la plataforma superior, y realizara la función de operar como elemento de movimiento alternativo, el cual estará guiado por el soporte de resorte con camisa, y de la misma forma este operara como base superior de restricción de resorte de amortiguamiento.

A continuación en las **Figuras 3.16 y 3.17** se puede observar el elemento en cuestión, y de igual forma; se describen sus principales características.

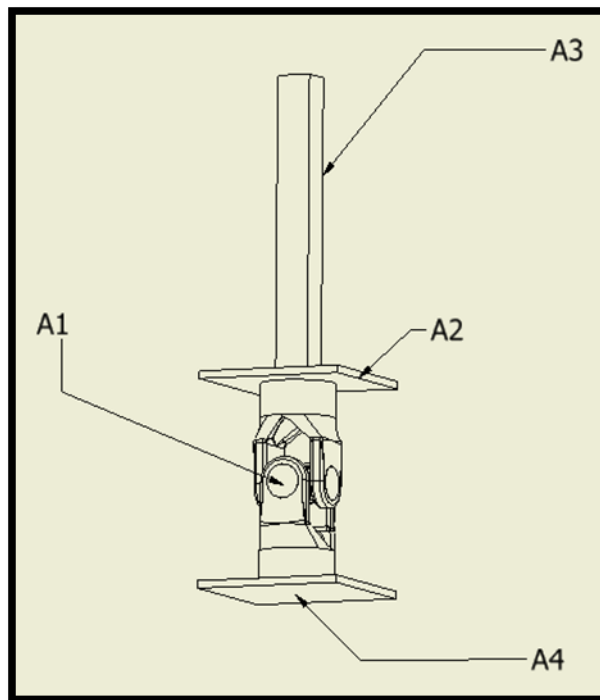


Figura 3. 16 Vista frontal de pistón con unión universal

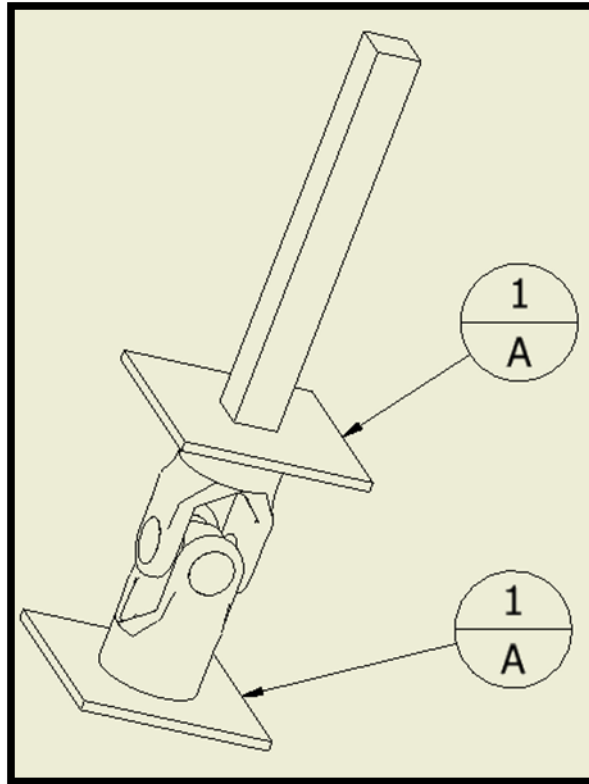


Figura 3. 17 Vista isométrica de pistón con unión universal

3.4.2.4 NIVELADOR

Con el fin de que el diseño conceptual de nuestro producto, tenga la capacidad de operar en la mayor cantidad de circunstancias posibles, se tomó la decisión de equipar el MGMO con unos niveladores de tornillo los cuales realizaran la función de nulificar los desniveles existentes en las superficies en las cuales se encuentre el dispositivo, reduciendo de esta manera los errores inesperados durante la realización de las pruebas.

A continuación en las **Figuras 3.18, 3.19 y 3.20**, se puede observar la configuración del nivelador, y así mismo se describen sus principales características.

- ❖ 1C.- Esparrago del nivelador el cual sirve para nivelar el MGMO.
- ❖ 2C.- Superficie de contacto con el piso.

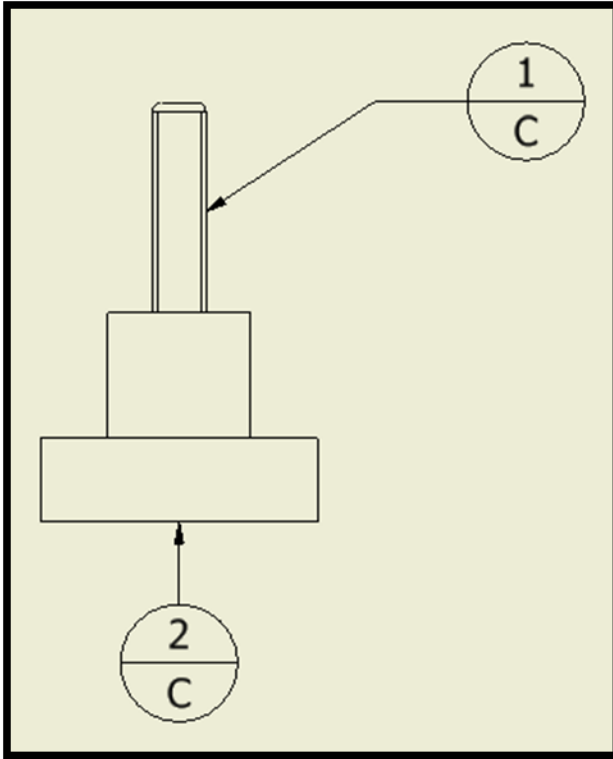


Figura 3. 18 Vista frontal de nivelador

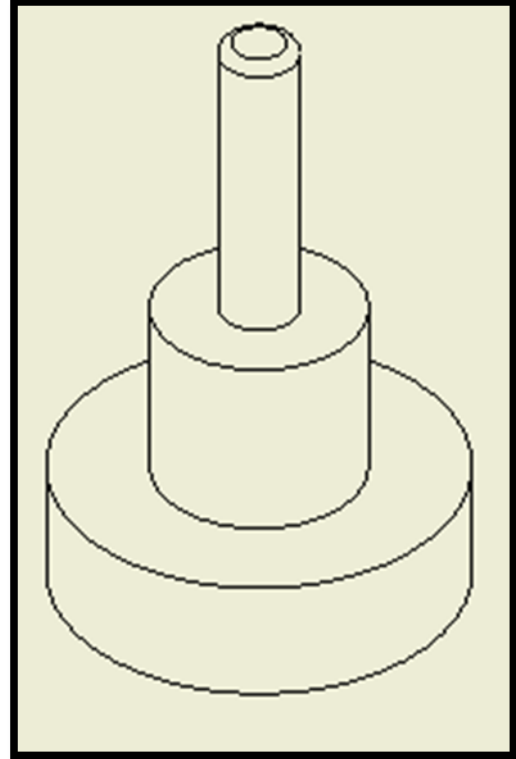


Figura 3. 19 Vista Isométrica de nivelador

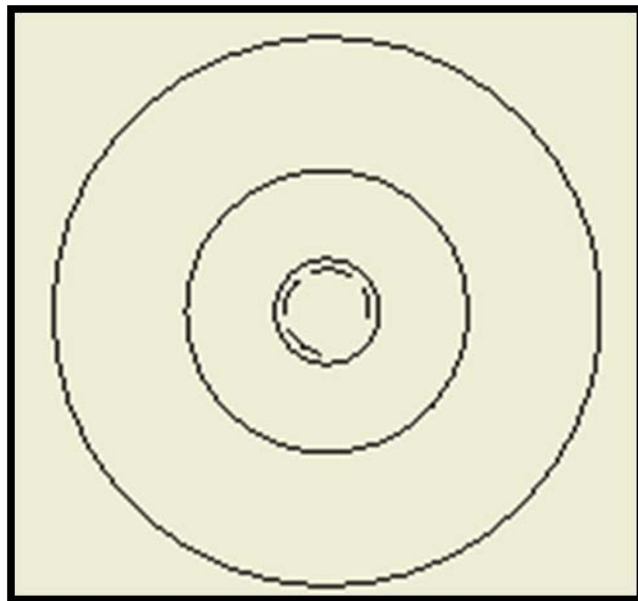


Figura 3. 20 Vista posterior de nivelador

3.4.2.5 BIELA-ROTULA

Con el fin de contar con un elemento articulante que permita la transmisión de la energía cinética proporcionada por el motor que será implementado, se tomó la decisión de implementar una biela, adicionada con una rotula base macho, y con un dado hembra conector, con la que se realizara el acoplamiento del motor y de la plataforma superior.

A continuación en la **Figura 3.21** se puede observar el componente en cuestión, de igual forma se describen sus principales características:

- ❖ 1D.- Dado hembra de conexión con dado macho de bola rotula ensamblada en la plataforma superior.
- ❖ 2D.- Eje redondo sólido, que funciona como elemento articulante de conexión.
- ❖ 3D.- Base rotula de acoplamiento con leva que estará instalada en la flecha del motor.

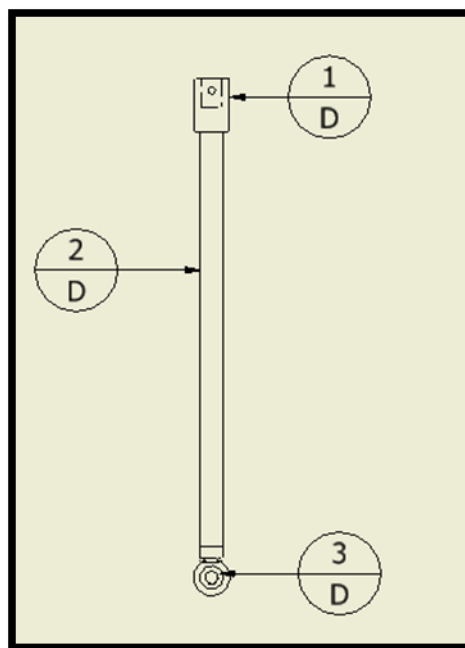


Figura 3. 21 Vista frontal de biela, equipada con rotula

3.4.2.6 RESORTE DE AMORTIGUAMIENTO

Como parte fundamental para el buen funcionamiento del modelo conceptual propuesto, es necesario contar con un elemento de amortiguación el cual proporcione la capacidad de absorber las vibraciones generadas en el centro del módulo, y de igual forma que funcione como un elemento de balanceo entre los componentes que conforman el modulo. Por tal motivo, tras haber analizado las opciones disponibles, se tomó la decisión de implementar un resorte metálico para lograr esta función.

A continuación en la **Figura 3.22**, se puede observar el resorte en cuestión, y de la misma forma se describen sus principales características.

- ❖ 1E.- Diámetro del espesor con el que deberá ser manufacturado el resorte
- ❖ 2E.- Paso del resorte
- ❖ 3E.- Longitud libre
- ❖ 4E.- Diámetro medio

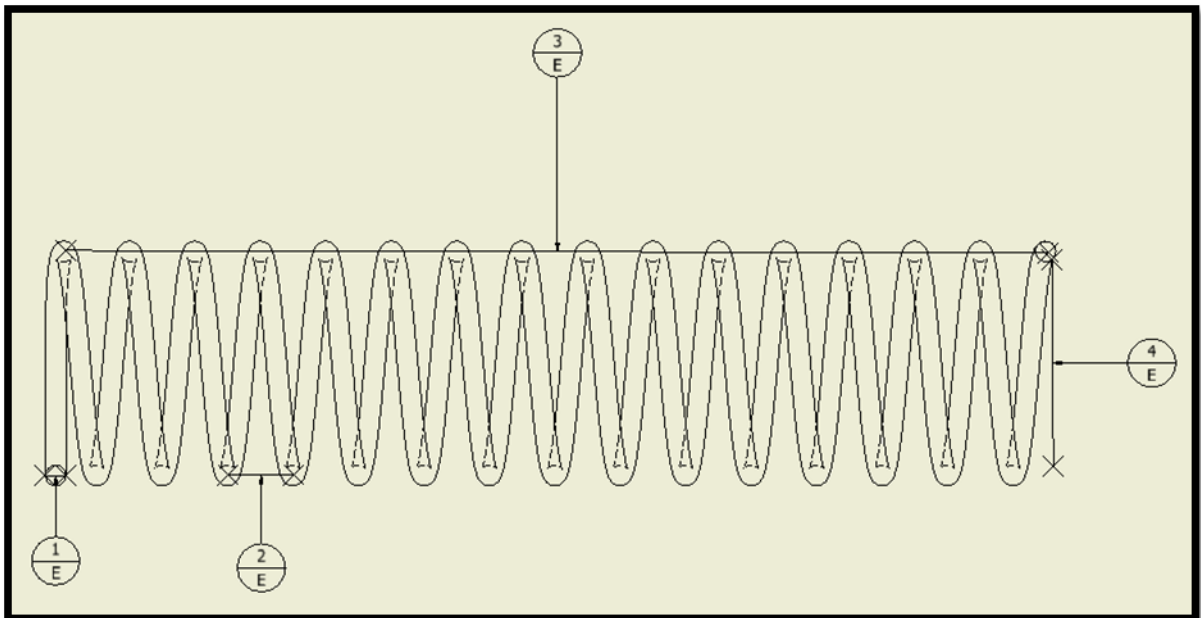


Figura 3. 22 Vista lateral derecha de resorte de amortiguamiento

3.4.2.7 ROTULA DE PLATAFORMA SUPERIOR

Este elemento realiza la función de acoplarse con el dado ubicado en la biela anteriormente mencionada, este componente estará ensamblado en la plataforma superior.

En las **Figuras 3.23, y 3.24** se puede observar dicho elemento, y a continuación se describen sus principales características:

- ❖ 1F, 5F.- Cojinete de acoplamiento/desacoplamiento de dado de la rótula de la plataforma superior, misma que permitirá la conexión con el dado hembra ubicado en la biela.
- ❖ 6F.- Dado de conexión macho.
- ❖ 2F.- Rodamiento que brindara la libertad y facilidad de movimiento en la dirección deseada.
- ❖ 8F, 3F.- Elemento de alojamiento de la rótula.
- ❖ 7F, 4F.- Base de la Rotula, que permitirá en ensamble en la plataforma superior.

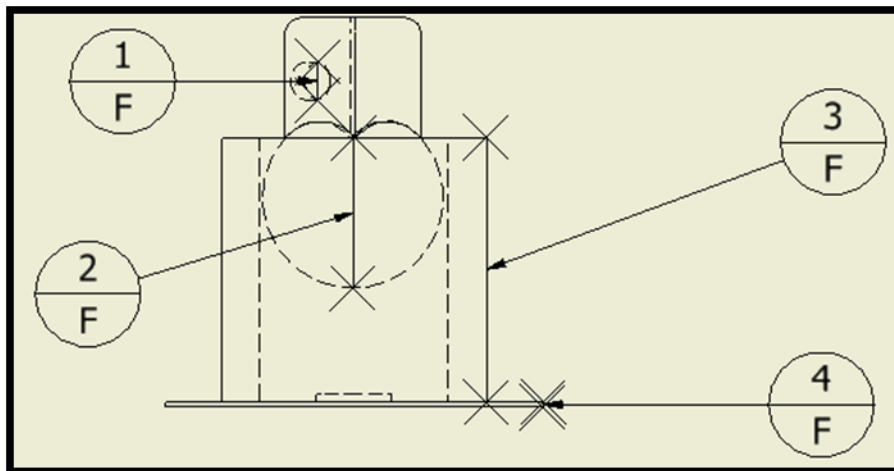


Figura 3. 23 Vista frontal de rótula de plataforma superior

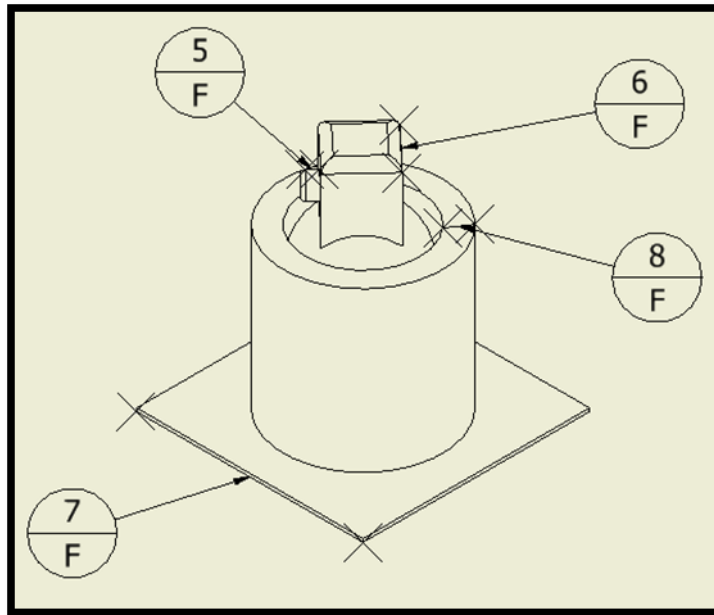


Figura 3. 24 Vista isométrica de rotula de plataforma superior

3.4.2.8 SOPORTE DE FIJACION DE RESORTE – CAMISA DE PISTON

Este componente servirá como soporte o base del resorte que será implementado en el diseño conceptual, y de la misma forma servirá como cilindro guía del pistón que estará acoplado a la plataforma superior. En las **Figuras 3.25 y 3.26** se puede observar dicho elemento, y a continuación se describen sus principales características.

- ❖ 1G.- Base solera de soporte de resorte de amortiguación
- ❖ 2G.- Rondana metálica que servirá como base del resorte.
- ❖ 3G.- Perfil tubular redondo
- ❖ 4G.- Perfil tubular redondo con barrenación cuadrada para alojamiento del pistón.

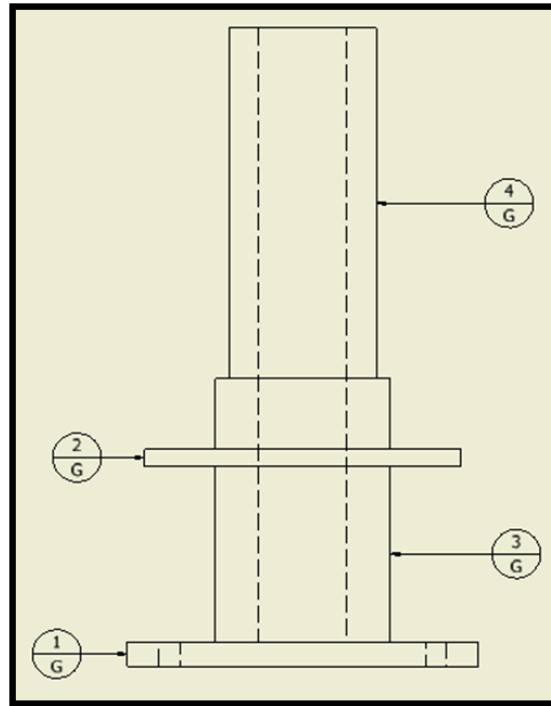


Figura 3. 25 Vista frontal de soporte de fijación de resorte encamisado

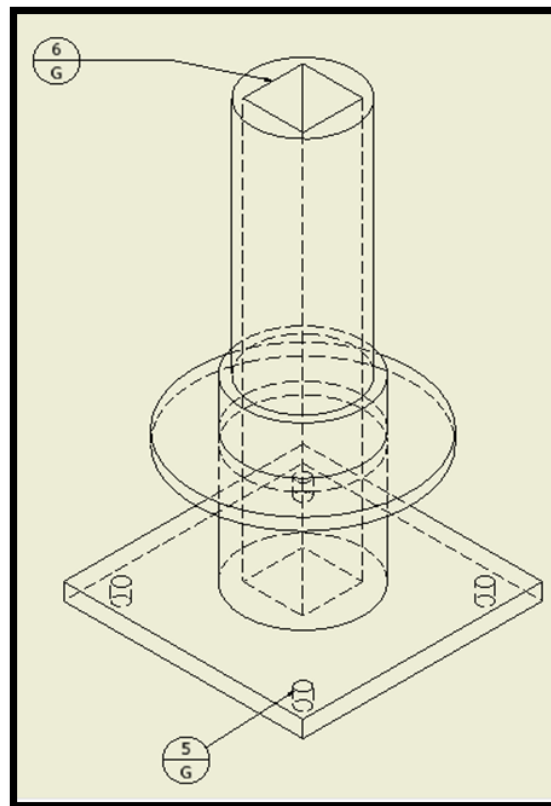


Figura 3. 26 Vista isométrica de soporte de fijación de resorte encamisado

3.4.2.9 MOTOR ELECTRICO

Este será el elemento accionado eléctricamente el cual brindara la energía cinética necesaria que a través de los diversos elementos y mecanismos que serán implementados habrán de convertir la energía cinética en movimientos de vibración oscilatorios.

En las **Figuras 3.27 y 3.28**, se puede observar dicho componente, y de igual forma a continuación se describen sus principales características.

- ❖ 1H.- Flecha- Eje del motor en la que iran las levas de conexión con las bielas.
- ❖ H (3-4).- Orificios para ensamble de tornillos en plataforma inferior.

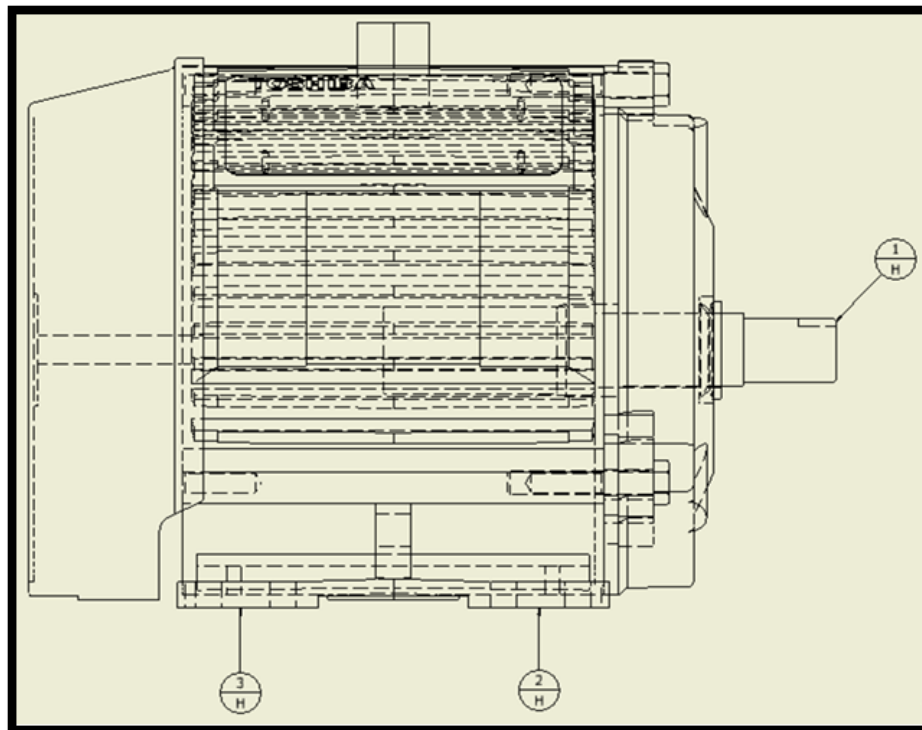


Figura 3. 27 Vista lateral izquierda de elemento accionado eléctricamente

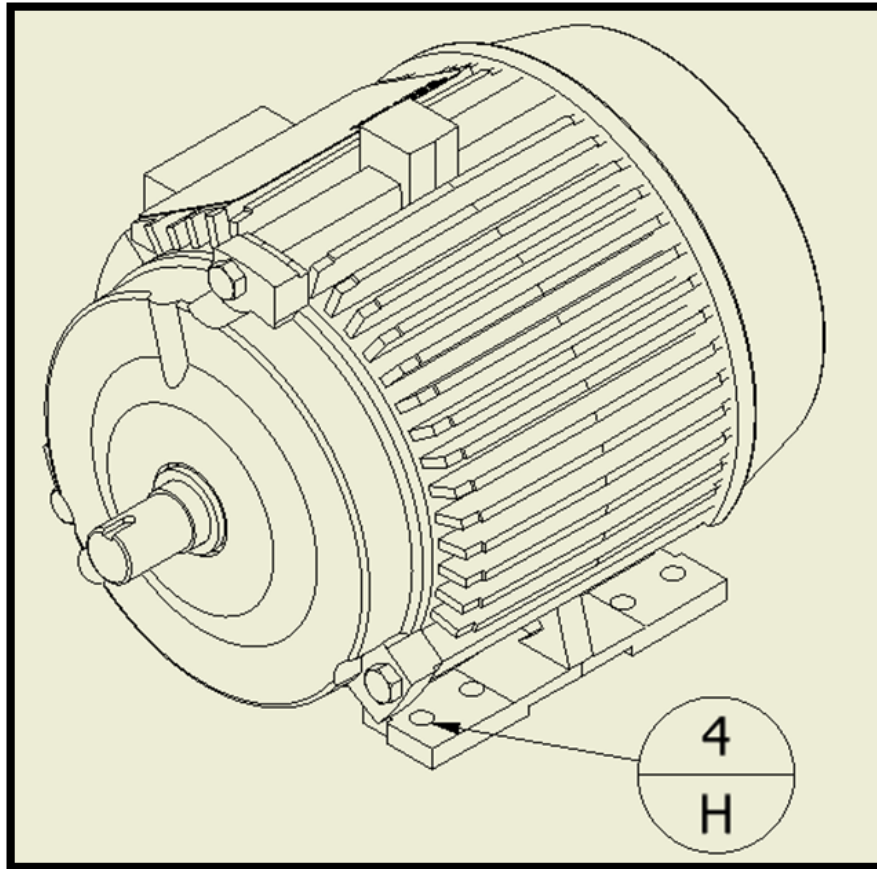


Figura 3. 28 Vista isométrica de elemento accionado eléctricamente

3.4.3 DIBUJOS DE ENSAMBLE

Tras haber diseñado todos los componentes y /o mecanismos que conforman el modelo conceptual seleccionado, se procedió a realizarse el ensamblaje de todas las piezas anteriormente descritas con el fin obtener el diseño conceptual deseado. Es relevante mencionar que esta actividad fue realizada utilizando el software de CAD/CAE Autodesk Inventor Professional, mismo en el cual se pueden realizar pruebas y observar que todos los componentes diseñados estén con las tolerancias necesarias, adecuadas para su correcto funcionamiento en conjunto, y logrando de esta manera obtener un prototipo digital por medio del cual se pueda evaluar el mismo y realizar las mejoras pertinentes con el fin de incrementar la calidad del producto diseñado.

A continuación se enlista todos y cada uno de los componentes que conforman el modelo conceptual del presente modulo, y de igual forma en las **Figuras 3.29 Y 3.30** se puede observar en ensamblaje realizado.

- A. Biela- Rotula- Dado
- B. Resorte de amortiguamiento
- C. Nivelador
- D. Plataforma inferior
- E. Plataforma superior
- F. Pistón con unión universal
- G. Leva de acoplamiento, con rodamiento
- H. Motor eléctrico
- I. Soporte de resorte- Camisa-Guía
- J. Tapón de perfil tubular rectangular
- K. Mesa (Panel de acero instalado en plataforma superior)

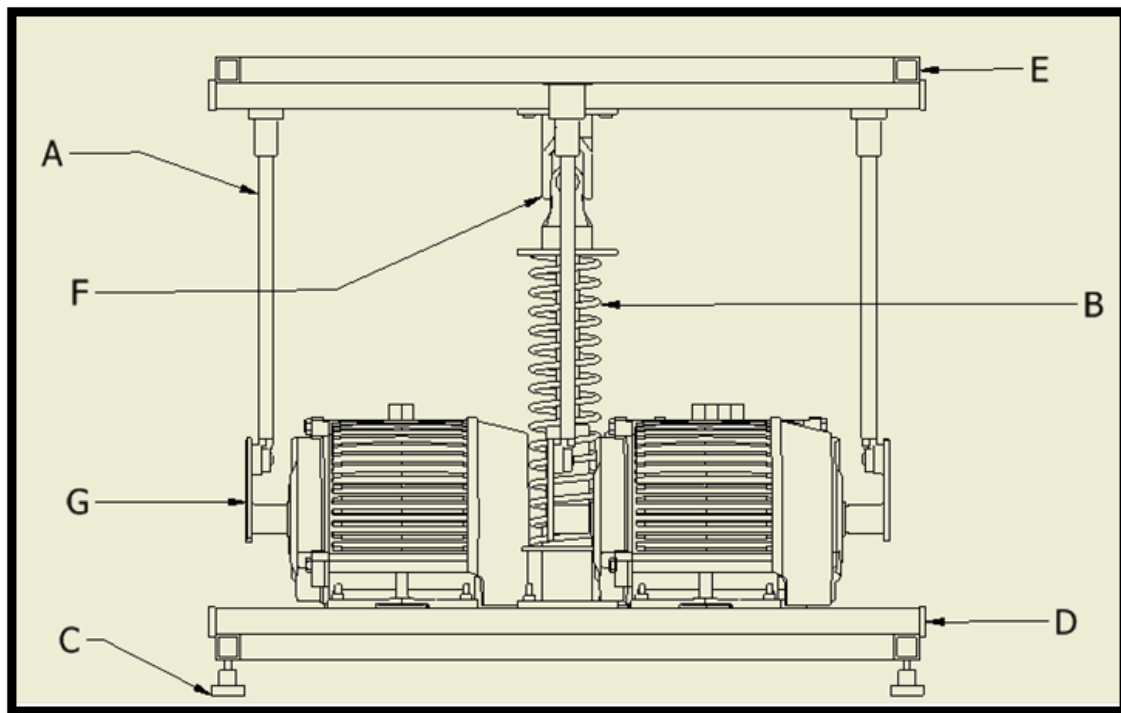


Figura 3. 29 Vista frontal de ensamble de modulo generador de movimientos oscilatorios

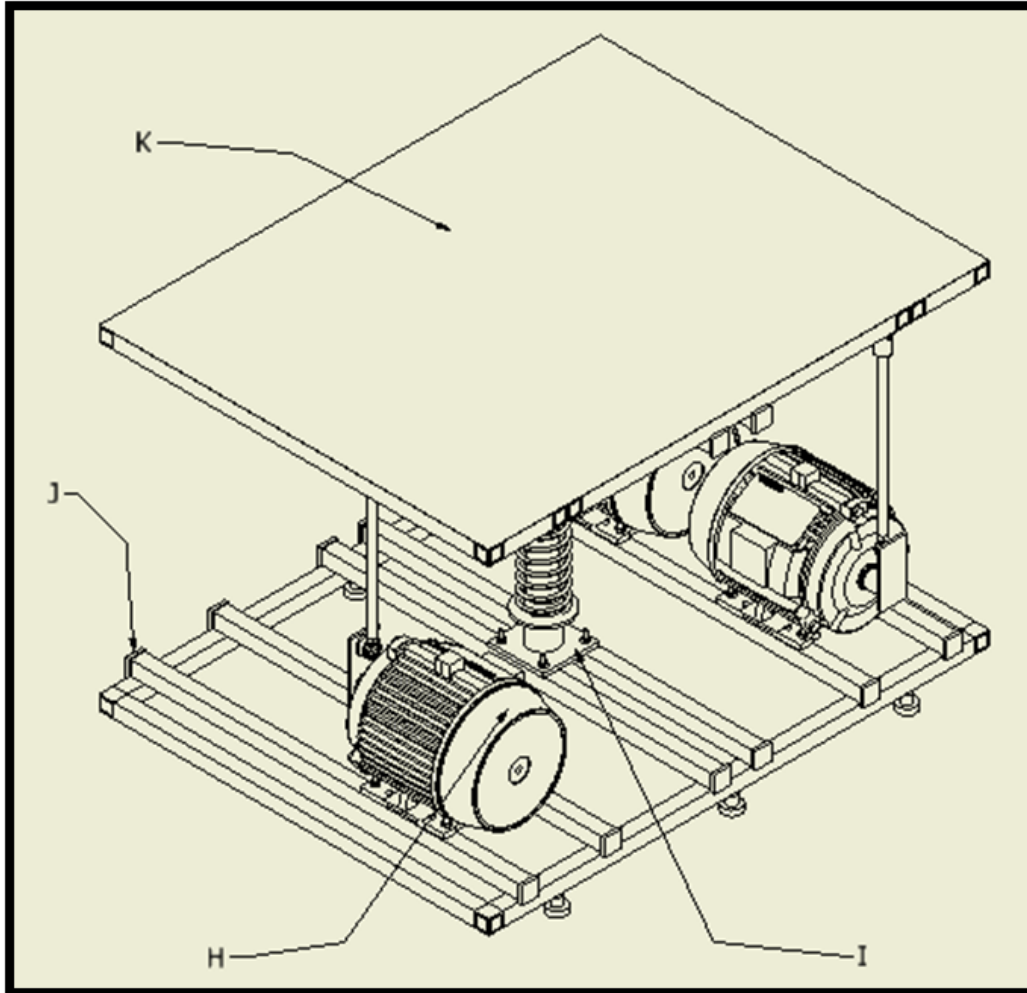


Figura 3. 30 Vista isométrica de ensamble de módulo de generador de movimientos oscilatorios

3.4.4 MEDICION Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Como se sabe el objetivo fundamental por el cual se realiza el desarrollo del módulo generador de movimientos oscilatorios (MGMO), es la representación de los movimientos de vibración que se generan en una embarcación de flota menor, en la cual estará instalado el dispositivo de comunicación marítima (DCM). Para lograr realizar esto, una actividad fundamental es realizar la medición de los movimientos oscilatorios que se encuentran presentes en dichas embarcaciones en condiciones normales de operación.

Sin la recolección de datos confiables no se puede esperar obtener resultados que brinden un buen porcentaje de fiabilidad, por tal motivo el primer paso para lograr realizar la medición de las vibraciones en campo, es seleccionar el instrumento de medición adecuado que habría de implementarse de acuerdo a las necesidades identificadas. Un factor fundamental en este aspecto es seleccionar el tipo de sensor adecuado para realizar las mediciones en la embarcación, el instrumento seleccionado debe tener la capacidad de realizar las mediciones de acuerdo a los intervalos de frecuencia que se encuentran presentes en las embarcaciones. Otros aspectos que son relevantes a considerar son la naturaleza de la superficie en la cual se realizara la medición, la temperatura de la medida, presencia de agua u otros líquidos, y es pertinente establecer una técnica de montaje de acuerdo a los aspectos anteriormente mencionados[20].

El segundo paso es seleccionar la unidad que se medirá, que en este caso para los fines requeridos es la aceleración (m/s^2).

El último paso es asegurarse que siempre se utilice la misma metodología para realizar la medición de las vibraciones, y que las mediciones siempre se realizan de la misma forma. La repetitividad es esencial.

Tras haber realizado una investigación exhaustiva, analizando una gran variedad de vibrometros existentes hoy en día, y conociendo los requerimientos a cumplir, se seleccionó el vibrometro que mejor se adecuo a nuestras necesidades, y que nos ayude a cumplir nuestro objetivo.

A continuación en la **Figura 3.31** se muestra el vibrometro implementado para la recolección de los datos, y de igual forma posteriormente se describe la metodología implementada para la realización de las mediciones. Es relevante mencionar que las especificaciones del vibrometro se pueden consultar en la sección de Anexos.



Figura 3. 31 Vibrometro portable TV300, implementado para medición de vibraciones

Las mediciones se realizaron mediante expediciones hechas en campo durante diversas visitas que se realizaron a varios puertos de distintos estados del sureste del país, tales como: Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Tabasco.

Para la recolección de los datos, se realizaron mediciones en los siguientes puntos estratégicos de las embarcaciones:

- ❖ Punta del bote
- ❖ Bancada delantera
- ❖ Bancada trasera
- ❖ Parte trasera (donde se ensambla el motor)

Se seleccionaron estos puntos de medición, debido a que son aquellos puntos en los cuales se puede recolectar los distintos perfiles de oscilación que se encuentran presentes en una embarcación.

3.4.5 SELECCIÓN DE MATERIALES Y/O COMPONENTES

En la actualidad, la selección de materiales en ingeniería ha ido evolucionando velozmente dando pie a que esta actividad con el paso del tiempo se convierta en una tarea cada vez más compleja.

Tomando en consideración que cuando el ingeniero de diseño se encuentra en la necesidad de seleccionar un material, debe de analizar y evaluar de manera ponderada una numerosa cantidad de propiedades físicas, químicas, mecánicas y tecnológicas, las cuales le brinden un criterio pertinente que le ayuden a tomar una decisión, para seleccionar el material que más se adecue a los requerimientos[21].

El objetivo de esta actividad es seleccionar el material adecuado, el cual sea capaz de cumplir los requerimientos definidos anteriormente. Por tal motivo la etapa de selección del material que deberá ser implementado para la manufactura del prototipo, es una de las decisiones fundamentales que repercutirá de manera muy importante en el adecuado funcionamiento del módulo generador de movimientos oscilatorios.

3.4.5.1 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA EL MARCO ESTRUCTURAL

Como primer paso fundamental en la selección de materiales que habrían de implementarse en el diseño propuesto, se realizó una investigación en diversas fuentes sobre los materiales que son utilizados hoy en día para este tipo de aplicación. En la **Figura 3.32** se observan diversos materiales comúnmente implementados en la actualidad.



Figura 3. 32 Diversos materiales implementados en la actualidad

Tras haber analizado una diversa cantidad de materiales los cuales cumplen con los requerimientos establecidos, se realizó una evaluación de los beneficios y desventajas que nos brindaban los mismos, y en base a esto se preselecciono aquellos que mejor se adecuaron a las necesidades, analizándose los siguientes materiales preseleccionados:

- ❖ Hierro
- ❖ Aluminio
- ❖ Acero

Como se observó anteriormente, para la manufactura del prototipo del diseño conceptual planteado, es necesario definir el material que servirá para la fabricación del marco estructural, los cuales conformaran la bancada superior e inferior.

HIERRO

El hierro es un metal, el cual en la actualidad es comúnmente utilizado en diversas aplicaciones en el mercado, dicho material posee buenas propiedades como: buena conductividad eléctrica, es un material blando, maleable y dúctil.

Hoy en día, este material es implementado para la manufactura de diversos perfiles tubulares, así como también es usado para la obtención de perfiles angulares y/o soleras las cuales sirven para la construcción de marcos estructurales en distintas aplicaciones. Con el hierro se obtiene perfiles laminados en caliente cuadrados, redondos, perfiles L, y entre otros.

De igual forma es un metal el cual posee buenas propiedades mecánicas tales como: buena resistencia a la tracción y compresión, es una material con un alto índice de dureza, así como también es un material que es fácil de manufacturar y de trabajar en taller, y con un costo aceptable en el mercado. En la **Figura 3.34** se puede observar algunos perfiles de hierro.



Figura 3. 33 Ejemplo de perfiles de hierro existentes

ALUMINIO

El aluminio es un metal que es comúnmente usado de igual forma para la fabricación de diversos tipos de perfiles, para la construcción de armaduras de variadas geometrías, este material a diferencia del hierro posee una menor resistencia a la tracción, una menor dureza, mas sin embargo es un material más

liviano, y el cual posee una conductividad eléctrica y térmica similar a la del cobre, y un factor fundamental, es que es altamente resistente a la corrosión, propiedad que aunada a la aplicación de diversos tratamientos superficiales puede ser mejorada. En la **Figura 3.34**, se puede observar uno de los perfiles usados para elaboración de estructuras que son comúnmente fabricados en aluminio.

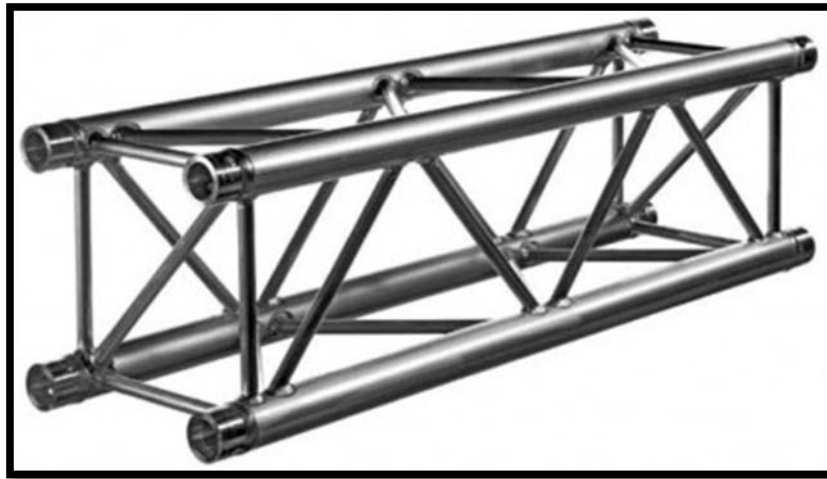


Figura 3. 34 Ejemplo de estructura elaborada con perfil de aluminio

ACERO

El acero es un material el cual, es en la actualidad el más comúnmente usado para la fabricación de vigas de acero para la construcción de las estructuras que brindan el soporte de grandes construcciones, así mismo, es implementado para muchas otras aplicaciones en la actualidad. Acero es la denominación que comúnmente se le da en ingeniería a una aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,01% y el 2,1% en peso de su composición, si la aleación posee una concentración de carbono mayor al 2,0% se producen fundiciones que a diferencia del acero, son mucho más frágiles y no es posible forjarlas sino que deben ser moldeadas. En la **Figura 3.35** se puede observar un ejemplo de aplicación de los perfiles de acero.



Figura 3. 35 Ejemplo de perfil de acero utilizado para fabricación de estructura

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas.

Este material es utilizado en la industria, debido a que se encuentra disponible en abundancia, y es un material el cual es muy flexible, y en el cual existen diversos tipos del mismo, lo cual brinda al diseñador, la capacidad de seleccionar entre una gran variedad de opciones que se adecuen a la necesidades de diseño.

3.4.5.2 SELECCIÓN DE MOTORES

Otro aspecto fundamental para un correcto funcionamiento del diseño conceptual propuesto, es la selección adecuada de los motores que brindaran la energía cinética al sistema. Con el fin de realizar la selección que mejor se adecue a las necesidades del diseño conceptual, se realizó una investigación sobre los diversos tipos de motores existentes en la actualidad, analizando los beneficios y desventajas que presenta cada uno de ellos, tras haber evaluado los mismos se determinaron los que serían candidatos para ser implementados en el diseño, analizándose los siguientes tipos de motores:

- ❖ Motores eléctricos
- ❖ Servomotores
- ❖ Motores a pasos

MOTORES ELECTRICOS

El motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica, mediante un fenómeno de inducción electromagnética, en energía mecánica rotacional en el eje[22]. De esta manera se puede accionar cualquier tipo de carga mecánica, siempre y cuando se tenga acceso a una red eléctrica. En la **Figura 3.36** se puede ver un motor eléctrico convencional.



Figura 3. 36 Motor eléctrico de jaula de ardilla

Dentro de las aplicaciones de los motores eléctricos, el motor de inducción es el más común, y prácticamente todas las aplicaciones industriales pueden realizarse con este motor, generalmente el de tipo Jaula de Ardilla. Es tan generalizado su uso, que pasamos por alto muchos aspectos en el momento de la selección y aplicación del mismo. Entre los motores eléctricos existen motores monofásicos, bifásicos y trifásicos, así como también se distinguen entre estos diversos motores eléctricos los cuales según su clasificación NEMA, se destacan los motores de alta eficiencia energética o de mediana eficiencia. Entre las ventajas que presentan estos motores están:

- ❖ Requieren de bajo mantenimiento
- ❖ Disponibilidad en el mercado
- ❖ Resistencia a la intemperie, debido a su alto grado de protección
- ❖ Bajo costo
- ❖ Equipos robustos
- ❖ Pocos componentes

SERVOMOTORES

Un servomotor (**Figura 3.37**) es un motor eléctrico que consta con la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Una característica muy relevante es que un servo tiene un consumo de energía reducido[23].

Este es otro tipo de motor, que cumple con los requerimientos de nuestro objetivo, también es conocido comúnmente como “Servo”, el cual es un dispositivo similar a un motor accionado mediante corriente continua, contando con la característica particular de poder ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.



Figura 3. 37 Servomotores

Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

Algunas de las ventajas de los servomotores son:

- ❖ Alta eficiencia, generalmente mayor al 90%
- ❖ Mayor precisión
- ❖ Bajo consumo de energía
- ❖ Proporciona un gran torque para las dimensiones que posee
- ❖ Disponibilidad de potencia proporcional para cargas mecánicas.

MOTORES A PASOS

Un motor a pasos (**Figura 3.38**) es un actuador electromagnético rotatorio que transforma la entrada de pulsos digitales en movimiento rotatorio incremental de la flecha. Una característica particular que tienen estos motores es que la rotación de los mismos no solamente tiene relación directa con el número de pulsos de entrada, sino que también la velocidad está relacionada a la frecuencia de los pulsos[24].



Figura 3. 38 Motor a pasos

Algunas de sus principales características se describen a continuación:

- ❖ Son motores sin escobillas
- ❖ Son digitalmente controlados, y giran un número específico de grados (“un paso”)
- ❖ La resolución (número de grados) que manejan puede ser de 0.72 a 90°
- ❖ Poseen una alta precisión, pero un bajo torque.
- ❖ Existe una gran variedad de interfaces de control que pueden manipular la velocidad, dirección y posición de estos motores.

CAPITULO 4.- RESULTADOS

En el presente capítulo, se describe de manera detallada los resultados obtenidos de la metodología de diseño utilizada, fundamentándose los motivos por los cuales se tomaron las decisiones pertinentes. De igual forma se abarcara la fase de manufactura del prototipo, observándose de esta manera la correcta implementación de todos los resultados obtenidos en un prototipo físico, comprobándose la funcionalidad del diseño obtenido.

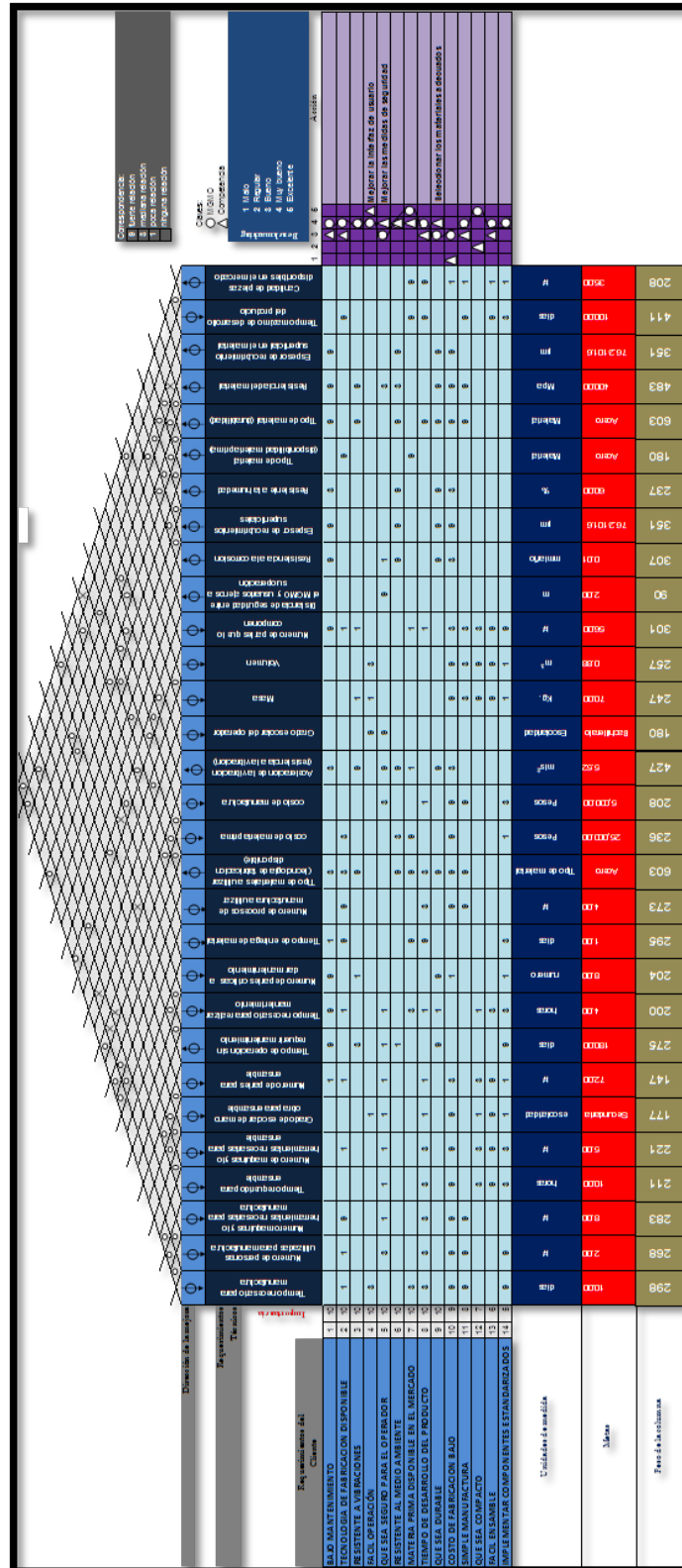
4.1 DEFINICION DE DISEÑO CONCEPTUAL RESULTANTE

Tras haber llevado a cabo todos y cada uno de los pasos de la metodología de diseño aplicada QFD, posteriormente a esto, se engloban todos los resultados obtenidos por cada una de las herramientas utilizadas; en la “Matriz de la Casa de la Calidad” con el objeto de establecer los parámetros de diseño que habrán de definir las características con las cuales deberá ser manufacturado el diseño resultante a obtenido.

Algunos de los aspectos fundamentales que se llevan a cabo en esta fase final del procedimiento de diseño es establecer las metas, que el diseñador busca alcanzar y/o satisfacer con el diseño a obtener, de igual forma se pondera de manera detallada la relevancia de cada uno de los requerimientos establecidos o identificados, obteniéndose los requerimientos que más impacto tienen en el diseño conceptual considerado, de esta manera ayudando al ingeniero de diseño a tomar decisiones con respecto a las características técnicas de diseño con una mayor seguridad.

A continuación en la **Figura 4.1** se puede observar los resultados obtenidos en “La Casa de la Calidad”.

Figura 4. 1 Casa de la calidad resultante para el diseño del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”



El siguiente paso, fue determinar que elemento propuesto en la segunda etapa de la metodología, sería el que se implementaría en el diseño conceptual propuesto, tras realizar la Matriz de la “Casa de la Calidad”, se obtuvieron los criterios pertinentes y se seleccionaron los materiales y/o componentes que habrán de implementarse en el diseño y manufactura del prototipo. A continuación en la **Tabla 4.1**, se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 4. 1 Resultados obtenidos de la Casa de la Calidad

FUNCION	SUBFUNCION	RESULTADO
A1.- ACOPLAR/DESACOPLAR DCM EN MGMO	A1.1.- Acoplar DCM a mecanismo de sujeción en MGMO	<i>IMPLEMENTACION DE PERILLAS CON TORNILLO-PRENSA</i>
	A1.2.- Comprobar el ajuste entre el DCM y el mecanismo de sujeción del MGMO	<i>COMPROBACION VISUAL</i>
A2.- CONFIGURAR PARAMETROS DE VIBRACION A REPRESENTAR	A2.1.- Realizar medición de vibraciones	<i>IMPLEMENTACION DE MEDIDOR DE VIBRACIONES (VIBROMETRO), CON ACELEROMETRO DE CONTACTO.</i>
	A2.2.- Configurar parámetros de vibración	<i>IMPLEMENTACION DE RELEVADOR INTELIGENTE ZELIO LOGIC</i>
A3.- REPRESENTAR LOS MOVIMIENTOS VIBRATORIOS	A3.1.- Proporcionar los componentes que brindaran la energía cinética necesaria	<i>IMPLEMENTACION DE MOTORES ELECTRICOS CONTROLADOS POR VARIADORES DE VELOCIDAD</i>
	A3.2.- Transformar la energía cinética en movimiento de oscilación vibratorio	<i>IMPLEMENTACION DE MECANISMO COMPUESTO POR BIELA-LEVA-RODAMIENTO-ROTULA CON ELEMENTO DE RECUPERACION</i>
A4.- RESISTIR LOS ESFUERZOS OCASIONADOS POR LAS VIBRACIONES	N/A	<i>IMPLEMENTACION DE ACERO</i>

4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

Sin duda alguna, la selección de los materiales o componentes a utilizar para el desarrollo del “Modulo Generador de Movimientos Oscilatorios” es una parte muy importante, debido a que una mala selección puede ocasionar resultados insatisfactorios y por lo tanto incremento en los costos y retrasos en la construcción de dicho dispositivo.

Como se planteó en el capítulo anterior, tras haber realizado una investigación con el fin de determinar que material se implementaría para la fabricación del marco estructural, así como también para la correcta selección de los motores que habrían de implementarse, a continuación se presentan los resultados obtenidos de dichos análisis, fundamentándose el motivo por el cual se decidió la implementación de los mismos.

4.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA EL MARCO ESTRUCTURAL



Figura 4. 2 Perfil tubular rectangular (PTR)

Para la construcción del marco estructural o estructura del módulo en cuestión, el cual involucra desde la base que soporta a los motores hasta la plataforma sobre la cual se colocarán los componentes electrónicos y/o el gabinete para la evaluación de funcionalidad, como se observa en el capítulo

anterior se realizó una investigación de distintos materiales y perfiles existentes en el mercado.

Dicho análisis dio como resultado la selección del perfil rectangular PTR (**Figura 4.2**) de 1" x 1" calibre 16, debido a que dicho perfil se encuentra manufacturado con acero grado ASTM A500 Grado B [10], cuyas características se muestran a continuación en la **Tabla 4.2**. Cabe mencionar que en la sección de anexos se puede observar la hoja de datos de dicho material[25].

Tabla 4. 2 Características principales del perfil tubular rectangular PTR

Propiedades Físicas	Métrico	Ingles
Densidad	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³
Propiedades Mecánicas	Métrico	Ingles
Resistencia ultima a la tensión	400 MPa	58000 psi
Resistencia a la tracción	315 MPa	45700 psi
Alargamiento a la fractura	23.0 %	23.0 %
Módulo de elasticidad	140 GPa	20300 ksi
Resistencia al cortante	80.0 GPa	11600 ksi
Composición	Métrico	Ingles
Carbono, C	<= 0.30 %	<= 0.30 %
Cobre, Cu	<= 0.18 %	<= 0.18 %
Fierro, Fe	99.0 %	99.0 %
Fosforo, P	<= 0.050 %	<= 0.050 %
Azufre, S	<= 0.0630 %	<= 0.0630 %

Cabe mencionar que dicho material, es muy común en el mercado y cumple con las características necesarias para nuestro objetivo.

4.2.2 SELECCIÓN DE MOTORES

Uno de los elementos más importantes para la manufactura del MGMO, es sin duda alguna, los motores. Como se sabe, los motores eléctricos son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica y para nuestro caso, los motores proporcionarían el movimiento a la plataforma superior y con este se transmitiría además, las vibraciones.

Debido a la importancia de lo anterior, como se observa en el capítulo anterior, se procedió a realizar un análisis de los motores existentes en el mercado que cumplieran con los requerimientos de nuestro proyecto, tras haber evaluado las opciones consideradas, las cuales son los servomotores, los motores a pasos y los motores eléctricos, se llegó al resultado de implementar motores eléctricos trifásicos del tipo jaula de ardilla de 4 polos de 255/440 VCA, con una potencia de $\frac{3}{4}$ HP, a una velocidad de 1800 rpm (Ver **Figura 4.3**). Tomándose la decisión por el bajo costo de los mismos, el bajo mantenimiento que requieren los mismos, y debido a que estos nos otorgaban el torque necesario para la realización de nuestro objetivo. Ya que los servomotores a pesar de que cumplían con nuestros requerimientos se encontraban fuera del presupuesto financiero considerado.



Figura 4. 3 Motores eléctricos seleccionados

Como se sabe el MGMO, estará compuesto por dos componentes principales: el dispositivo electromecánico y el sistema de control, mismos que al operar de manera conjunta conformaran en modulo en cuestión.

4.3 DISEÑO DEL DISPOSITIVO ELECTROMECAÍNICO

Con los resultados obtenidos, se definió el diseño final resultante del “Modulo Generador de Movimientos Oscilatorios”, integrándose de manera conjunta cada uno de los componentes seleccionados de manera definitiva en el software de diseño asistido por computadora (CAD), y Ingeniería asistida por computadora (CAE), Autodesk Inventor, se realizó el ensamble de los componentes. A continuación en las **Figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7** se puede observar algunas imágenes del diseño resultante obtenido, para el dispositivo electromecánico.

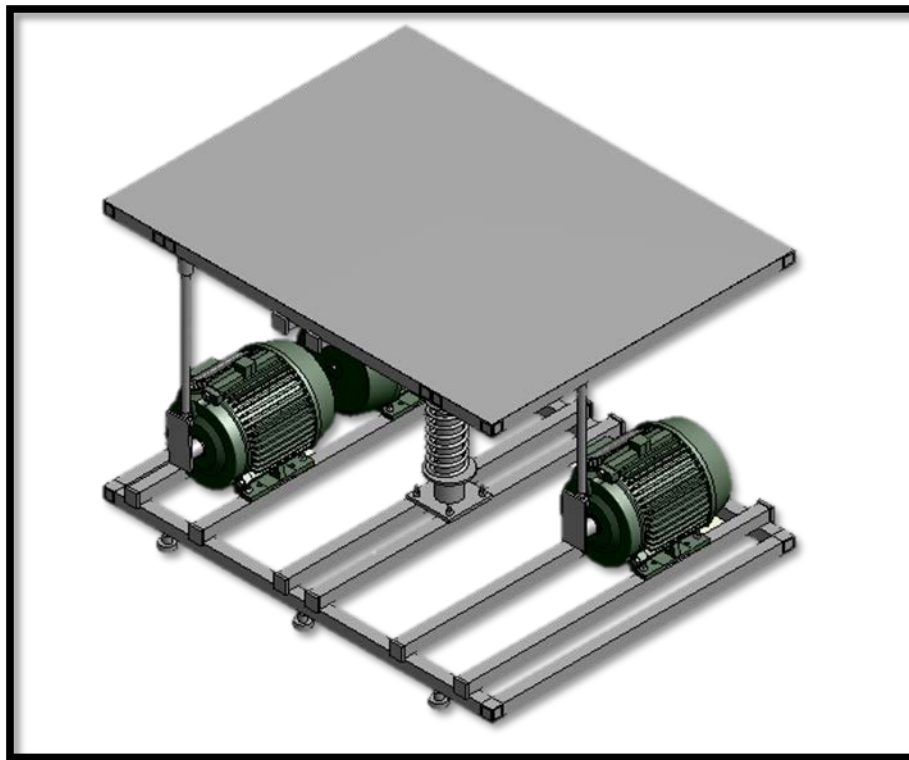


Figura 4. 4 Vista isométrica del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”

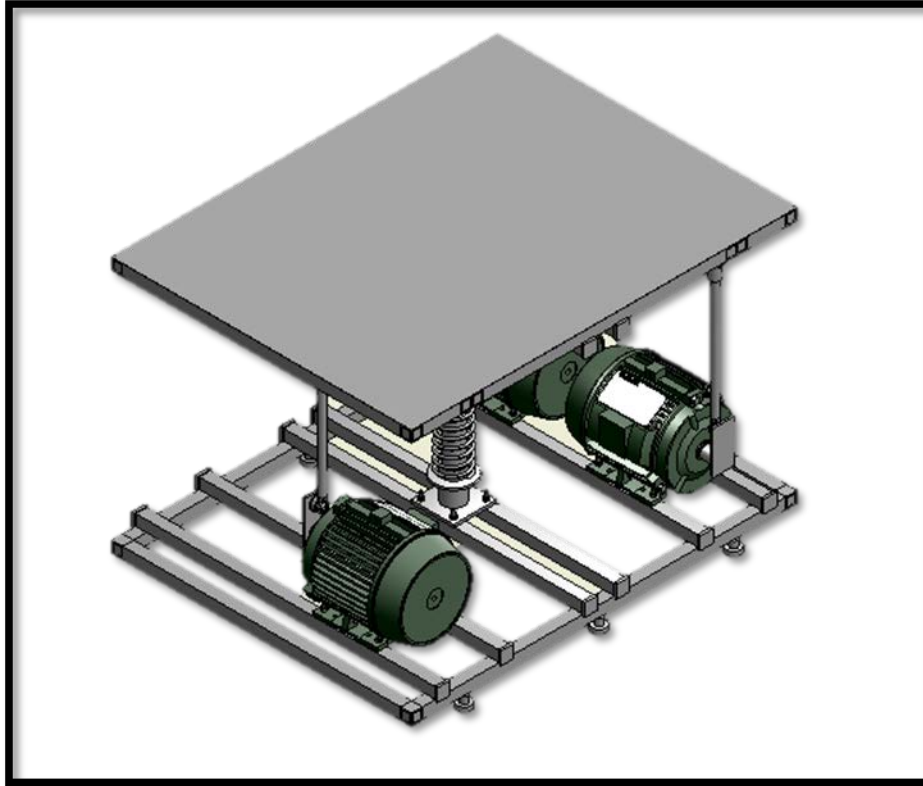


Figura 4. 5 Vista isométrica del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”

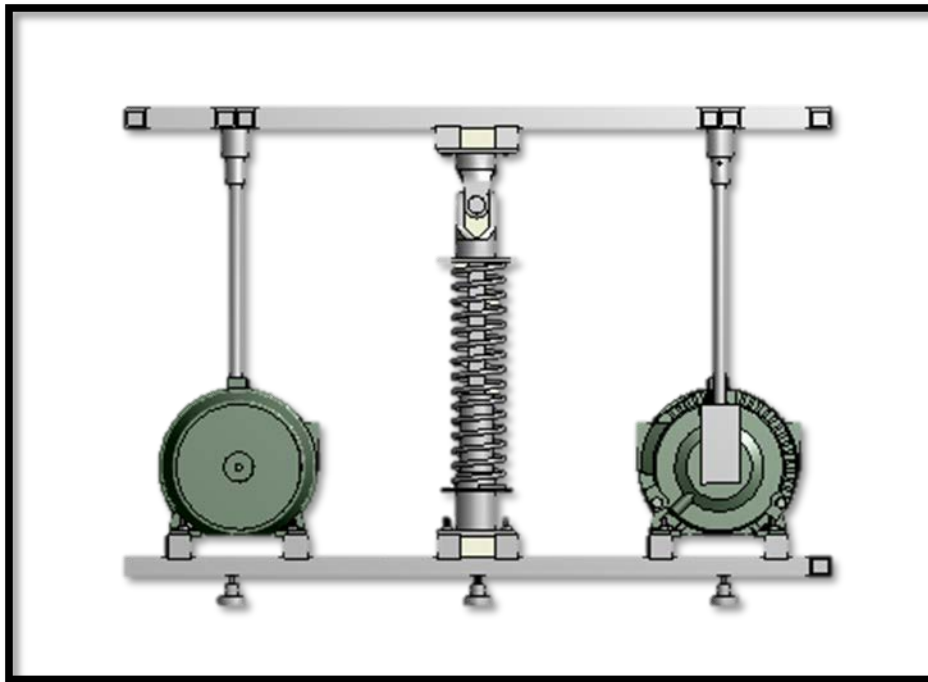


Figura 4. 6 Vista lateral izquierda del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”

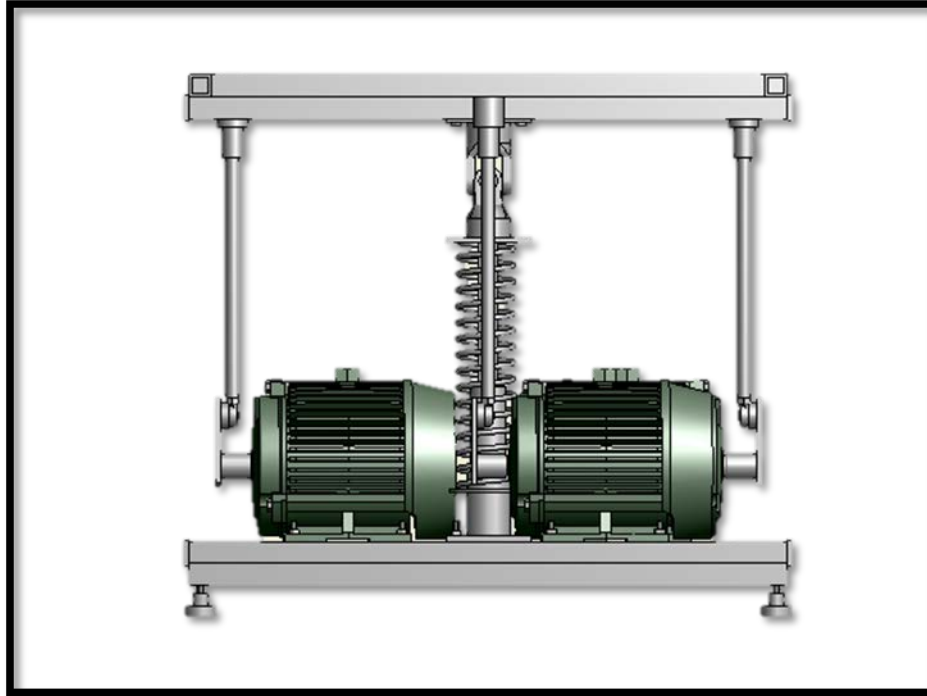


Figura 4. 7 Vista lateral derecha del “Módulo Generador de Movimientos Oscilatorios”

4.3.1 DISEÑO MECANICO DEL RESORTE

Con el fin de realizar la manufactura del resorte que habrá de implementarse en el diseño conceptual del módulo, fue necesario considerar y dimensionar dicho resorte de acuerdo a los requerimientos que le serán exigidos al mismo, una vez que se encuentre en operación ensamblado en el módulo; para esto es necesario considerar los parámetros que se observan en la **Figura 4.8**.

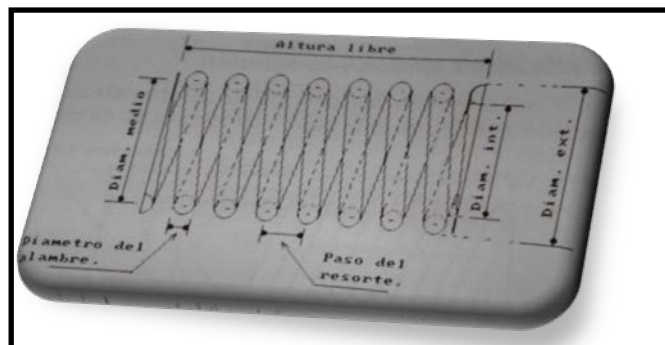


Figura 4. 8 Parámetros a considerar para el diseño de un resorte[26]

Los resortes son elementos flexibles que ejercen fuerzas o pares, absorben y liberan energía, cuando se les aplica una carga en forma gradual, repentina o repetida, dentro de su rango elástico[27].

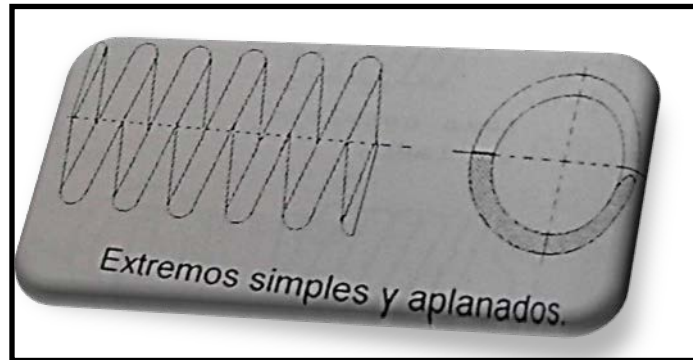


Figura 4. 9 Tipo de extremos del resorte[26]

Es importante mencionar que el resorte empleado para el diseño resultante obtenido, es un resorte de compresión helicoidal, con extremos simples y aplanados (**Figura 4.9**).

Dimensionamiento del resorte

A continuación se describe los cálculos realizados para el diseño y selección del material adecuado para la manufactura del resorte.

Considerando el peso de la plataforma superior y de todos los componentes que la conforman así como también el peso del dispositivo a ensayar, la fuerza a la que estará sujeto, dicho resorte es:

Masa, $m = 10 \text{ Kg}$

Fuerza, $W = F = 98.1 \text{ Newton's}$

Longitud Libre del resorte requerida (L_o) = 300mm

Longitud solida o cerrada requerida (L_s) = 90mm

Deformación que sufrirá el resorte.

$$\delta = L_o - L_s = 300\text{mm} - 90\text{mm} = 210\text{ mm}$$

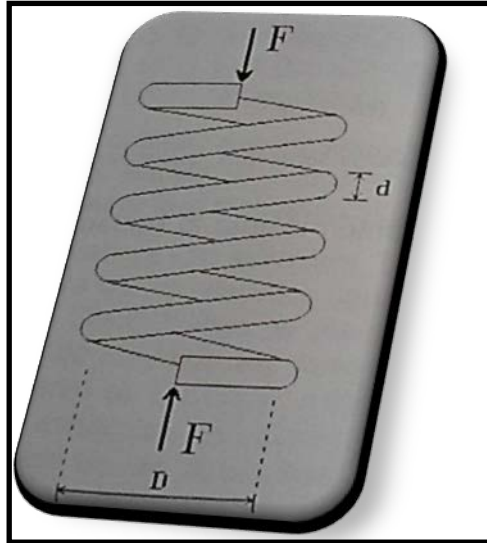


Figura 4. 10 Diagrama de cuerpo libre del resorte[26]

Paso del resorte:

$N_a = \#$ de vueltas activas. (Se tomó la decisión de 16 vueltas activas, para distribuir la carga de manera uniforme, y para un $D=2''$)

$$p = \frac{L_o}{N_a + 1} = \frac{300\text{mm}}{16 + 1} = 17.64\text{mm}$$

$N_t = \#$ de vueltas totales

$$N_t = N_a + 1 = 16 + 1 = 17$$

$K =$ Constante del resorte

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{98.1\text{N}}{210\text{mm}} = 0.467 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Para determinar el diámetro del alambre con el cual debe ser fabricado el resorte, se usa la siguiente formula:

$$d = \frac{L_s}{N_t} = \frac{90\text{mm}}{17} = 5.29\text{mm} = 0.20827''$$

Tomando en cuenta, el valor obtenido como resultado, y verificando los materiales disponibles en el mercado se seleccionó alambre de acero para resorte de 7/32"=0.21875" de diámetro AISI1065, alambre estirado en frío (estirado duro), rango de temperatura de 0° C a 120° C, debido a que es un material, que cumple con las características requeridas, y es de fácil acceso.

Diámetro de alambre usado:

$$d = 7/32" = 0.21875" = 5.55625\text{mm}$$

Índice de resorte:

$$C = D/d = 2/(7/32) = 9.14$$

Calculo del esfuerzo cortante al que estará sometido el resorte:

$$\tau = K_w \frac{8FD}{\pi d^3}$$

Dónde:

$$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} = 1.09 + 0.67 = 1.157$$

K_w = Factor de Wahl (efecto de curv. Alambre)

Por lo tanto:

$$\tau = K_w \frac{8FD}{\pi d^3} = 1.157 \frac{8(98.1)(50.8)}{(3.1416)(5.55625)^3} = 85.6 \text{ Mpa}$$

Propiedades del material seleccionado:

Resistencia ultima $(S_u)_t = 1700\text{Mpa}$,

Módulo de Young $E = 207 \text{ Mpa}$

Ahora para cerciorarse de que el material no fallara se calcula la resistencia última a la que estará sujeto el resorte fabricado con dicho material:

$$(Su)_t = \frac{A}{d^m}$$

Tabla 4. 3 Coeficientes para valores de A y m[26]

ASTM	MATERIAL	EXPONENTE	Coeficiente A	
		m	psi	Mpa
A227	Estirado en frio	0.01822	141,040	1,753.3
A228	Cuerda de piano	0.1625	184,649	2,153.5
A229	Revenido en aceite	0.1833	146,780	1,831.2
A232	Cromo-Vanadio	0.1453	173,128	1,909.9
A401	Cromo-Silicio	0.0934	220,779	2,059.2

Tomando los valores del coeficiente A y del exponente m del material seleccionado de la **Tabla 4.3**, se obtiene:

$$(Su)_t = \frac{A}{d^m} = \frac{1753.3 \text{ Mpa}}{(5.55625 \text{ mm})^{0.1822}} = 1282.8 \text{ Mpa}$$

Por consiguiente:

$$(Su)_t(\text{operación}) \leq (Su)_t(\text{material})$$

$$1282.8 \text{ Mpa} \leq 1700 \text{ Mpa}$$

Como podemos observar, la resistencia última del material escogido es de 1700Mpa, comparándose con la resistencia a la que estará sujeta el resorte que es de 1282.8 Mpa, observamos que el material sobrepasa las condiciones de operación a las cuales estará sujeto, razón por la cual nos da el siguiente FS:

Por diámetros:

$$FS = \frac{\text{Diam. seleccionado}}{\text{Diam. requerido}} = \frac{0.21875}{0.20827} = 1.05$$

Por Resistencia ultima $(Su)_t$:

$$FS = \frac{(Su)_t \text{ material}}{(Su)_t \text{ operacion}} = \frac{1700 \text{ Mpa}}{1282.8 \text{ Mpa}} = 1.32$$

Tras haber realizado los cálculos de diseño mecánico necesarios para determinar las dimensiones y seleccionar el material adecuado para su manufactura, se obtuvieron los resultados presentados en la **Tabla 4.4**.

Tabla 4. 4 Parámetros obtenidos de diseño mecánico del resorte

Deformación	210 mm
Numero de vueltas activas (Na)	16
Numero de vueltas totales (Nt)	17
Constante del resorte (K)	0.467 N/mm
Díámetro de alambre requerido (d)	7/32"
Índice de resorte ©	9.14
Esfuerzo cortante máximo	85.6 Mpa
Resistencia Ultima de material seleccionado(Su)t	1700Mpa
Modulo Young de material Seleccionado	207Mpa
Factor de seguridad obtenido	1.32

Posteriormente, se procedió a manufactura el resorte en un taller especializado en el maquinado de éstos componentes con los parámetros obtenidos, dando como resultado el presentado en la **Figura 4.11**.



Figura 4. 11 Resorte manufacturado

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Tras haber obtenido el diseño conceptual resultante del elemento electromecánico del módulo, el siguiente paso fue proceder a definir la configuración del sistema de control, que controlara el modulo generador de movimientos oscilatorios. La etapa de control es sin duda alguna, uno de los elementos más importantes para el correcto funcionamiento del módulo, debido a que es en ésta, es donde se programan los movimientos que realizará el modulo mediante el control de la velocidad y sentido del giro de los motores. Dicho sistema no solo simulará los movimientos producidos por las embarcaciones de flota menor mientras navegan, sino también transmitirá las vibraciones generadas en éstas. La combinación de ambas funciones servirá de gran apoyo en la evaluación de funcionalidad de los componentes del dispositivo de comunicación marítimo.

A continuación se presenta en la **Figura 4.12** el diagrama esquemático del sistema de control resultante obtenido, en el cual se puede observar cómo estará conformado el sistema de control del módulo generador de movimientos oscilatorios.

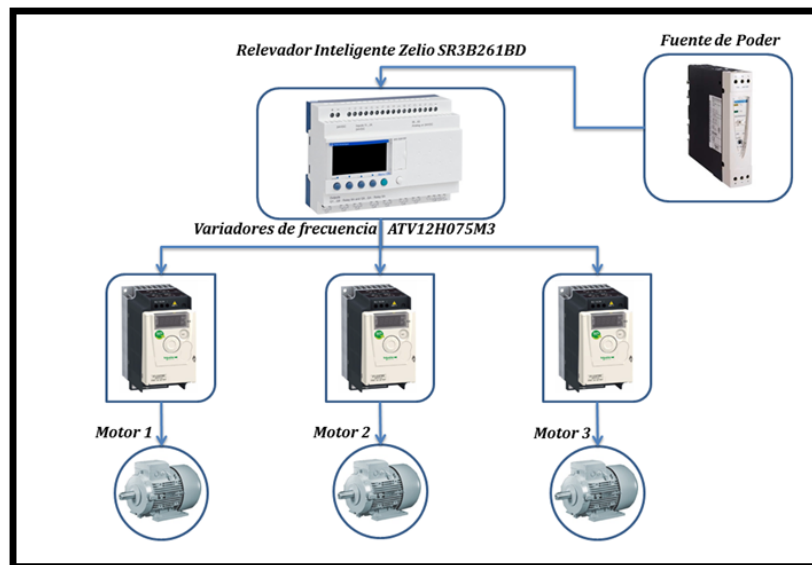


Figura 4. 12 Diagrama esquemático del sistema de control del MGMO

Debido a la importancia de la etapa de control y con el fin de conocer de mejor manera el funcionamiento de sus componentes, a continuación se presentan dichos elementos y se describe brevemente su funcionamiento.

Variador de frecuencia ATV-12H075M3



Figura 4. 13 Variador de frecuencia ATV12H075M3

Dicho componente (**Figura 4.13**) se trata de un variador de velocidad para motores asíncronos, con una tensión de alimentación trifásica de 200... 240 V para salida trifásica a motores de 200/240 V. Éste variador permitirá controlar la velocidad, sentido del giro y programar velocidades preseleccionadas por cada uno de los motores para los movimientos del simulador de vibraciones. Por tal motivo y debido a que el dispositivo mecánica cuenta con 3 motores, fue necesario utilizar la misma cantidad de variadores para el prototipo[28].

Relevador Inteligente Zelio SR3B261BD

Él relevador inteligente (**Figura 4.14**) realiza una función similar a un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual tiene como objetivo controlar sistemas de automatización[29]. Para nuestro caso, mediante la programación de ciclos y el control de velocidad, se podrá controlar a los variadores ATV-12H075M3, quién éstos a su vez, controlarán los movimientos del simulador de vibradores a través del control de los motores.



Figura 4. 14 Relevador Inteligente Zelio SR3B261BD

Fuente de Poder ABL8REM24030

Éste dispositivo (**Figura 4.15**) con una alimentación de 100-240VAC, es la encargada de suministrar al relevador inteligente y algunos dispositivos de control, tales como potenciómetros y Push buttons una corriente rectificada de 24 VDC a 3 Amperes[30].



Figura 4. 15 Fuente de Poder ABL8REM24030

Interruptor Termomagnético

Éste componentes (**Figura 4.16**) es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos y su función es la de proteger de sobrecargas eléctricas a los variadores de velocidad.



Figura 4. 16 Interruptor Termomagnético trifásico

Integración de los elementos de control

Una vez conociendo las funciones principales de cada uno de los componentes utilizados para el control del simulador de vibraciones, se procedió a revisar los manuales de usuario de cada uno de los elementos, para conocer el funcionamiento a detalle y poder así, diseñar la conexión eléctrica del sistema de control.

A continuación se presenta en la **Figuras 4.17 y 4.18** el Diagrama de conexión eléctrica unifilar y el Diagrama de Conexión Eléctrico de Control, respectivamente.

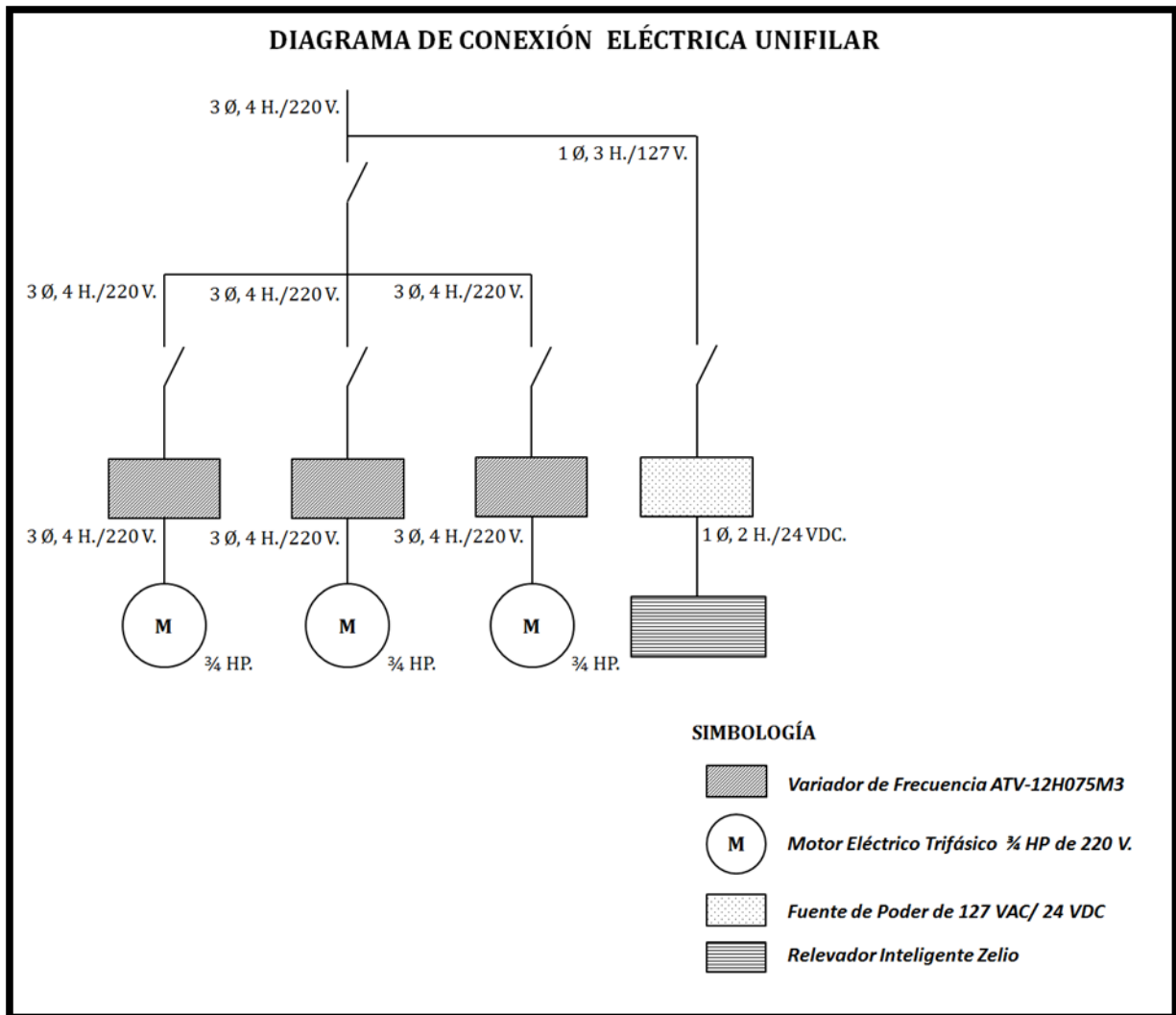


Figura 4. 17 Diagrama unifilar de conexión eléctrico

Una vez obtenido el diagrama unifilar eléctrico, se procederá a la instalación física de los componentes en un gabinete de control, razón por la cual es necesario establecer e identificar las salidas y entradas que se utilizarán de los componentes del sistema de control, quedando finalmente como se presenta en la **Figura 4.18**.

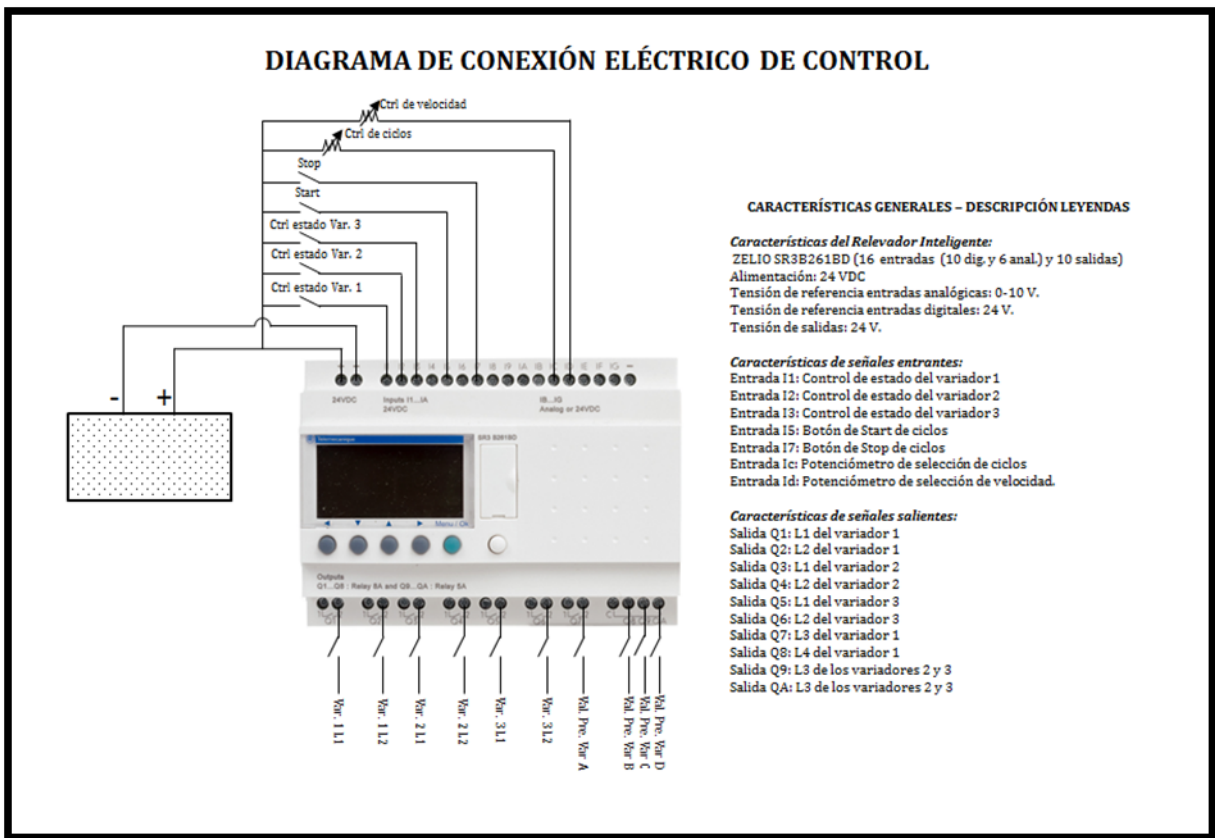


Figura 4. 18 Diagrama de conexión eléctrica del control[31]

4.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Una vez conociendo de manera específica los componentes que serán utilizados para la construcción del prototipo, se procedió a realizar la manufactura del mismo. A continuación se describen las actividades llevadas a cabo para la manufactura del prototipo del módulo generador de movimientos oscilatorios.

4.5.1 LISTADO DE MATERIAL UTILIZADO

A continuación se hace mención de manera detallada los materiales y/o componentes necesarios para la fabricación del módulo generador de movimientos oscilatorios.

- ❖ Barras PTR de 1", 1 ¼" y 1 ½"
- ❖ Rotulas 5/16 K-124-120
- ❖ Eje de acero de 3/8"
- ❖ Soldadura 6012 1/8"
- ❖ Yugo 7/8" redondo EY-121-Ey-121
- ❖ Cruceta AMP-170
- ❖ Solera ¼" x 3"
- ❖ Remaches 3/16"
- ❖ Set de tornillos máquina de ¼" x 1"
- ❖ Hoja negra de 1m. de ancho
- ❖ Barra de 1"
- ❖ Resorte de 7/32"
- ❖ Baleros SLB1604ZZ
- ❖ Niveladores de piso de ¾"
- ❖ Motores eléctricos horizontales de ¾ HP trifásicos de 255/440 VCA, Siemens
- ❖ Variador de frecuencia ATV300 , Schneider
- ❖ Relevador inteligente Zelio Logic, Schneider
- ❖ Fuente de poder de Zelio Logic, Schneider
- ❖ Interruptores termo magnéticos
- ❖ Clemas para conexiones eléctricas
- ❖ Potenciómetros con perillas.
- ❖ Push buttons
- ❖ Indicadores de Led
- ❖ Conectores Hembra de 4 pines de uso marino

- ❖ Conectores machos de 4 pines de uso marino
- ❖ Clavija de uso residencial
- ❖ Clavija de uso industrial
- ❖ Cable de uso rudo AWG calibre 12
- ❖ Cable AWG18 para control.
- ❖ Gabinete de interiores marca Argos de 80 x 50 cm.
- ❖ Cintillas (flejes)
- ❖ Pintura anticorrosiva (esmalte alquidálico)
- ❖ Pintura de esmalte color negra
- ❖ Lija para metal de diversas medidas.
- ❖ Tornillos de ½" de longitudes ½", ¾" y 1"

4.5.2 MANUFACTURA Y ENSAMBLE DEL PROTOTIPO

Una de los aspectos fundamentales para la construcción del módulo generador de movimientos oscilatorios, es sin duda alguna, los procesos de manufactura utilizados para la fabricación y ensamble de cada uno de los componentes que conforman el prototipo. Enseguida se presentan algunas imágenes con los procesos de fabricación utilizados. (**Figuras 4.19 a 4.31**)



Figura 4. 19 Corte con disco del perfil PTR **Figura 4. 20** Soldadura del marco estructural



Figura 4. 21 Esmerilado de la estructura



Figura 4. 22 Montaje del soporte del resorte



Figura 4. 23 Montaje del resorte en base



Figura 4. 24 Maquinado de platinas de pistón



Figura 4. 25 Torneado de soporte de resorte



Figura 4. 26 Posicionamiento de Yugo



Figura 4. 27 Instalación de cruceta en Yugo **Figura 4. 28** Ensamble de levas en flechas



Figura 4. 29 Vista del ensamble del dispositivo electromecánico finalizado (1)



Figura 4. 30 Vista lateral del ensamble del dispositivo electromecánico finalizado (2)

Ensamble del gabinete de control



Figura 4. 31 Conexión eléctrica de los componentes de sistema de control

Como se puede observar en la **Figura 4.31**, se utilizaron un total de 3 variadores de velocidad (uno para cada motor), 4 interruptores termo magnéticos, de los cuales 3 fueron para los variadores y uno para la fuente de poder, 1 relevador inteligente y algunas clemas para la distribución de las conexiones eléctricas.

Interfaz de control

Por otro lado, la operación del simulador de vibraciones está compuesta por 2 partes:

- ❖ La primera se refiere a la selección del ciclo. Dicha selección podrá controlarse a través del potenciómetro de “Control de Ciclos” (ver **Figura 4.32**) y podrá ponerse en funcionamiento mediante los botones de “Start” y “Stop”.
- ❖ La segunda parte se refiere al “Control de la Velocidad” (ver **Figura 4.32**). Para cada uno de los ciclos programados se podrán manejar hasta 4 velocidades.

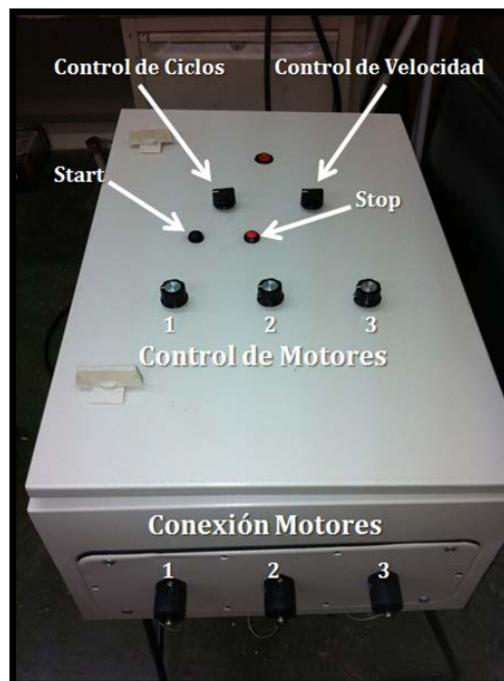


Figura 4. 32 Interfaz de control del MGMO

Del mismo modo, en las **Figuras 4.31 y 4.32** se puede observar la ubicación de las conexiones eléctricas de los motores, así como los potenciómetros para la programación individual de los motores del simulador de vibraciones.

4.5.3 PROGRAMACIÓN DEL RELEVADOR INTELIGENTE

En lo que respecta a la programación del relevador inteligente, se utilizó el software Zelio Soft 2 de Schneider Electric, con el lenguaje conocido como escalera. Al igual que para la programación del Variador ATV-12H075M3, para la programación del Zelio, fue necesario revisar los manuales de programación para conocer a detalle las características del software[32].

A continuación se muestra parte de la programación utilizada para el control del simulador de vibraciones.

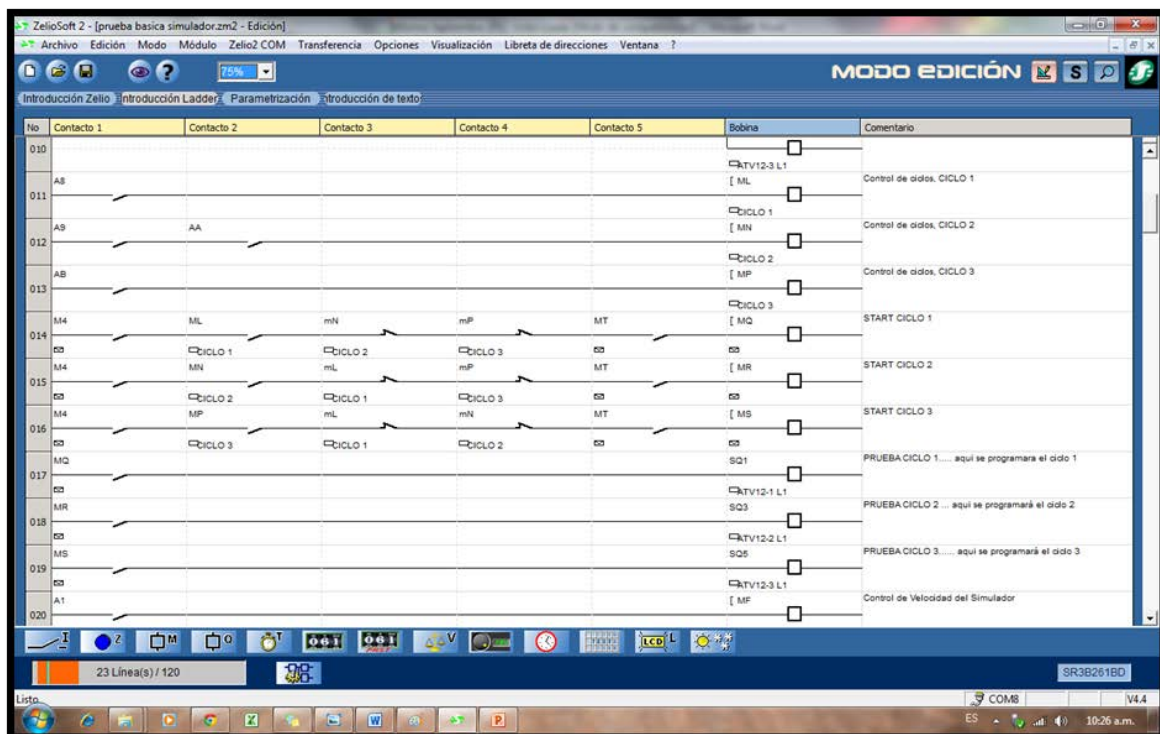


Figura 4. 33 Estructura de Programación para el control de ciclos (1)

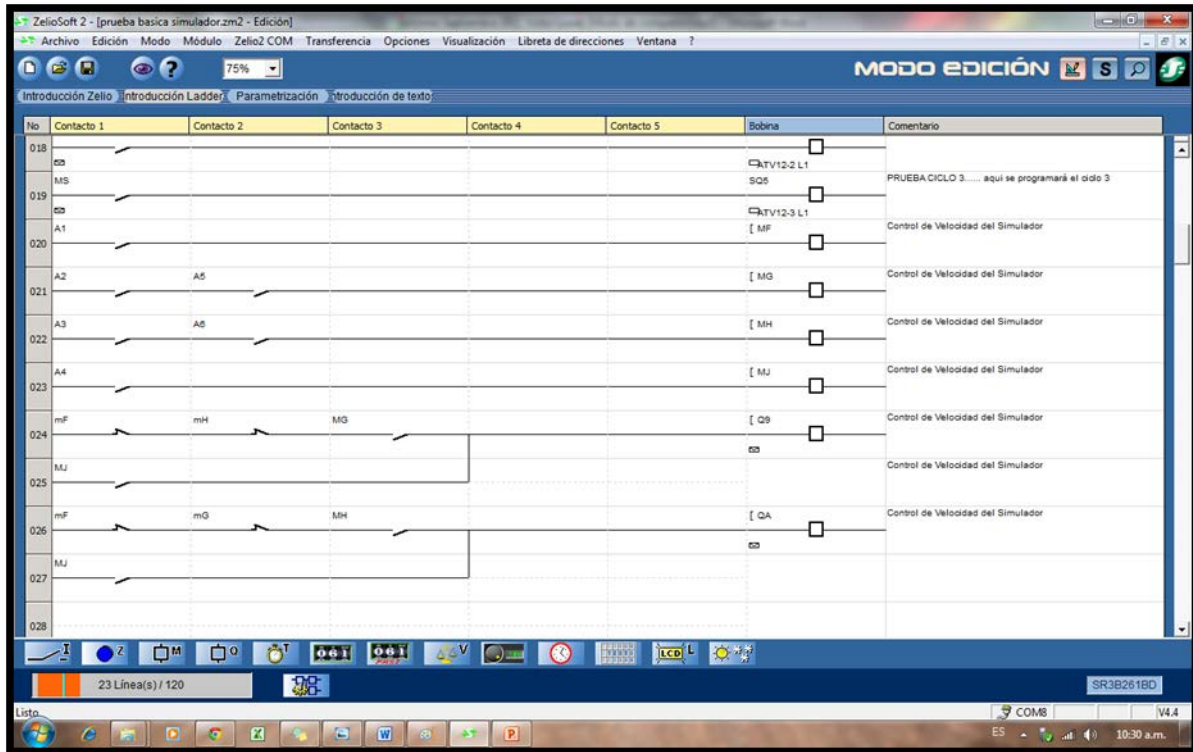


Figura 4. 34 Estructura de Programación para el control de ciclos (2)

4.6 MEDICION Y ANALISIS DE VIBRACIONES

Como se mencionó en el capítulo 3, se implementó un medidor de vibraciones (Vibrometro), con el fin de recolectar la información necesaria a representar en el MGMO, tras haber realizado esto se obtuvo los siguientes resultados.

Se realizó medición de los parámetros:

- ❖ Aceleración,
- ❖ Velocidad
- ❖ Desplazamiento.

Tras haber hecho las mediciones se calculó un promedio de cada una de los muestreos realizados, de los mismos se obtuvieron los valores mínimos y máximos, y se obtuvieron los siguientes resultados (Ver **Tabla 4.5**):

Tabla 4. 5 Resultados de mediciones de vibración realizadas en campo

	PARÁMETRO	No. De medicion							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PUNTA DEL BOTE	Aceleración(m/s ²)	1.34	1.84	1.77	2.21	4.48	4.38	5.1	5.52
	Rms(m/s ²)		1.3	1.25	1.56	3.17	3.09	3.61	3.9
	Velocidad(cm/s)	0.575	0.432	0.17	0.621	0.175	0.101	0.095	0.127
	Desplazamiento(m)	0.1287	0.307	0.1039	0.281	0.0357	0.0235	0.0154	0.0528
BANCADA DE ADELANTE	Aceleración(m/s ²)	4.61	1.21	1.26	1.28	2.1	2.44	5.28	5.28
	Rms(m/s ²)	3.26	0.85	0.89	0.9	1.48	1.72	3.73	3.73
	Velocidad(cm/s)	2.768	0.087	0.15	0.559	1.311	1.442	0.126	0.138
	Desplazamiento(m)	0.9539	0.0622	0.1658	0.2879	0.3476	0.7562	0.05	0.505
BANCADA DE ATRÁS	Aceleración(m/s ²)	4.83	4.98	4.78	4.86	4.86	4.75	4.65	4.77
	Rms(m/s ²)	3.42	3.52	3.37	3.43	3.44	3.36	3.28	3.37
	Velocidad(cm/s)	0.103	0.092	0.066	0.106	0.089	0.076	0.087	0.096
	Desplazamiento(m)	0.092	0.0067	0.0079	0.0175	0.0108	0.0144	0.0088	0.0044
PARTE TRASERA	Aceleración(m/s ²)	3.14	3.63	1.8	0.95	0.79	1.14	4.69	4.59
	Rms(m/s ²)	2.22	2.57	1.27	0.67	0.56	0.08	3.31	3.25
	Velocidad(cm/s)	1.204	1.765	0.26	0.069	0.209	0.109	0.105	0.082
	Desplazamiento(m)	0.5445	1.1976	0.1337	0.0386	0.0996	0.1037	0.0331	0.0182

De los valores obtenidos se obtuvo un valor mínimo promedio y un valor máximo promedio, y de esta manera se pudo establecer un intervalo a representar de la aceleración presente en las embarcaciones, llegándose al resultado siguiente:

$$\text{Intervalo de aceleración de oscilación a representar: } 0.77 < A < 5.52 \text{ m/s}^2$$

4.7 ENSAYOS DE MOVIMIENTOS DE VIBRACION EN DCM

Una vez que se manufacturo el prototipo de del “Modulo Generador de Movimientos Oscilatorios” se procedió a realizar ensayos de durabilidad al dispositivo de comunicación marítima, como se puede observar en la **Figura 4.35**.



Figura 4. 35 Ensayo de durabilidad realizado a dispositivo de comunicación marítimo

CAPITULO 5.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Con la elaboración de la presente trabajo, se logró la obtención del diseño funcional adecuado para la fabricación del “Modulo Generador de Movimientos Oscilatorios”, cumpliendo todos y cada uno de los requerimientos establecidos, lográndose representar los ambientes de vibración presentes en las embarcaciones de flota menor en condiciones de operación.

Con el diseño y manufactura del prototipo que avala el diseño funcional del módulo generador de movimientos oscilatorios, se adquirió un equipo para realizar ensayos de durabilidad, y/o funcionamiento a los componentes electrónicos que se encontraran instalados en el interior del gabinete que formara parte del dispositivo de comunicación marítimo, y de esta manera se pudo observar el comportamiento de todos los componentes bajo escenarios diversos de vibración.

Tras haber realizado los ensayos de vibración pertinentes al dispositivo de comunicación marítimo con el modulo en cuestión, se determinaron diversos puntos de falla (defectos) en el diseño del dispositivo de comunicación marítimo, mismos que fueron corregidos y mejorados en base a los ensayos realizados.

Algunas de las mejoras que se realizaron en el diseño funcional del DCM son:

- 1) Se implementaron elementos de amortiguación (rondanas de neopreno) en el interior del gabinete en los postes de ensamble, en donde se ensamblan los tornillos de sujeción de todas las tarjetas electrónicas impresas, estos utilizados con el fin de reducir la vibración transmitida a los componentes electrónicos del sistema.
- 2) De la misma forma, con el fin de evitar el desensamble de componentes por desajuste de los tornillos de sujeción, se implementaron tornillos manufacturados específicamente para el material con el que fue fabricado

el gabinete, es decir, acrílico nitrilo butadieno estireno (ABS), estos importados de España.

- 3) Se adiciono en los puntos de soldadura existentes en las Tarjetas de circuito impresas, un recubrimiento superficial por medio de una resina adhesiva de silicón con el fin de evitar que debido a los movimientos de vibración presentes en la embarcación se puedan provocar desprendimientos de las soldaduras.
- 4) Se implementó un elemento de amortiguación intermedio entre la base en la cual se ensamblara el gabinete, y la superficie de contacto de lugar en el cual ira instalado el DCM, con el objetivo de reducir las vibraciones transmitidas a los componentes.

De igual manera, este dispositivo podrá funcionar como material didáctico, para los alumnos que cursan la asignatura de vibraciones mecánicas en la carrera de Ingeniería Mecánica, en el Instituto Tecnológico de Mérida, para que de esta manera puedan asociar las teorías vistas, con aplicaciones reales

REFERENCIAS

1. Lopez, V., *Diseño y construcción de un gabinete para un dispositivo de comunicación marítima*. 2013.
2. Vargas, G.A., J.E. Vanegas, and P. Thomson, *Diseño y construcción del simulador sísmico uniaxial de la universidad del valle*.
3. Blondet, M. and R. Aguilar. *Seismic protection of earthen buildings. in International Symposium on Earthen Structures*. 2007.
4. Steidel Jr, R., *Introducción al estudio de las vibraciones mecánicas*. Editorial Continental, México, 1991.
5. Seto, W.W. and G.S. Bolívar, *Teoría y problemas de vibraciones mecánicas*. 1970: McGraw-Hill.
6. Higdon, A., W.B. Stiles, and A.W. Davis, *Engineering mechanics: statics and dynamics*. 1968: Prentice-Hall.
7. Sánchez, J.A.R., et al., *Simulador de vibraciones para la realización de mantenimiento predictivo*.
8. Johnson, C.N., *QFD Explicado*. Quality Progress, 2003. 2002: p. 2001.
9. Gurrutia, M.A.H., *Análisis y Diseño del Producto*. 2011.
10. VIÑAS TUBAU, D., et al., *QFD aplicado: competitividad e innovación de cara al mercado*.
11. Yacuzzi, E. and F. Martín, *QFD: Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos*. 2003: CEMA.
12. Goetsch, D.L. and S. Davis, *Despliegue de la Función de Calidad.(Quality Function Deployment)*. Traducción libre del capítulo, 2000. 15.
13. López-Forniés, I. and L. Berges-Muro, *Diseño conceptual de productos*. Dyna, 2012.
14. Cohen, L. and L. Cohen, *Quality function deployment: how to make QFD work for you*. 1995: Addison-Wesley Reading, MA.
15. ROJAS LAZO, O. and L. ROJAS ROJAS, *Diseño asistido por computador*. Ind. data, 2006. 9(1): p. 7-15.
16. Molineaux, J.V., *Desarrollo de proyectos usando CAD*. 2006: Intec.

17. *MI René Ramón Martínez Arroyo, M.R.A.C.y.E., Las Ventajas e Inconvenientes del CAD/CAM. Culcyt//Sistemas Computacionales, 2011.*
18. *Spendolini, M.J., El Proceso del Benchmarking. 2010.*
19. *Delgado Romero, v., Diseño conceptual y de detalle de un dispositivo para ensayos de impacto y precarga a tensión unidireccional en materiales compuestos.*
20. *Díaz, E., Medición y Análisis de Vibraciones. Universidad Simón Bolívar, Chile, 2000: p. 12.*
21. *Callister, W.D., Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Vol. 1. 1995: Reverté.*
22. *Amaya, R., Selección de Motores para Mayor Confiabilidad y Eficiencia Energética. Baldor Electric Company, 2008.*
23. *Lozada, J.C.H., I.R. Zárate, and M.O. Carbajal, Computadoras de Bolsillo como una Alternativa para el Control de Servomotores en Robótica. Polibits, 2008. 38: p. 75-80.*
24. *Kieburz, R., The step motor--The next advance in control systems. Automatic Control, IEEE Transactions on, 1964. 9(1): p. 98-104.*
25. *Material Data ASTM A500 Grade B, shaped structural tubing, MATWEB, Editor. 2013: EUA.*
26. *Pech, M.C.M.A.C., Introducción al diseño de elementos de máquinas, ed. M.G. Hill. Vol. 1. 2010, Merida, Yucatan.*
27. *Mott, R.L., Diseño de elementos de máquinas. 2006: Pearson Publications Company.*
28. *Bautista Hernández, G. and C. Cano Avila, Selección de los variadores de frecuencia en el control de velocidad de motores eléctricos. 2003.*
29. *Kuo, B.C., Sistemas de control automático. 1996: Pearson Educación.*
30. *Erazo Vera, F.R. and S.S. Tapia Calderón, Diseño y construcción de módulos didácticos para la demostración de equipos de control industrial y automatización para la compañía Schneider Electric Ecuador sa. 2005.*

31. *Gutiérrez, C., Á. Orlando, and Á.R. Villacís Salazar, Diseño y Construcción de un Módulo con Variador de Frecuencia para el Control de Velocidad de Motores Asíncronos Jaula de Ardilla Trifásicos para el Laboratorio de Control Industrial. 2011.*
32. *VppM, V. and V. VppM, Software HMI. Automatismos programables industriales: p. 106.*

ANEXOS