

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTIDOR DE PRUEBAS
DE FATIGA BAJO LA CONDICIÓN DE FLEXIÓN ROTATIVA

CHARLES JOSÉ LUIS CABALLERO CASTILLO
OMAR CAMILO HORTÚA DÍAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTIDOR DE PRUEBAS
DE FATIGA BAJO LA CONDICIÓN DE FLEXIÓN ROTATIVA

CHARLES JOSÉ LUIS CABALLERO CASTILLO
OMAR CAMILO HORTÚA DÍAZ

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Director

PEDRO JOSÉ DIAZ GUERRERO

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

*A Dios
Por darme fuerzas para no renunciar a mis sueños
A mi mamita Luz Marina Castillo
Por su incondicional amor, apoyo, comprensión
A mi nonita Alicia Nieves
Por ser parte fundamental en mi formación y creer siempre en mi
A mis tios y primos
Que siempre estuvieron ahí con las palabras precisas de apoyo
Y a esa persona especial
Que estuvo acompañandome y apoyandome durante toda la carrera*

Charles Caballero Castillo

*A Dios
Por la constancia y serenidad que me otorgo en todo momento
A mis padres
Por sus excelentes consejos
A mi hermana
Por su efectividad al brindarme ayuda
Y a ese pilar que siempre me apoyo*

Omar Camilo Hortúa Díaz

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander por otorgarnos una formación integral y conocimiento a través de todo el pregrado sirviéndonos como cimientos en nuestra futura vida profesional.

Al director de proyecto Msc. Pedro José Díaz Guerrero por la asesoría y dedicación que nos brindó oportunamente para poder llevar a cabo exitosamente este proyecto.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	17
1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO DE FATIGA	19
1.1. Módulo de potencia.....	20
1.2. Módulo de prueba	21
1.3. Módulo de carga	22
1.4. Módulo de medición y control	23
1.5. Módulo estructural	25
1.6. Conclusión	26
2. DISEÑO DEL DETALLE DE LOS MÓDULOS	28
2.1. Módulo de Potencia	28
2.1.1. Selección del motor	28
2.1.2. Selección de transmisión de potencia.....	29
2.2. Módulo de prueba	30
2.2.1. Diseño de la Probeta	30
2.2.2. Selección de las copas de torno	31
2.2.3. Diseño de ejes	32
2.2.4. Diseño de la cuña	41
2.2.5. Selección de chumaceras.....	42
2.3. Módulo de carga	43
2.4. Modulo estructural	44
2.4.1. Análisis de frecuencia del bastidor.....	45

2.5. Módulo de medición y control	47
3. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	50
3.1. Modulo estructural	50
3.2. Módulo de pruebas	52
3.2.1. Probetas.....	52
3.2.2. Ejes	53
3.2.3. Plato de acople.....	54
3.2.4. Montaje del módulo de pruebas	55
3.3. Módulo de Potencia.....	56
4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
4.1. Diseño de la prueba	57
4.2. Procedimiento.....	58
4.3. Curva de esfuerzo-vida (S-N).....	59
4.4. Realización de pruebas	60
4.4.1. Primera prueba.....	60
4.4.2. Segunda prueba.....	60
4.4.3. Tercera Prueba	61
4.4.4. Acero 1020	62
4.4.5. Acero 1045.....	66
4.5. Análisis de resultados.....	69
5. CONCLUSIONES	71
Bibliografía.....	74
ANEXOS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Pag.

Figura 1.1.1 Módulos del banco de pruebas	19
Figura 1.6.1 Modelado CAD prototipo banco de pruebas	27
Figura 2.2.1 Dimensiones de la probeta R.R. Moore	31
Figura 2.2.2 Copa de torno	32
Figura 2.2.3 Diagrama de cuerpo libre y momentos "Eje conductor"	33
Figura 2.2.5 Estudio dinámico "Eje conductor"	38
Figura 2.2.6 Estudio de frecuencia "Eje conducido"	41
Figura 2.2.7 Plano de cuña cuadrada	42
Figura 2.2.8 Catálogo de chumacera	43
Figura 2.3.1 Gato mecánico	44
Figura 2.4.1 Estudio de frecuencia "Bastidor"	47
Figura 2.5.1 Contador programable AUTONICS	48
Figura 2.5.2 Temporizador AUTONICS	48
Figura 2.5.3 Plano conexiones "Estrella - Triángulo"	49
Figura 3.1.1 Bastidor	50
Figura 3.1.2 Triángulos de apoyo y base del motor	51
Figura 3.1.3 Guías de la placa flotante	51
Figura 3.2.1 Probeta	52
Figura 3.2.2 Fabricación de ejes	53
Figura 3.2.3 Ejes maquinados	54
Figura 3.2.4 Platos de acople	54
Figura 3.2.5 Chumacera	55
Figura 3.2.6 Alineación de los ejes	55
Figura 3.2.7 Montaje y alineación del módulo de pruebas	56
Figura 3.3.1 Montaje módulo de potencia	56
Figura 4.3.1 Datos de fatiga por flexión, Curva S-N para aceros	59

Figura 4.4.1 Primer probeta fracturada	60
Figura 4.4.2 Montaje correcto de la probeta	61
Figura 4.4.3 Fallo de la probeta	61
Figura 4.4.4 Curva S-N "Acero 1020"	66
Figura 4.4.5 Curva S-N "Acero 1045"	69
Figura 4.5.1 Fracturas en probetas 1020	70
Figura 4.5.2 Fracturas en probetas 1045	70

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.1 Características para el módulo de potencia	20
Tabla 1.2 Componentes del módulo de potencia.....	21
Tabla 1.3 Componentes del módulo de prueba	22
Tabla 1.4 Requerimientos para el módulo de carga	22
Tabla 1.5 Componentes del módulo de carga	23
Tabla 1.6 Componentes del módulo de medición y control	24
Tabla 1.7 Componentes del módulo estructural.....	26
Tabla 2.1 Características del motor	29
Tabla 2.2 Selección del acople	30
Tabla 2.5 Resultados del análisis por resistencia para el diseño del eje	35
Tabla 2.6 Resultado mediante el análisis por velocidades críticas	36
Tabla 2.7 Resultado del análisis de frecuencias del eje conductor.....	39
Tabla 2.8 Factores de selección de chumaceras.....	42
Tabla 2.9 Resultado del análisis de frecuencias del bastidor	45
Tabla 4.1 Datos de las pruebas "Acero 1020"	62
Tabla 4.2 Logaritmo de la variable dependiente e independiente.....	63
Tabla 4.3 Valores corregidos "Acero 1020"	65
Tabla 4.4 Datos de las pruebas "Acero 1045"	67
Tabla 4.5 Valores corregidos "Acero 1045"	68

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo A. Celda de carga	76
Anexo B. Receptor de infrarrojo.....	77
Anexo C. Apuntador laser	79
Anexo D. Display contador programable	80
Anexo E. Temporizador	82
Anexo F. Planos.....	85

RESUMEN

TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTIDOR DE PRUEBAS DE FATIGA BAJO LA CONDICIÓN DE FLEXIÓN ROTATIVA¹

AUTORES

Charles José Luis Caballero Castillo
Omar Camilo Hortúa Díaz²

PALABRAS CLAVES

Banco de fatiga, Fatiga, Norma

DESCRIPCIÓN

La finalidad del proyecto consiste en promover el desarrollo cognitivo en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander más específicamente en el área de fatiga por medio de la investigación, y consecuentemente dotarla de un banco para pruebas de fatiga por flexión rotativa con soporte en viga, dando a interpretar de una manera sencilla y efectiva el fenómeno de fatiga en determinados materiales y con diversas magnitudes de carga, y así permitir un rápido entendimiento por parte del estudiante para la comprensión de este fenómeno, y siendo además un complemento de enseñanza por parte de los profesores en materias relacionadas con este tópico.

El banco de pruebas se diseñó y se fabricó empleando nociones adquiridas a través de todo el pregrado y en asignaturas tales como: diseño de máquinas, resistencia de materiales, materiales, electricidad y electrónica básica. Además, el use de CAD y CAE software fue la base para la creación del diseño y el desarrollo del Proyecto.

El banco de pruebas exhibe un diseño modular, ordenado de la siguiente manera: el primero es el módulo estructural encargado de soportar todos los componentes del sistema, el segundo es el de potencia que entrega la velocidad requerida al módulo de prueba a través de una transmisión por banda, el tercero es el de prueba teniendo como función fracturar la probeta transmitiéndole la carga y velocidad deseada provenientes de los demás módulos, el cuarto es el de carga siendo el responsable de ejercer la fuerza que se le aplica a la probeta, y por último el de medición y control el cual posee sensores que inspeccionan las diferentes variables a tener en cuenta y controlando el apagado del motor cuando finaliza la prueba.

¹Trabajo de grado

²Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Pedro José Díaz Guerrero

SUMMARY

TITLE

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FATIGUE TEST BENCH UNDER ROTATING BENDING CRITERIA³

AUTHORS

Charles José Luis Caballero Castillo
Omar Camilo Hortúa Díaz⁴

KEYWORDS

Fatigue test bench, Fatigue, Norm

DESCRIPTION

The aim of this project consists in promoting the cognitive development in the Mechanical Engineering School of the Universidad Industrial de Santander, specifically through research in the area of fatigue. Consequently, to provide the University with a rotating bending beam fatigue test machine, giving a simple and effective understanding about the phenomenon of fatigue with different materials and various load magnitudes, similarly, allowing a quicker method for students in the learning process of this phenomenon and being a teaching complement for the professors in subjects related to this topic.

This test bench was designed and built using knowledge acquire throughout the undergraduate programme in subjects such as machine design, strength of materials, materials, electricity and basic electronics. Furthermore, the use of CAD and CAE software was the base for creating the design and developing the Project.

The test bench has a modular design, described as follows: the first is the structural module, responsible for supporting all the system components; the second is the power, that gives the required speed to the test module through band transmission; the third is the test, where the specimen is fractured by the transmission of the desired speed and load from the other modules; the fourth is the load, being responsible to apply the force to the specimen, and finally, the measurement and control module, which has all the sensors in charge of measuring all different variables and controlling the motor, switching it off when the test has finished.

³Trabajo de grado

⁴Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Pedro José Díaz Guerrero

INTRODUCCIÓN

La fatiga en los metales ocurre por cargas aplicadas de forma variable o repetida, cuando se aplica una carga máxima para hacer fallar un material esta es mucho menor si se aplica de forma repetida que si fuera una carga estática. En la industria la mayoría de las estructuras y maquinarias están sometidas a cargas dinámicas, aunque los esfuerzos promedios son por lo general bajos, las concentraciones de tensiones pueden generar fallas por fatiga.

La principal característica de los fallos por fatiga, es que no presentan ningún indicio de fallo inminente, las grietas producidas son difíciles de detectar, pero cuando se logran desarrollar causan en muy poco tiempo la fractura completa.

Los concentradores de esfuerzos se pueden dar en cualquier lugar de la pieza solo basta con un pequeño cambio de sección, con una deformidad en la superficie del material, en las ranuras y en los chaveteros en donde podría producirse esta concentración de tensiones.

Para medir cuantitativamente la resistencia a la fatiga de los materiales es necesario hacer ensayos bajo condiciones controladas, para ello se dispone de una gran variedad de máquinas de ensayo de fatiga, desde ensayos en laboratorios con probetas hasta los ensayos a escala normal donde se simulan las cargas en cada estructura. Los ensayos de laboratorio se pueden hacer con probetas lisas o entalladas, a alta o a baja temperatura, o bajo condiciones corrosivas

Podemos afirmar que los análisis de fatiga en su gran mayoría se realizan en máquinas de fatiga de flexión rotativa. Las limitantes de estos tipos de análisis son la geometría de la probeta que se condiciona a ser cilíndrica y los esfuerzos a los que se someten dichas probetas siempre son alternantes.

La fatiga es un fenómeno que se encuentra presente en cualquier sistema mecánico siendo de especial atención y objeto de muchos estudios, que tienen como único objetivo prever un posible comportamiento para distintos ciclos de

vida, bajo la existencia de diferentes intervalos de vida, tal como lo son: el comportamiento como si fuera carga estática, comportamiento de vida finita y comportamiento en vida infinita, las dos últimas circunstancias se encuentran ligadas a la fatiga y son objeto de estudio de la misma, cabe destacar que los materiales ferrosos son solo aquellos que poseen vida infinita. Debido a esto nace en la Universidad Industrial de Santander la finalidad de este proyecto que es estudiar este fenómeno, posterior a la construcción de un banco para pruebas de fatiga por flexión rotativa con soporte en viga que servirá como base a los diferentes docentes en la enseñanza de asignaturas relacionadas con este aspecto.

1. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO DE FATIGA

El banco de fatiga estará compuesto por los siguientes módulos como se indica en la figura (1.0.1) para garantizar el éxito y el cumplimiento de la fractura de probetas.

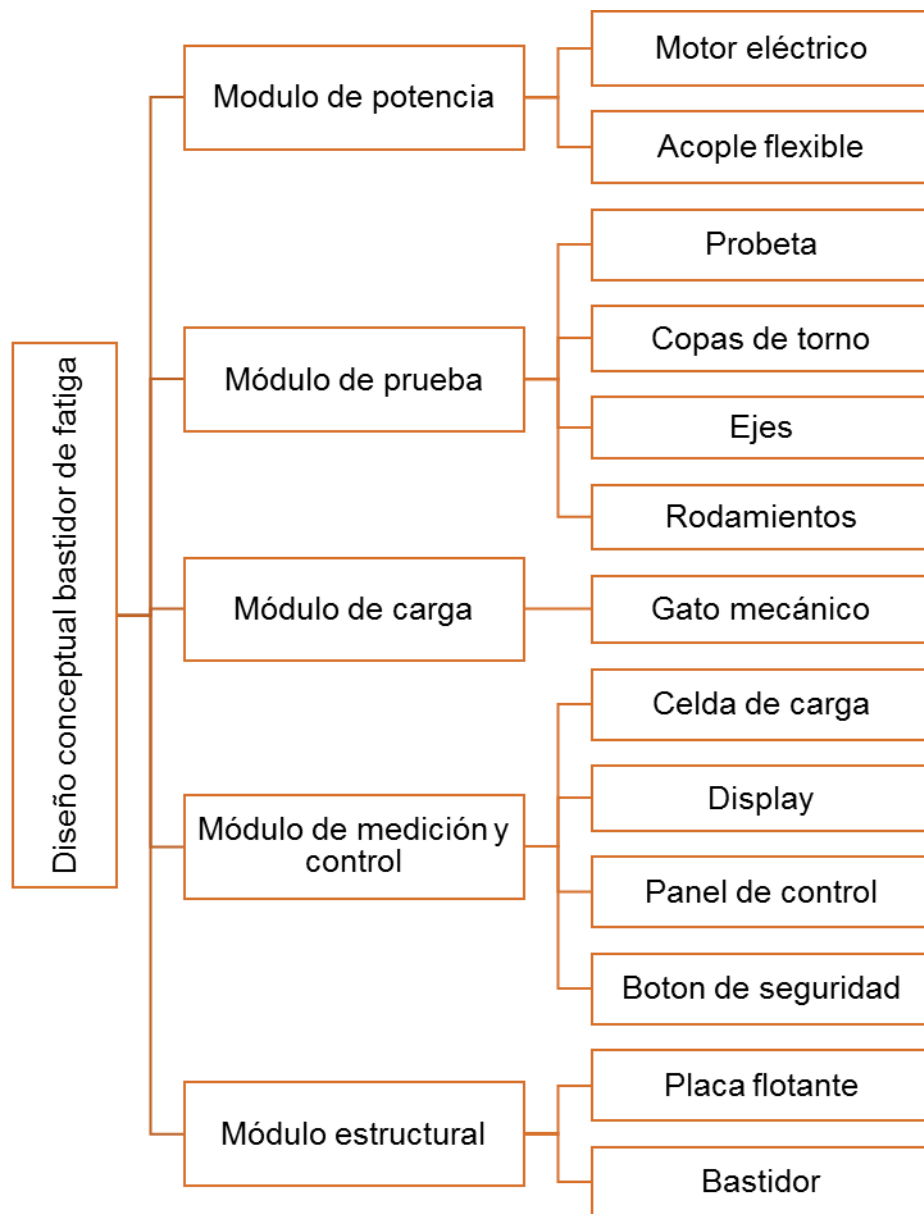


Figura 1.1.1 Módulos del banco de pruebas

Fuente: autores del proyecto

1.1. Módulo de potencia

Función

Entregar la velocidad requerida al módulo de prueba para que éste junto al módulo de carga fracture la probeta de forma idónea. Este módulo de potencia el torque que entrega es muy bajo, por lo que el factor principal de diseño será la velocidad.

Características

En la tabla (1.1) se muestra las características del banco de ensayos.

Tabla 1.1 Características para el módulo de potencia

Características	Especificaciones
<i>Potencia</i>	<i>3/4 hp</i>
<i>Velocidad de rotación</i>	<i>3445 rpm</i>
<i>Tensión de alimentación</i>	<i>Trifásica 220 YY- 440 YV</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>60 Hz</i>
<i>Accesorios para transmisión de potencia</i>	<i>Acople flexible tipo araña</i>

Componentes

De acuerdo a las características mencionadas, los componentes que conforman este módulo son los mostrados en la tabla (1.2).

Tabla 1.2 Componentes del módulo de potencia

Componente	Descripción	Especificaciones
<i>Motor trifásico</i>	<i>Siemens</i>	<i>1LA3</i>
	<i>Potencia</i>	<i>3Hp</i>
<i>Acople flexible</i>	<i>Velocidad</i>	<i>3445 rpm</i>
	<i>Frecuencia</i>	<i>60 Hz</i>
	<i>Material</i>	<i>Hierro fundido fundido</i>
	<i>Relación de velocidad</i>	<i>1:1</i>
	<i>Referencia</i>	

1.2 Módulo de prueba

Función

Soportar la carga aplicada por el sistema mecánico (módulo de carga) y transmitir el movimiento generado por el módulo de potencia a la probeta.

Requerimientos

Para que los resultados de un ensayo de pruebas resulten acertados, es indispensable tener en cuenta factores y requerimientos evidenciados en los siguientes párrafos; al día de hoy algunos ya han sido determinados y evaluados en las normas ASTM.

La norma ASTM E-606, menciona como primer requerimiento que los elementos de sujeción de la probeta deben estar perfectamente alineados, de no ser así se generan esfuerzos axiales indeseados en el ensayo que alteran la lectura de los resultados.

Un segundo requerimiento pero no menos importante es equipar al banco de ensayos de un transductor de fuerza con el cual se miden de una forma exacta la lectura de las diferentes cargas aplicadas a las probetas [1].

Componentes

A continuación en la tabla (1.3) se enuncian los componentes con sus respectivas especificaciones pertenecientes al módulo de prueba.

Tabla 1.3 Componentes del módulo de prueba

Componentes	Descripción	Especificaciones
<i>Eje</i>	<i>Acero</i>	<i>AISI SAE 1045</i>
<i>Chumaceras escualizables</i>	<i>Referencia</i>	<i>UCP 207-20</i>
<i>Copas de torno</i>	<i>Tamaño</i>	<i>80mm x 5/8"</i>
<i>Probeta</i>	<i>Tipo</i>	<i>RR Moore</i>

1.3 Módulo de carga

Función

Por medio de la fuerza mecánica se aplica una presión para fracturar la probeta; esta fuerza es variable y se ejerce sobre la placa flotante.

Requerimientos

La tabla (1.4) muestra el requerimiento que necesita entregar al módulo de prueba.

Tabla 1.4 Requerimientos para el módulo de carga

Características	Especificaciones
<i>Carga máxima que se aplica a la placa</i>	<i>200 Lb</i>

Componentes

Para cumplir los requerimientos de la prueba, el modulo está provisto de un único elemento que es el gato mecánico con especificaciones enunciadas en la tabla (1.5) teniendo en cuenta no exceder la carga máxima permitida para la correcta realización de la prueba.

Tabla 1.5 Componentes del módulo de carga

Componentes	Descripción	Especificaciones
<i>Gato mecánico</i>	<i>Capacidad</i>	<i>1 Tonelada</i>
	<i>Altura max.</i>	<i>35 cm</i>

1.4 Módulo de medición y control

Función

Se encarga de medir la fuerza ejercida sobre la probeta, contar el número de ciclos y suspender la alimentación eléctrica al motor en el momento en que ésta se fractura.

Requerimientos

Para la medición y el control de parámetros se recurre al acondicionamiento de dispositivos eléctricos y electrónicos que posibilitan ciertas acciones como la medición de ciclos y magnitud de carga, apagado de emergencia del motor y al momento de la fractura.

Componentes

La medición de la carga sobre el módulo de prueba se realiza por medio de una celda de carga tipo “S”, la cual proporciona una salida digital, con una resolución de 0.1 kg, siendo conectada al display (indicador multifuncional de solo peso) por un puerto de transferencia de datos (DB9 macho proveniente de la celda), visualizando así la carga ejercida por parte del gato mecánico en cada prueba realizada.

La toma de datos se realiza de forma manual, debido a que este módulo solo exhibe al usuario los datos en tiempo real más no posee memoria; se varia la magnitud proveniente del módulo de carga (sección 1.3) para cada prueba, con el propósito de obtener las curvas S-N junto al dato del número de ciclos mostrado por otro display y medido por un sensor denominado optoacoplador.

A continuación se enuncian los componentes que integran el módulo de control y medición en la tabla (1.6).

Tabla 1.6 Componentes del módulo de medición y control

Componentes	Descripción	Especificaciones
<i>Celda de carga</i>	<i>Lexus</i> <i>Capacidad</i> <i>Voltaje excitación</i>	<i>SA-200</i> <i>200 kg</i> <i>5 a 12 V DC o AC</i>
<i>Indicador de solo peso</i>	<i>Lexus</i> <i>Rango de señal de entrada</i> <i>Unidades</i> <i>Interface</i>	<i>Matrix</i> <i>0 a 3 mV/V</i> <i>Kg</i> <i>RS 232</i>
<i>Display</i>	<i>LCD</i>	<i>12 x 2 dígitos</i>
<i>Contactador</i>	<i>120 – 130 V</i>	

<i>Laser</i>	<i>Apuntador</i>	<i>Diodo laser rojo</i>
<i>Receptor de luz</i>	<i>Haz de luz laser</i>	Fototransistor NPN de silicio
<i>Sensor de proximidad inductivo</i>	<i>Contador de revoluciones AUTONICS</i>	<i>PSN17-8DN</i>
<i>Contador digital programable</i>	<i>AUTONICS</i>	<i>CT6S-1P4 de 6 dígitos</i>
<i>Panel de control</i>	<i>Pulsadores</i>	<i>Botón de encendido</i> <i>Botón de apagado</i>
<i>Arreglo estrella-triángulo</i>	<i>Contactores</i> <i>Temporizador</i> <i>AUTONICS</i>	<i>220V/12A</i> <i>ATE10S</i>

1.5 Módulo estructural

Función

Soporta todos los elementos que componen el banco de pruebas, y atenúa las vibraciones que se producen por efecto de la flexión rotativa a alta velocidad que pueden provocar alteraciones en la lectura.

Requerimientos

El diseño se realiza considerando los factores más importantes que definen a las máquinas de ensayos como lo son la estabilidad, la alineación, el peso y la capacidad de absorber vibraciones.

Componentes

El módulo estructural se compone de dos elementos mostrados en la tabla (1.7).

Tabla 1.7 Componentes del módulo estructural

Componentes	Descripción	Especificaciones
<i>Bastidor</i>	<i>Material</i>	<i>Acero A36</i>
	<i>Peso</i>	<i>94 Kg</i>
<i>Placa flotante</i>	<i>Peso</i>	<i>5.4 Kg</i>

1.6 Conclusión

Luego de haber concluido el análisis conceptual se propone el siguiente prototipo de un bastidor de pruebas de fatiga, indicándose los diferentes módulos que conforman dicho prototipo en la figura (1.6.1), los cuales fueron enunciados y estudiados anteriormente.

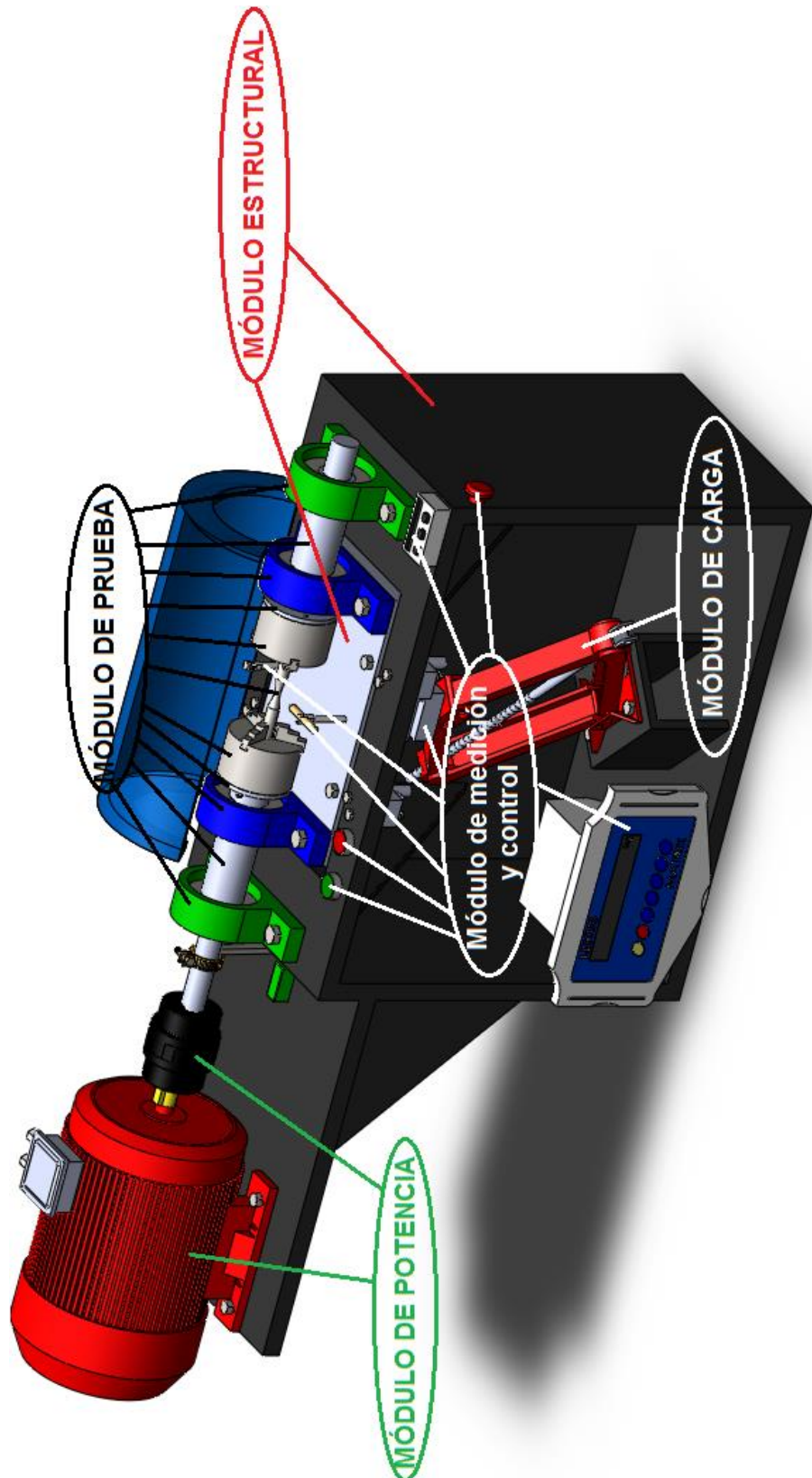


Figura 1.6.1 Modelado CAD prototipo banco de pruebas

Fuente: autores del proyecto

2 DISEÑO DEL DETALLE DE LOS MÓDULOS

El presente capítulo se basa en el diseño conceptual mencionado en el capítulo anterior y hace referencia al diseño y selección de cada uno de los componentes que hacen parte de los módulos de la máquina. En algunos casos la selección se hace por catálogos y en otros los elementos son construidos a partir de los cálculos pertinentes para diseñar los elementos del sistema.

2.1. Módulo de Potencia

Aquí se selecciona el motor, y el sistema de poleas bandas de acuerdo a los requerimientos del ensayo.

2.1.1. Selección del motor

La selección del motor se hace de acuerdo a las recomendaciones dadas por la SIEMENS donde se tiene en cuenta el lugar de instalación, el tipo de trabajo y el arranque. Con las consideraciones anteriores se selecciona el modelo 1LA3090-2YA80, siendo éste un motor trifásico de 3Hp, con velocidad nominal de 3445 rpm y con arranque directo. Complementando las anteriores especificaciones se adiciona la tabla (2.1).

El arranque directo hace posible que se haga por medio de un contactor y debido a que la red con la que cuenta el lugar de instalación es de 220V el motor se conecta en triángulo.

Tabla 2.1 Características del motor

Descripciones	Especificaciones
<i>Potencia del motor</i>	3/4 Hp
<i>Velocidad nominal del motor</i>	3445 rpm
<i>Factor de servicio</i>	1,15
<i>Eficiencia</i>	76.8 %
<i>Factor de potencia</i>	0,85
<i>Tensión</i>	220/440 V
<i>Corriente nominal (220 V)</i>	9 A
<i>Frecuencia</i>	60 Hz
<i>Tn/Ta</i>	6.2/3.5 Nm

2.1.2. Selección de transmisión de potencia

Es la encargada de llevar la potencia y la velocidad desde el motor hasta el módulo de pruebas. En este tipo de ensayos se recomienda utilizar una transmisión directa con acoples flexibles tipo araña.

Selección del acople

De acuerdo al catálogo de acoples SKF los más recomendados y generalmente usados son los acoples flexibles tipo araña que permiten cierta desalineación de los ejes y transmiten prácticamente solo el par torsión [5].

Tabla 2.2 Selección del acople

Descripciones	Especificaciones
<i>Potencia del motor</i>	<i>3/4 Hp</i>
<i>Velocidad nominal del motor</i>	<i>3445 rpm</i>
<i>Relación</i>	<i>1:1</i>
<i>Diámetro mayor</i>	<i>80 mm</i>
<i>Diámetro de polea menor</i>	<i>65 mm</i>
<i>Longitud</i>	<i>111</i>
<i>RPM permisibles</i>	<i>7,100</i>
<i>Torque nominal (Tn)</i>	<i>1,682 lbs-in</i>
<i>Torque de diseño (Td)</i>	<i>3,363 lbs-in</i>

2.2. Módulo de prueba

El éxito de cualquier ensayo de fatiga radica en el correcto funcionamiento de su módulo de pruebas, allí es donde se evalúan directamente las características mecánicas de los materiales de las probetas, por tal motivo para el diseño de este módulo se realiza una investigación profunda de cada una de las especificaciones que se requieren. El diseño de las probetas, de los sistemas de sujeción, de los sistemas de soporte y rodadura, y de los ejes (conductor y conducido), implica que se desarrollen con la misma efectividad y basados en normas y especificaciones estandarizadas internacionalmente, de no ser así los resultados de las pruebas no serían confiables.

2.2.1. Diseño de la Probeta

El diseño de la probeta se hace de acuerdo al tipo de ensayo al que es sometida, para los ensayos RR Moore de fatiga las probetas conservan el mismo nombre pero el diseño difiere según el tipo de carga que se le aplica.

Para el ensayo de fatiga en viga la norma ASTM E-606 da las especificaciones del diseño de las probetas.

Las probetas son fabricadas en torno CNC con el cual se consigue una perfecta simetría y complementándolo con un lijado otorgan un acabado superficial óptimo. La preocupación que genera una probeta con un acabado superficial deficiente es la aparición de porosidades en un grado mayor al aceptable, y son estos poros los principales concentradores de esfuerzos que durante la prueba generaran las primeras fisuras y la fractura del material no tendrá lugar en donde la prueba lo requiere, alterando así lectura de los resultados.

La probeta de ensayos mostrada en la figura (2.2.1), es diseñada bajo los criterios de la norma ASTM E-606 en su numeral 7.1 (*Especimens Design*)[1].

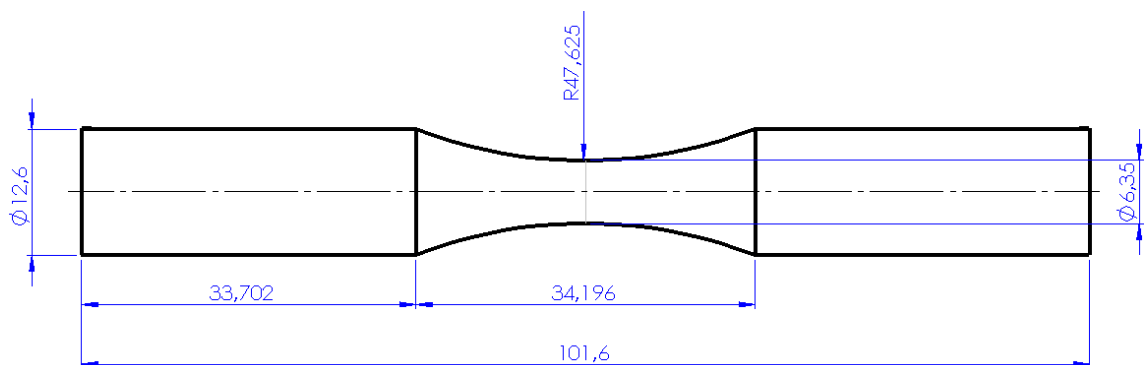


Figura 2.2.1 Dimensiones de la probeta R.R. Moore

Fuente: autores del proyecto

2.2.2. Selección de las copas de torno

Las copas de torno se seleccionan de acuerdo a la probeta diseñada anteriormente, teniendo en cuenta factores como los puntos de sujeción y el diámetro del elemento a sujetar.

Ya seleccionadas las copas de torno con diámetro exterior de 80mm, con un diámetro óptimo de sujeción de 5/8 de pulgada y con tres mordazas autocentrantes que hacen el contacto con las probetas de ensayo (figura 2.2.2),

se procede a diseñar un elemento de acople entre las copas y los ejes, para tal fin se fabrica una placa con buje mecanizada en una sola pieza. El plato se sujeta a la copa por medio de tornillos y el buje que servirá de acople al eje, asegurado con prisioneros. Por último los elementos de sujeción se alinean perfectamente para evitar que se produzcan fuerzas no deseadas en los ensayos que alteren el verdadero comportamiento de la fractura de las probetas.



Figura 2.2.2 Copa de torno

Fuente: autores del proyecto

2.2.3. Diseño de ejes

Para el diseño del eje se considera tres alternativas o métodos de análisis, los cuales son: Análisis por deflexión, análisis por resistencia, análisis por velocidades críticas, análisis dinámico y finalmente análisis de frecuencia.

En las siguientes figuras (2.2.3 y 2.2.4) se muestra los diagramas de cuerpo libre de los ejes y a la vez el diagrama de momentos flectores donde se puede identificar fácilmente la zona que está sometida al mayor momento flector,

siendo esta zona el objeto principal en los análisis enunciados anteriormente y calculados más adelante.

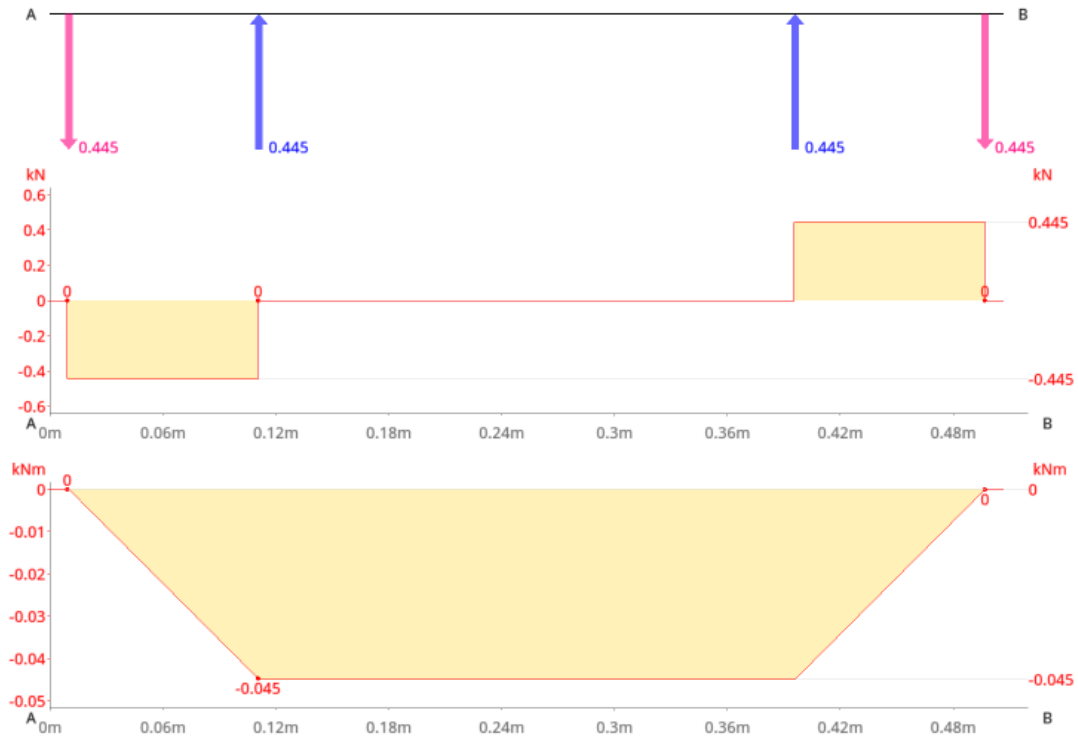


Figura 2.2.3 Diagrama de cuerpo libre y momentos del sistema

Fuente: autores del proyecto

2.2.3.1. Análisis por deflexión

El análisis por deflexión se efectúa en el punto más crítico del eje siendo la sección final de cada eje en la que va soportada el plato para torno, presentándose en dicha sección un momento máximo $M = 332 \text{ N.m}$ y torque $T = 14.23 \text{ N.m}$. Conforme a la teoría del máximo esfuerzo cortante se estimó el diámetro más pequeño por el cual empezará a ocurrir la falla [2].

$$d = \left(\frac{32 n_s}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + T^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

El factor de seguridad sugerido para estos cálculos fue es $N_s = 2$ y el material escogido para la manufactura del eje será acero AISI SAE 1045 con resistencia a la fluencia $S_y = 310 \text{ Mpa}$, obteniendo así un diámetro de $d = 0.0279 \text{ m}$.

2.2.3.2. Análisis por resistencia

El análisis por resistencia se realiza utilizando Von Misses [4] y a su vez teniendo en cuenta los factores de diseño para resistencia a la fatiga:

$$\frac{1}{N} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{S_u} + K_f \frac{\sigma_a}{S_n} \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{0.8S_u} + K_{f_s} \frac{\sqrt{3}\tau_a}{S_n} \right)^2}$$

Para solucionar esta ecuación debido a que es implícita, se asume un factor de seguridad obteniendo así un diámetro mínimo para el eje, se normaliza éste y finalmente se adquiere el factor de seguridad conforme al nuevo diámetro. El diámetro normalizado que se obtuvo por medio de este método de análisis es de $d = 0.03 \text{ m}$, calculando posteriormente el factor de seguridad es $N_s = 2.01$, para la manufactura de estos ejes se seleccionó el acero AISI 1045.

En la tabla (2.5) se presenta de forma concisa los resultados obtenidos al realizar el análisis por resistencia y datos necesarios concerniente a la manufactura de los ejes.

Tabla 2.3 Resultados del análisis por resistencia para el diseño del eje

Descripción	Valor
Torque máximo (T)	0.11 N.m
Momento máximo (M)	332 N.m
Material seleccionado	AISI 1045
Resistencia a la rotura (S_u)	565 Mpa
Resistencia a la fluencia (S_y)	310 Mpa
Limite a la fatiga (S_e')	282.5 M Pa
Limite a la fatiga modificado (S_e)	86.03 M Pa
Factor de seguridad (N_s)	2.01
Diámetro normalizado	0.03 m

2.2.3.3. Análisis por velocidad crítica

La frecuencia natural más baja también es conocida como la primera velocidad crítica y la forma de encontrar esta velocidad es analizando la razón de intercambio entre las energías cinética y potencial del sistema, durante su movimiento periódico. Este análisis de velocidad crítica se debe realizar porque todos los ejes presentan durante su movimiento cíclico una magnitud de deflexión que varía dependiendo de la rigidez del eje y de sus soportes, de la masa del eje y de los componentes que lo acompañan, y de la capacidad del sistema por absorber vibraciones (amortiguación).

Para cualquier eje se pueden hallar infinidad de velocidades críticas, pero para cuestiones de diseño con la primera velocidad crítica que se halle es suficiente, teniéndola como referencia para evitar que el eje llegue a tal velocidad.

Para el caso del banco de pruebas de fatiga en viga se halla la primera velocidad crítica del eje bajo el método aproximado de Rayleigh [2] y se

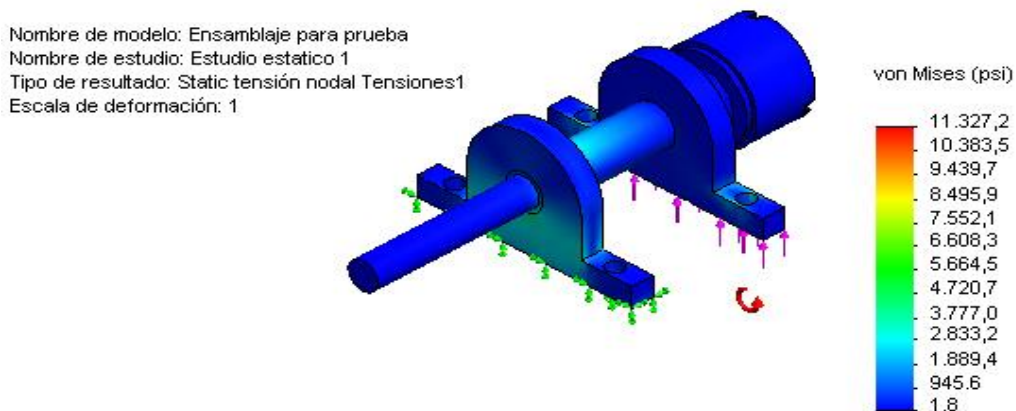
considera como un sistema de masa múltiple, el resultado de la velocidad crítica obtenida se observa en la tabla (2.6).

Tabla 2.4 Resultado mediante el análisis por velocidades críticas

Elemento	Deflexión	Frecuencia	Velocidad crítica
<i>Eje conductor</i>	$3,941 \times 10^{-5} \text{ in}$	498 Hz	29885 rpm

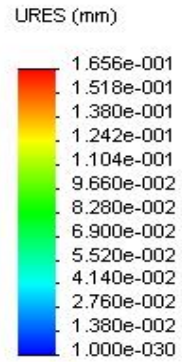
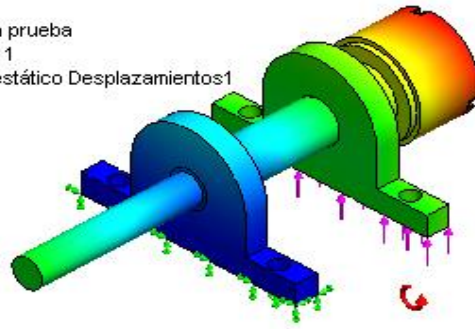
2.2.3.4. Análisis Dinámico

Por medio del análisis dinámico que se realiza en SolidWorks Simulation se evalúa el comportamiento del eje donde se simulan las cargas externas que se le aplica al mismo; tales como momentos, velocidad angular y sujeciones, como resultado el software arroja un análisis de tensiones, desplazamientos, deformaciones unitarias, factor de seguridad y fatiga, permitiendo conocer diversos aspectos del comportamiento del modelo, antes de realizar prototipos físicos, posibilitando la optimización del diseño.



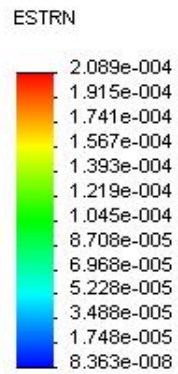
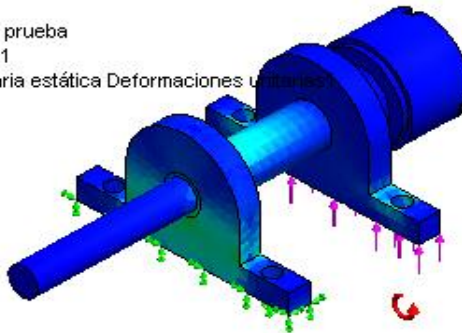
(a) Estudio de tensiones

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio estatico 1
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



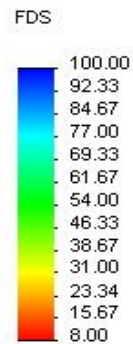
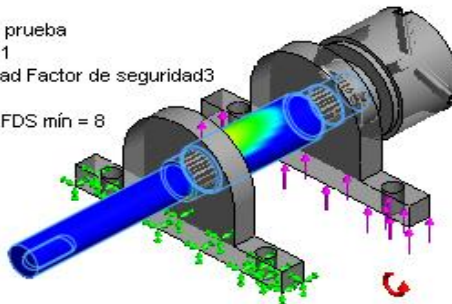
(b) Estudio de desplazamientos

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio estatico 1
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones Unitarias1
 Escala de deformación: 1



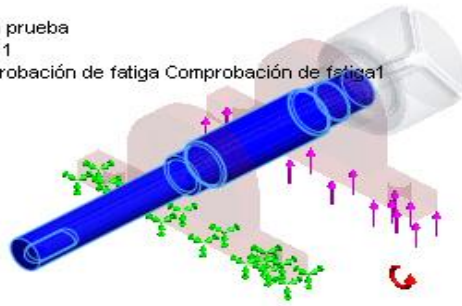
(c) Estudio deformaciones unitarias

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio estatico 1
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad3
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8



(d) Estudio factor de seguridad

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
Nombre de estudio: Estudio estatico 1
Tipo de resultado: Trazado de comprobación de fatiga Comprobación de fatiga1



(e) Estudio de fatiga

Figura 2.2.4 Estudio dinámico "Eje conductor"

Fuente: autores del proyecto

En la figura (2.2.5) se muestran los diferentes análisis realizados al eje, considerando las cargas y los efectos que en él se producen. En la figura(a) de acuerdo a la ecuación Von Mises se calcula la tensión máxima que soporta el eje arrojando un valor de 11.327 psi, la figura (b) corresponde al desplazamiento que es evidentemente marcado en el extremo donde se sitúa la copa de sujeción de la probeta lo que indica que el efecto favorece a la tensión requerida en la prueba, ideal para generar la fractura; la figura (c) corresponde a la deformación unitaria y en la cual no se evidencia criticidad del eje, la figura(d) calcula el factor de seguridad dando un valor mínimo de 8 que asegura que el eje no falla durante la prueba, y por último la figura (e) muestra un análisis de fatiga que no presenta criticidad a lo largo del eje.

2.2.3.5. Análisis de frecuencia

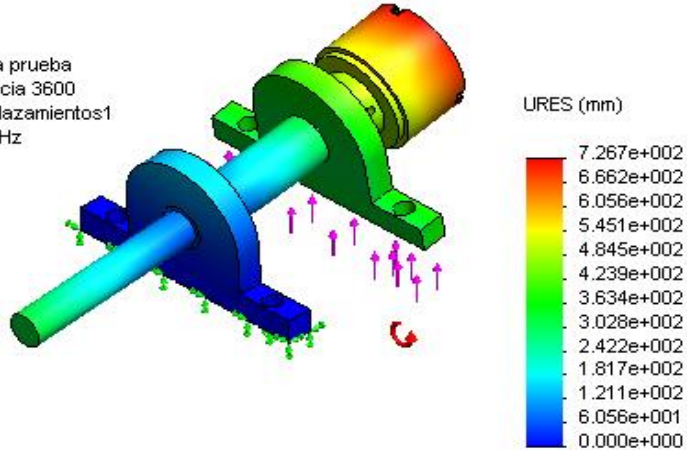
Se realiza un análisis de frecuencia donde se estudian frecuencias propias y formas modales del eje, impidiendo el colapso del modelo, operándolo cuidadosamente a frecuencias diferentes a la natural.

En la tabla (2.7) se observan los resultados del análisis de frecuencias y en la figura (2.2.6), las gráficas correspondientes a cada una de las frecuencias obtenidas en *Solid Works Simulation*[2], para una velocidad de 3600 rpm.

Tabla 2.5 Resultado del análisis de frecuencias del eje conductor

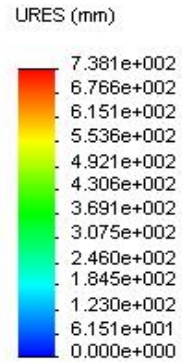
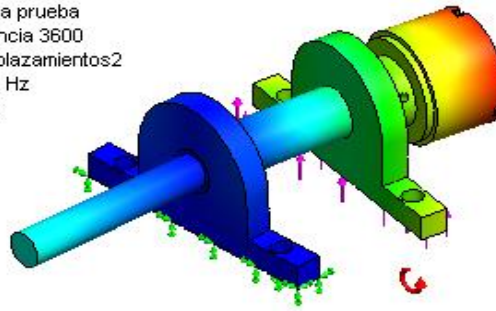
Nombre de estudio: Estudio Frecuencia				
Nº de modo	Frecuencia (rpm)	Frecuencia (Hertz)	Período (Segundos)	Figura
1	11905	198.42	0.0050398	2.2.6a
2	14733	245.56	0.0040723	2.2.6b
3	47745	795.76	0.0012567	2.2.6c
4	47817	796.96	0.0012548	2.2.6d
5	51025	850.43	0.0011759	2.2.6e

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia 3600
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos1
 Forma modal: 1 Valor = 198.42 Hz
 Escala de deformación: 0.049952



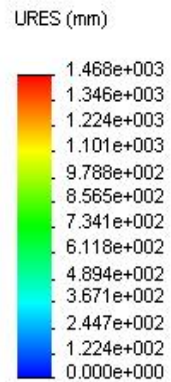
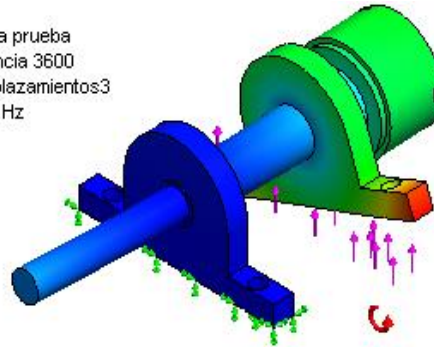
(a) Primer modo de frecuencia

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia 3600
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos2
 Forma modal: 2 Valor = 245.56 Hz
 Escala de deformación: 0.0482312



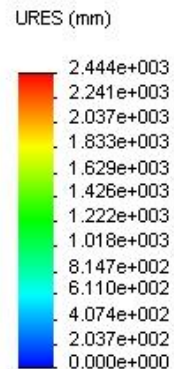
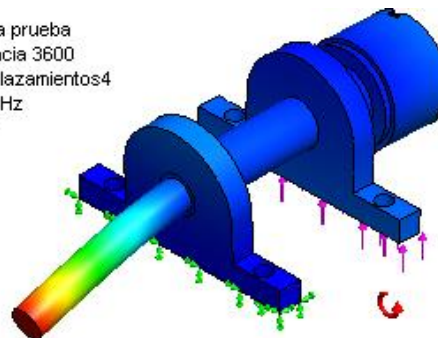
(b) Segundo modo de frecuencia

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia 3600
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos3
 Forma modal: 3 Valor = 795.76 Hz
 Escala de deformación: 0.026777



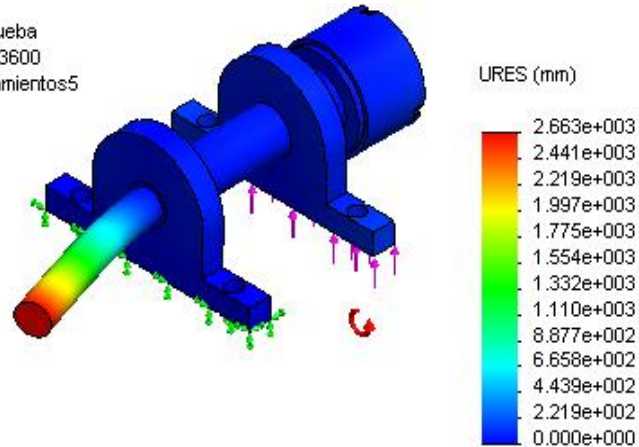
(c) Tercer modo de frecuencia

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia 3600
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos4
 Forma modal: 4 Valor = 796.96 Hz
 Escala de deformación: 0.0143782



(d) Cuarto modo de frecuencia

Nombre de modelo: Ensamblaje para prueba
Nombre de estudio: Estudio frecuencia 3600
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos5
Forma modal: 5 Valor = 850.43 Hz
Escala de deformación: 0.0131101



(e) Quinto modo de frecuencia

Figura 2.2.5 Estudio de frecuencia “Eje conducido”

Fuente: autores del proyecto

Como se puede observar en la tabla (2.7) la frecuencia natural más baja a la cual el sistema se encuentra en riesgo es 198,42 Hz, y el sistema opera a un poco más de 3445 rpm equivalentes a 58Hz.

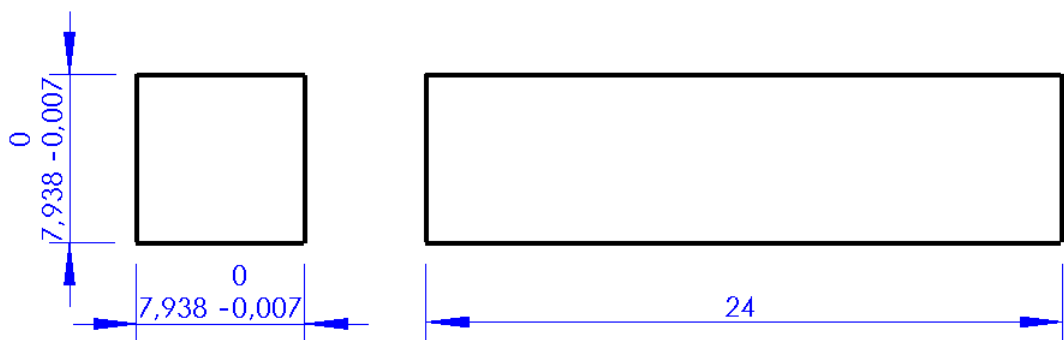
Con el análisis de frecuencias se hace una comparación de los dos ensayos llevados a cabo y que se evidencian en el capítulo 5, donde se demuestra que para el primero de ellos donde el sistema opera a una velocidad mayor a 10.000 rpm y su primer modo de frecuencia critica se halla a los 11800 rpm, la prueba se estaría realizando muy cercano al límite crítico por lo que se concluyó que dicha prueba no sería viable para tal velocidad. Por otro lado la siguiente prueba se realizó a una velocidad de 3445 rpm, estando este valor muy por debajo del crítico y brindando confianza en la realización de los ensayos.

2.2.4. Diseño de la cuña

En el diseño de la chaveta y el chavetero de determinado sistema conformado por dos piezas concéntricas que desean eliminar el deslizamiento de una de las piezas sobre la otra se realiza bajo dos criterios principalmente,

el diámetro de contacto entre las dos piezas y la aplicación del movimiento angular, es decir, si se requiere para un sistema con alto torque y bajas revoluciones o viceversa, que es el caso del banco de pruebas[4].

Se conoce que el diámetro de contacto es el diámetro mínimo con el que se diseñó el eje 30mm y la velocidad del eje es mayor a 3445 rpm.



Dimensiones en mm.

Figura 2.2.6 Plano de cuña cuadrada

Fuente: autores del proyecto

2.2.5. Selección de chumaceras

Para la selección de los sistemas de rodadura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales como lo son la carga a soportar, la velocidad a la que va a estar sometido y el diámetro del eje soportado.

Tabla 2.6 Factores de selección de chumaceras

Factores de selección	Magnitud
Carga	19.907 N
Velocidad de rotación	3445 rpm
Diámetro del eje	30 mm

Según los factores de selección mostrados en la tabla (2.8). La chumacera seleccionada es de la compañía SNR con una carcasa de hierro fundido y un anillo interior ancho. El rodamiento que posee es referencia UC207-20 con juego interno C4 que da cabida a la expansión térmica, es por esto que la chumacera admite velocidades y temperaturas altas. La chumacera seleccionada se observa en la figura (2.2.8).

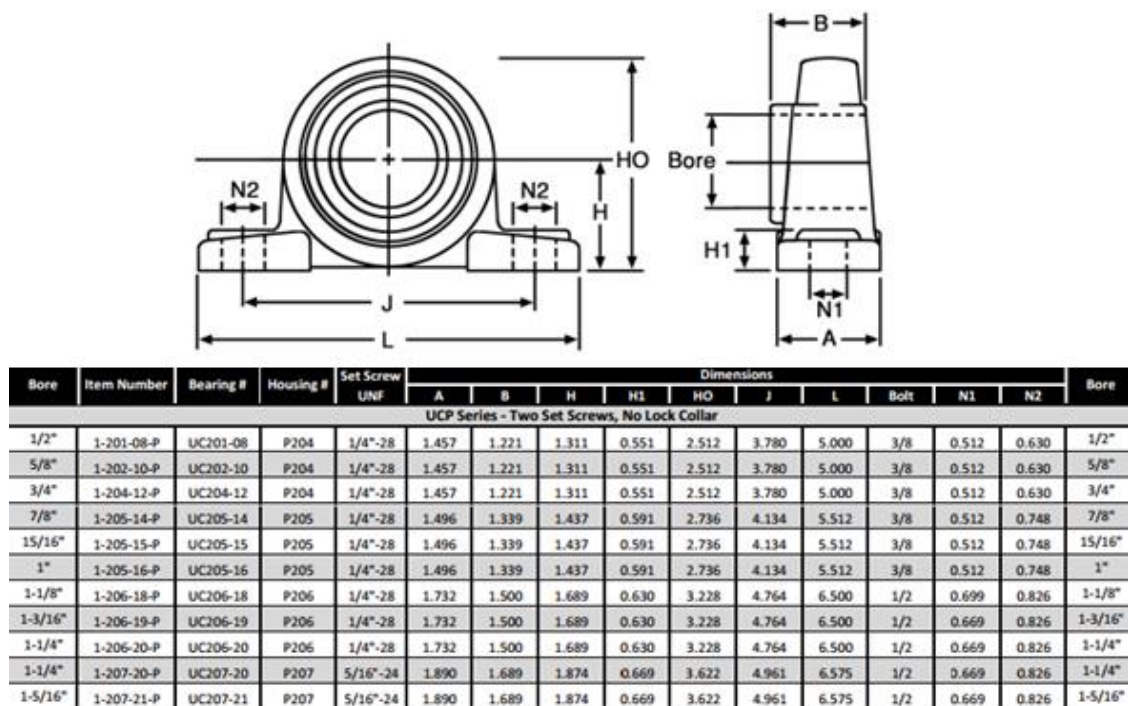


Figura 2.2.7 Catálogo de chumacera

Fuente: www.bearingson.com

2.3. Módulo de carga

Para encontrar un elemento capaz de generar una fuerza igual o mayor a la requerida para la máquina de ensayos de fatiga se consideraron varias opciones, pero por su practicidad y su fácil accionamiento se implementa un gato mecánico de tornillo (figura 2.3) con capacidad de generar una fuerza de 1 Ton, suficientes para reventar las probetas anteriormente diseñadas.

El gato mecánico presenta la ventaja que al ser utilizado junto a una celda de carga se puede regular fácilmente la carga aplicada, que para los objetivos del proyecto es importante porque las pruebas a realizar se pueden hacer a diferentes magnitudes de carga.

Un criterio de selección del módulo de carga además de su capacidad de fuerza máxima son sus dimensiones que no deben superar las dimensiones de altura del bastidor.

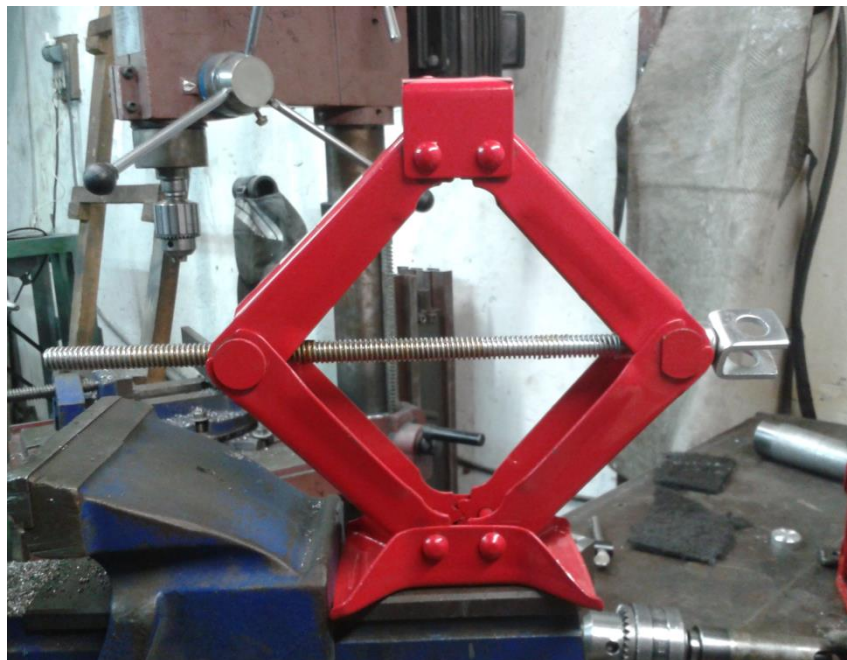


Figura 2.3.1 Gato mecánico

Fuente: autores del proyecto

2.4. Modulo estructural

La estructura de cualquier máquina requiere de un diseño y unas consideraciones especiales, es allí donde se soporta el peso de los demás componentes, otorgando rigidez y estabilidad a todo el sistema.

Las vibraciones se generan por los movimientos repetitivos, el problema está en que cuando dichas vibraciones que son generadas por la fuente coinciden

con la frecuencia natural de la estructura se genera un fenómeno llamado resonancia, que sería destructivo para cualquier sistema resonador. Un cuerpo resonador tiene tantas frecuencias naturales como grados de libertad posea, es por ello que se requiere un análisis modal donde se determinan las frecuencias naturales y los modos de vibración para ser tenidos en cuenta durante el proceso de diseño de la estructura.

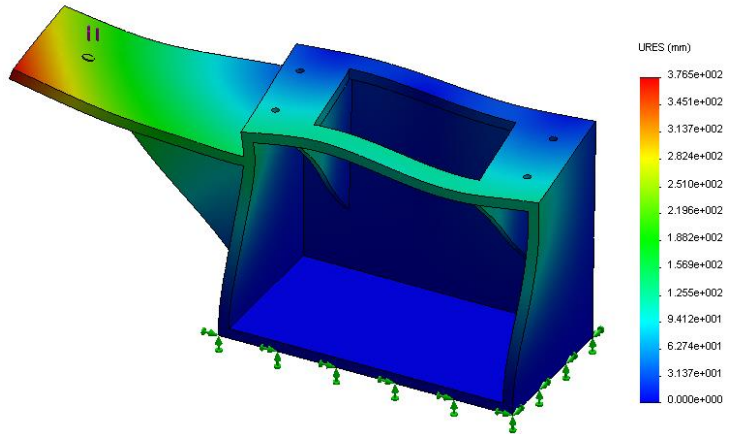
2.4.1. Análisis de frecuencia del bastidor

En la actualidad existen herramientas que ayudan a calcular las frecuencias antes de empezar la construcción de cualquier tipo de máquina, por eso con la ayuda de Solid Works Simulation se realiza un análisis de frecuencia donde se dan a conocer las frecuencias propias y las formas modales del modelo, evitando que el modelo entre en resonancia por el rediseño de la geometría, las propiedades del material y las restricciones establecidas.

Tabla 2.7 Resultado del análisis de frecuencias del bastidor

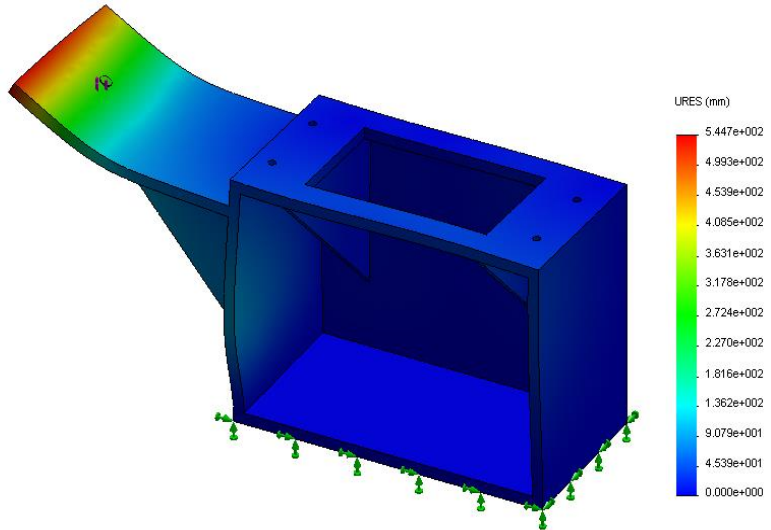
Nombre de estudio: Estudio Frecuencia				
Nº de modo	Frecuencia (rpm)	Frecuencia (Hertz)	Período (Segundos)	Figura
1	13152	219.21	0.0045619	2.4.1a
2	18086	301.44	0.0033174	2.4.1b
3	29580	493.65	0.0020257	2.4.1c
4	30840	514.61	0.0019432	2.4.1d

Nombre de modelo: Bastidor prueba final con angulos
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia bastidor ultimo
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos1
 Forma modal: 1 Valor = 219.21 Hz
 Escala de deformación: 0.391341



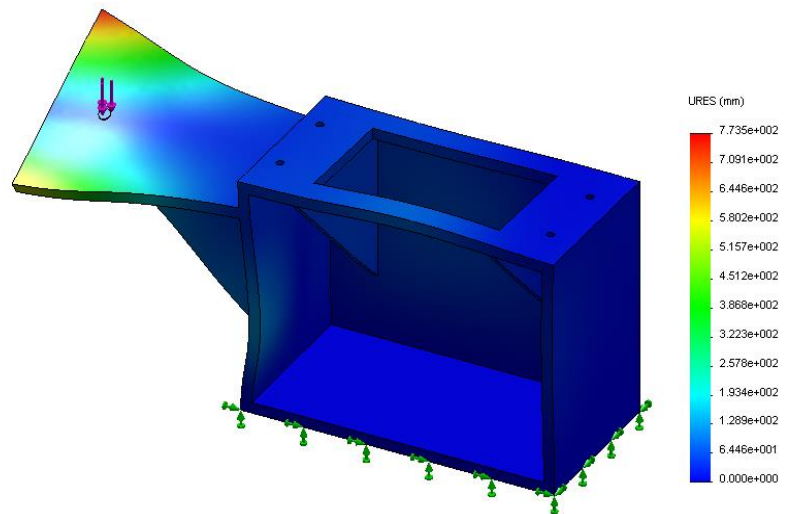
(a) Primer modo de frecuencia

Nombre de modelo: Bastidor prueba final con angulos
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia bastidor ultimo
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos2
 Forma modal: 2 Valor = 301.44 Hz
 Escala de deformación: 0.191115



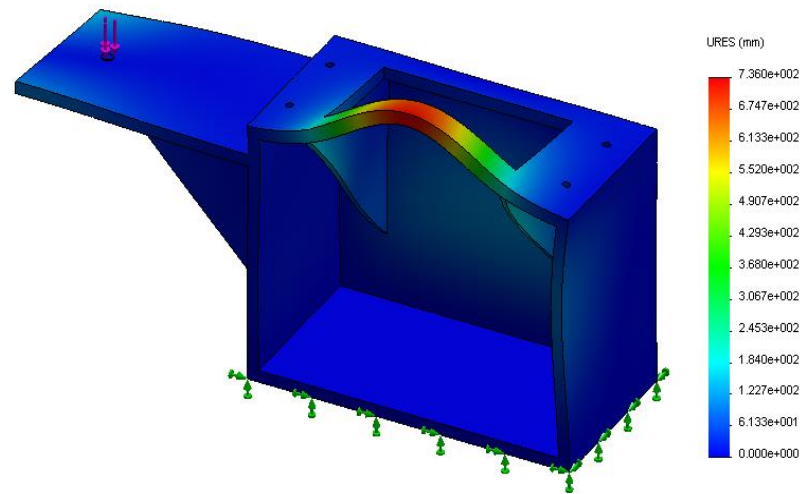
(b) Segundo modo de frecuencia

Nombre de modelo: Bastidor prueba final con angulos
 Nombre de estudio: Estudio frecuencia bastidor ultimo
 Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos3
 Forma modal: 3 Valor = 493.65 Hz
 Escala de deformación: 0.130176



(c) Tercer modo de frecuencia

Nombre de modelo: Bastidor prueba final con angulos
Nombre de estudio: Estudio frecuencia bastidor ultimo
Tipo de resultado: Frecuencia Desplazamientos4
Forma modal: 4 Valor = 514.61 Hz
Escala de deformación: 0.136529



(d) Cuarto modo de frecuencia

Figura 2.4.1 Estudio de frecuencia “Bastidor”

Fuente: autores del proyecto

2.5. Módulo de medición y control

El módulo de medición y control es quizá uno de los más importantes porque los datos y la precisión que se obtengan de éste definen en gran parte la fiabilidad de la prueba, en consecuencia se selecciona los componentes descritos en la sección (1.4).

El momento en que la probeta se fractura es captado por un sensor óptico, conformado por un apuntador y un receptor, estos elementos van a la altura de la probeta, que al romperse permite el paso del rayo siendo esta la señal que interrumpe el paso de energía al motor. El apuntador es un diodo laser rojo con poder óptico de 5mW y longitud de onda visible de 650nm. El receptor es un fototransistor NPN de silicio (fotointerruptor) con capacidad de leer longitudes de onda entre 470nm y 1080nm.

Para el conteo del número de giros que el eje realiza hasta el momento en que la probeta es fracturada se usa un sensor de proximidad inductivo PSN17-8DN, que es accionado por una aleta acondicionada al eje, cuando esto ocurre

el sensor envía pulsos a un contador programable CT6S-1P4 de AUTONICS de 6 dígitos (Figura 2.5.1).



Figura 2.5.1 Contador programable AUTONICS

Fuente: www.autonics.com

Para la medición de la carga aplicada al módulo de pruebas, se utiliza un conjunto electrónico conformado por un transductor de fuerza tipo S con capacidad máxima de 200 Kg y un visualizador LEXUS (indicador de solo peso). Esta selección es realizada con base en la norma ASTM E606 en su numeral 6.5 “Force Transducers”[1].

Para el arranque del motor se utiliza un arreglo estrella-triángulo totalmente automático, que se compone por un conjunto de 3 contactores de 220V y un temporizador AUTONICS ATE10S (Figura 2.5.2), visualizando el montaje en la figura (2.5.3).



Figura 2.5.2 Temporizador AUTONICS

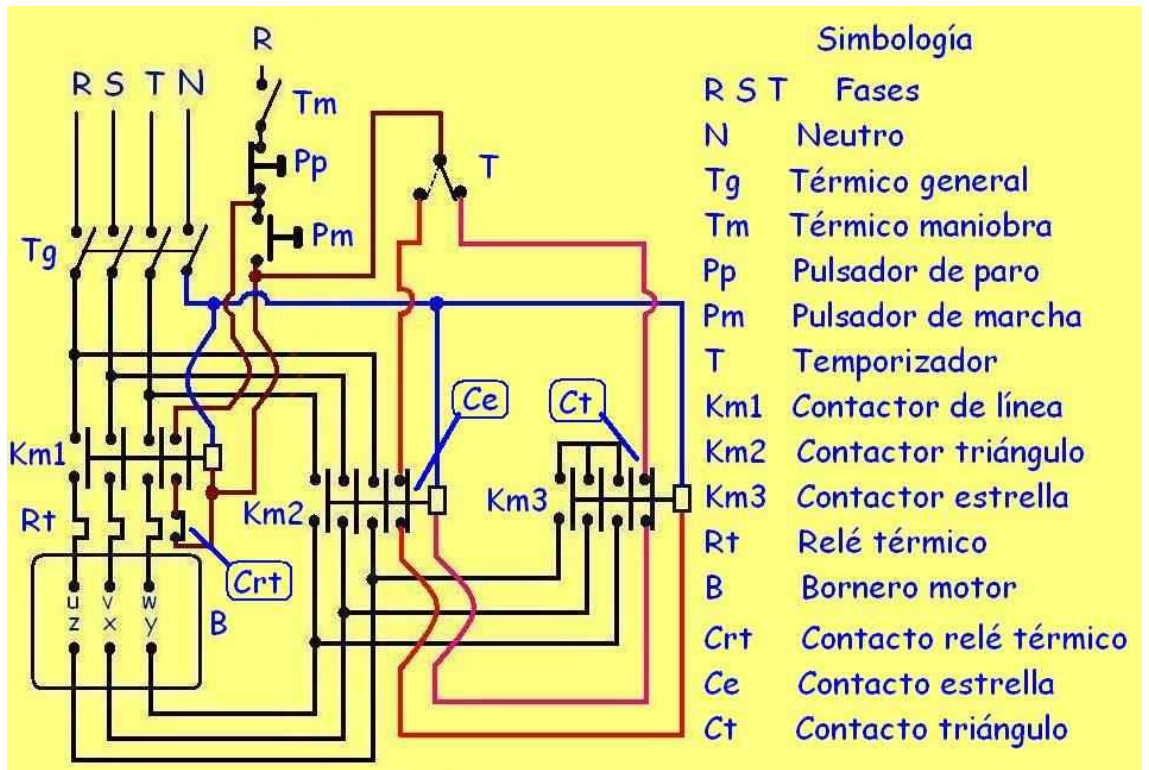


Figura 2.5.3 Plano conexiones "Estrella - Triángulo"

Fuente: angelatedo-angelatedo.blogspot.com

3. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

La construcción y montaje del banco de pruebas de fatiga es el paso que sigue al diseño detallado de los componentes, es por eso que se hace un recuento apoyado con imágenes que resumen el trabajo realizado para posteriormente realizar con éxito las pruebas.

3.1. Modulo estructural

La estructura del banco de pruebas compuesta por el bastidor y por la placa flotante se realizó en acero estructural laminado A36, ideal para aplicaciones como ésta. El bastidor se compone de 5 láminas soldadas con electrodo revestido E6013, ver la figura (3.1.1)



Figura 3.1.1 Bastidor

Fuente: autores del proyecto

Se decide dar una mayor estabilidad a la placa superior del bastidor, acondicionando dos triángulos que ayudan a soportar el peso que ejercen los demás componentes sobre ésta, además es necesario montar una base para el motor conformada por dos placas unidas por bisagras, que junto a un tornillo

cumplen la función de elevar el motor para que la polea gire libremente y adicional a esto funciona como un tensor para que la correa alcance la tensión adecuada para el movimiento.



Figura 3.1.2 Triángulos de apoyo y base del motor

Fuente: autores del proyecto

Es importante aclarar que debido a que el área de contacto entre la celda y la placa flotante es muy pequeña, se utilizan guías fabricadas en acero, que solo le permiten a la placa moverse en dirección vertical, sin ninguna desviación.



Figura 3.1.3 Guías de la placa flotante

Fuente: autores del proyecto

Para dar un acabado a la estructura es preciso utilizar pintura electrostática la que se logra una buena homogeneidad y no se alteran las propiedades del material.

3.2. Módulo de pruebas

El módulo de pruebas es conformado por varios componentes, unos son diseñados y construidos, y otros son seleccionados y adquiridos.

Dentro de los elementos que se seleccionan están las chumaceras y las copas de torno, pero los demás como los ejes, acoples entre el eje y las copas, y las probetas pasan por un proceso de maquinado que les da la forma y las dimensiones que ya anteriormente se han diseñado.

3.2.1. Probetas

Las probetas son fabricadas en acero AISI SAE 1045 y 1020, se maquinan en torno CNC, y para dar un acabado final homogéneo y sin rayas donde se puedan concentrar esfuerzos son pasadas por lijas con tamaño de grano muy fino.



Figura 3.2.1 Probeta

Fuente: autores del proyecto

3.2.2. Ejes

Para efectos de la construcción del eje se adquirió un perfil redondo de material AISI SAE 1045 con diámetro de $1\frac{1}{2}$ in para posteriormente realizar el respectivo proceso de manufactura (mecanizado – torneado, figura 3.2.2) disminuyendo la sección transversal del eje hasta llegar a un diámetro mínimo de 30 mm localizado en los extremos, con el objetivo de facilitar la introducción de las chumaceras hasta la posición deseada, siendo necesaria el proceso de fresado para la creación del cuñero, y a su vez logrando con el proceso de cilindrado las dimensiones descritas en la sección de diseño de ejes donde se especifica las tolerancias necesarias para el montaje y fijación de los diferentes componentes, teniendo también especial atención a la correcta creación de los hombros donde descansan las chumaceras para evitar desplazamientos en dirección axial, se pueden observar los ejes terminados en la figura (3.2.3).



Figura 3.2.2 Fabricación de ejes

Fuente: autores del proyecto



Figura 3.2.3 Ejes maquinados

Fuente: autores del proyecto

3.2.3. Plato de acople

El plato de acople es un elemento que se utiliza para poder acoplar perfectamente el eje a las copas de torno, se realiza en acero 1045 y se usan para las sujeciones, por un lado tornillos que lo unen a la copa y por el otro se usa ajuste al eje, pero para mayor agarre se usan prisioneros.



Figura 3.2.4 Platos de acople

Fuente: autores del proyecto

3.2.4. Montaje del módulo de pruebas

Para hacer el montaje del módulo de pruebas es necesario hacer el alineamiento adecuado de los ejes, ya montados los ejes y apoyados en las respectivas chumaceras, figura (3.2.5); posteriormente se procede al montaje de platos y copas, los cuales también pasan por el alineamiento como se muestra en la figura (3.2.6).



Figura 3.2.5 Chumacera

Fuente: <http://www.kml-bearing.net>

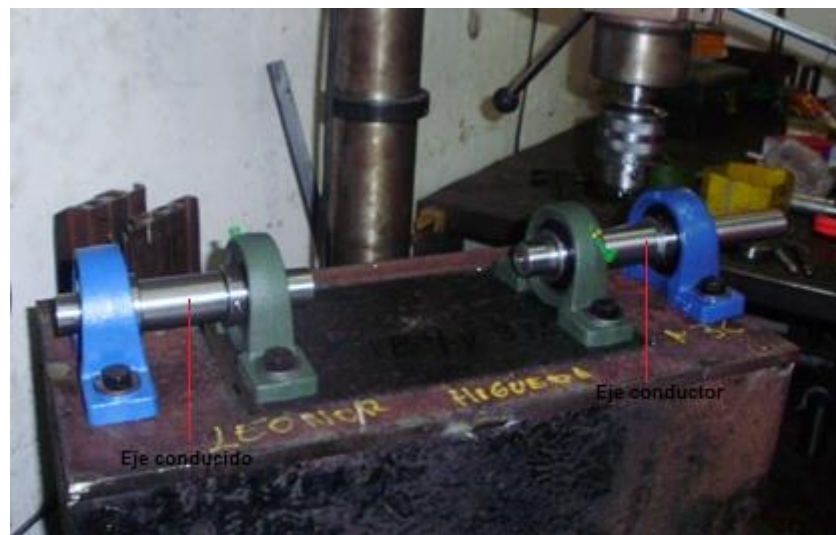


Figura 3.2.6 Alineación de los ejes

Fuente: autores del proyecto

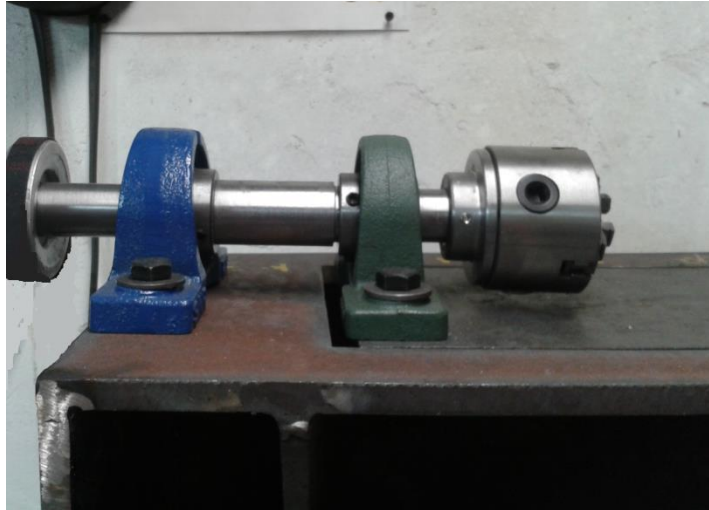


Figura 3.2.7 Montaje y alineación del módulo de pruebas

Fuente: autores del proyecto

3.3. Módulo de Potencia

Para acondicionar el motor al bastidor es necesario fabricar una plataforma conformada por una placa base donde va soportado el motor y otra placa que hace el papel de columna junto con el tensor ubicado al otro extremo de la placa, el cual dará la tensión adecuada a la correa para la transmisión del movimiento; ambas placas poseen $\frac{1}{4}$ pulgada de espesor.



Figura 3.3.1 Montaje módulo de potencia

Fuente: autores del proyecto

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se da a conocer la forma en que fue llevado a cabo el ensayo de fatiga en viga en las probetas RR. Moore de acero AISI SAE 1045 y 1020.

4.1. Diseño de la prueba

El sistema más usado en la realización de pruebas de fatiga, es la maquina R.R. Moore en viga rotatoria, que por medio de una carga impuesta somete a flexión pura la probeta.

Para llevar a cabo la prueba de ensayo de fatiga en viga rotatoria inicialmente se determina que la probeta idónea para el ensayo es de tipo RR. Moore, diseñada bajo la norma ASTM E-606, en su numeral 7.1 (Especimen Design), donde se estandariza la probeta para ensayos de esfuerzos de fatiga. Para la realización del ensayo se maquinan 30 probetas en torno CNC, el cual es más confiable y con mejores acabados. La velocidad de los ensayos será de 3445 RPM.

El ensayo consta de 10 pruebas a diferentes tipos de carga por cada material. El gato mecánico ejerce la carga al módulo de pruebas y la lectura de dicha carga se realiza por medio de una galga extensiométrica.

La finalidad de los ensayos es determinar:

- El límite de resistencia a la fatiga.
- La curva S-N de vida finita
- La confiabilidad de los aceros 1045 y 1020 que proporciona el mercado comparado con las propiedades mecánicas de la teoría

4.2. Procedimiento

Antes de iniciar cada ensayo en la maquina es necesario verificar ciertas condiciones para garantizar una óptima operación. Lo primero antes de hacer cualquier cosa es determinar la carga a aplicar.

El procedimiento para realizar el ensayo de fatiga en viga rotatoria es simple pero se hace necesario realizar los pasos que a continuación se mencionan en el orden q se indica.

- Verificar la lubricación de los rodamientos.
- Demarcar el punto central de la probeta.
- Realizar el montaje de la probeta, de manera que quede perfectamente centrada entre las dos copas.
- Ajustar de forma adecuada las copas
- Verificar el alineamiento de ejes-probeta, para que no se produzcan esfuerzos indeseados.
- Encender el sensor de fractura y alinearlo con el centro de la probeta.
- Encender el motor
- Aplicar lentamente la carga determinada para la prueba y encender los contadores casi simultáneamente.
- Una vez se fractura la probeta se procede a anotar en una tabla de resultados el número de ciclos registrados, el tiempo de duración de la prueba de ensayos y la carga aplicada.

Al momento de iniciar la prueba, el giro causa que las fibras que se encuentran inicialmente a flexión pasen a estar a compresión y las fibras que están en la parte inferior a compresión, pasan a estar a flexión. Los movimientos repetitivos causan en la probeta fisuras que incrementan su tamaño gradualmente hasta que se hace inminente la fractura.

Para determinar la resistencia de un material a la fatiga es necesario realizar como mínimo 10 pruebas con cada material para obtener la curva esfuerzo –

vida (S-N), como lo sugiere la norma ASTM E-606 en su numeral 8.7 (Number of specimens) [1].

4.3. Curva de esfuerzo-vida (S-N)

Los datos de los ensayos de las pruebas de fatiga que representan los ciclos de vida del material usualmente se dan en escala logarítmica

La parte de la curva con pendiente negativa es llamada la región de vida finita, y la línea horizontal es la región de vida infinita, queriendo decir que si la prueba alcanza dicha región el material no sufrirá fractura por fatiga. El punto donde la curva pasa de ser de pendiente negativa a una línea horizontal se le conoce con el nombre de “rodilla de la curva S-N” y representa el límite de fatiga o límite de resistencia. El límite de fatiga es asociado con el fenómeno de nucleación de grietas que es detenido por el primer límite de grano o por una barrera microestructural dominante [7].

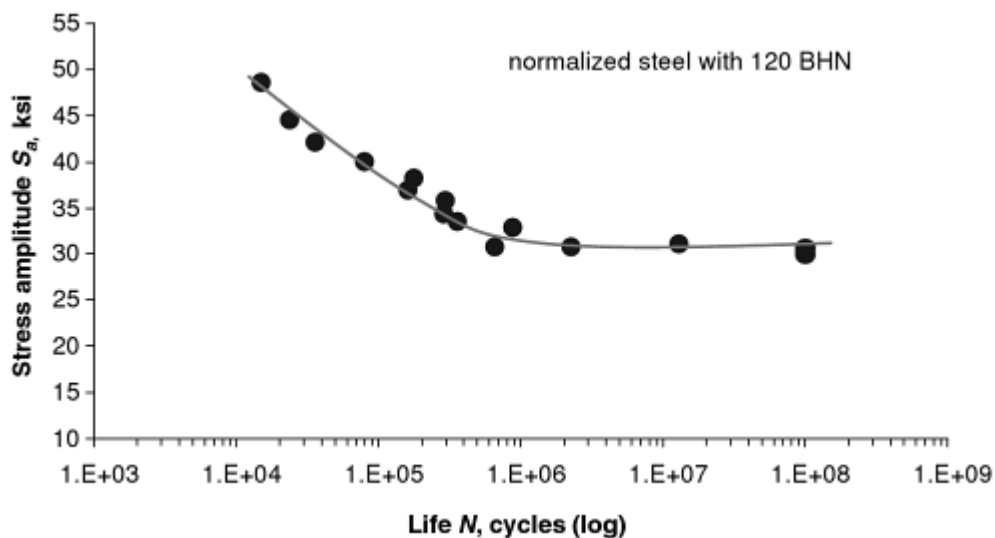


Figura 4.3.1 Datos de fatiga por flexión, Curva S-N para aceros

Fuente: Fatigue Testing and Analysis. Theory and Practice

4.4. Realización de pruebas

4.4.1. Primera prueba

La primera prueba se realizó de acuerdo a los objetivos planteados en un principio, reventar probetas de material AISI SAE 1020 y 1045 a 10.000rpm dadas por un motor SIEMENS de $\frac{3}{4}$ hp y 3600 rpm nominales, con un arreglo de poleas de 1:3. Esta prueba da como conclusión que el motor empleado no vencía la inercia del sistema lo que provocó una elevación en el amperaje y sobrecalentamiento del mismo.

4.4.2. Segunda prueba

El motor SIEMENS de $\frac{3}{4}$ hp es sustituido por un motor de la misma marca con $\frac{3}{4}$ hp y 3600 rpm nominales. Para esta prueba se mantiene el arreglo de transmisión 1:3, pero en esta ocasión la prueba por su alta velocidad generó un desalineamiento que causó una fractura en la probeta no acorde con la finalidad del ensayo en un tiempo de 5 segundos, figura, el gran momento de inercia también evidenció una alta peligrosidad, concluyendo así que para ser un banco de pruebas manipulado por estudiantes no se considera seguro.



Figura 4.4.1 Primer probeta fracturada

Fuente: autores del proyecto

4.4.3. Tercera Prueba

Se decide por ultimo realizar la prueba de forma más segura, sacrificando la alta velocidad y reduciendo la misma a 3.600 rpm, con un arreglo en la transmisión de potencia 1:1, esto se realiza poniendo el motor al mismo nivel del sistema y usando un acople flexible tipo araña que admiten cierta desalineación. De acuerdo a este último arreglo se realizan las pruebas de fatiga para los aceros AISI SAE 1020 y 1045, figura (4.4.2), la fractura de las probetas ocurrió de forma idónea, evidenciado en la figura (4.4.3).

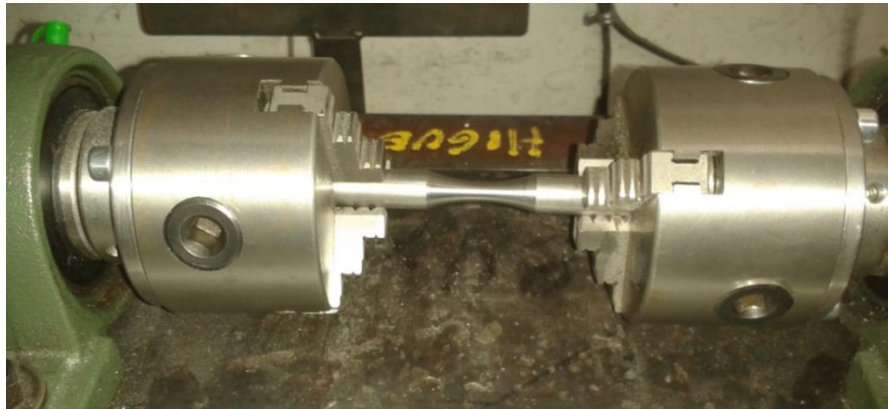


Figura 4.4.2 Montaje correcto de la probeta

Fuente: autores del proyecto



Figura 4.4.3 Fallo de la probeta

Fuente: autores del proyecto

Con base a los resultados obtenidos se hace una gráfica que muestra la línea de valores teóricos y se muestran los puntos de los resultados experimentales, de ahí a que se pueda realizar una comparación y hallar el porcentaje de error en las pruebas. El porcentaje de error puede ser producto de varios factores, las vibraciones del banco de pruebas, mala calibración de la celda de carga, o por otro lado ser el material que no cumple al 100% las especificaciones, razones que podrán ser detalladas en el siguiente capítulo.

4.4.4. Acero 1020

Los siguientes son los datos de las pruebas realizadas con las probetas de acero AISI SAE 1020:

Tabla 4.1 Datos de las pruebas "Acero 1020"

Material				Acero 1020
Probeta #	Fuerza aplicada [kgf]	Esfuerzo [kgf/mm²]	Número de ciclos	Tiempo total prueba [min]
1	19.8	39.24	2560	0.74
2	18.2	36.58	6587	1.91
3	15.1	30.25	9874	2.86
4	15.1	30.24	51327	14.9
5	13.2	26.54	72345	21
6	11	22.06	98654	28.63
7	10.14	20.34	142214	41.28
8	9.6	19.21	322345	93.57
9	9.4	18.82	365482	106.1
10	8.0	16.01	536987	155.87

El análisis estadístico de los datos recopilados en las pruebas se realiza teniendo en cuenta la norma ASTM E-739 “Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -N) Fatigue Data” la cual explica un procedimiento ya establecido.

Análisis estadístico

Nota: Todas las ecuaciones exhibidas son provenientes de la norma ASTM E-739 y solo se mostrará el número al que hace referencia omitiendo el nombre de la norma en todo momento.

Se parte del modelo de regresión (ecuación 2):

$$\log N = A + B(\log S)$$

Siendo a la vez (ecuación 3) el modelo de los mínimos cuadrados:

$$Y = A + BX$$

Siendo:

$$Y = \log N \text{ (Variable dependiente)}$$

$$X = \log S \text{ (Variable independiente)}$$

Se calcula el logaritmo en base 10 para la variable independiente (S) y para la variable dependiente (N):

Tabla 4.2 Logaritmo de la variable dependiente e independiente

Probeta #	$X = \log S$ Var. independiente	$Y = \log N$ Var. dependiente
1	1.593728999	3.408239965
2	1.563243701	3.818687663
3	1.480725379	3.994493123
4	1.480581787	4.710345881
5	1.423900919	4.859408521

6	1.343605508	4.994114699
7	1.308350949	5.152942352
8	1.283527365	5.508320938
9	1.274619619	5.562865993
10	1.204391332	5.729963772

Según las ecuaciones 4 y 5 se hallan los valores de \hat{A} y \hat{B}

$$\hat{A} = \bar{Y} - \hat{B}\bar{X}$$

$$\hat{B} = \frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\bar{Y} = 4.774$$

$$\bar{X} = 1.395$$

$$X_i = \log S_i$$

$$Y_i = \log N_i$$

$$\hat{A} = 12.8355$$

$$\hat{B} = -5.7761$$

Se calcula la desviación estándar (ecuación 6):

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{k - 2}$$

Siendo:

$$\hat{Y}_i = \hat{A} + \hat{B}X_i$$

$$\hat{\sigma}^2 = 0.05453$$

$$\hat{\sigma} = 0.02335$$

Se encuentra el intervalo de confianza con el 95% (ecuaciones 7 y 8):

$$\hat{A} \pm t_p \hat{\sigma} \left[\frac{1}{k} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2}$$

$$\hat{A} \pm t_p \hat{\sigma} \left[\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2 \right]^{-1/2}$$

Siendo los intervalos:

A: (14.7416, 10.9293)

B: (-4.4158, -7.13642)

La curva que describe el diagrama S-N es:

$$S_a = A(N)^b$$

Y del procedimiento anterior resulta:

$$\log N = 12.8355 - 5.7761 \log S_a$$

Llevándola a la expresión final queda:

$$S_a = 166.792(N)^{-0.1731}$$

Los valores correspondientes a cada prueba con respecto a la curva del diagrama S-N queda:

Tabla 4.3 Valores corregidos "Acero 1020"

Probeta #	Esfuerzo [kgf/mm²]	Número de ciclos
1	42.875	2560
2	36.405	6587
3	33.941	9874
4	25.516	51327
5	24.044	72345

6	22.787	98654
7	21.390	142214
8	18.565	322345
9	18.165	365482
10	16.995	536987

Obteniendo la siguiente gráfica:

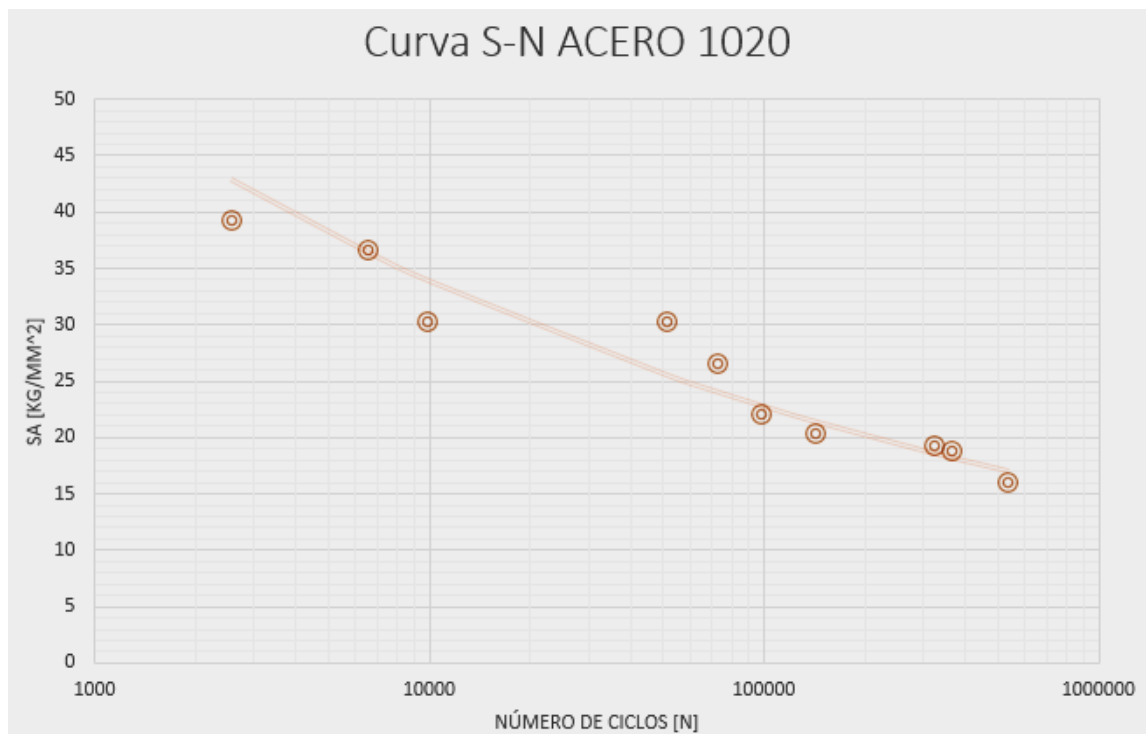


Figura 4.4.4 Curva S-N "Acero 1020"

4.4.5. Acero 1045

Los siguientes son los datos de las pruebas realizadas con las probetas de acero AISI SAE 1045:

Tabla 4.4 Datos de las pruebas "Acero 1045"

Material		Acero 1045		
Probeta #	Fuerza aplicada [kgf]	Esfuerzo [kgf/mm²]	Número de ciclos	Tiempo total prueba [min]
1	28.6	57.43	3258	0.94
2	22.9	45.84	7216	2.1
3	21.2	42.53	9517	2.76
4	22.6	45.31	43624	12.66
5	20.7	41.53	65432	19
6	17.1	34.35	92175	26.75
7	13.2	26.4	123876	35.96
8	14.8	29.62	223680	64.93
9	14.6	29.38	310693	90.18
10	14.4	28.93	589182	171.03

Análisis estadístico

Realizando el mismo procedimiento anteriormente descrito para la el material Acero AISI SAE 1020, se obtuvieron los siguientes resultados:

Valores de \hat{A} y \hat{B} (ecuaciones 4 y 5):

$$\hat{A} = 16.2405$$

$$\hat{B} = -7.3186$$

Desviación estándar (ecuación 6):

$$\hat{\sigma}^2 = 0.0065$$

$$\hat{\sigma} = 0.0807$$

Intervalo de confianza con el 95% (ecuaciones 7 y 8):

A: (17.1988, 15.2822)

B: (-6.7095, -7.9276)

Ecuación característica de la curva:

$$S_a = 165.6(N)^{-0.136}$$

Los valores correspondientes a cada prueba con respecto a la curva del diagrama S-N queda:

Tabla 4.5 Valores corregidos "Acero 1045"

Probeta #	Esfuerzo [kgf/mm²]	Número de ciclos
1	54.852	3258
2	49.206	7216
3	47.380	9517
4	38.483	43624
5	36.410	65432
6	34.745	92175
7	33.370	123876
8	30.782	223680
9	29.431	310693
10	26.968	589182

Obteniendo la siguiente gráfica:

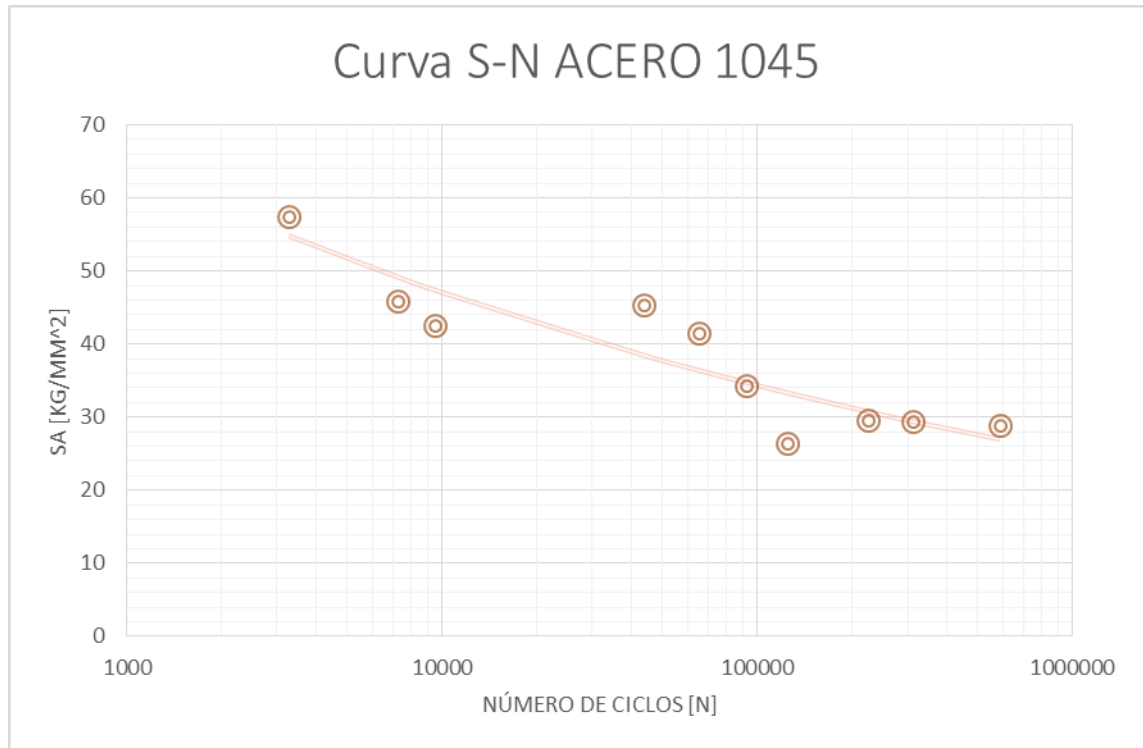


Figura 4.4.5 Curva S-N "Acero 1045"

Fuente: autores del proyecto

4.5. Análisis de resultados

Después de realizadas las pruebas y con base en los resultados obtenidos se procede a hacer un análisis de las fracturas para cada uno de los aceros.

Para la gráfica hecha con base en los resultados que se obtienen de las pruebas realizadas al acero 1020 se evidencia una disminución de la resistencia a la fatiga respecto al acero 1045. Además los datos presentan una mayor dispersión en las pruebas realizadas al acero 1020.

En cuanto a las fracturas para cada uno de los aceros, como se muestran en las figuras 1212, 1212. Se evidencian las marcas o líneas de progreso de la grieta más notables, conocidas comúnmente como "líneas de playa", con dimensiones macroscópicas y que pueden verse a simple vista. Estas marcas

tienden a ser líneas concéntricas que se forman alrededor del punto(s) de iniciación de la grieta, debido a la carga variada aplicada.



Figura 4.5.1 Fracturas en probetas 1020

Fuente: autores del proyecto

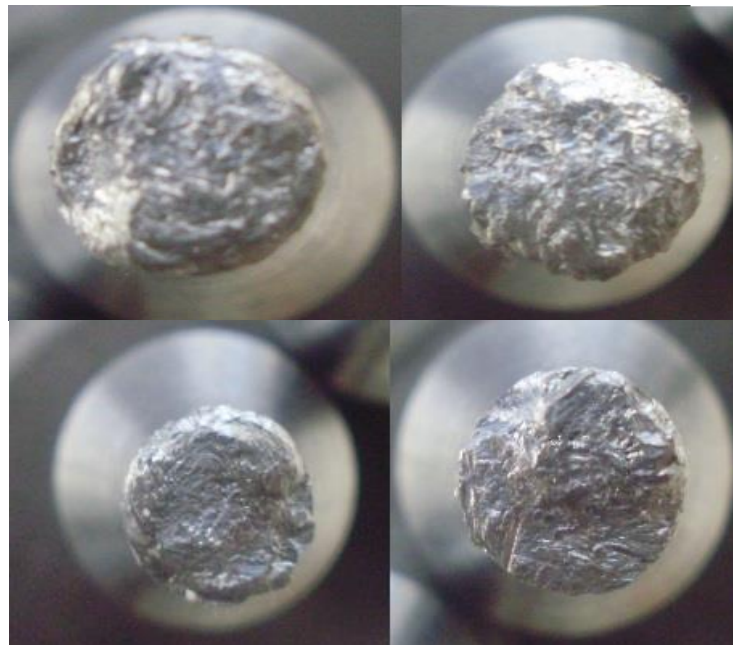


Figura 4.5.2 Fracturas en probetas 1045

Fuente: autores del proyecto

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis de frecuencias en el eje que se hizo para la comprobación de la viabilidad de las velocidades (10.000 rpm y 3.445 rpm), donde se concluye que para la mayor de ellas el sistema opera cerca de su primer modo de frecuencia crítica que es a las 11.800 rpm, la prueba se estaría realizando muy cercana al límite crítico y al colapso del sistema. Por otro lado para la velocidad menor el valor del primer modo de frecuencia crítico se encuentra muy por encima lo que brinda seguridad en la operación de la máquina, al igual que los análisis de frecuencias realizados para el bastidor que corrobora esta condición de plena seguridad.
- La construcción del bastidor se realizó en acero estructural laminado de alto espesor con una configuración de paralelepípedo, traducándose en simplicidad para la unión de las partes por medio de soldadura, facilidad para la alineación de sus componentes y robustez para la atenuación de las vibraciones.
- Con el desarrollo del anterior proyecto de grado se puede observar que se cumplió satisfactoriamente con los objetivos propuestos, las pruebas realizadas presentan un margen de error admisible que evidencia el correcto funcionamiento del banco de pruebas y que por ende es apto para cumplir con las especificaciones de diseño, seguridad y confiabilidad que demanda un laboratorio de materiales.
- El estudio del proyecto se enfoca en aceros de bajo carbono AISI SAE 1020 y 1045, pero en futuras pruebas de laboratorio se podrán someter a la evaluación de esfuerzo a la fatiga en viga rotatoria otros materiales que

posean características parecidas y cuya maquinabilidad sea buena para generar las probetas dimensionadas en los planos.

- Para continuar con la búsqueda de un aprendizaje más completo de futuros estudiantes se recomienda usar como apoyo este proyecto de grado y hacer estudios metalográficos que sirvan para estudiar los diferentes tipos de fracturas y las condiciones en que estas se dan.

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

Los resultados de las pruebas en el banco de fatiga presentan un porcentaje de error que puede ser causado por diferentes factores:

Factores en el banco de pruebas

- Se deben considerar fuerzas de precarga al momento de iniciar la prueba debido a que la carga mostrada por el indicador de solo peso (display), arroja un valor más elevado del real ejercido al momento de la prueba. El valor real de carga es la diferencia entre el valor mostrado y el peso de los elementos que conforman el módulo de pruebas, este último es el generador de precarga en la celda de carga.
- La sensibilidad de la celda de carga proporciona cambios constantes durante la prueba por vibraciones y por el mismo movimiento alternante de la probeta. Estos cambios de lectura también suelen ocurrir por una pérdida leve de presión en el módulo de carga al momento de la prueba.

Factores por material de probetas

- La corrosión en los aceros se presenta debido a la humedad en el ambiente, y al tiempo que transcurre entre el maquinado de las probetas y el momento en que se realizan las pruebas.
- Poros intersticiales que por defecto puede traer el material o fisuras microscópicas en la superficie generadas al momento del maquinado o pulido de las probetas.

Bibliografía

- [1] ASTM International, Standard Practice for Strain Controlled Fatigue Testing. E 606, Universidad Industrial de Santander, Junio 2012

- [2] Bernard J. HAMROCK, Elementos de Máquinas, Mexico, 2000

- [3] SolidWorks, 2011 edition. Disponible en:
<<http://www.help.solidworks.com>>

- [4] Robert L. MOTT, Diseño de Elementos de Máquinas, México, 2006

- [5] SKF, Colombia, Catálogo acoples flexibles, Octubre 2005


- [6] Sergio GÓMEZ GONZÁLEZ, SolidWorks Simulation, México, 2010.

- [7] Yung-Li LEE, Fatigue testing and analysis, Theory and Practice, USA 1987

- [8] ESCAMILLA MORALES Angela Patricia, MOJICA RODRIGUEZ Diana Yolima, Diseño y construcción de un banco para pruebas de fatiga bajo flexión rotativa de probetas en voladizo según normativa ASTM E-606, Bucaramanga, 2010, Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico), Universidad Industrial de Santander, Facultad Físico Mecánicas, Ingeniería Mecánica

ANEXOS

Anexo A. Celda de carga

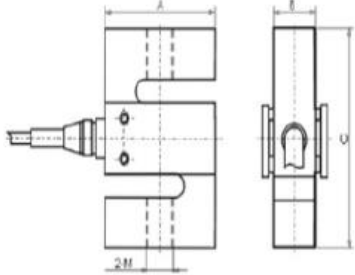


Data Sheet

SM
LOAD CELL "S"

Double-parallel construction,
has superiority in loading and its structure.
Easy installation. High precision.
High reliability and stability.
Can be used in: combination scale,
package scale, systematic scale
and belt scale.

Dimensions



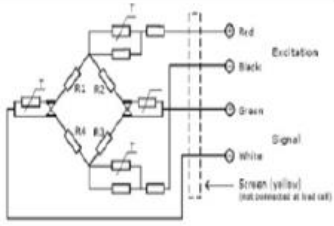
Dimensiones (mm)

CAPACIDAD	A	B	C	M
1 - 5kg	70	10	60	M5
10 - 50kg	60.8	12.7	63.5	M6


Specification

ITEM, PARAMETER	C2	UNIT
Rated load (Emax):	1 - 50	kg
Maximum numbers of load cell intervals(Nic):	2000	d
Minimum load cell verification intervals(Vmin):	0,03	% of rated load
Sensitivity(Cn):	240,01	mV/V
Total error:	0,03	% of rated output
Non-linearity:	0,03	% of rated output
Hysteresis:	0,03	% of rated output
Repeatability:	0,02	% of rated output
Temperature effect on sensitivity (TKs):	0,03 / 10	% of rated output/°C
Temperature effect on zero balance (TKD):	0,03 / 10	% of rated output/°C
Zero balance:	1,0	% of rated output
Input impedance(red+black-):	350kΩ	Ω
Output impedance(green-blue-):	350kΩ	Ω
Insulation impedance:	≥5000	MΩ
Safe overload:	150	% of rated capability
Ultimate overload:	200	% of rated capability
Operating temperature range:	-10~+40/-20~+50	°C/°F
Recommend excitation:	9~12	VAC or DC
Maximum excitation:	15	VAC or DC
Material of elastomer:	alloy steel	
Protection class:	IP65	
Cable:	1 - 5 (0.5m) / 10 - 50 (3m)	05


Circuit Diagram



Note:
Do not change length of 4 core cables, or else it will affect sensitivity of load cell.



LEXUS
ELECTRONIC SCALES



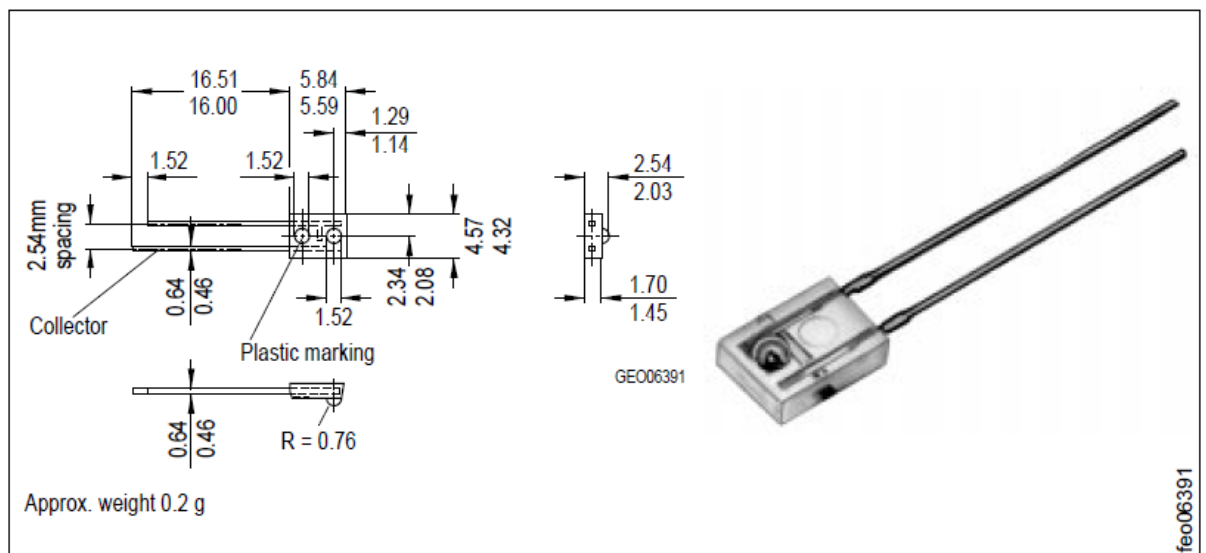
LEXUS
ELECTRONIC SCALES

Anexo B. Receptor de infrarrojo

SIEMENS

NPN-Silizium-Fototransistor
Silicon NPN Phototransistor

LPT 80 A



Maße in mm, wenn nicht anders angegeben/Dimensions in mm, unless otherwise specified

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 470 nm bis 1080 nm
- Sidelooker im Kunststoffgehäuse
- Hohe Empfindlichkeit
- Passend zu IRED IRL 80 A, IRL 81 A

Anwendungen

- Fertigungs- und Kontrollanwendungen der Industrie
- Lichtschranken

Features

- Especially suitable for applications from 470 nm to 1080 nm
- Sidelooker in plastic package
- High sensitivity
- Matches IR emitter IRL 80 A, IRL 81 A

Applications

- A variety of manufacturing and monitoring applications
- Photointerrupters

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Gehäuse Package
LPT 80 A	Q68000-A7852	Klares Kunststoffgehäuse, Lötspieße im 2.54-mm-Raster ($^{1/10}$ "), Kollektorkennzeichnung: Längerer Lötspieß Clear plastic miniature package, 2.54 mm ($^{1/10}$ "") lead spacing, collector marking: long solder lead

Grenzwerte
Maximum Ratings

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 100	°C
Kollektor-Emitterspannung Collector-emitter voltage	V_{CE}	30	V
Kollektorstrom Collector current	I_C	50	mA
Kollektorspitzenstrom, $\tau = 10 \mu s$ Collector surge current	I_{CS}	100	mA
Emitter-Kollektorspannung Emitter-collector voltage	V_{EC}	7	V
Verlustleistung, $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ Total power dissipation	P_{tot}	100	mW
Wärmewiderstand Thermal resistance	R_{thJA}	750	K/W

Anexo C. Apuntador laser



MCE-6E8F-Z02

650 nm LASER DIODE

Features

- ◆Visible wavelength: 650 nm (typ.)
- ◆Optical power: 5 mW (CW)
- ◆TO-18 package with flat window (\varnothing 5.6 mm)
- ◆Low operating current: $I_{op} = 33$ mA (typ.)
- ◆Low operating voltage: $V_{op} = 2.8$ V (max)

Recommended operating optical power output

- ◆Less than 5 m W

Applications

- ◆Laser pointers
- ◆Laser modules
- ◆Bar code readers

Structure

Index-guided structure
AlGaInP quantum well structure
Integrated Si photodiode for optical power monitor



Description

The MCE-6E8F-Z02 is a red laser diode typically powered at 3 to 5 mW and designed for laser pointer.

The device contains a PIN photo diode to meet the designs of the automatic-power-control circuit. The small TO-18 package and lower consumption enable customers to easily incorporate our laser diodes into their products.

Handling and Safety Precautions

Anti-static protection, such as ionized air blowers or grounded wrist straps with a 1 mega series resistor, should be used at all times when handling laser diodes. In addition, soldering irons should be well grounded.

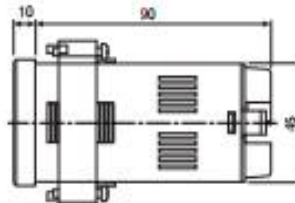
Overheating caused by soldering of the leads of a laser diode must be prevented. Recommend soldering iron temperature and maximum exposure time are below 260 °C and 10 seconds.

Anexo D. Display contador programable

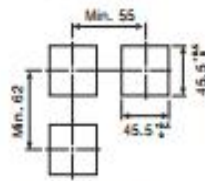
Dimensions

OCTS Series

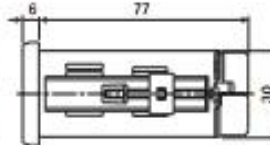
Bracket



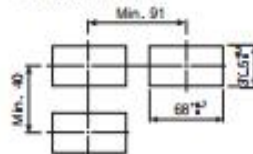
Panel cut-out



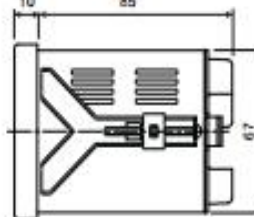
OCTY Series



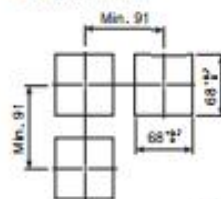
Panel cut-out



CTM Series



Panel cut-out

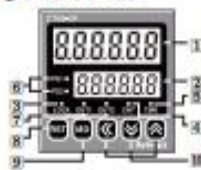


(Unit:mm)

- (A) Photo electric sensor
- (B) Fiber optic sensor
- (C) Door/Area sensor
- (D) Proximity sensor
- (E) Pressure sensor
- (F) Rotary encoder
- (G) Connector/Socket
- (H) Temp. controller
- (I) SSR/Power controller
- (J) Counter**
- (K) Timer
- (L) Panel meter
- (M) Tachaf Speed Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Switching power supply
- (Q) Stepping motor & Driver & Controller
- (R) Graphical Logic panel
- (S) Field network device
- (T) Production storage media & equipment

Front panel identification

OCTS Series



OCTY Series



OCTM Series



1. Count Indicator (Red LED)

- Run mode
- : Count mode-Indicates count value.
- Timer mode-Indicates time progressing.
- Function setting mode
- : Indicates function setting mode.

2. Preset value Indicator (Yellow-Green LED)

- Run mode: Indicates preset value.
- Function setting mode: Indicates setting value1.

3. Key Lock : Lights when setting key lock.

4. The operation of counter indicator

- 5. The operation of timer indicator**
- TMR LED flashes when the timer is operating.
- TMR LED lights when the operating time stops.

6. Check preset value and display change of it

- PS1 LED lights when checking or changing the setting value1.
- PS2 LED lights when checking or changing the setting value2.

7. Output(OUT1, OUT2) indicator

- OUT1 lights when output1 is on. OUT2 lights when output2 is on.

8. Reset key

- By pressing key in Run mode, the count value is initialized and output is returned.
- By pressing key in BATCH counter mode, BATCH count value resets.

Model	Changed	Notice
CT6Y=1P	PS2-PS OUT2-OUT	There are no PS1, OUT1 LEDs.
CT6S=1P		
CT6Y=1P	PS2-PS	There are no PS1, OUT1 OUT2 LEDs.
CT6S=1		
CT6M=1		

*The indicator type does not exist in CT4S model.

9. Mode key

- By pressing key for 3sec (parameter setting)/ 5sec (communication) in RUN mode, it moves to function setting mode.
- By pressing key in function setting mode, select function setting mode. By pressing key over 3 sec., it moves to Run mode.
- By pressing key over 1 sec. in function setting checking mode, it moves to Run mode.

10. Set key

- 1 : To enter into setting value(PS1, PS2) change status and shift digit of setting value(PS1, PS2).
- 2 : To decrease setting value in setting value change mode, change setting value in function setting mode, move down checked value in function setting check mode.
- 3 : To increase setting value in setting value change mode, change setting value in function setting mode, move up checked value in function setting check mode. By pressing key over 1 sec. in Run mode, enters into function setting check mode.

11. BATCH key

- By pressing key in run mode to enter into BATCH counter indication mode.

12. BATCH output indicator (Red LED)

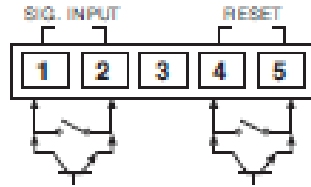
13. BATCH setting value checking and changing indicator (Yellow-Green LED)

- Lights when checking and changing BATCH setting value.

Compact LCD Counter

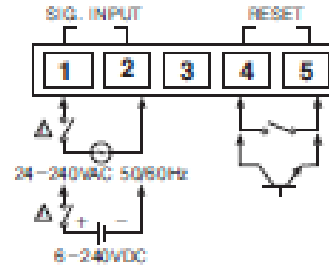
Connections

No-voltage input



- Use reliable contacts enough to flow 5mA of current.
- Terminal 2 and 5 are connected inside. (Non-isolation)

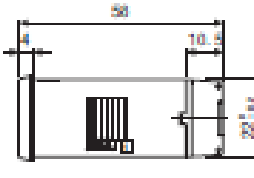
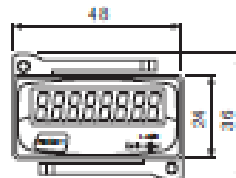
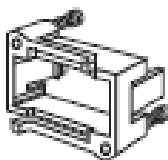
Universal voltage input



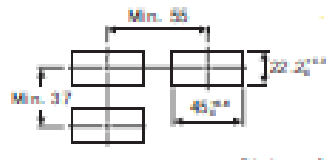
- Terminal 1, 2 and 4, 5 are isolated.

Dimensions

Bracket



Panel cut-out

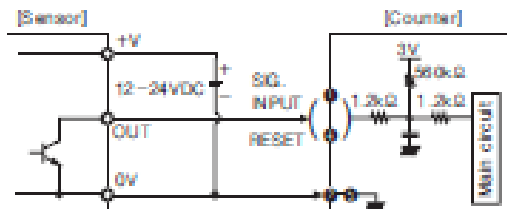


(Unit: mm)

Input connections

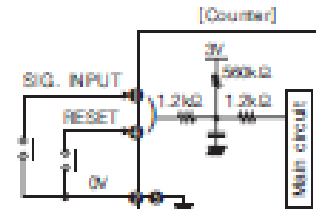
No-voltage input (Standard sensor: NPN open type sensor)

Solid-state input



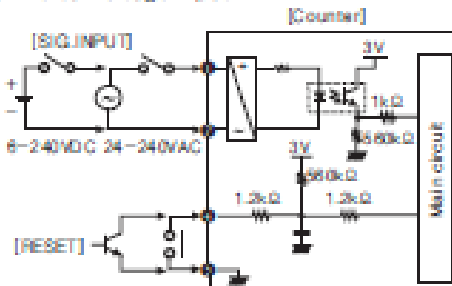
- When power is applied to terminal No. ① and ②, input terminal circuit can be broken and a malfunction can occur. (NPN output, PNP output, PNP open collector output type sensor cannot be used.)
- ② and ⑤ are connected inside.

Contact input



- Please use reliable contacts enough to flow 3VDC 5mA of current.

Universal voltage input



- AC type proximity sensor cannot be used as the source of count input signals.
- Input terminal ①, ② and Reset terminal ④, ⑤ are isolated inside.
- It is not possible to reset with AC power or DC power.
- When relay contact is used as the source of RESET signal, please use reliable contacts enough to flow 3VDC 5mA of current.

Anexo E. Temporizador

ATE Series

DIN W48×H48mm Solid state ON Delay timer

■ Features

- DIN W48×H48mm
- Easy and simple time setting
- Cost-effective
- Easy time setting
- Wide range of time
- Power supply
 - ATE : 110/220VAC 50/60Hz
 - ATE1, ATE2 : 110VAC, 220VAC 50/60Hz, 12VDC, 24VDC(option)



Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.

■ Ordering information

ATE		-	10	S	
				Time unit	S sec.(1, 3, 6, 10, 30, 60)
				Time range	M min.(3, 6, 10, 30, 60)
				Time range	H hour(3, 6, 12, 24)
				Output	Number Max. time range
				Output	No mark Time-limit SPDT(1c), Instantaneous SPST(1a)
				Output	1 Time-limit DPDT(2c)
				Output	2 Time-limit SPDT(1c), Instantaneous SPDT(1c)
				Item	ATE ON Delay timer

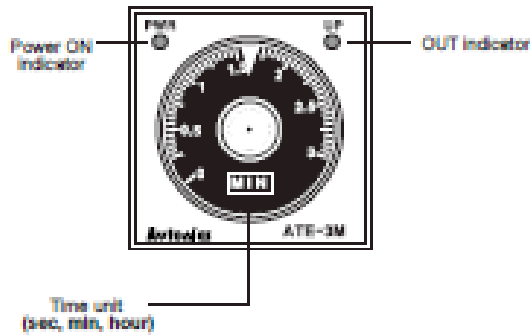
■ Specifications

Model	ATE -	<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> H	ATE1 -	<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> H	ATE2 -	<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> H
Function	Power ON Delay					
Control time setting range	sec.(1, 3, 6, 10, 30, 60), min.(3, 6, 10, 30, 60), hour(3, 6, 12, 24)					
Power supply	110/220VAC 50/60Hz		110VAC, 220VAC 50/60Hz, 12VDC, 24VDC(option)			
Allowable voltage range	90 to 110% of rated voltage					
Power consumption	Approx. 10VA(240VAC 60Hz), Approx. 2W(24VDC, 12VDC)					
Reset time	Max. 200ms					
Timing operation	Power ON start type					
Control output	Contact type	Time limit SPDT(1c), Instantaneous SPST(1a)		Time limit DPDT(2c)		Time limit SPDT(1c), Instantaneous SPDT(1c)
	Contact capacity	250VAC 3A resistive load				
Relay life cycle	Mechanical	Min. 10,000,000 operations				
	Electrical	Min. 100,000 operations(250VAC 3A resistive load)				
Repeat error	Max. ±0.3%					
SET error	Max. ±5% ±0.05sec.					
Voltage error	Max. ±0.5%					
Temperature error	Max. ±2%					
Insulation resistance	100MΩ(w/ 500VDC megger)					
Dielectric strength	2000VAC 50/60Hz for 1 minute					
Noise strength	±2kV the square wave noise(pulse width : 1μs) by the noise simulator					
Vibration	Mechanical	0.75mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 1 hour				
	Malfunction	0.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 10 minutes				
Shock	Mechanical	300m/s ² (approx. 30G) in each of X, Y, Z directions for 3 times				
	Malfunction	100m/s ² (approx. 10G) in each of X, Y, Z directions for 3 times				
Environ-ment	Ambient temperature	-10 to 55°C, storage: -25 to 65°C				
	Ambient humidity	35 to 80%RH				
Unit weight	Approx. 75g					

* Environment resistance is rated at no freezing or condensation.

Single Time Range Timer

Parts description



Time setting range

Max. setting time	Setting range
1sec	0 to 1sec
3sec	0 to 3sec
6sec	0 to 6sec
10sec	0 to 10sec
30sec	0 to 30sec
60sec	0 to 60sec
3min	0 to 3min
6min	0 to 6min
10min	0 to 10min
30min	0 to 30min
60min	0 to 60min
3hour	0 to 3hour
6hour	0 to 6hour
12hour	0 to 12hour
24hour	0 to 24hour

Output operation mode

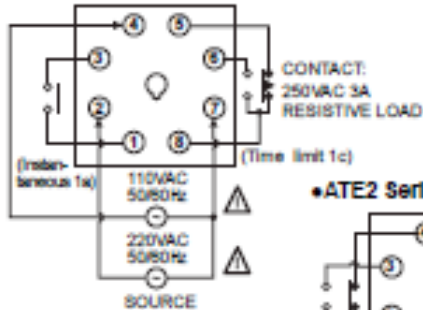
t : Setting time, Rt : Reset time

Model	Time chart
ATE	<p>The time chart for ATE shows the following signal patterns over three cycles (t, Rt, t): - Power 2-7: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Instantaneous N.O. 1-3: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.C. 8-5: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.O. 8-8: High during 'Rt', low during 't' and 't'. - UP LED: High during 'Rt', low during 't' and 't'.</p>
ATE1	<p>The time chart for ATE1 shows the following signal patterns over three cycles (t, Rt, t): - Power 2-7: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.C. 1-4 (8-5): High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.O. 1-3 (8-8): High during 'Rt', low during 't' and 't'. - UP LED: High during 'Rt', low during 't' and 't'.</p>
ATE2	<p>The time chart for ATE2 shows the following signal patterns over three cycles (t, Rt, t): - Power 2-7: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Instantaneous N.C. 1-4: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Instantaneous N.O. 1-3: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.C. 8-5: High during 't' and 't', low during 'Rt'. - Time limit N.O. 8-8: High during 'Rt', low during 't' and 't'. - UP LED: High during 'Rt', low during 't' and 't'.</p>

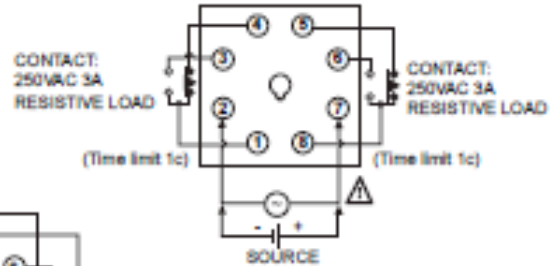
ATE Series

■ Connections

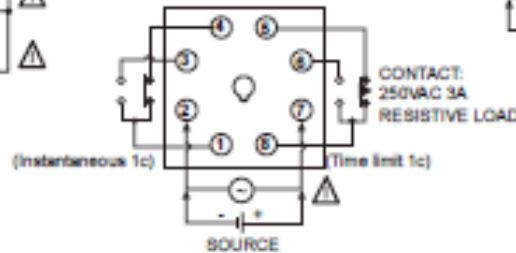
● ATE Series



● ATE1 Series

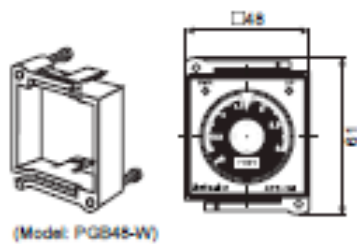


● ATE2 Series



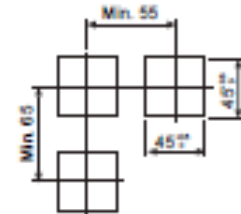
■ Dimensions

● Bracket (sold separately)



● Panel cut-out

(unit: mm)



8-pin socket : PG-08(sold separately)
x) Refer to the G-15 page.

■ Proper usage

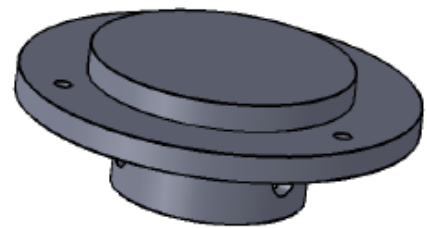
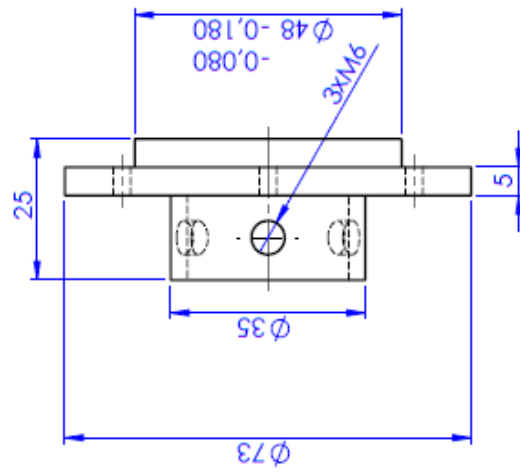
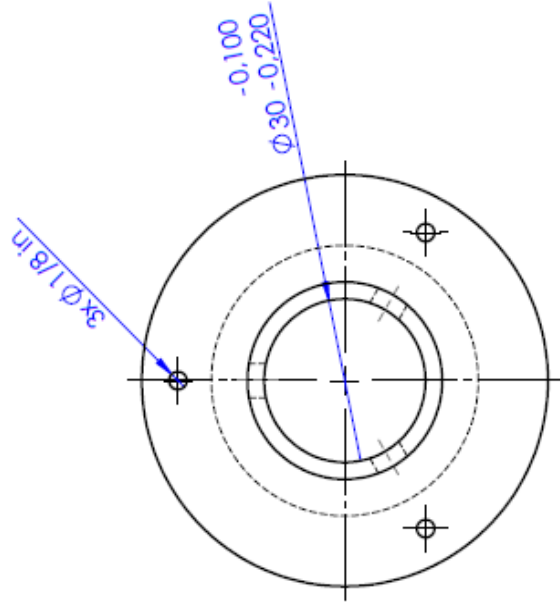
○ Environment

Please avoid the following places:

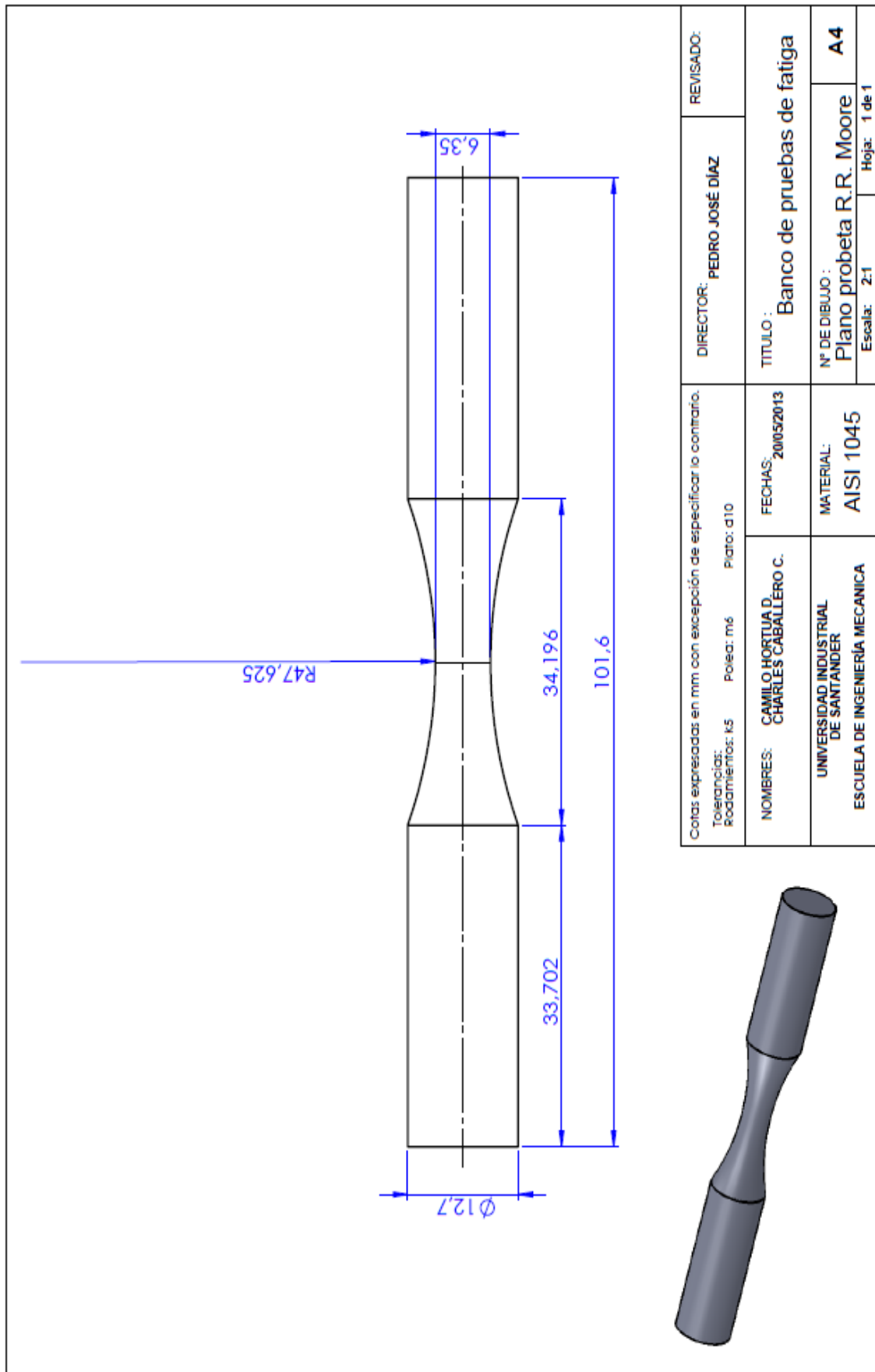
- A place where this product may be damaged by strong impact or vibration.
- A place where corrosive gas or flammable gas and water, oil, dust exist.
- A place where magnetic and electrical noise occur.
- A place where high temperature and humidity are beyond rated specification.
- A place where there are strong alkalis and acids.
- A place where there are direct rays of sun.

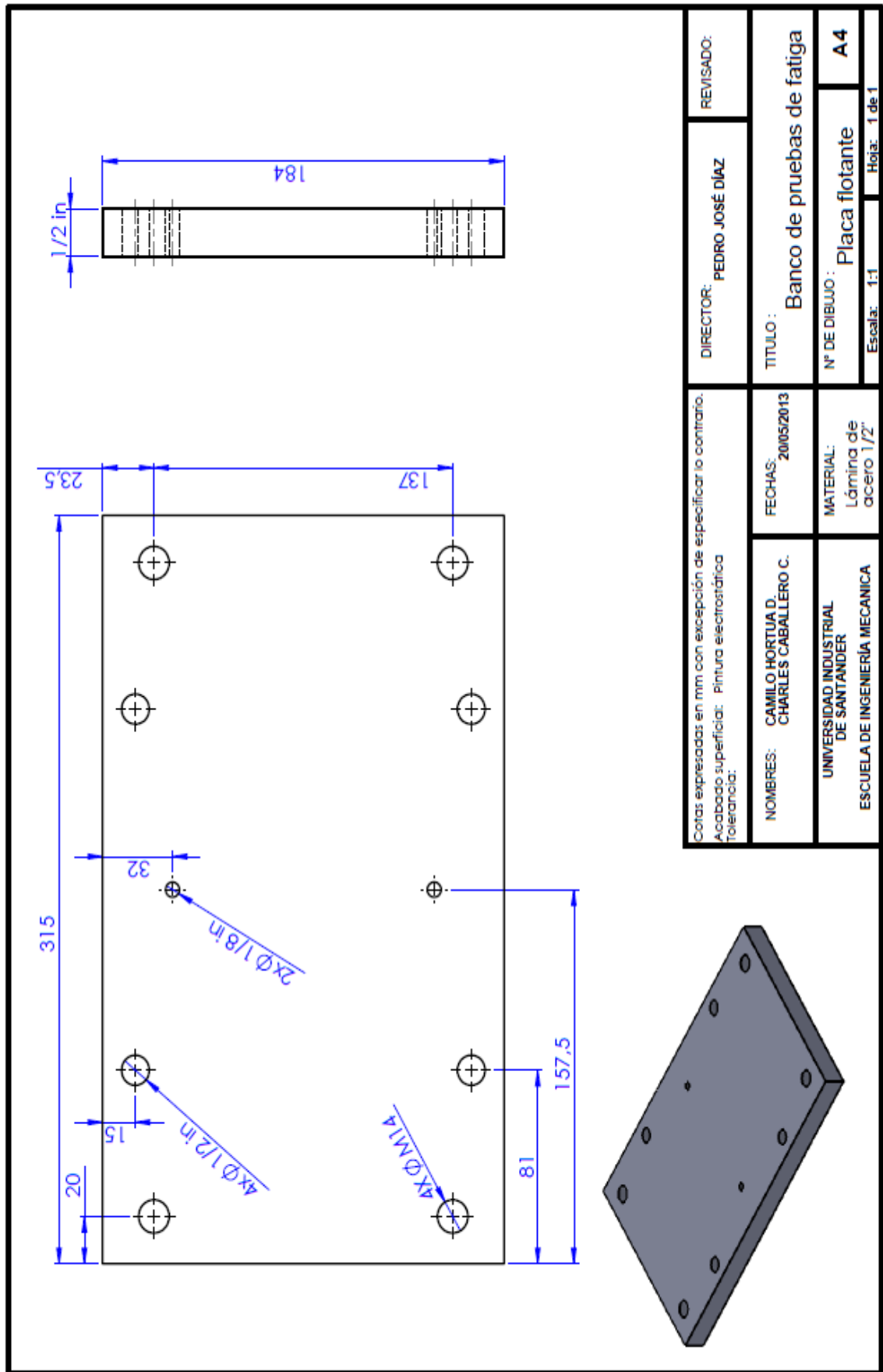
○ Noise

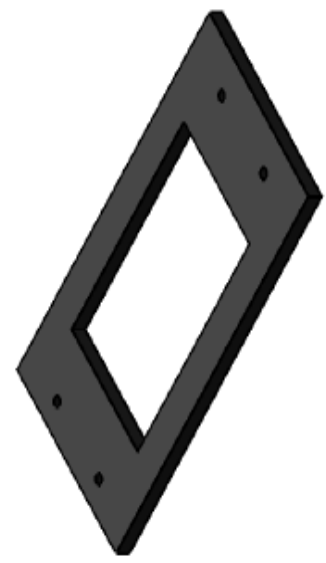
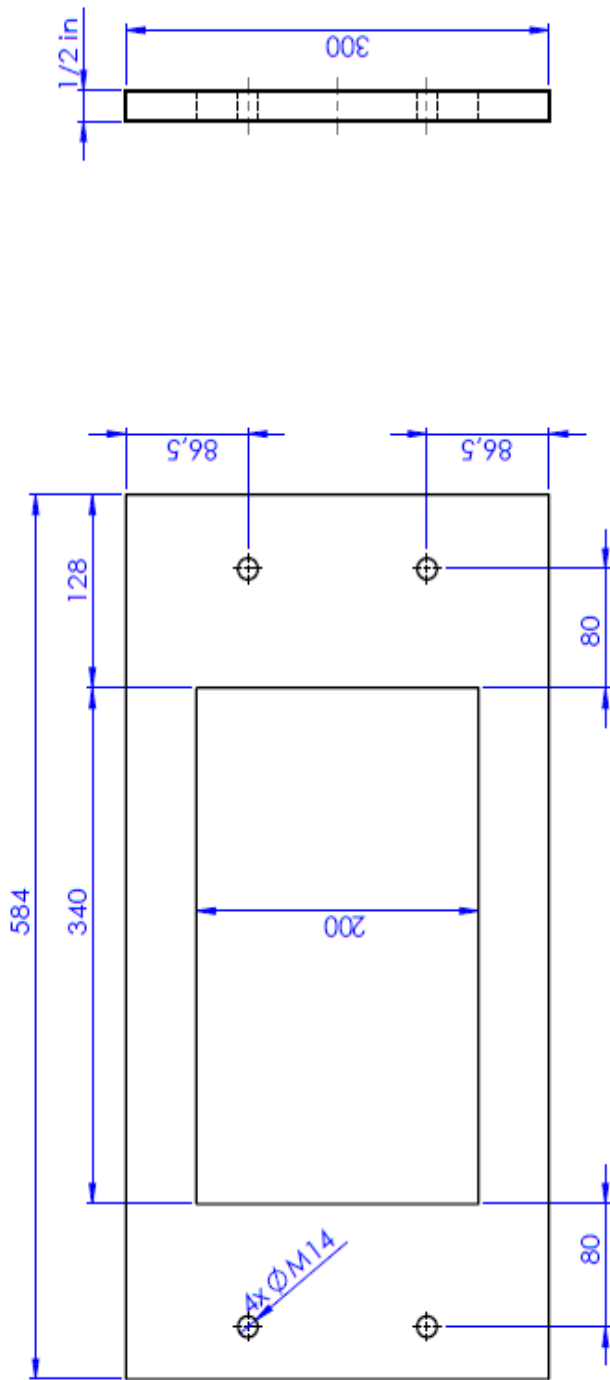
- We test 2kV, Pulse width 1 μ s against Impulse voltage between power terminals and 1kV, Pulse width 1 μ s at noise simulator against external noise voltage. Please install MP condenser(0.1 to 1 μ F) or oil condenser between power terminals when over Impulse noise voltage occurs.
- When testing dielectric voltage and insulation resistance of the control panel with this unit installed.
 - Please isolate this unit from the circuit of control panel.
 - Please make all terminals of this unit short-circuited. (It prevents the damage of inner circuit.)



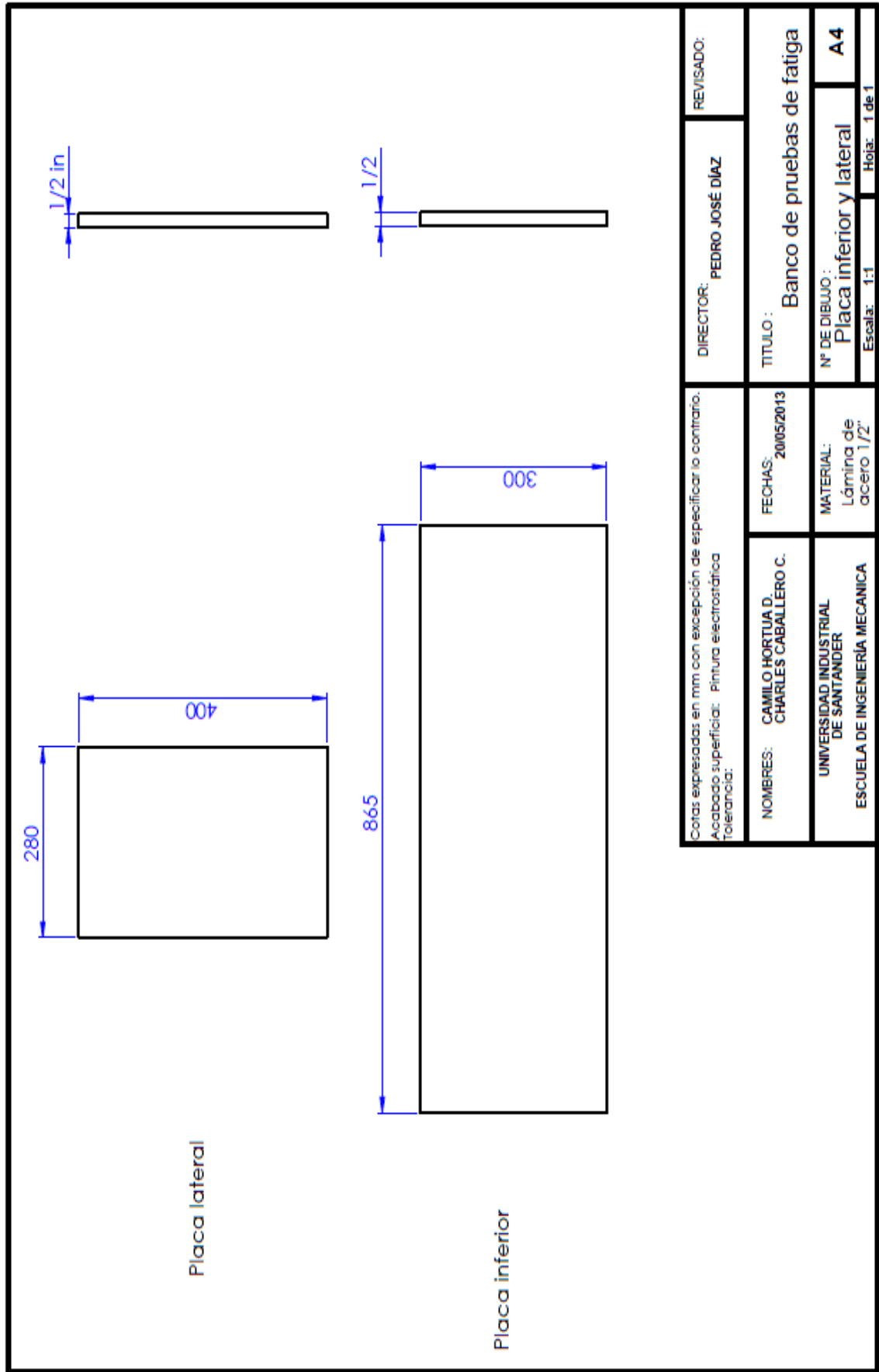
Cortas expresadas en mm con excepción de especificar lo contrario. Tolerancias: Plato: d10 Eje: d10		DIRECTOR: PEDRO JOSÉ DÍAZ REVISADO:
NOMBRES: CAMILO HORTUJA D. CHARLES CABALLERO C. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	FECHAS: 20/05/2013	TÍTULO: Banco de pruebas de fatiga N° DE DIBUJO: Acople con plato de tomo Escala: 1:1 Hoja: 1 de 1

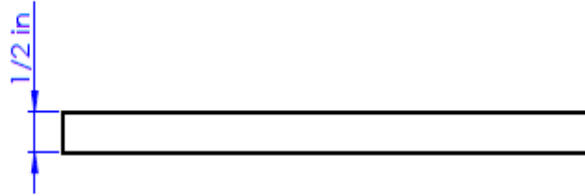
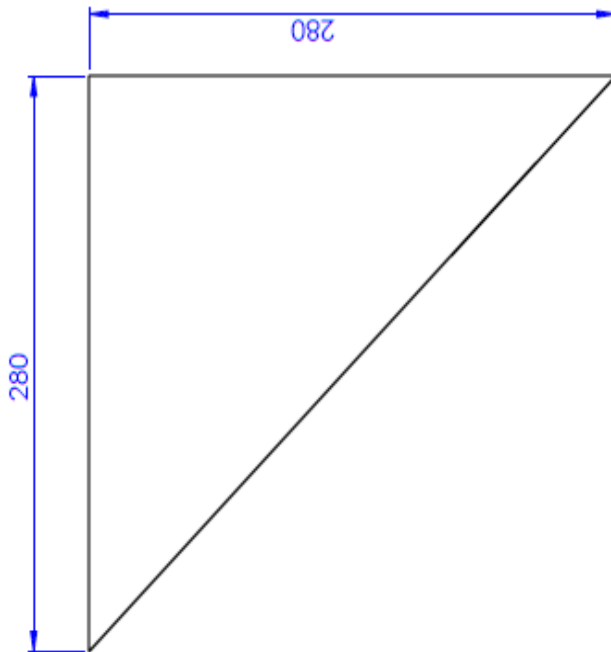




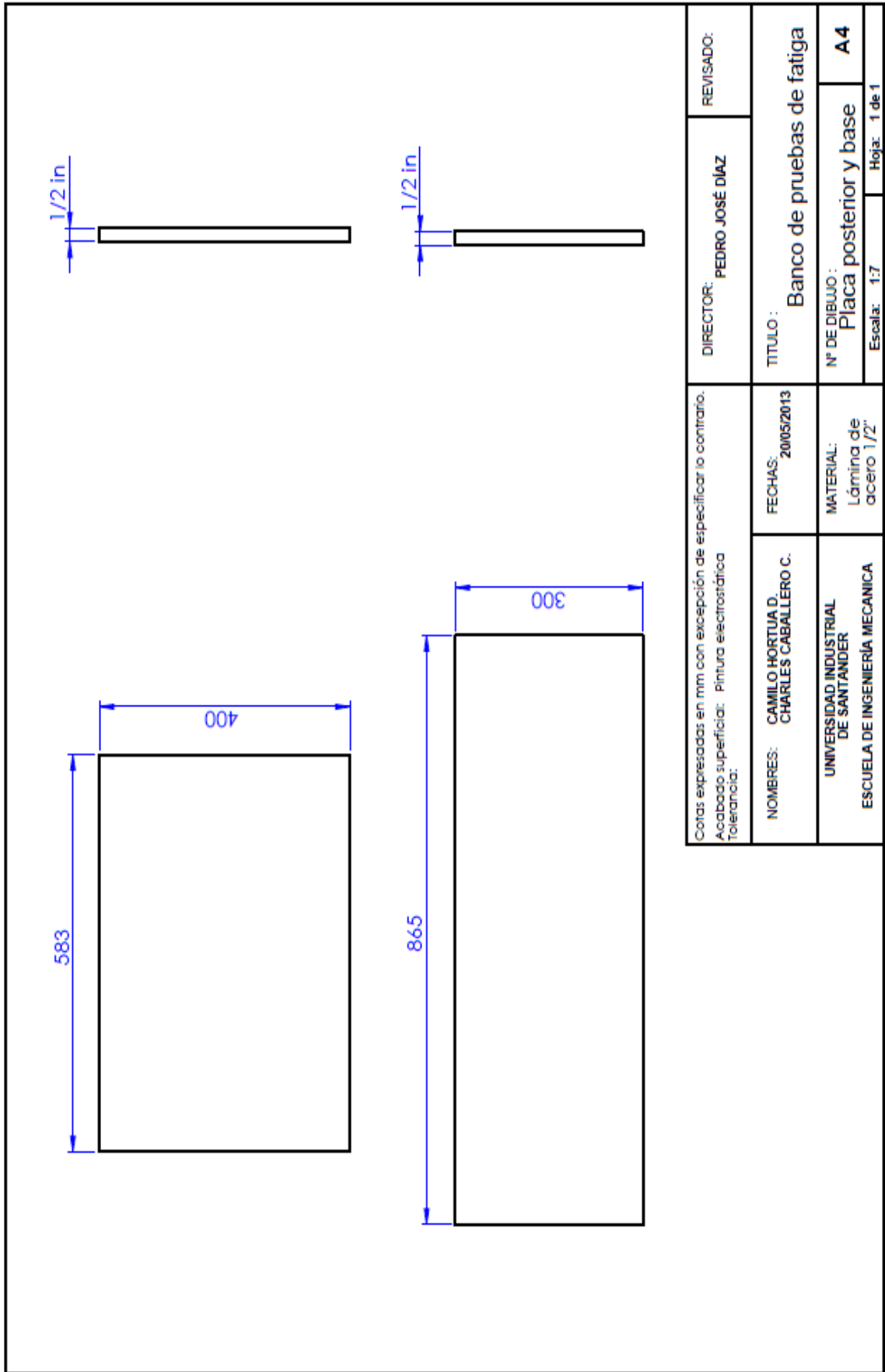


Cotas expresadas en mm con excepción de especificar lo contrario. Acabado superficial: Pintura electrostática Tolerancia:		DIRECTOR: PEDRO JOSÉ DÍAZ	REVISADO:
NOMBRES: CAMILO HORTUA D. CHARLES CABALLERO C.	FECHAS: 20/05/2013	TITULO : Banco de pruebas de fatiga	
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTÁNDER	MATERIAL: Lámina de acero 1/2"	Nº DE DIBUJO : Placa superior	A4
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Escala: 1:1	Hoja: 1 de 1

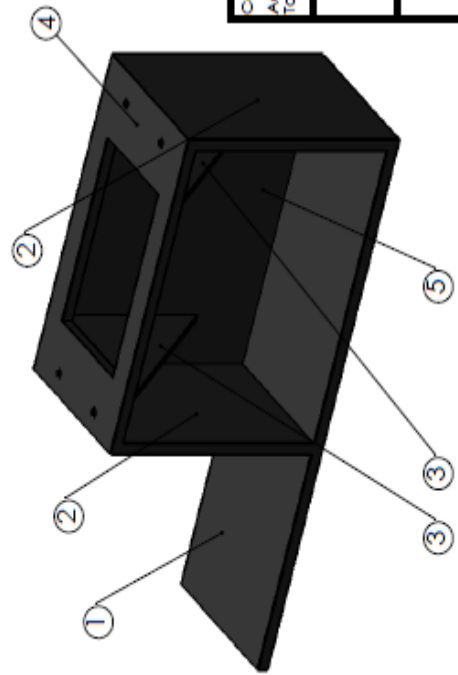
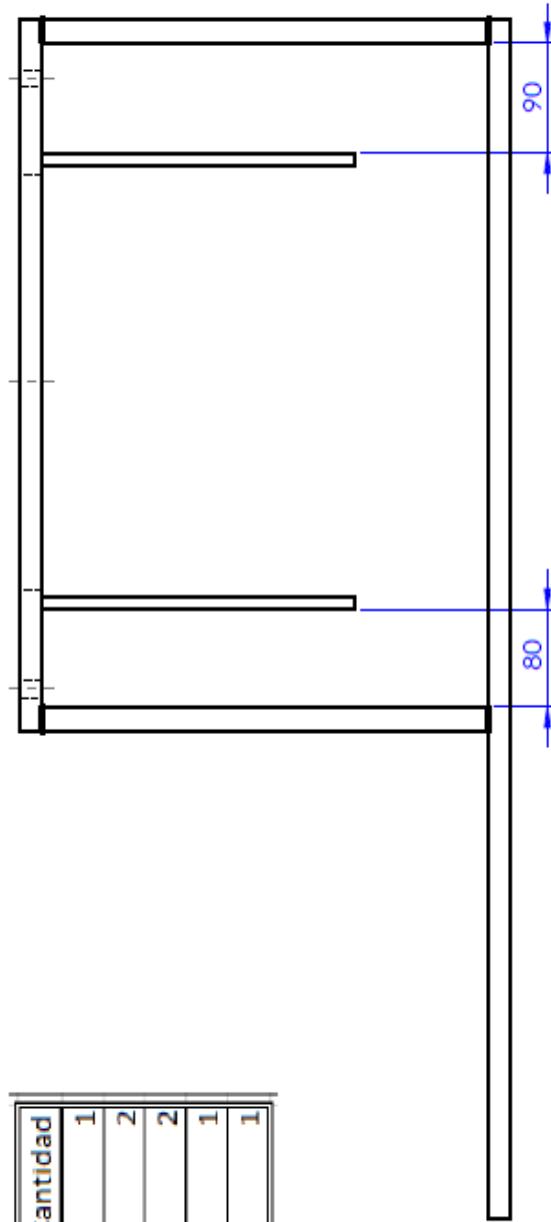




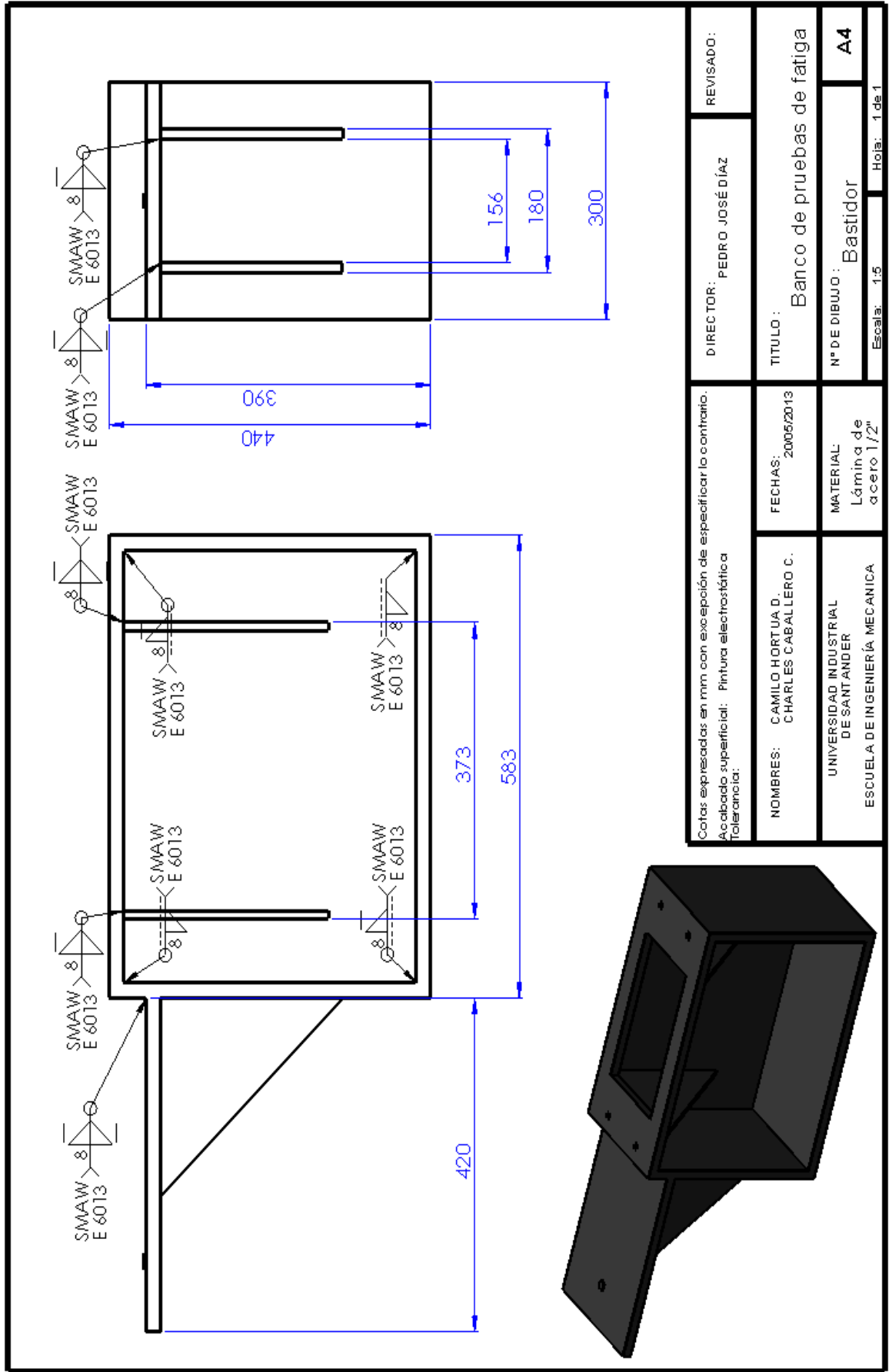
Cotas expresadas en mm con excepción de especificar lo contrario. Acabado superficial: Pintura electrostática Tolerancia:		DIRECTOR: PEDRO JOSÉ DÍAZ	REVISADO:
NOMBRES: CAMILO HORTUA D. CHARLES CABALLERO C.	FECHAS: 2005/2013	TITULO : Banco de pruebas de fatiga	
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MATERIAL: Lámina de acero 1/2"	Nº DE DIBUJO : Soporte triangular	A 4
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Escala: 1:3	Hojas: 1 de 1



#	Nombre de la pieza	Cantidad
1	Placa base	1
2	Lámina lateral	2
3	Triángulo de soporte	2
4	Placa superior	1
5	Placa posterior	1

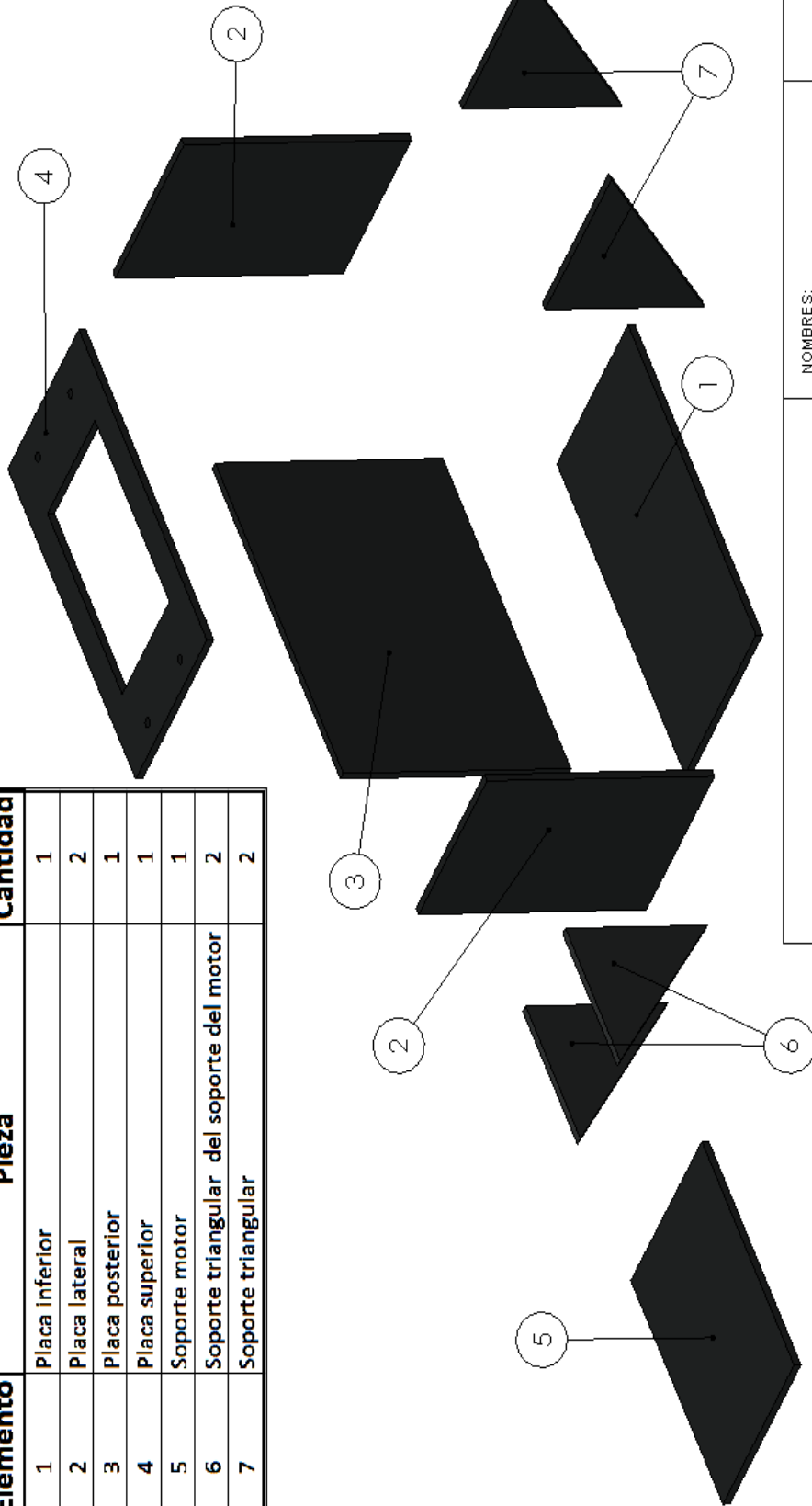


Cotas expresadas en mm con excepción de especificar lo contrario. Acabado superficial: Pintura electrostática Tolerancia:		DIRECTOR: PEDRO JOSÉ DÍAZ	REVISADO:
NOMBRES: CAMILO HORTUJA D. CHARLES CABALLERO C.	FECHAS: 20/05/2013	TÍTULO : Banco de pruebas de fatiga	
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTÁNDER	MATERIAL: Lámina de acero 1/2"	Nº DE DIBUJO : Bastidor	A4
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	Escala: 1:5	Hoja: 1 de 1	

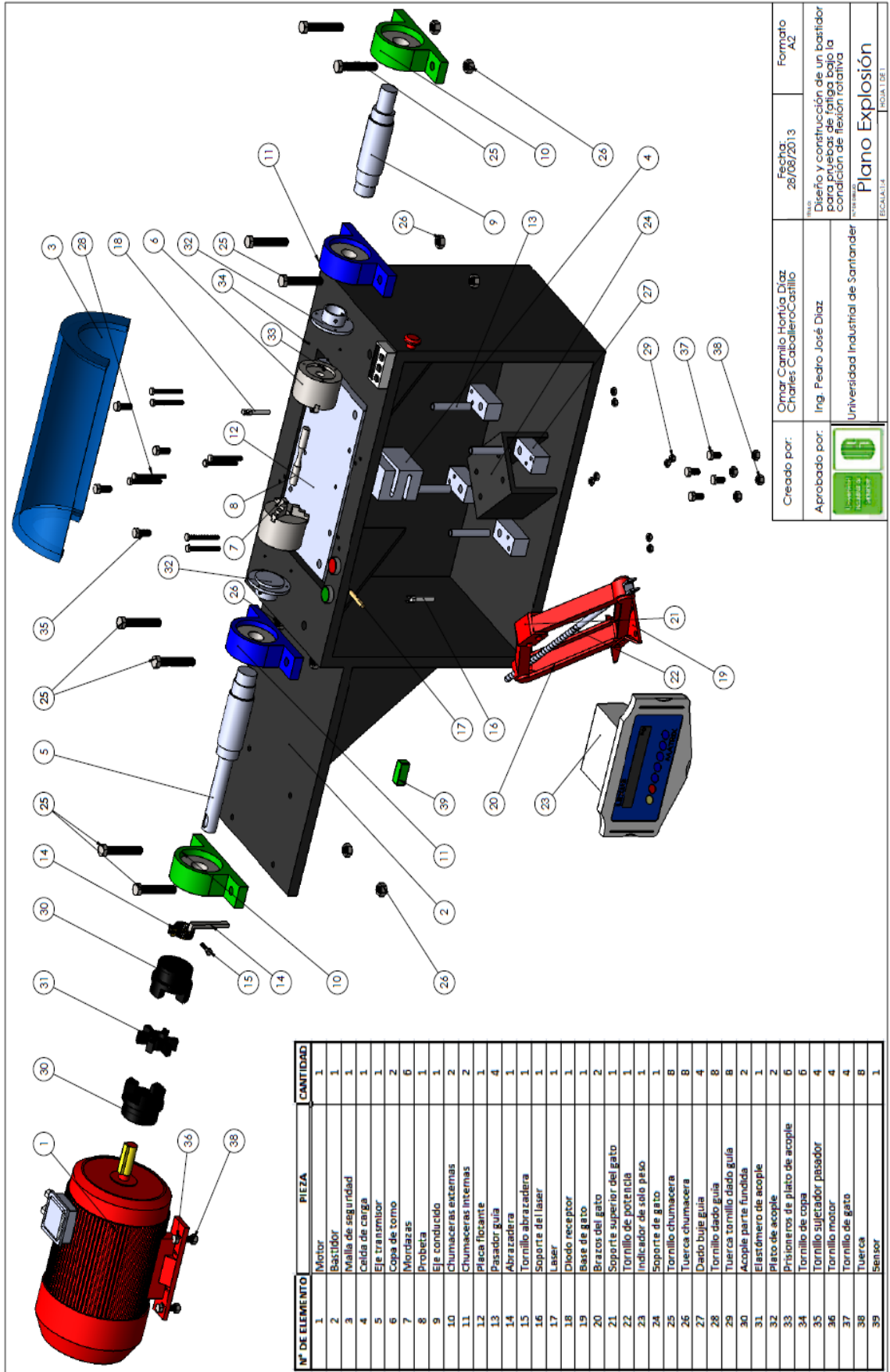


Cojas expresadas en mm con excepción de especificar lo contrario. Acabado superficial: Pintura electrolítica Tolerancia:		DIRECTOR: PEDRO JOSÉ DÍAZ REVISADO:
NOMBRES: CAMILO HORTUA D. CHARLES CABALLERO C.	FECHAS: 2005/2013	TITULO: Banco de pruebas de fatiga
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	MATERIAL: Lámina de acero 1/2"	N° DE DIBUJO: Bastidor Escala: 1:5 Hoja: 1 de 1

Nº Elemento	Pieza	Cantidad
1	Placa inferior	1
2	Placa lateral	2
3	Placa posterior	1
4	Placa superior	1
5	Soporte motor	1
6	Soporte triangular del soporte del motor	2
7	Soporte triangular	2



NOMBRES: PEDRO JOSÉ DÍAZ	
NOMBRES: CAMILO HORTUJA D. CHARLES CABALLERO C.	FECHAS: 20.05/2013
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	MATERIAL: Hierro forjado
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	Nº DE DIBUJO: A4
TÍTULO: Banco de pruebas de fatiga	



Nº DE ELEMENTO	PIEZA	CANTIDAD
1	Motor	1
2	Bastidor	1
3	Malla de seguridad	1
4	Cajita de carga	1
5	Eje transmisor	1
6	Copa de tornillo	2
7	Mordidas	6
8	Probeta	1
9	Eje conducido	1
10	Chumaceras externas	2
11	Chumaceras internas	2
12	Placa fijante	2
13	Pasador guía	4
14	Abrazadera	1
15	Tornillo abrazadera	1
16	Soporte del laser	1
17	Laser	1
18	Diode receptor	1
19	Base de gato	1
20	Braco del gato	2
21	Soporte superior del gato	1
22	Tornillo de potencia	1
23	Indicador de solo piso	1
24	Soporte de gato	1
25	Tornillo chumacera	8
26	Tuerca chumacera	8
27	Dado buje guía	4
28	Tornillo dado guía	8
29	Tuerca tornillo dado guía	8
30	Acople parte fundida	2
31	Elastómero de acople	1
32	Plato de acople	2
33	Prisioneros de plato de acople	6
34	Tornillo de copa	6
35	Tornillo sujetador pasador	4
36	Tornillo motor	4
37	Tornillo de gato	4
38	Tuerca	8
39	Sensor	1

Creado por: Omar Camilo Hortúa Díaz Charles CaballeroCastillo	Fecha: 28/08/2013	Formato A2
Aprobado por: Ing. Pedro José Díaz	Proyecto: Diseño y construcción de un bastidor para pruebas de fatiga bajo la condición de flexión rotativa	
Universidad Industrial de Santander		ESCALA 1:1
Plano Explosión		HOJA 1 DE 1