



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL
ECUADOR**

FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
ALTERNADORES CON VELOCIDAD VARIABLE E INTERFAZ GRÁFICA
PARA EL LOCAL COMERCIAL “AUTOREPUESTOS LUIS RODRÍGUEZ”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

ESTEBAN FERNANDO RODRÍGUEZ CADENA

DIRECTOR: ING. VERÓNICA GREFA AGUINDA, (MSc)

D. M. Quito,

2020

DECLARACIÓN

Yo Esteban Fernando Rodríguez Cadena, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

Esteban Fernando Rodríguez Cadena

C.I. 171802994-3

CERTIFICACIÓN

El proyecto de investigación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ALTERNADORES CON VELOCIDAD VARIABLE E INTERFAZ GRÁFICA PARA EL LOCAL COMERCIAL 'AUTOREPUESTOS LUIS RODRÍGUEZ V.' ", fue desarrollado por el Sr. RODRÍGUEZ CADENA ESTEBAN FERNANDO ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Facultad de Ciencias Técnicas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

ING. VERÓNICA GREFA AGUINDA, MSc
DIRECTOR DE PROYECTO

Agradecimientos

Agradezco a...

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema	1
2.	Objetivos	1
2.1.	General	1
2.2.	Específicos	1
3.	Problema	1
4.	Hipótesis	2
5.	Estudio teórico de los alternadores y bancos de prueba	2
5.1.	Estudio de alternativas	2
5.2.	Conceptos	13
5.2.1.	Alternador	13
5.2.1.1.	Principio de Funcionamiento del Alternador	15
5.2.1.2.	Partes del alternador	18
5.2.1.3.	Funcionamiento del alternador	20
6.	Diseño Electrónico	31
6.1.	Selección del motor eléctrico para transmisión de movimiento	32
6.2.	Selección del variador de frecuencia	34
6.3.	Selección de Controlador	40
6.4.	Selección de la pantalla para la interfaz con el usuario (HMI)	42
6.5.	Selección de Sensores	43
6.6.	Cálculo de las protecciones	47
7.	Dimensionamiento Mecánico	49
7.1.	Diseño de bases y paredes	51
7.1.1.	Diseño por Resistencia	52
7.1.2.	Diseño por Rigidez	57
7.1.3.	Simulación FEA (Finite Element Analysis)	58
7.1.4.	Selección del material para la base del Banco de Pruebas para Alternadores	59
7.2.	Diseño de vigas	60

7.2.1.	Diseño por Rigidez	60
7.2.2.	Simulación FEA	63
7.3.	Diseño de Pilares	64
7.3.1.	Diseño de columna a compresión	64
7.3.2.	Simulación FEA	68
7.4.	Diseño de Soldadura	69
7.5.	Diseño de los Ejes Guía del Carro de Tensado	72
7.5.1.	Análisis de Cargas	73
7.5.2.	Diseño por Rigidez	76
7.5.3.	Selección de Material para los Ejes	77
7.5.4.	Simulación FEA (Finite Element Analysis)	78
7.6.	Diseño del Tornillo de Potencia y Volante	79
7.6.1.	Análisis por Rigidez	80
7.6.2.	Cálculo de Torques y Velocidades	81
7.6.3.	Cálculo del Volante para el Tensado	84
7.7.	Diseño de soportes para los ejes guía y tornillo de potencia	85
7.7.1.	Diseño por Rigidez	86
7.8.	Simulación FEA	87
7.9.	Análisis de Ajuste	87
7.9.1.	Cálculo de pernos	90
7.10.	Diseño del Eje de Sujeción del Alternador	93
7.10.1.	Diseño por Rigidez	93
7.10.2.	Simulación FEA (Finite Element Analysis)	94
7.10.3.	Selección de Materiales para el Eje de Sujeción	95
7.11.	Diseño pin de bloqueo del volante	95
7.11.1.	Diseño por Rigidez	96
7.11.2.	Simulación FEA (Finite Element Analysis)	96
7.11.3.	Selección Materiales para el pin de bloqueo	97
7.11.4.	Cálculo de la cantidad de puntos de bloqueo en el volante	97
7.12.	Selección de correa de transmisión	98

7.13.	Selección de Rodamientos	103
8.	Programación	105
8.1.	Adquisición de datos	106
8.2.	Diseño Sección de control HMI	110
8.3.	Generación de informes mediante Json	111
8.4.	Presentación de Gráficas en HMI	112
8.5.	Servidor Web para la generación del informe	114
8.6.	Generación del Informe	115
9.	Conclusiones y Recomendaciones	115

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Circuito equivalente cada fase del alternador [1]	16
2. Representación gráfica de la Ley de Faraday [2]	17
3. Líneas de campo perpendiculares al área de la espira [3]	18
4. Variación del flujo magnético según el sentido de circulación de la corriente [4]	18
5. Despiece del alternador [5]	19
6. Bobinas inductoras, masas polares y anillos deslizantes [5]	20
7. Diagrama de conexión del alternador [6]	20
8. Circuito de pre-excitación [7]	21
9. Circuito de excitación [7]	22
10. Señal trifásica generada por el alternador [5]	22
11. Potencia y corriente generados por el alternador en función de la velocidad de rotación en rpm [8]	23
12. Comprobación de aislamiento entre masa y bobinas inductoras [5]	26
13. Comprobación de continuidad en la bobina del rotor [5]	26
14. Comprobación de aislamiento de la bobina inducida y masa [5]	27
15. Conexión tipo estrella y triángulo [5]	28
16. Comprobación de continuidad de las bobinas inducidas conectadas en es- trella [5]	28
17. Verificación de continuidad en bobina inducida de un alternador Bosch [5] .	29
18. Diagrama de bloques del sistema electrónico	32
19. Simulación del módulo FZ04030	44
20. Transformador de corriente Camsco CFS [9]	45
21. Módulo sensor de corriente ACS712 5 A [10]	46
22. Diagrama Unifilar	47
23. Propuesta de estructura para banco de prueba de alternadores (Plano D03- 001)	50
24. Estructura metálica (Plano D03-003)	50
25. Carro de tensado (Plano D03-004)	51

26. Sección a analizar de la tapa superior	52
27. Diagrama de cuerpo libre, diagrama de cortantes y diagrama de momentos de una sección de la tapa superior	53
28. Dimensiones a considerar de la pieza para el cálculo	55
29. Simulación de deflexión sección de la tapa	59
30. Simulación de deflexión de tubo cuadrado	63
31. Factor de seguridad del pilar	69
32. Dimensiones a considerar en el cálculo de soldadura	70
33. Carro de tensado	73
34. Diagrama de fuerzas de ejes de carro de tensado	74
35. Rodamientos lineales Ecuarobotics [11]	78
36. Deflexión presentada en los ejes guía del carro de tensado	79
37. Dimensiones placa de sujeción de ejes guía	86
38. Deformación de la placa de soporte de los ejes guía	87
39. Ajuste con juego	89
40. Ajuste con apriete	89
41. Diagrama de sistema empernado	90
42. Área para análisis de rotura de placa empernada	92
43. Deflexión presentada en el eje de sujeción	94
44. Pin de bloqueo del volante	95
45. Deflexión presentada en el pin de bloqueo del volante	97
46. Separación entre puntos de fijado	98
47. Distancia entre centros de las poleas del motor y el alternador	99
48. Diagrama del sistema de transmisión por banda tipo V	99
49. Ancho de la polea de alternador modelo	103
50. Diagrama de bloques de programación	106
51. Aplicaciones Qt instaladas	107
52. Ubicación librería WiringPi	108
53. Configuración Raspberry Pi	109
54. Activar I2C Raspberry Pi	109

55. Conexión Slider con Display Qt Creator	110
56. Valores leídos en formato Json	112
57. Configuración Widget para Custom Plot	113
58. Promote to Widget Custom Plot	113
59. HMI completo	114
60. Obtener dirección del servidor Web	115
A.1. Circuito de carga [7]	124
A.2. Regulación de tensión [7]	124
A.3. Regulación de tensión (aumento de tensión) [7]	125
A.4. Regulación de tensión (aumento rápido de tensión) [7]	125
B.1. Fusible sección de potencia [12]	126
B.2. Fusible sección de control [13]	127
C.1. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas [14]	128
C.2. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas [14]	129
D.1. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetal [15] . . .	130
D.2. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetal [15] . . .	130
D.3. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetal [15] . . .	130
E.1. Tubo estructural cuadrado Dipac [16]	131
F.1. Valores de k según el tipo de sujeción de los extremos de la columna [17] . .	132
G.1. Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros [14]	133
H.1. Propiedades flexionantes de la soldadura de filete [14]	134
H.2. Propiedades del electrodo para soldadura SMAW [14]	135
H.3. Cargas permisibles para soldadura de filete [14]	135
I.1. Medida de tensado de banda	136
I.2. Toma de medidas de fuerza para tensado de banda	136
J.1. Representación Esquemática de intervalos de tolerancia [18]	137
J.2. Valores de tolerancia estándar [18]	138
J.3. Valores fundamentales de desviación para agujeros [18]	139
J.4. Valores fundamentales de desviación para agujeros [18]	140

J.5. Valores fundamentales de desviación para ejes [18]	141
K.1. Modos de falla por carga cortante de una conexión con pernos [14]	142
K.2. Características de pernos SAE [14]	142
L.1. Coeficiente de Servicio para Bandas tipo V [19]	143
L.2. Gráfico para selección de perfil de la banda tipo V [19]	143
L.3. Longitudes primitivas de las correas [19]	144
L.4. Potencia transmitida por correa [19]	145
L.5. Coeficiente de sobrecarga para banda tipo V [19]	145
L.6. Coeficiente de adherencia para banda tipo V [19]	145

ÍNDICE DE TABLAS

1. Bancos de prueba para alternadores existentes	4
2. Comparación entre dínamo y alternador [5]	14
3. Etapas de funcionamiento del alternador	24
4. Potencia requerida por consumidores en un automóvil [20]	30
5. Potencia y rpm de motores de proyectos y productos comerciales [21, p. 777]	33
6. Variadores de frecuencia	36
7. Requerimientos para el controlador	40
8. Pinout Raspberry Pi 3 [22]	41
9. Pantallas Raspberry	42
10. Consumos sección de control	48
11. Deflexiones Máximas Permisibles [21, p. 777]	57
12. Diámetros de Tornillos de Potencia ISO [23]	81
13. Coeficientes de rozamiento estáticos obtenidos de diferentes fuentes [24]	82
14. Valores medidos de Fuerza para Tensar la banda	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Etapas de Funcionamiento del alternador en el automóvil.	124
Anexo B: Elementos de protección electrónica	126
Anexo C: Ecuaciones de cálculo para diseño por rigidez	128
Anexo D: Planchas de Acero A36 ofertadas en Dismetal	130
Anexo E: Tubo Estructural cuadrado Dipac	131
Anexo F: Factor k para columna a compresión	132
Anexo G: Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros	133
Anexo H: Datos para soldadura de filete	134
Anexo I: Fuerza necesaria para tensar banda de transmisión	136
Anexo J: Tablas para cálculo de ajuste	137
Anexo K: Tablas para pernos	142

Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V	143
Anexo M: Código Fuente	146
Anexo N: Planos Mecánicos	170
Anexo O: Planos Electrónicos	216
Anexo P: Planos Informáticos	223

BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES

1. Tema

El tema del proyecto planteado es el diseño de un banco de pruebas de alternadores con velocidad variable e interfaz gráfica.

2. Objetivos

2.1. General

Verificar el correcto funcionamiento de alternadores a través de un banco de pruebas que presente una interfaz amigable con el usuario.

2.2. Específicos

- Investigar y documentar el funcionamiento de un alternador y los parámetros que se deben verificar para conocer si se encuentra en buen estado.
- Consultar las diferentes opciones que existen en el mercado y dar un valor agregado al producto final que lo diferencie de la competencia.
- Diseñar los componentes mecánicos del sistema e identificar y seleccionar los componentes electrónicos y de control.
- Implementar un sistema de control a través de un HMI que permita al operario seleccionar diferentes opciones como por ejemplo las revoluciones por minuto o la carga (resistencia) que se desea aplicar al alternador así como realizar pruebas tanto manuales como automáticas del alternador y emitir un informe con los resultados obtenidos.

3. Problema

Si bien existen ya en el mercado dispositivos similares, la idea principal del proyecto planteado es el desarrollo de un banco de pruebas para alternadores de automóviles (12

V) que posea características diferenciadoras y que además permita un continuo mantenimiento y actualización del banco para mejorar o corregir características e incluso aumentar nuevas funciones según la empresa necesite, este punto es muy importante debido a que, actualmente, la empresa dispone de un banco de pruebas que permite tomar medidas básicas pero no ofrece ningún valor agregado además que, presenta problemas referentes a la placa de control constantemente y, debido a que la máquina hace uso básicamente de elementos analógicos, su reparación es muy compleja de modo que, al implementar módulos digitales y un sistema de control con menor cantidad de componentes y, por ende, menos compleja, el costo de mantenimiento se reducirá.

4. Hipótesis

El prototipo una vez construido es capaz de realizar pruebas completas al alternador sin necesidad de que el operador manipule los parámetros, en adición emitirá un reporte con los valores tomados con el fin de que la empresa pueda dar un documento certificado al cliente y así evitar problemas futuros con el consumidor. El prototipo incluye también una modalidad manual en donde el operador puede realizar diversas pruebas como por ejemplo: medir corriente y voltaje provistas por el alternador a diferentes velocidades (esta velocidad será controlada a través de un HMI táctil) así como también verificar cómo se comporta el alternador cuando debe alimentar diferentes cargas.


5. Estudio teórico de los alternadores y bancos de prueba

5.1. Estudio de alternativas


Un banco de pruebas para alternadores consta básicamente de 3 partes esenciales que son la sección de tensado de la banda y ajuste del alternador, el motor que transmite el movimiento a la polea del alternador y finalmente la sección de lectura de variables (Corriente y Voltaje) para evaluar la respuesta y obtener curvas de funcionamiento. El sistema de sujeción y tensado, potencia y rpm del motor y el método de adquisición de las variables son básicamente las características que diferencian a los bancos de prueba existentes. En la Tabla 1. se presentan trabajos similares en donde se incluyen proyectos de investigación

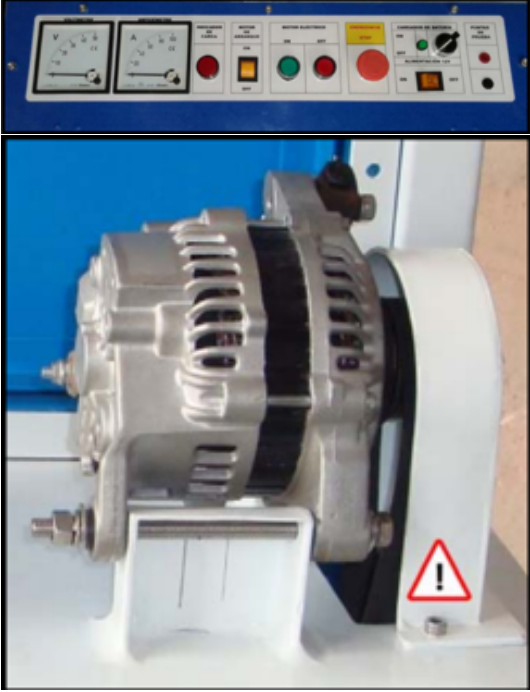
(Tesis) así como también productos comerciales que ofrecen servicios similares a los que se busca en el presente proyecto de titulación.


Tabla 1. Bancos de prueba para alternadores existentes


Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
Proyecto: “Diseño y construcción de probador de alternadores y motores de arranque para vehículos” [25]	Proyecto de investigación desarrollado en Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE dirección de investigación y proyección social	<ul style="list-style-type: none">■ Dimensiones: 150 x 81 x 60 cm■ Motor eléctrico trifásico 220 V 3 HP■ Variador de frecuencia Sinamics G110■ Visualización de voltaje y corriente a través de voltímetro y amperímetro analógicos■ Batería 12 V	


Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Proyecto “Diseño y construcción de un banco de pruebas para alternadores” [26]</p>	<p>Proyecto desarrollado por Rubén Alejandro Posligua Yépez, Universidad San Francisco de Quito - USFQ Colegio de Ciencias e Ingeniería</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 90 x 60 x 60 cm ■ Motor 220 VAC y variador de frecuencia (No especifica características de los elementos) ■ Permite variar velocidad a través de una perilla en el tablero ■ Batería 12 V ■ Visualización de Voltaje y corriente a través de voltímetro y amperímetro analógicos. ■ Sistema regulable para anclaje del alternador 	


Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Proyecto “Diseño y construcción de un banco de pruebas para generadores D.C. de aeronaves del ala de combate N22” [4]</p>	<p>Proyecto desarrollado por: Edison Iván Domínguez Chuiza, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 140 x70 x 65 cm ■ Variador de frecuencia Siemens Sinamics G110 ■ Motor trifásico Siemens 1LA7 096-2YA60 de 2 HP, 220 V, 7,8 A, 1100 rpm ■ Control de velocidad a través de una perilla ■ Cargas para prueba desde 300 W hasta 1500 W 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Proyecto “Diseño y construcción de un banco de entrenamiento para alternadores y motores de arranque” [27]</p>	<p>Proyecto desarrollado por: Erasmo Israel García Ochoa, Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Automotriz</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 160 x 75 (No especifica otra dimensión) ■ Motor DC - 12 V - 1,4 kW - 591 A ■ Lecturas a través de voltímetro y amperímetro analógico ■ No permite variación de velocidad 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Banco de pruebas Electro Lipe [28]</p>	<p>Producto Comercial, Marca Electro Lipe</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: no se especifica ■ Motor 5,5 Hp serie TRIR ■ Variación de velocidad opcional ■ Permite análisis de alternadores, así como también de motores de arranque ■ Voltaje de operación: 6 V, 12 V, 24 V ■ Corriente de operación: 200 - 1200 [A] 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
Banco de alternadores BAPE 2010 [29]	Producto Comercial marca RM	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 55 x 42 x 40 cm ■ Peso: 35 kg ■ Alimentación 120 V - 60 Hz ■ Variación de velocidad: No se especifica ■ Motor: No se especifica 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Banco de pruebas serie AR1 PETIT [30]</p>	<p>Producto comercial Marca Rosell</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 65 x 80 x 70 cm ■ Peso: 110 kg ■ Conexión a la Red 380 V - 50 Hz - 4 KW / 220 V - 50 Hz - 3 KW ■ motor asincrónico trifásico de 5,5 Hp 3000 rpm y monofásico de 4 Hp 3000 rpm. ■ Mediciones se despliegan en Voltímetro y amperímetro digitales ■ No permite variar velocidad 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Banco de pruebas doble Serie AR10 con velocidad variable [30]</p>	<p>Producto comercial Marca Rosell</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 155 x 90 x 130 cm ■ Peso: 440 kg ■ Motor asincrónico trifásico de 10 Hp y 3000 rpm llevado a 5000 rpm por medio de un variador de velocidad a frecuencia. Con opción a llevar a 6000 rpm. ■ Conexión a la Red 380 V - 50 Hz - 7,5 KW. ■ Prueba de alternadores en 12 y 24 V. ■ Elementos de medición: Voltímetro, amperímetro, tacómetro y manómetro digitales 	

Nombre de máquina o proyecto	Tipo	Especificaciones	Fotografía
<p>Onyx Tester [31].</p>	<p>Producto Comercial Marca TMA</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dimensiones: 80 x 52 x 45 cm ■ Peso: 90 kg ■ 220V, 50/60 Hz ■ Incluye 2 baterías de 12V ■ Base de datos de más de 190000 alternadores ■ Reportes detallados impresos ■ Sistema operativo Windows con panel táctil ■ Motor de 3 Hp con variación de velocidad hasta 4000 rpm 	

5.2. Conceptos

5.2.1. Alternador

El objetivo general de un automóvil es el transporte de la gente desde un punto A hasta un punto B, a pesar de lo sencillo que suena, el funcionamiento de un automóvil conlleva una gran cantidad de componentes, el presente trabajo se enfocará en uno de los componentes principales, el alternador. En un automóvil se necesita de una fuente de corriente continua que, además de alimentar ciertos circuitos internos como, por ejemplo: bomba eléctrica del combustible, ventilador, radio, luces, sensores, etc, está encargada de proveer la energía necesaria a las bujías para posible generar la chispa que enciende el combustible provocando la explosión encargada de generar el movimiento en el motor. Esta fuente DC a la que se hace referencia, no es más que una batería, sin embargo, el problema es que, como sucede con cualquier batería, esta no posee energía ilimitada y va a descargarse de modo que, es necesario un sistema capaz de cargar la batería y alimentar los componentes antes mencionados, es aquí en donde entra en funcionamiento un dínamo o un alternador. Es conocido ya que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma, esta ley física es de suma importancia para iniciar el tema referente a los alternadores ya que, es precisamente esto lo que sucede en un alternador. El alternador es un dispositivo eléctrico cuya función es transformar la energía mecánica que se genera en el motor y aprovecharla para generar energía eléctrica. Como se mencionó previamente, se puede hacer uso de un dínamo en lugar del alternador y, de hecho, en un inicio, los automóviles utilizaban el dínamo para cumplir con la tarea indicada, sin embargo, existen ciertas características que posee el alternador que lo vuelven una mejor opción, en la Tabla 2 se muestra una comparación entre alternador y dínamo (Es importante mencionar que el dínamo es un dispositivo muy parecido al alternador, que cumple con funciones similares).

Tabla 2. Comparación entre dínamo y alternador [5]

Características	Dínamo	Alternador
RPM mínimo	<p>Para comenzar a cargar necesita de al menos 1500 rpm, esto implica que cuando el vehículo se mueve lentamente (ralentí = 800 rpm), el dínamo no será capaz de cargar. El problema con este punto se hace evidente sobre todo en escenarios con mucho tráfico.</p>	<p>El alternador comienza a cargar a una velocidad conocida como ralentí, esta velocidad va a depender del automóvil y de la cantidad de dispositivos encendidos, normalmente suele oscilar entre 700 - 1000 rpm y en vehículos pesados como buses es menor, 540 rpm. Mientras el vehículo está en movimiento, por más mínimo o lento que este sea, el alternador ocupa el lugar de la central eléctrica del automóvil</p>
RPM máximo	<p>Se presenta el denominado centrifugado del colector, esto es un daño en el colector debido a la fuerza centrífuga, este daño se evidencia a partir de las 3500 rpm.</p>	<p>No presenta problemas a altas velocidades</p>

Características	Dínamo	Alternador
Potencia y Dimensiones	<p>Hay 2 puntos a tomar en cuenta en esta comparación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ El dínamo es menos eficiente que el alternador, esto se traduce en que, para obtener las mismas lecturas (Potencia) en un dínamo en comparación con un alternador, se necesitaría de un dispositivo entre 35 % a 40 % mas pesado, en conclusión, considerando la potencia que el alternador es capaz de suministrar, se puede decir que es un elemento relativamente pequeño. ■ Como se mencionó en un punto anterior, el dínamo no será capaz de cargar la batería en escenarios de tráfico por ende, se necesitaría de una batería de mayor capacidad en caso de que el automóvil haga uso de un dínamo. 	
Elementos Extras	Necesita el uso de un disyuntor y un regulador de intensidad.	Regulador de tensión
Tipo de Corriente Generada	Corriente Continua.	Corriente Alterna.

Como se evidencia en la Tabla 2, el alternador es una mejor opción prácticamente en cada uno de los aspectos presentados, el único punto a favor del dínamo es el tipo de corriente que genera pues, al generar corriente continua ya no es necesario un circuito rectificador; sin embargo, esta ventaja no es suficiente cuando se la contrasta con todas las demás características en donde el alternador lo supera.

5.2.1.1. Principio de Funcionamiento del Alternador

En un automóvil existe un ciclo continuo entre la batería, el motor y el alternador. El

proceso se basa en la constante transformación de la energía, de mecánica a eléctrica y nuevamente la energía eléctrica será utilizada para dar inicio al movimiento del motor (energía mecánica). Esta transformación de energía está basada en la ley de Faraday, misma que se presentará a detalle más adelante, para lo cual es importante disponer de dos partes principales: rotor y estator.

En la Figura 1 se presenta el circuito equivalente de cada fase del alternador (es un dispositivo trifásico). Se observa que existe una resistencia propia del bobinado en la sección izquierda del diagrama que hace referencia al rotor así como también se presenta una fuente de DC con la cual se genera un campo magnético o "dc field" como se menciona en el diagrama existe además, una corriente (I_{f_dc}) que genera este campo, por otro lado, en el estator, representado en la parte derecha del diagrama, existe, una resistencia propia de la armadura (R_a), una reactancia inductiva (X_L), una reactancia propia de la armadura del alternador (X_{ar}), una fuente de voltaje E y, tal como en el estator, se presenta una corriente (I_L).

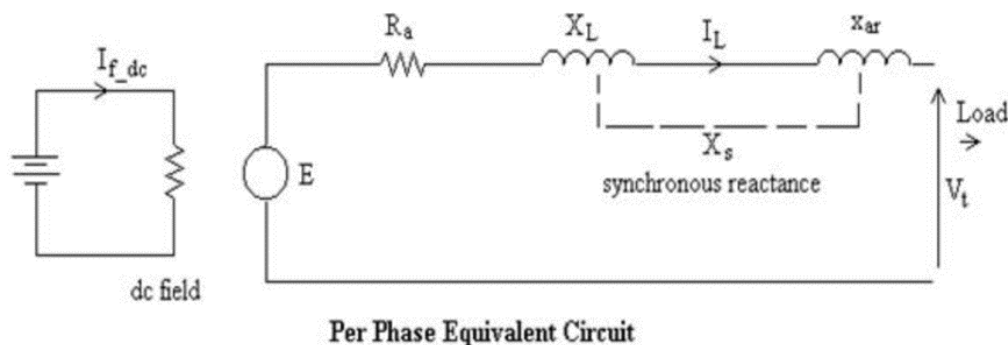


Figura 1. Circuito equivalente cada fase del alternador [1]

La ley de Faraday dicta que, cuando una espira gira al interior de un campo magnético, se produce una variación del flujo magnético en la espira y, en consecuencia, una corriente eléctrica es generada en el conductor.

Mientras gira la espira, se produce una f.e.m. (fuerza electromotriz), esta fuerza es directamente proporcional con la corriente que fluye a través del conductor (I_L), para la siguiente explicación se necesita conocer la ecuación (1) del flujo y de la f.e.m. (E).

$$\Phi = B \times A \times \cos(\theta) \quad (1)$$

Esta ecuación aplica cuando se tiene una superficie plana con área = A , y θ es el ángulo

formado entre los vectores de campo magnético (B) y el vector de la superficie (ds).

La ecuación (2) aplica cuando el campo no es constante o la superficie no es plana.

$$\Phi = \int B \times dA \quad (2)$$

El voltaje inducido en el conductor está dado por la relación presentada en (3).

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Analizando (1) y tomando en cuenta la Figura 2, se puede identificar que, cuando los vectores de campo son paralelos al vector del área o, dicho de otra manera, cuando los vectores de campo son perpendiculares a la superficie de la espira entonces $\cos(\Phi) = \cos(0) = 1$, esto quiere decir que en ese momento el voltaje medido será el máximo, mientras que, cuando el vector de campo es paralelo al área el voltaje leído es 0V.

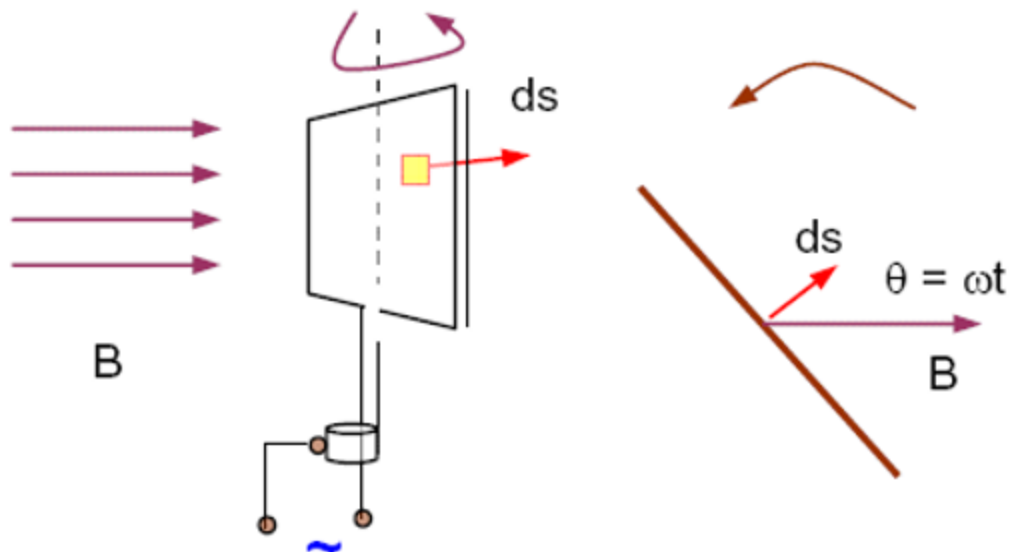


Figura 2. Representación gráfica de la Ley de Faraday [2]

En la Figura 3 se indica, por su parte, que el flujo aumenta o disminuye dependiendo del sentido de la corriente que fluye por el conductor, es por esta razón que, debido a que en un alternador el rotor, como su nombre lo indica, se encuentra rotando, pero sus terminales permanecen iguales de modo que en un momento se mide voltaje positivo y en otro voltaje negativo (señal alterna), en la Figura 4 se presenta como se forma la señal AC.



Figura 3. Líneas de campo perpendiculares al área de la espira [3]

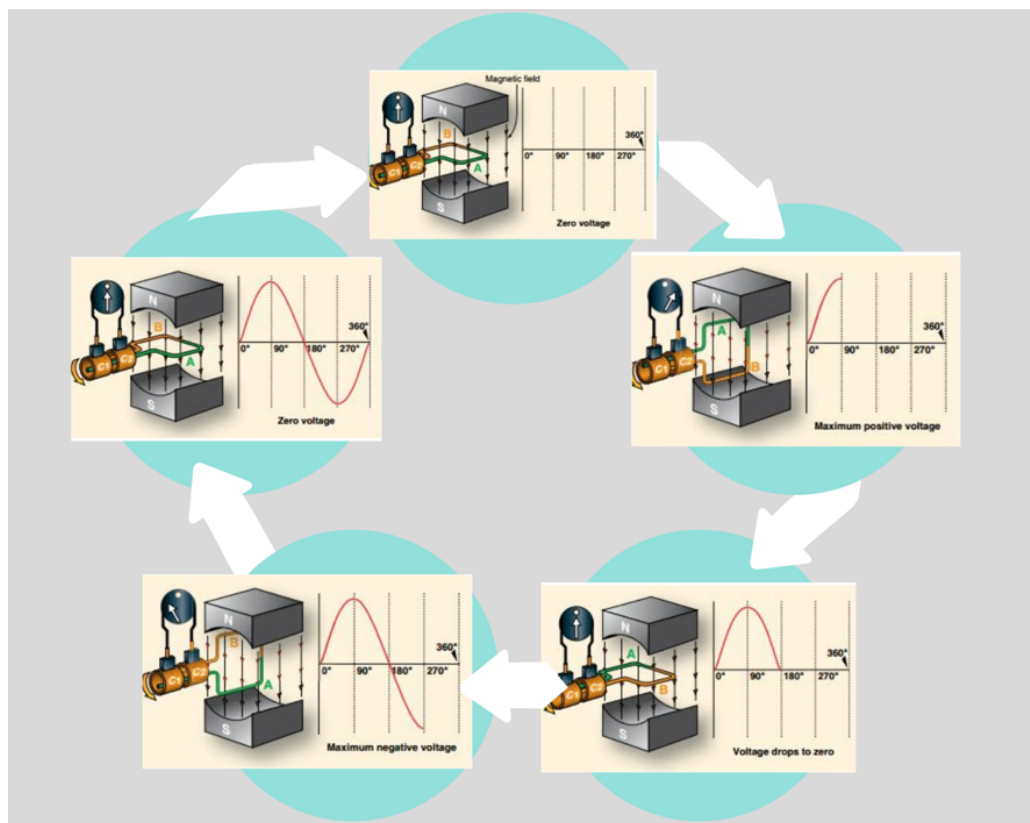


Figura 4. Variación del flujo magnético según el sentido de circulación de la corriente [4]

5.2.1.2. Partes del alternador

Físicamente, el alternador consta de una estructura robusta capaz de soportar vibraciones y condiciones ambientales fuertes como variaciones de temperatura, humedad, suciedad, etc, está compuesto por:

- Tapa trasera y delantera
- Rotor

- Polos magnéticos N y S
- Anillos deslizantes o colectores
- Núcleo
- Bobina
- Eje
- Estator

El estator consta de 3 bobinados idénticos e independientes desplazados cada uno 120 grados respecto al otro. El alternador es, por tanto, trifásico. Estos 3 bobinados se conectan con una configuración de estrella o delta para tener 3 pines de salida que irán a la fase de rectificación.

En la Figura 5 y Figura 6 se muestra el despiece del alternador así como las masas polares y los anillos deslizantes.

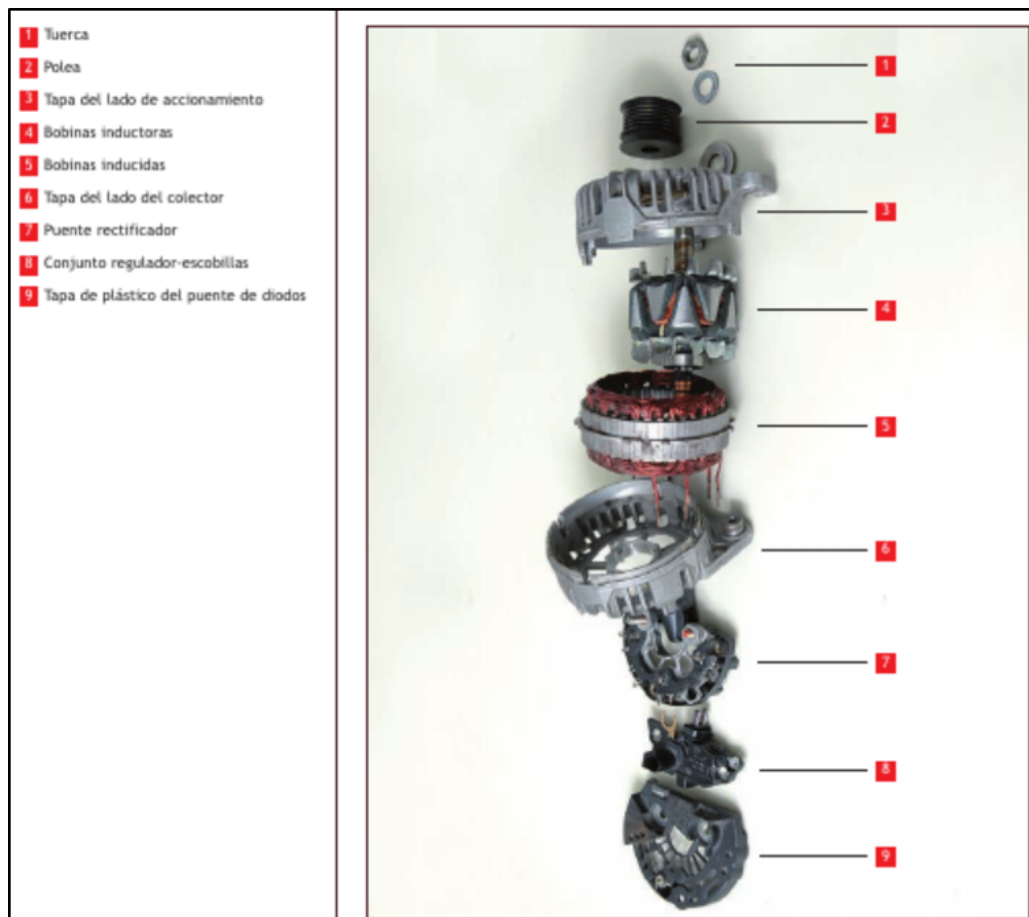


Figura 5. Despiece del alternador [5]

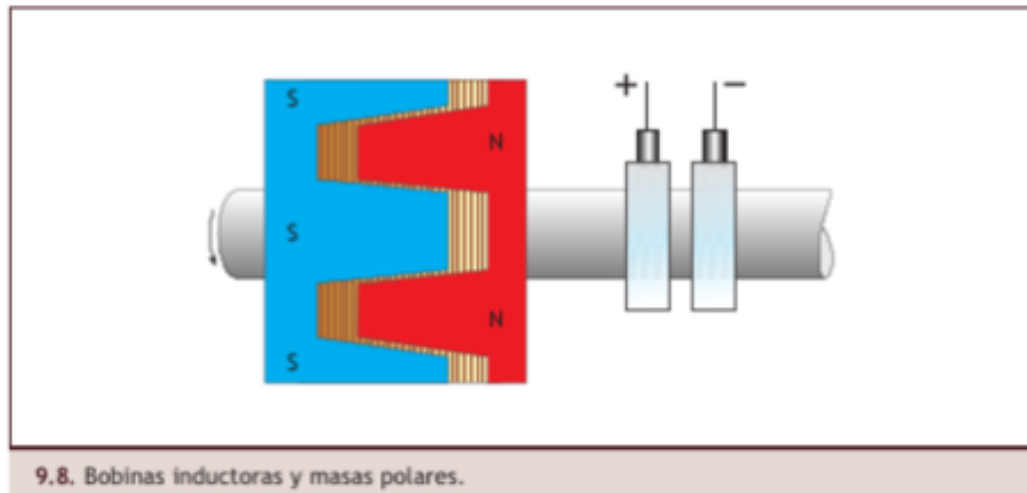


Figura 6. Bobinas inductoras, masas polares y anillos deslizantes [5]

5.2.1.3. Funcionamiento del alternador

En la Figura 7 se muestra el diagrama de conexión de un alternador en el automóvil.

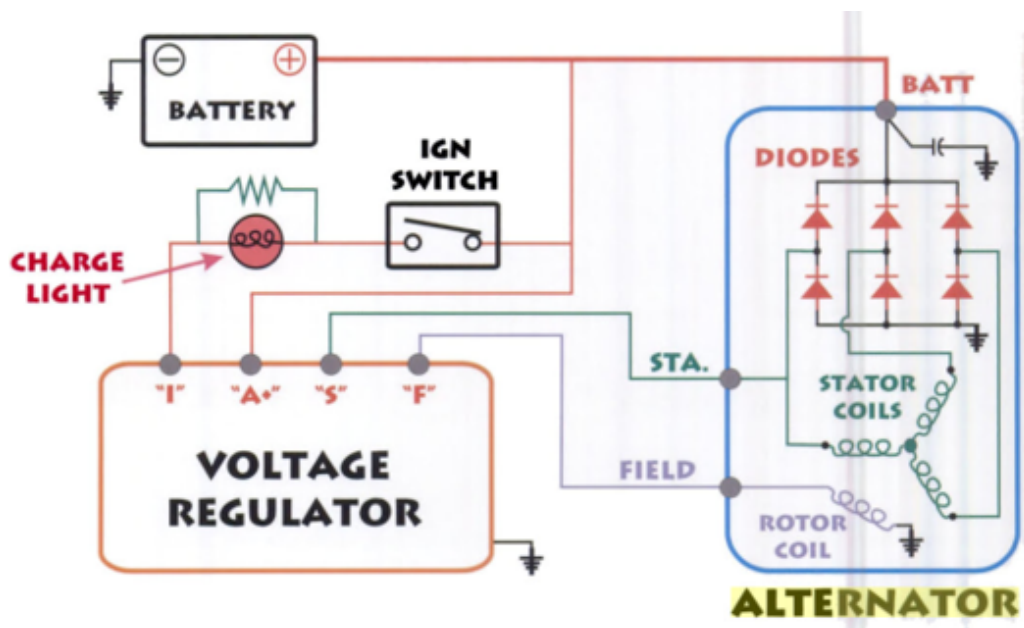


Figura 7. Diagrama de conexión del alternador [6]

A continuación, se detallará paso a paso el funcionamiento de un alternador:

- I. Dentro del alternador, el rotor, compuesto de un núcleo y un bobinado va a cumplir la función de un electroimán el cual generará el campo magnético que inducirá la corriente sobre los bobinados del estator.
- II. Para que el rotor pueda generar el campo magnético necesita primero de una fuente de DC que polarice al bobinado a través de los anillos deslizantes, estos se encuentran

conectados a las terminales de la bobina del rotor.

- III. Estos anillos deslizantes, como su nombre lo indica, giran junto al rotor, por lo tanto, para mantener la conexión se hace uso de los carbones o escobillas las cuales están sobrepuestas apenas haciendo contacto con los anillos para permitir el flujo de corriente.
- IV. A esta primera etapa se la conoce como de preexcitación y la conexión se muestra en la Figura 8. Un punto a tomar en cuenta es que, durante esta etapa, hasta que el alternador alcance una velocidad mínima, la cual vendría a ser la velocidad de ralentí (esta velocidad va a depender del automóvil y de la cantidad de dispositivos encendidos, normalmente suele oscilar entre 700 - 1000 rpm y en vehículos pesados como buses es menor, 540 rpm) el alternador no genera una energía útil, esta etapa está marcada además por un indicador visual que es la lámpara del tablero del vehículo, cuando se alcanza la velocidad indicada, la batería deja de polarizar el bobinado y comienza la etapa de excitación en donde es el propio alternador el que alimenta el electroimán.

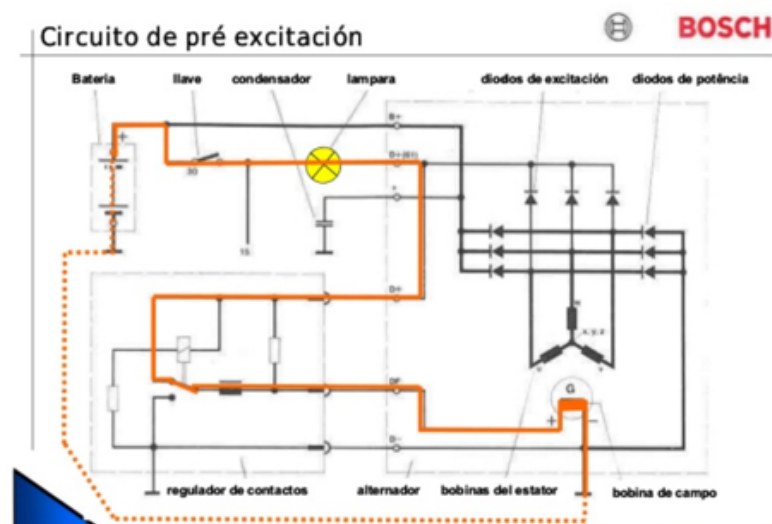


Figura 8. Circuito de pre-excitación [7]

- V. Cuando el alternador alcanza la velocidad indicada, comienza entonces a generar energía útil para alimentar a los dispositivos del automóvil y cargar la batería, en este momento, la lámpara indicadora o testigo tiene polarización positiva en ambas terminales y es por eso que se apaga. La conexión que se presenta en el circuito de excitación se muestra en la Figura 9.

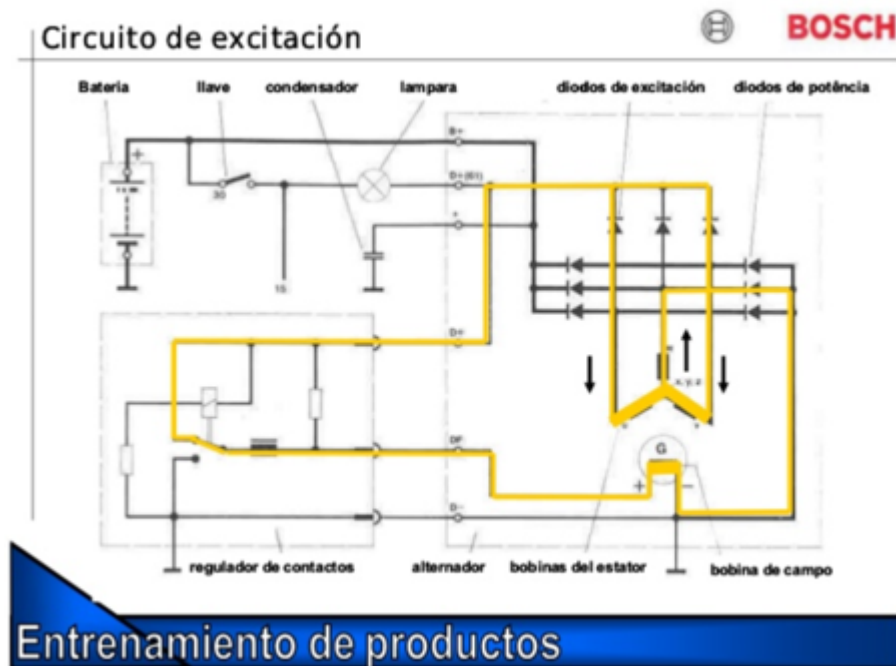


Figura 9. Circuito de excitación [7]

VI. El voltaje que se genera en este momento es alterno, de ahí el nombre de alternador, de modo que se utiliza un circuito de rectificación conformado por 6 diodos, debido a que además de alterno es trifásico, para rectificar la fase negativa de la señal. La señal producida por el alternador se muestra en la Figura 10.

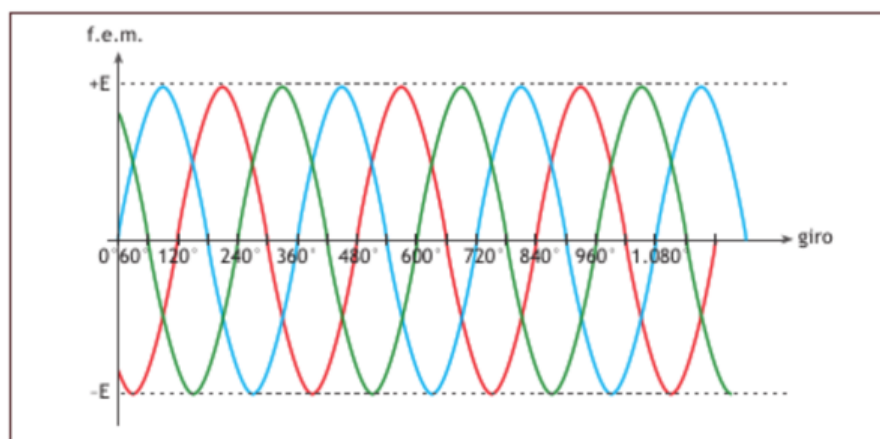


Figura 10. Señal trifásica generada por el alternador [5]

VII. Si el circuito quedara hasta este punto entonces se tendrían varios problemas:

- El primero es que el voltaje rectificado es pulsante, de modo que se debe colocar un capacitor que permite disminuir el rizado y obtener un voltaje continuo.

- El segundo problema que se presenta es que el voltaje generado no es constante debido a que va a depender de las rpm que se tiene. Para mantener un voltaje constante la alternativa que se tiene es controlar el flujo del campo magnético, este es el trabajo del regulador del alternador, un componente encargado de permitir e interrumpir el paso de corriente conforme el voltaje generado por el alternador sea superior o inferior al valor establecido (normalmente el alternador de un vehículo no debe cargar a más de 15 V como máximo o 24 V para vehículos industriales). En la Figura 11 se verifica como la corriente y la potencia varían en el alternador a diferentes rpm debido a que el voltaje se mantiene constante con el regulador.

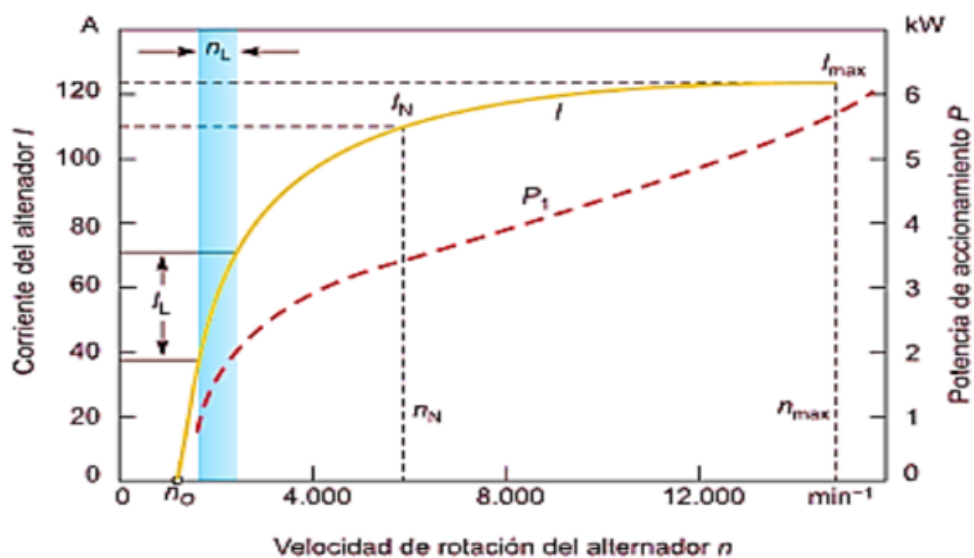


Figura 11. Potencia y corriente generados por el alternador en función de la velocidad de rotación en rpm [8]

En la Tabla 3 se muestran diferentes etapas por las que atraviesa el alternador para mantener un funcionamiento adecuado.

Tabla 3. Etapas de funcionamiento del alternador

Etapa	Descripción	Anexo
Carga	El alternador se encuentra generando el voltaje adecuado para la carga de la batería (14 V para una sola batería o hasta 26,5 V para 2 baterías).	La conexión del circuito se puede ver en el Anexo A: Etapas de funcionamiento del alternador en el automóvil, Figura A.1
Regulación de tensión	<p>Si se encuentran fluctuaciones en el voltaje entregado por el alternador entonces el regulador de tensión comienza a trabajar, este regula la corriente que llega al rotor y que genera el campo magnético, es decir, este componente se encarga de variar la intensidad del campo magnético generado en el rotor y, por consiguiente, regula la f.e.m. inducida en el estator.</p> <p>Para regular la corriente se hace uso de una resistencia y se intercala entre el paso libre de corriente y el paso de la corriente limitada según sea necesario para mantener el voltaje deseado.</p>	Ver Anexo A: Etapas de funcionamiento del alternador en el automóvil, Figura A.2 y Figura A.3

Etapa	Descripción	Anexo
Aumento rápido de tensión	Existe la posibilidad de que se presente una lectura de voltaje demasiado alta y se necesita regular este valor lo más rápido posible, en este caso, el regulador ya no limita el paso de la corriente a través de la resistencia como en el punto anterior sino que, corta por completo el paso de la corriente hasta que el voltaje baje a su valor normal.	Ver Anexo A: Etapas de funcionamiento del alternador en el automóvil, Figura A.4

Para el correcto funcionamiento del alternador se debe tomar en cuenta un buen estado tanto mecánico como eléctrico, en el caso puntual del presente proyecto de titulación, se analizarán los puntos a tomar en cuenta únicamente de la parte eléctrica, estos son:

- I. Verificación del campo magnético generador por el rotor: para esto una manera sencilla es acercar un objeto metálico al elemento y percibir si existe o no una fuerza que lo atraiga.
- II. Comprobación del aislamiento del bobinado del rotor (bobinas inductoras) con respecto a masa: se puede conectar una lámpara de 15 W a 230 V en serie con el bobinado o verificar si hay continuidad entre masa (carcasa) y un anillo deslizante como se muestra en la Figura 12 [5].

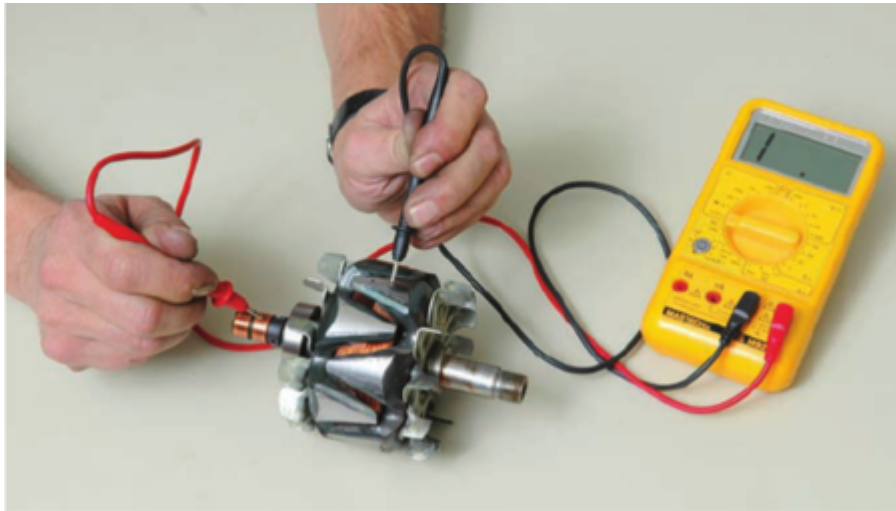


Figura 12. Comprobación de aislamiento entre masa y bobinas inductoras [5]

III. Verificación de la continuidad entre las bobinas inductoras: no es suficiente que el multímetro marque continuidad, se debe medir la resistencia del bobinado. Este valor debe ser especificado por el fabricante y se encuentra alrededor de 3Ω , como se muestra en la Figura 13. Si este valor es menor al indicado entonces existe un cortocircuito en el bobinado.



Figura 13. Comprobación de continuidad en la bobina del rotor [5]

IV. Comprobación del aislamiento del bobinado del estator con respecto a masa: para esto se deben colocar las puntas del multímetro entre el núcleo de hierro del bobinado y el extremo de cada bobina. Este procedimiento no varía entre un alternador tradicional y un alternador Bosch, la única diferencia será que, en un alternador tradicional las fases vienen previamente conectadas y si se comprueba la continuidad con una de las bobinas es suficiente. En el caso del alternador Bosch se lo deberá hacer para cada

bobina. En la Figura 14 se muestra la posición de las puntas del multímetro para realizar la prueba descrita.



Figura 14. Comprobación de aislamiento de la bobina inducida y masa [5]

V. Comprobación de la continuidad en cada una de las fases (en este punto se debe tomar en cuenta que existen ciertas diferencias entre diferentes tipos de alternadores como por ejemplo los alternadores Bosch):

- **Alternadores Tradicionales:** Pueden tener una conexión estrella (4 cables) o triángulo (3 cables) como se muestra en la Figura 15, según la conexión que se distinga se deben colocar las puntas del multímetro. En el caso de estrella se mide la continuidad tomando neutro con una punta y con la otra punta cada una de las tres conexiones restantes, este tipo de conexión se muestra en la Figura 16, aquí se evidencia cada fase con una terminal de color azul y el neutro de color distinto. En el caso de la conexión en triángulo se mide la continuidad entre dos de los 3 cables disponibles y se va rotando. Para identificar que existe continuidad se debe medir la resistencia entre los puntos mencionados y el valor medido en cada bobina debe coincidir con el valor provisto por el fabricante (por lo general es cercano a $0,2 \Omega$ - $0,3 \Omega$) y ser igual en todas las bobinas.

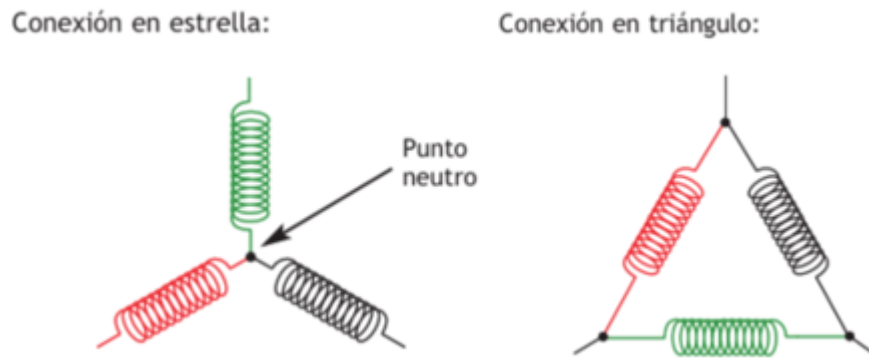


Figura 15. Conexión tipo estrella y triángulo [5]



Figura 16. Comprobación de continuidad de las bobinas inducidas conectadas en estrella [5]

- En el caso de los Alternadores Bosch, las bobinas no vienen con la conexión previamente hecha de modo que, se debe verificar la continuidad entre cada par de terminales como se muestra en la Figura 17. Para saber que se tiene continuidad se debe medir una resistencia de alrededor de 3Ω .

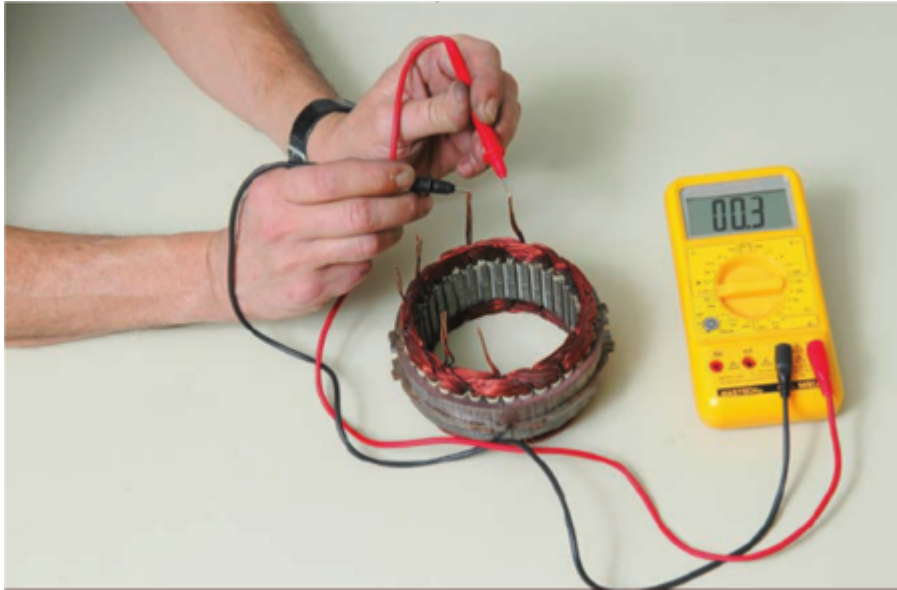


Figura 17. Verificación de continuidad en bobina inducida de un alternador Bosch [5]

VI. Verificar el adecuado funcionamiento del regulador. Se enciende el motor lentamente hasta que se mida 14 V entre los terminales del alternador, en este momento además se debe apagar la lámpara testigo (Foco del tablero) como se indica en la Fig 9.

A continuación, se aumentan las revoluciones del motor y se debe observar que el voltaje se mantiene constante hasta llegar a 4000 rpm. Paralelamente, ayudado de un conjunto de resistencias, se debe fijar la corriente en 5 A y de igual manera el voltaje no debe variar, entonces se puede identificar que el regulador funciona de manera adecuada [5].

Es importante mencionar que 14 V es la tensión medida para alternadores de automóviles de una sola batería, si el automóvil hace uso de 2 baterías el voltaje medido debe ser de hasta 26,5 V.

VII. Finalmente, un último aspecto a tomar en cuenta, se enfoca en identificar si el alternador es capaz de alimentar todos los sistemas del automóvil, lo que se conoce como requisitos energéticos; es decir, se busca identificar si el alternador será capaz de cargar la batería aun cuando se tengan encendidos diferentes dispositivos consumiendo energía. En caso de que no pueda hacerlo, la batería tendrá que suministrar energía y dependiendo del consumo, si este es demasiado y por un período de tiempo considerable, existe el riesgo de que cuando el carro se estacione ya no pueda arrancar

nuevamente.

En la Tabla 4 se muestran diferentes dispositivos con su potencia, de modo que, conociendo que se debe mantener un voltaje constante, se puede replicar su consumo a través de resistencias (cargas) acopladas al alternador.

El problema es que, para cubrir una demanda de potencia tan grande, no se puede realizar pruebas en un banco común pues sería necesario un motor capaz de alcanzar velocidades muy altas y el precio del motor será de igual manera muy elevado.

Tabla 4. Potencia requerida por consumidores en un automóvil [20]

DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS EN EL VEHÍCULO		
Dispositivo	Potencia [W]	Tipo de Conexión
Encendido	20	Consumidores de conexión permanente
Electrobomba de combustible	50 - 70	
Inyección electrónica de gasolina	50 - 70	
Autorradio	10 - 15	Consumidores de conexión prolongada
Luces de posición	4 c/u	
Luces de instrumentos	2 c/u	
Luz o luces de matrícula	10 c/u	
Luz de estacionamiento	3 - 5 c/u	
Faros, luz de cruce	55 c/u	
Faros, luz de carretera	60 c/u	
Luces traseras	5 c/u	
Calefactor del vehículo	20-60 c/u	
Luces intermitentes	21 c/u	
Luces de freno	18-21 c/u	
Luz de techo	5	
Elevalunas eléctrico	150	

Dispositivo	Potencia [W]	Tipo de Conexión
Electroventilador del radiador	200	Consumidores de Conexión breve
Motor del ventilador de la calefacción y/0 ventilación	80	
Luneta térmica trasera	120	
Limpia luneta trasero	30 - 65	
Bocina	25 - 40	
Faros antiniebla	35-55 c/u	
Luces, faros de marcha atrás	21 - 25 c/u	
Limpiaparabrisas	60 - 90	
Motor de arranque	800-3000	
Sistema limpia-lavafaros	60	
Mechero	100	
Faros adicionales	55 c/u	
Luces de freno adicionales	21 c/u	
En vehículos Diesel las bujías de preincandescencia	100 c/u	

6. Diseño Electrónico

El banco de pruebas en la parte electrónica se enfoca en el uso de elementos (módulos de adquisición de datos, controladores) que permitan futuras actualizaciones para modificar las capacidades del banco de pruebas de forma sencilla y rápida, evitando de ser posible un rediseño o minimizando los posibles cambios que se necesiten.

En el diseño electrónico se deben analizar varios puntos entre los que se tiene:

- Motor eléctrico para transmitir el movimiento al alternador y generar voltaje en sus terminales.

- Controlador principal
- Sensores
- Variador de frecuencia
- Alimentación y protecciones
- Interfaz con el usuario (HMI)

En la Figura 18 se presenta el diagrama de bloques en donde se muestra como van a relacionarse todos los componentes.

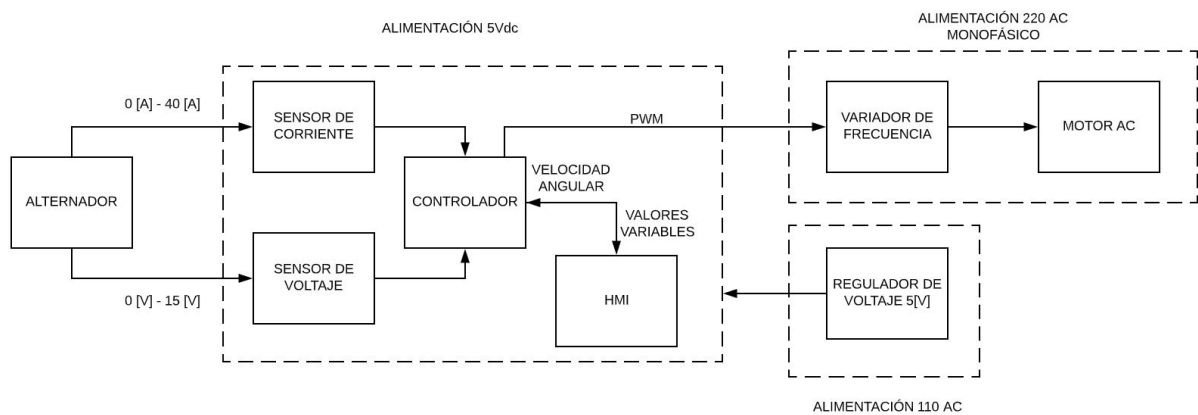


Figura 18. Diagrama de bloques del sistema electrónico

6.1. Selección del motor eléctrico para transmisión de movimiento

Existen 2 parámetros principales que considerar al momento de seleccionar el motor adecuado para el banco de pruebas, estos son la potencia y las rpm del motor.

Para tener una referencia inicial se toma en cuenta las características de los motores de los diferentes productos y proyectos presentados en la Tabla 1. Para tener una mejor perspectiva se presenta la Tabla 5 en donde se resumen éstos datos de los dispositivos de los cuales se tiene la información.

Tabla 5. Potencia y rpm de motores de proyectos y productos comerciales [21, p. 777]

Nombre	Potencia [Hp]	RPM
Proyecto: “Diseño y construcción de probador de alternadores y motores de arranque para vehículos” [25]	3	-
Proyecto “Diseño y construcción de un banco de pruebas para generadores D.C. de aeronaves del ala de combate N22” [4]	2	1100
Proyecto “Diseño y construcción de un banco de entrenamiento para alternadores y motores de arranque” [27]	2	-
Banco de pruebas Electro Lipe [28]	5,5	-
Banco de pruebas serie AR1 PETIT [30]	5,5	3000
Banco de pruebas doble Serie AR10 con velocidad variable [30]	10	300 - 6000
Onyx Tester [31]	3	4000

La potencia y las rpm por lo general se encuentran entre 2 Hp y 5 Hp y alrededor de las 3000 rpm respectivamente.

Ahora hay que analizar la Figura 11 en donde se identifica la corriente generada por el alternador según los rpm así como también la potencia necesaria para alcanzar esa velocidad angular.

Antes de realizar el análisis se determina la corriente que se desea generar con el alternador, para lo cual se ocupa la Tabla 4 en donde se indican todos los consumos que pueden existir en un vehículo. El banco de pruebas debe permitir identificar si el alternador es capaz de alimentar los consumidores de conexión permanente así como también los consumidores de conexión prolongada, esto implica que se consumirán alrededor de 400 W a 12 V (máximo 14 V) que es la tensión de prueba para los alternadores. La corriente necesaria se calcula con la ecuación (4).

$$P = V \times I \quad (4)$$

$$400 \text{ [W]} = 12 \text{ [V]} \times I$$

$$I = 33,33 \text{ [A]}$$

La Figura 11 indica que, para generar alrededor de 30 A, se necesita de 1000 rpm - 1200 rpm (considerada velocidad de ralentí). Ya que el alternador es probado con una velocidad superior a la de ralentí, se calcula nuevamente la corriente con una potencia de 600[W] además, se incluyen los consumidores permanentes, de conexión prolongada y se consideran algunos consumidores de conexión breve.

$$600 \text{ [W]} = 12 \text{ [V]} \times I$$

$$I = 50 \text{ [A]}$$

Esta corriente se genera con una velocidad angular de alrededor de 2000 rpm y, para alcanzar esta velocidad, es necesaria una potencia de accionamiento de 2 kW es decir, 2,7 Hp, como muestra la Figura 11.

En el mercado, los motores mas cercanos a las necesidades del proyecto son de 2 Hp a 3500 rpm, 3 Hp a 1800 rpm y 3 Hp a 3500 rpm. Idealmente, se debería buscar un motor de mayor potencia que la calculada, con el fin de tener un factor de seguridad adecuado, si el factor de seguridad considerado es de 1,5 implica un motor de 4,5 HP. Sin embargo, no se dispone de este valor de potencia y un motor de 5 Hp aumenta los costos tanto del propio motor como del variador de frecuencia que se deba adquirir para su control. Se ocupa el motor de 3 Hp a 1800 rpm y se incrementa su velocidad angular a través de sistemas de transmisión mecánicos hasta tener al menos 2500 rpm con lo que se puede alcanzar los valores de corriente adecuados para las pruebas.

6.2. Selección del variador de frecuencia

Conociendo que el motor seleccionado es de 3 Hp el variador de frecuencia debe ser capaz de manejar esta potencia y siempre debe tener un factor de seguridad para que, en

caso de cualquier eventualidad, asegure un correcto funcionamiento sin presentar daños. En este caso, se plantea la selección de un variador de al menos 4,5 Hp como se muestra en la ecuación 5 y debe manejar 220 V, que es la tensión de alimentación del motor seleccionado.

$$P_{var} = P_{mot} \times 1,5 \quad (5)$$

$$P_{var} = 3 \text{ [Hp]} \times 1,5$$


$$P_{var} = 4,5 \text{ [Hp]}$$

Otra característica importante que se busca en el variador de frecuencia es que pueda ser manejado a través de una entrada analógica la cual es manipulada con una perilla o a través de la propia pantalla táctil.

Finalmente, se busca un variador de frecuencia con un costo moderado sin sacrificar la calidad del producto. Tomando en cuenta todas estas características las opciones planteadas se presentan en la Tabla 6:

Tabla 6. Variadores de frecuencia

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p>[32]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5 Hp ■ Configuración analógica por voltaje o corriente. ■ Protecciones de sobrecarga, sobretensión, baja tensión, corto circuito y sobrecalentamiento. ■ \$390 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vendedor nacional. ■ Acceso a garantía y servicio técnico de manera rápida.

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p data-bbox="284 521 534 560">Weg Cfw500 [33]</p>  <p data-bbox="240 573 432 680">Electro Tecnic Motor</p> <p>The image shows a white, rectangular industrial inverter drive unit. It has a control panel on the right side with a small LCD screen displaying '500'. Below the screen are several buttons and indicators. The unit has ventilation grilles on the top and sides. The 'WEG' logo is visible on the front panel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="678 360 778 394">■ 5 Hp <li data-bbox="678 450 1053 607">■ Monofásico y trifásico, 200 - 240 V y 380 - 480 V. <li data-bbox="678 663 1053 819">■ Capacidad de Sobrecarga: 150% de la corriente durante 60 seg. <li data-bbox="678 875 938 909">■ Protección IP20 <li data-bbox="678 965 1053 1189">■ Incluye módulos Plug-in: I/Os, USB y comunicación Fieldbus y módulo de Memoria Flash <li data-bbox="678 1245 783 1279">■ \$540 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1129 450 1385 483">■ Vendedor local. <li data-bbox="1129 539 1506 640">■ Dispositivo cuenta con 1 año de garantía. <li data-bbox="1129 696 1506 853">■ Acceso a servicio técnico y garantía de manera inmediata. <li data-bbox="1129 909 1506 1200">■ Incluye módulos de comunicación que aumentan el costo y no se ocupan en el presente proyecto.

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p data-bbox="296 427 528 528">Powtran PI500A 004G1 [34]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="676 360 778 394">■ 5 Hp <li data-bbox="676 450 1054 607">■ Alimentación monofásica 220 V, salida trifásica. <li data-bbox="676 663 1054 819">■ 6 entradas digitales y 1 entrada analógica para el control <li data-bbox="676 875 1054 976">■ Normas IEC61800 y RoHS <li data-bbox="676 1032 916 1066">■ Puerto RS485 <li data-bbox="676 1122 831 1155">■ \$352,35 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1129 730 1382 763">■ Vendedor local.

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p data-bbox="263 555 558 593">HY HUANYANG [35]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="678 360 778 394">■ 5 Hp <li data-bbox="678 450 1050 607">■ Alimentación monofásica o trifásica 220 V, salida trifásica. <li data-bbox="678 667 1050 891">■ Panel de control con potenciómetro incluido y con extensión para manipularlo a distancia. <li data-bbox="678 952 1050 1108">■ Pin de entrada analógica para control de la velocidad. <li data-bbox="678 1169 1050 1258">■ Puerto de comunicación RS485. <li data-bbox="678 1319 778 1352">■ \$151 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1129 577 1501 611">■ Vendedor internacional. <li data-bbox="1129 667 1501 891">■ Al costo del variador se le deben añadir costos de transporte e impuestos de importación. <li data-bbox="1129 952 1501 1108">■ Servicio técnico y garantía no son inmediatos.

Tomando en cuenta todas las características de los variadores presentados, se elige utilizar el variador de frecuencia Powtran PI500A 004G1 debido a que su precio es el menor entre los 3 dispositivos disponibles en el mercado nacional y cumple con todos los requerimientos para el proyecto.

El variador de frecuencia de la marca HY Huanyang es una opción muy buena; sin embargo, el hecho de que el vendedor es extranjero, implica complicaciones en la importación y en caso de ser necesario aplicar una garantía o necesitar ayuda del servicio técnico.

6.3. Selección de Controlador

Para seleccionar el controlador es importante determinar las características principales que el controlador debe tener, en este caso son:

- Tomar medidas de voltaje y corriente en los diferentes segmentos.
- Mostrar una interfaz gráfica con el usuario para el control del banco de pruebas.
- Generar un reporte con los resultados obtenidos y enviarlo por correo electrónico.

Para la lectura de los valores de voltaje y corriente es suficiente el uso de un microcontrolador como un PIC o tarjetas de control como arduino; sin embargo, la generación de reportes es una tarea más compleja que requiere más recursos. La tarjeta Raspberry Pi brinda una mayor facilidad para generar el reporte así como también para presentar interfaces gráficas mas intuitivas aunque la tarjeta no tiene entradas de lectura analógica.

Tomando en cuenta lo mencionado, se utiliza la tarjeta Raspberry Pi con conexión serial I2C a un módulo ADC (Analog to Digital Converter); específicamente el chip PCF8591 con 4 entradas analógicas y salida digital de 8 bits.

En la Tabla 7 se presentan las diferentes entradas y salidas que se van a ocupar en el controlador.

Tabla 7. Requerimientos para el controlador

Dispositivo o Señal	I/O	Consideraciones
Conversor AD - PCF8591	Input	<ul style="list-style-type: none"> ■ Comunicación I2C - Pines SDA y SCL. ■ Alimentación 3,3 V - 5 V.
Foco indicador de que hay una prueba en proceso	Output	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 pin de señal de propósito general.

Dispositivo o Señal	I/O	Consideraciones
Señal PWM para variador de frecuencia	Output	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1 pin de señal de propósito general o 1 pin con capacidad de PWM por hardware.
Pantalla HMI	Output	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conector HDMI

La placa Raspberry Pi 3, dispone de 40 pines distribuidos como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Pinout Raspberry Pi 3 [22]

Propósito	Cantidad	Consideraciones
GND	8	
Alimentación 5 V	2	
Alimentación 3,3 V	2	
Pines de Propósito General I/O	28	<ul style="list-style-type: none"> ■ PWM: <ul style="list-style-type: none"> ● Todos los pines con Software y pines GPIO 12, 13, 18 y 19 Hardware PWM. ■ SPI ■ I2C

Como se muestra, se dispone de todos los pines necesarios para la elaboración del

proyecto y por ende, la placa Raspberry Pi es la elección adecuada.


6.4. Selección de la pantalla para la interfaz con el usuario (HMI)

Existe una gran variedad de pantallas disponibles para la Raspberry Pi aunque no todas ellas se ajustan específicamente a las necesidades del banco de pruebas.

Lo primero que se debe tomar en cuenta es que se busca una pantalla con capacidades táctiles para que la experiencia del usuario sea mucho más amigable e intuitiva. Tomando en cuenta los diferentes controles e información que se desea desplegar en la pantalla y sabiendo que se busca una opción asequible, se plantean alternativas de pantallas de 5 pulgadas.

Las opciones que se tienen son presentadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Pantallas Raspberry

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p>Waveshare Raspber Hdmi 800x480 Rye [36]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5 in. ■ Conexión HDMI. ■ Capacidad touch. ■ \$75 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Permite visualizar el escritorio de Raspbian. ■ Los controles de la interfaz se muestran al ejecutar una aplicación dentro de Raspbian.

Modelo e Imagen	Características	Consideraciones
<p data-bbox="252 353 571 454">ENHANCED Tft Serial Nextion [37]</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="678 360 774 389">■ 5 in. <li data-bbox="678 450 1053 607">■ Comunicación serial UART con pines del Raspberry. <li data-bbox="678 667 766 696">■ \$95 <li data-bbox="678 757 954 786">■ Capacidad touch 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1129 483 1505 640">■ Solo permite la visualización directa de los controles en la interfaz.

Tras comparar las dos alternativas se elige ocupar la primera opción (pantalla Waveshare HDMI). Además de tener un costo menor, presenta la posibilidad de visualizar el escritorio de Raspbian y apagar el sistema de forma adecuada, si solo se corta el paso de corriente para apagar la máquina, se corre el riesgo de dañar la tarjeta de memoria en donde está cargado el sistema operativo y por ende, todo el prototipo no funcionaría.

6.5. Selección de Sensores

Para el banco de pruebas, son necesarios dos sensores, uno de voltaje para medir la tensión en los bornes del alternador y otro de corriente para medir la intensidad generada por el alternador a diferentes rpm.

El sensor de voltaje no presenta consideraciones especiales pues debe ser capaz de medir voltajes de hasta 14 V; al ser un voltaje bajo prácticamente cualquier sensor es capaz de medir esta variable.

El dispositivo seleccionado es el módulo de sensado FZ0430 que permite la medición de voltajes desde 0 V hasta 25 V [38] con lo cual se dispone de un rango de seguridad amplio de hasta 11 V en caso de ser necesario.

El módulo es un divisor de tensión que hace uso de resistencias de 30 k Ω y 7,5 k Ω [38], el factor de división de tensión se puede calcular con la ecuación (6); además, la corriente máxima que el módulo consume se calcula aplicando la ley de Ohm presentada en (7).

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_i \quad (6)$$

$$V_o = \frac{7,5 \text{ [k}\Omega]}{30 \text{ [k}\Omega] + 7,5 \text{ [k}\Omega]} \times V_i$$

$$V_o = 0,2V_i$$

$$V = I \times R \quad (7)$$

$$14 \text{ [V]} = I \times (30 \text{ [k}\Omega] + 7,5 \text{ [k}\Omega])$$

$$I = 373,33 \text{ [uA]}$$

En la Figura 19 se presenta una simulación donde se confirma tanto el factor de división de tensión, colocando una fuente de 5 V y obteniendo 1 V a la salida, como la corriente máxima que consume el módulo.

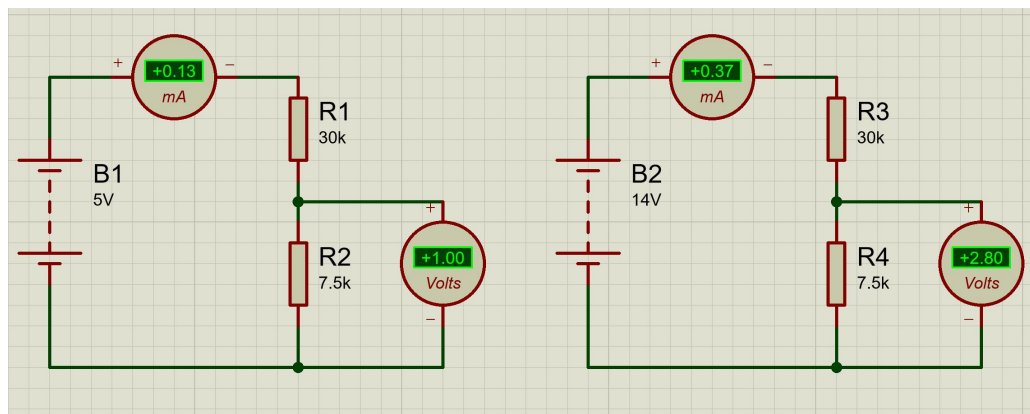


Figura 19. Simulación del módulo FZ04030

El sensor de corriente, por otro lado, debe ser capaz de medir al menos 40 A pero es preferible disponer de un sensor cuyo rango de medición sea superior a la corriente que se desea medir para que, en caso de un pico de corriente no esperado, la posibilidad de que el sensor se dañe sea menor; por lo tanto, el sensor que se busca debe ser capaz de medir 50 A o más.

El inconveniente que se tiene al buscar un sensor de estas características es que, en el mercado nacional, no existe una gran variedad de alternativas por lo cual se toma la decisión de ocupar el sensor Camsco CFS-33 150/5A disponible localmente, el cual es un transformador de corriente que permite convertir 150 A en 5 A y esta corriente, puede ser medida haciendo uso del módulo ACS712.

En la Figura 20 se presenta el transformador de corriente Camsco y en la Figura 21 se muestra el sensor de corriente ACS712.

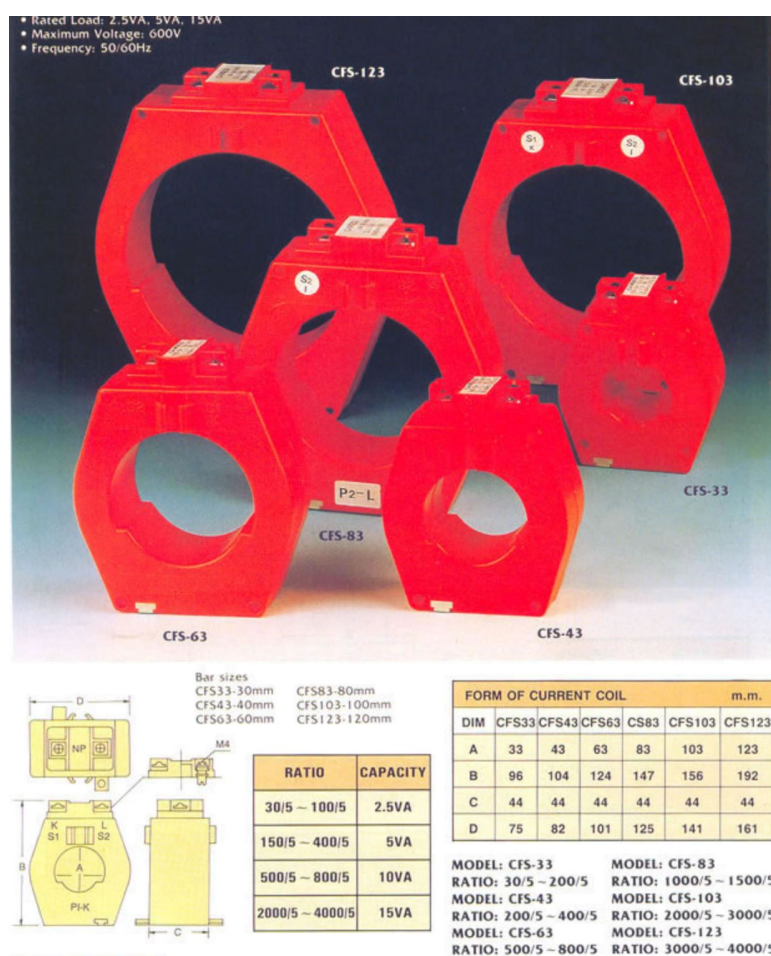


Figura 20. Transformador de corriente Camsco CFS [9]

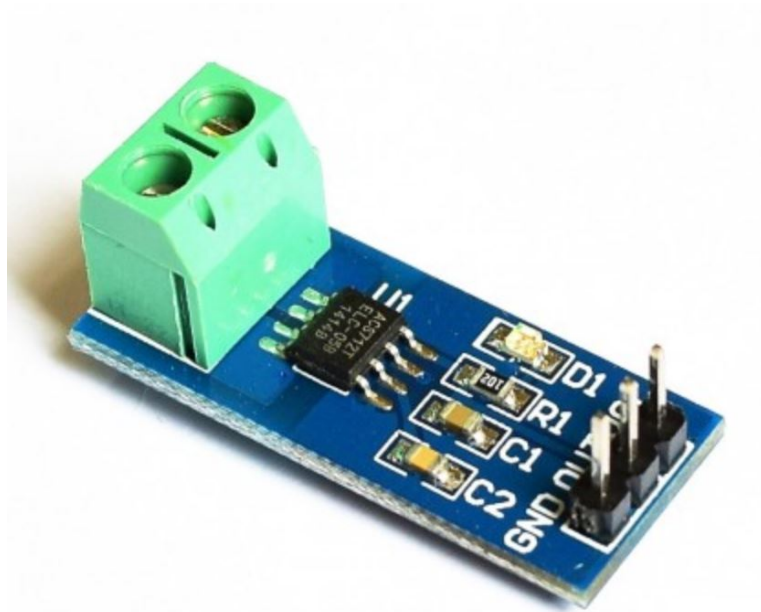


Figura 21. Módulo sensor de corriente ACS712 5 A [10]

Para el banco de pruebas se puede ocupar el transformador de corriente Camsco CFS de la serie 20 para 50 A; sin embargo, no se encuentra disponible actualmente y la diferencia de precio es de tan solo \$5.

Lo que se debe analizar es la precisión que se puede obtener con este sistema. Para esto se aplica una relación simple conociendo que el módulo MCP3008 ocupado para la lectura analógica tiene una resolución de 10 bits es decir, 1024 valores digitales y, cuando el sensor ACS712 mida 5 A (150 A de entrada) se tiene a la salida 5 V que equivalen a los 1024 valores digitales antes mencionados. Lo que se busca conocer es la resolución al momento de medir corriente, es decir, a qué valor de corriente equivale cada paso.

$$\frac{150 \text{ [A]}}{x} = \frac{1024}{1}$$

$$x = 146,5 \text{ [mA]} \approx 150 \text{ [mA]}$$

Para la presente aplicación, donde las corrientes medidas están en el orden de Amperios, una resolución de 0,15 A es aceptable y comparable con la alcanzada por los equipos comerciales.

6.6. Cálculo de las protecciones

En las protecciones se debe tomar en cuenta 2 elementos, primero los fusibles, tanto de la parte de potencia (F1, F2) como de la sección de control (F3), por otro lado, es importante implementar un botón de paro de emergencia (P1). Los diferentes elementos se observan en la Figura 22.

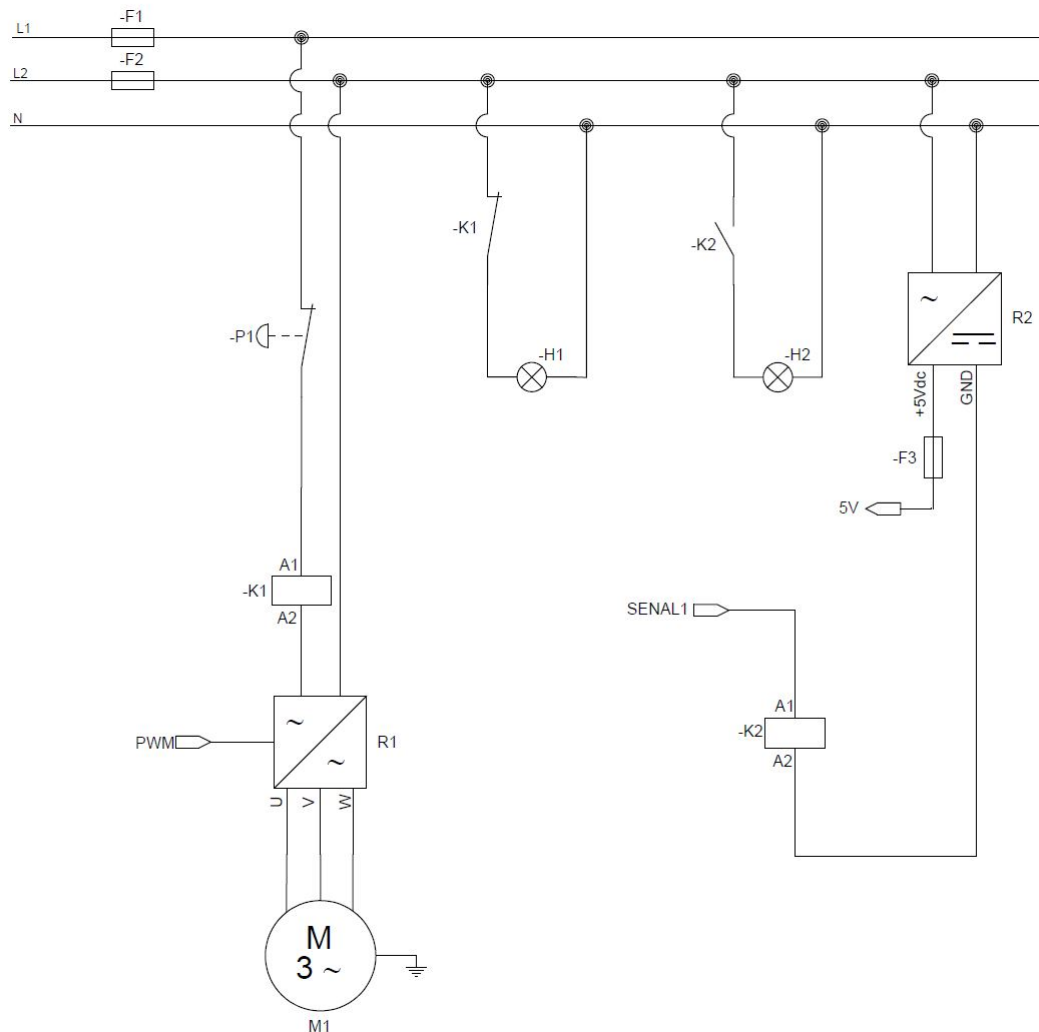


Figura 22. Diagrama Unifilar

Se calculan primero los fusibles para la sección de potencia. El motor seleccionado (M1) es de 3 Hp de potencia mecánica nominal, se debe tener claro que, para tener esta potencia de salida, el valor a la entrada debe ser superior pues ningún sistema es 100% efectivo. Por lo general la eficiencia de los motores se encuentra alrededor de 0,87 y este valor es similar al factor de potencia.

La potencia de entrada se calcula con (8).

$$P_o = P_i \times n \quad (8)$$

$$3 \text{ [Hp]} = P_i \times 0,87$$

$$P_i = 3,45 \text{ [Hp]} = 2,57 \text{ [kW]} \approx 2,6 \text{ [kW]}$$

En un sistema trifásico, la potencia en cada línea (L1, L2) se calcula con (9) [39].

$$P_i = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times f.p. \quad (9)$$

$$2,6 \text{ [kW]} = \sqrt{3} \times 120 \text{ [V]} \times I_L \times 0,87$$

$$I_L = 14,38 \text{ [A]}$$

Se debe considerar además que durante el arranque del motor, si se realiza un arranque directo, la corriente puede llegar a ser hasta 7 veces la corriente calculada; sin embargo, con el variador de frecuencia (R1) se puede obtener un arranque controlado y por lo tanto se mantiene esta corriente de línea y el fusible seleccionado es de 110 V / 15 A, el modelo comercial elegido es el fusible de cartucho 3SB 15-R marca Bel Fuse, sus características principales se muestran en el Anexo B: Elementos de protección electrónica, Figura B.1.

Para la sección de control se ocupa un regulador de voltaje (R2) de 110 V a 5 V, y para determinar el fusible adecuado, se presenta en la Tabla 10 los diferentes consumos que existen.

Tabla 10. Consumos sección de control

Elemento	Cantidad	Consumo Unitario [mA]	Consumo Total [mA]
Raspberry Pi 3 Model B	1	2500 [40]	2500

Elemento	Cantidad	Consumo Unitario [mA]	Consumo Total [mA]
Contactador LC1D12AL (K2)	1	17	17
Módulo PCF8591	1	5	5
Módulo FZ0430	1	0.4	0.4

Básicamente el consumo de la parte de control es de 2,5 A, con la idea de que, en un futuro, se puedan implementar nuevas funcionalidades al sistema, el fusible seleccionado es de 5 V / 3 A. Comercialmente, no hay un elemento de estas características, el modelo comercial seleccionado es el 0MIN003.HXGLO de 12 V/ 3 A. El datasheet del fusible se encuentra en el Anexo B: Elementos de protección electrónica, Figura B.2.

7. Dimensionamiento Mecánico

Para comenzar con el dimensionamiento mecánico primero se realizó el diseño geométrico de la máquina para lo cual se utilizaron datos de algunos de los dispositivos previamente investigados, por ejemplo, dimensiones del banco así como también dimensiones aproximadas de los componentes eléctricos y electrónicos a ocupar como baterías, motores, alternadores y variador de frecuencia, que se pueden conseguir en el mercado nacional o cuya importación es viable.

Un punto importante para tomar en cuenta en el diseño, es el costo final de la máquina. Se seleccionan piezas asequibles y los mecanismos diseñados no son complejos con el fin de reducir el costo de fabricación e implementación.

Considerando lo antes mencionado, el prototipo y los componentes a diseñar se presentan en la Figura 23, Figura 24 y Figura 25.

La máquina se divide en 2 partes principales, la primera es referente a toda la estructura del banco (Incluye los tubos cuadrados, las tapas y bases) en donde se tiene la base para el motor eléctrico, la parte en donde se colocarán batería, variador de frecuencia y todo lo

referente al control como el Raspberry y la pantalla y, finalmente, se tiene la base para el carro de tensado de la banda de transmisión. La segunda parte es el carro de tensado que usa un sistema basado en un tornillo de potencia accionado por un volante ubicado en la parte frontal de la máquina.

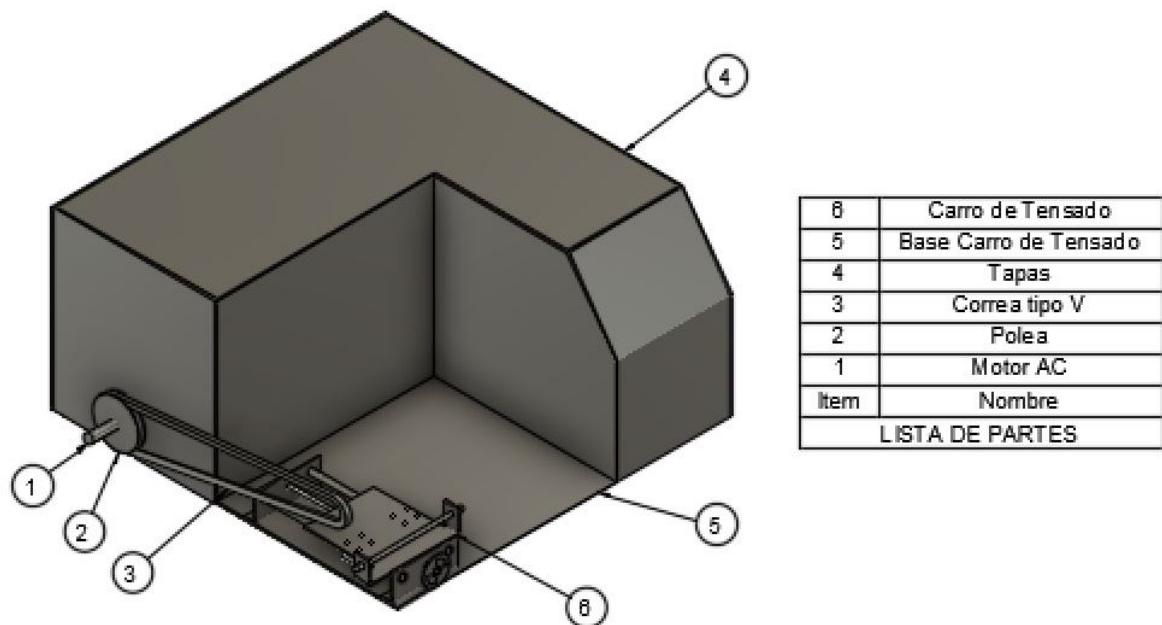


Figura 23. Propuesta de estructura para banco de prueba de alternadores (Plano D03-001)

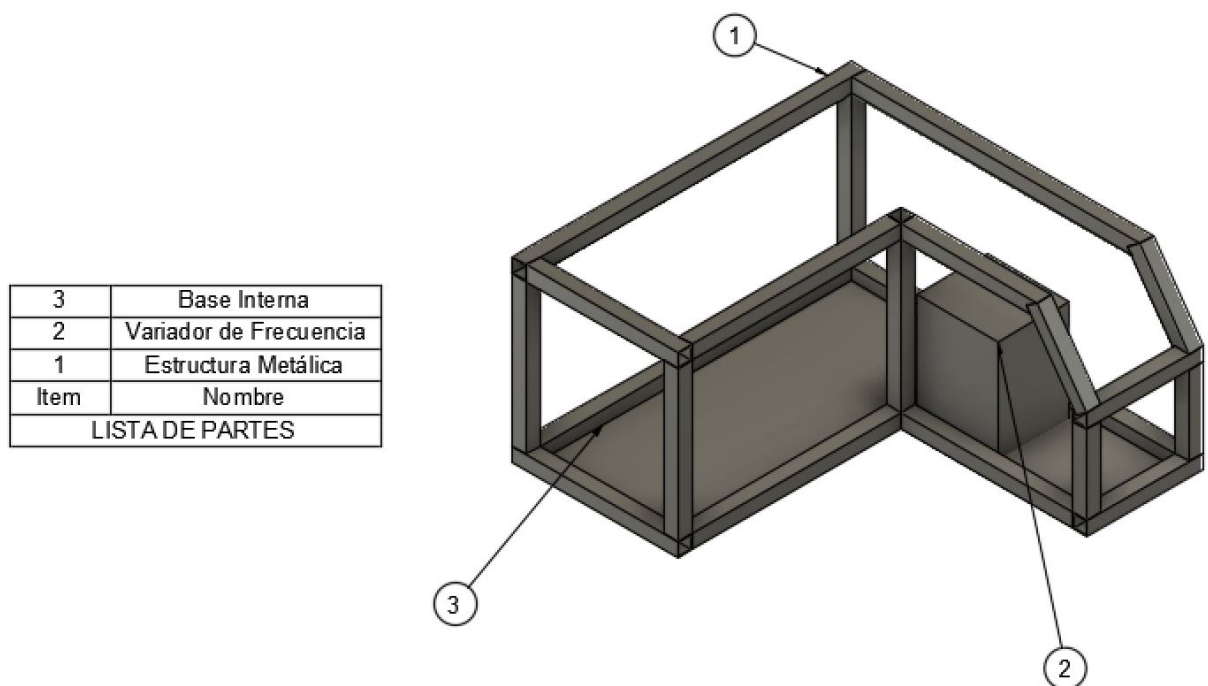


Figura 24. Estructura metálica (Plano D03-003)

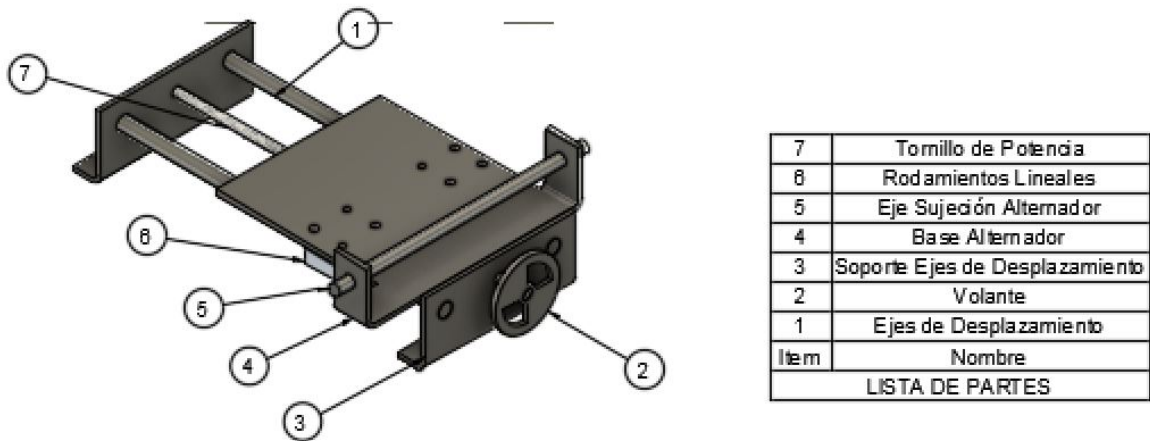


Figura 25. Carro de tensado (Plano D03-004)

A continuación, se procede con el dimensionamiento mecánico de cada uno de los componentes presentados para el desarrollo del prototipo a excepción de aquellos que ya han sido seleccionados en el dimensionamiento electrónico como son el motor y el variador de frecuencia.

Cada uno de los componentes mecánicos nombrados en la Figura 23, Figura 24 y Figura 25 son dimensionados en esta sección mientras que los elementos electrónicos como el motor y el variador de frecuencia son dimensionados con anterioridad en la sección de dimensionamiento electrónico.

7.1. Diseño de bases y paredes

En el banco de pruebas se contemplan 2 bases, una de estas soporta el motor, batería y variador de frecuencia mientras que la segunda está encargada de soportar el carro de tensado junto con el alternador y alguna otra carga externa ajena al banco de pruebas. Se tienen tapas tanto superiores como laterales que mantendrán cubiertos los componentes internos como los elementos electrónicos de control y el motor.

Tanto las bases como las tapas, son sostenidas por tubos cuadrados encargados de soportar las cargas que se apliquen sobre el banco de pruebas por lo que las chapas metálicas ocupadas cumplen principalmente una función de aislamiento de los componentes internos y base para empernar el motor y el carro de tensado. Sin embargo, se asume que aún así pueden existir fuerzas que actúan directamente sobre las placas metálicas y, es

importante dimensionarlas para que sean capaces de soportar cargas mínimas.

El elemento más crítico es la tapa superior pues cargas extremas pueden llegar a presentarse sobre esta área y por ende se realiza el análisis en este componente y el resultado es adoptado para las demás chapas.

Para las bases y tapas se realizan 2 tipos de análisis, un análisis de resistencia del material y otro de rigidez para asegurar no solo que el material no se fracture sino que además se mantenga firme y sin deflexiones durante el trabajo, algo que es esencial.

7.1.1. Diseño por Resistencia

Para empezar con el diseño se realiza un diagrama en donde se indican todas las fuerzas y reacciones que actúan sobre el cuerpo a analizar que, en este caso, va a ser una sección de la tapa superior debido a que en realidad, la posibilidad de fallo va a existir en las zonas en donde no se tiene soporte de los tubos cuadrados. En la Figura 26 se muestra las dimensiones de la sección a analizar.

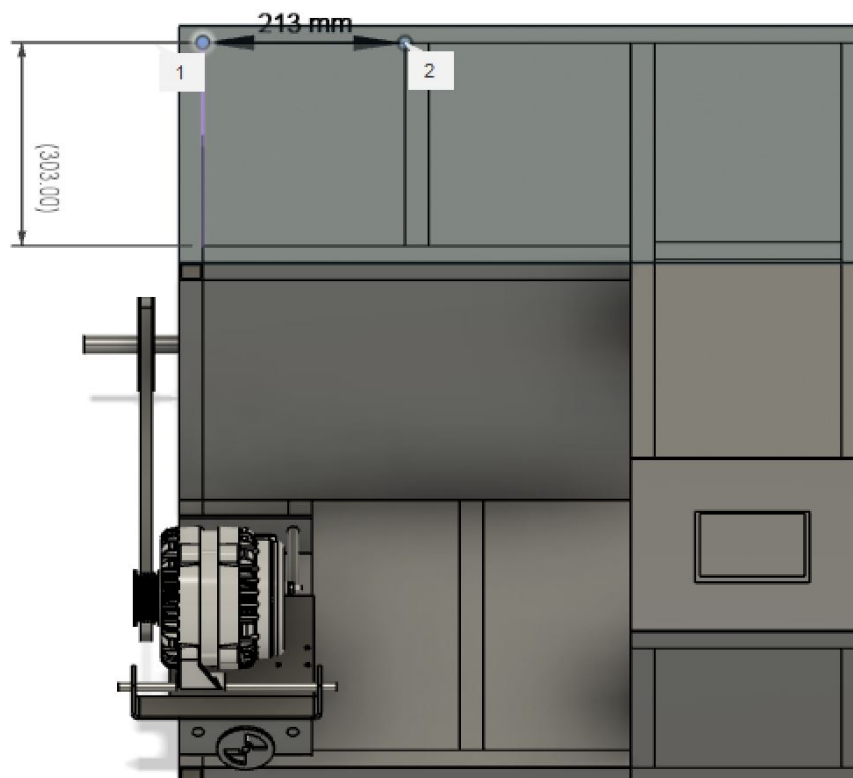


Figura 26. Sección a analizar de la tapa superior

En la Figura 27 se presenta el diagrama de cuerpo libre, diagrama de cortantes y diagrama de momentos de la sección de la tapa superior a analizar.

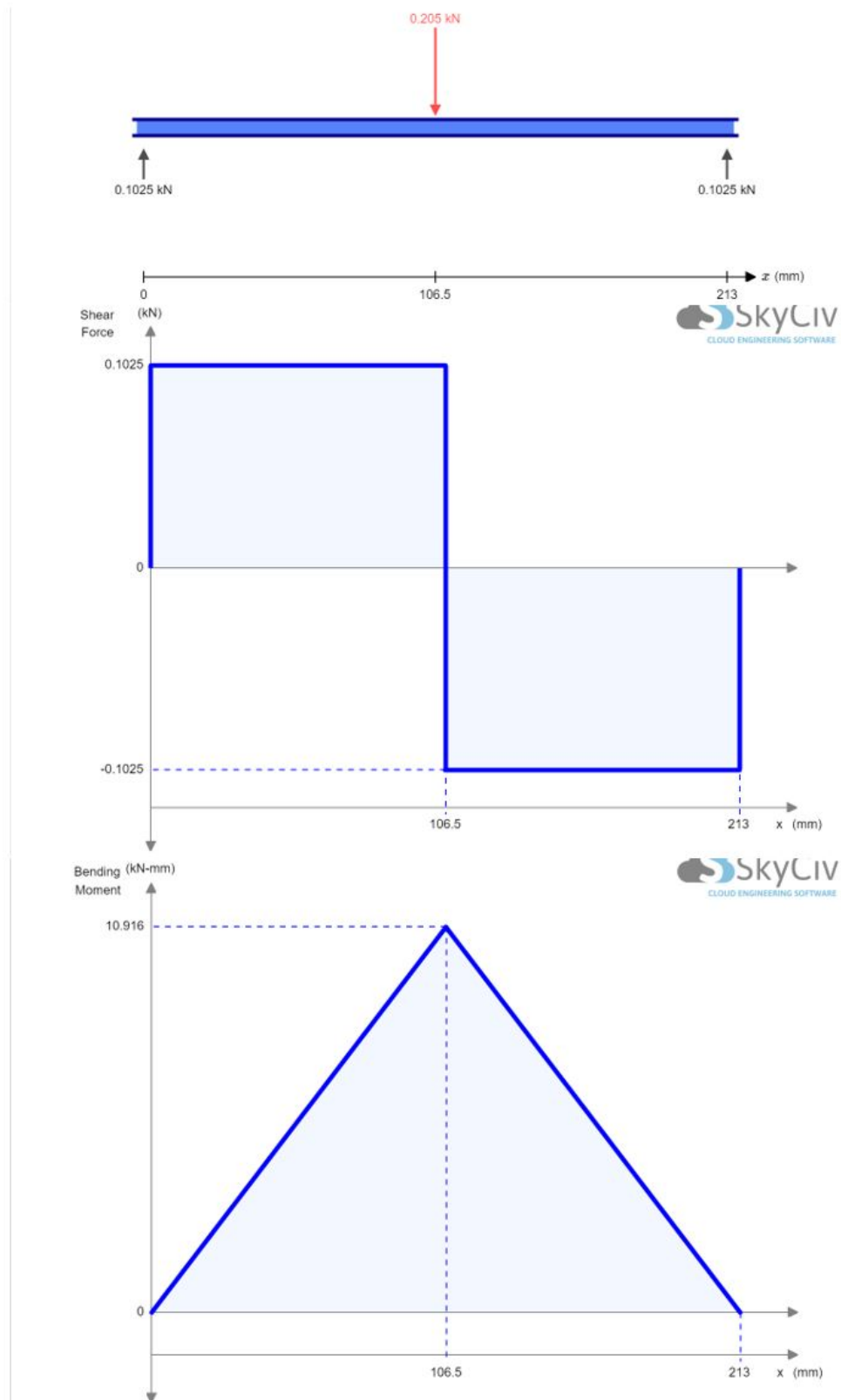


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre, diagrama de cortantes y diagrama de momentos de una sección de la tapa superior

En este caso en particular, solo se considerará una carga en el centro de la placa asumiendo que el principal peligro que puede existir es que se use la estructura como un banco y que una persona lo use para pararse o sentarse sobre el mismo por lo tanto, se asume un peso promedio de 70 kg el cual, en su mayor parte, será soportado por la estructura metálica; para los cálculos se tomará una carga del 20% de la carga total lo que es 14 kg.

Se asume además, un factor de carga de 1,5; es decir, se aumenta la carga que puede soportar la máquina en 1,5 veces (el factor de carga y el de seguridad son diferentes).

Para el cálculo de la base, se considera el uso de acero A36 con un S_y de 248 Mpa y se tomará un factor de seguridad n de 2.

En el caso del diseño, se tiene un rectángulo de 303 x 213 mm, para el análisis, se considerará el lado de mayor longitud pues es lo más crítico, si el material soporta las cargas de este lado, soportará sin problema del lado de menor longitud. Aplicando (10) se determinan las fuerzas que actúan en el sistema y con (11) se obtienen los momentos generados por dichas fuerzas:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (10)$$

$$F = 14 \text{ [kg]} \times 1,5 \times 9,8 = 205,8 \text{ [N]} \approx 205 \text{ [N]}$$

$$0 = R_{y1} - F_B + R_{y2}$$

$$R_{y1} + R_{y2} = 205$$

$$\Sigma M_A \curvearrowright (+) = 0 \quad (11)$$

$$0 = F \times 0,1065 \text{ [m]} - R_{y2} \times 0,303 \text{ [m]}$$

$$R_{y2} \times 0,303 \text{ [N} \cdot \text{m]} = 205 \times 0,1065 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$R_{y2} = 102,5 \text{ [N]}$$

$$R_{y1} = 102,5 \text{ [N]}$$

$$M_A = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Para la siguiente parte del análisis, se debe tener claro a qué dimensiones se hace referencia en las fórmulas, para lo cual se hace uso de la Figura 28 en donde la base, b , mide 213 mm; el largo de la parte frontal, L , es 303 mm con los que se estaba trabajando en los cálculos anteriores.

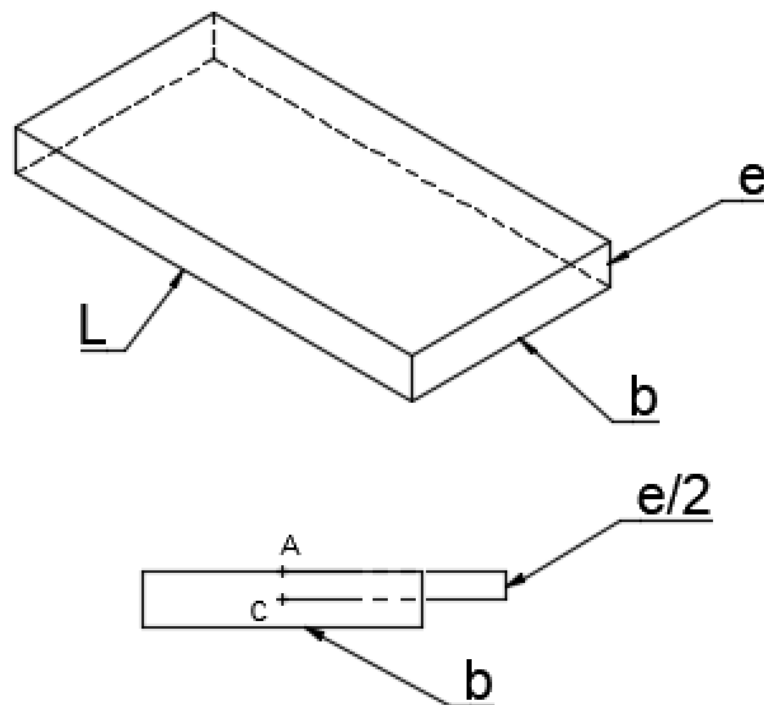


Figura 28. Dimensiones a considerar de la pieza para el cálculo

Se calculan los esfuerzos, asumiendo el peor caso en donde todas las cargas se encuentran en el centro de la pieza. Se conoce que la inercia de una pieza con perfil rectangular se puede calcular con (12) y con este dato se determina el esfuerzo flector con (13) y el esfuerzo cortante con (14); finalmente, se tiene el esfuerzo equivalente de Tresca presentado en (15).

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (12)$$

$$\sigma_f = \frac{M \times C}{I} \quad (13)$$

$$\tau = \frac{V \times Q}{I \times b} \quad (14)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{Ssy}{n} = \frac{Sy \times 0,5}{n} \quad (TRESCA) \quad (15)$$

Conociendo los siguientes datos, se pueden reemplazar en (13) y (14) para obtener nuevas expresiones que contemplen los valores que se disponen para el cálculo, así se tiene (16) para el esfuerzo flector y (17) para el esfuerzo cortante.

$$h = e$$

$$C = \frac{e}{2}$$

$$F_T = 440 \text{ [N]}$$

$$\sigma_f = \frac{M \times \frac{e}{2}}{\frac{b \times e^3}{12}}$$

$$\sigma_f = \frac{6 \times M}{b \times e^2} \quad (16)$$

$$\tau = \frac{V \times (A \times \bar{y})}{\frac{b \times h^3}{12} \times b}$$

$$\tau = \frac{V \times \left[\left(b \times \frac{e}{2} \right) \times \left(\frac{e}{4} \right) \right]}{\frac{b \times e^3}{12} \times b} \quad (17)$$

Debido a que no existe un momento ($M = 0$), el esfuerzo equivalente, en este caso, es igual al esfuerzo cortante y se obtiene (18) para determinar el espesor del componente para

éste tipo de casos.

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \frac{V \times \left[\left(b \times \frac{e}{2} \right) \times \left(\frac{e}{4} \right) \right]}{\frac{b \times e^3}{12} \times b} = \frac{Sy \times 0,5}{n} \\ &= \frac{V \times \left[\left(b \times \frac{e}{2} \right) \times \left(\frac{e}{4} \right) \right]}{\frac{b \times e^3}{12} \times b} = \frac{248 [\text{MPa}] \times 0,5}{2} \\ e &= \frac{3 \times V \times n}{2 \times b \times SSy}\end{aligned}\tag{18}$$

$$e = \frac{3 \times 205 [\text{N}] \times 2}{2 \times 0,213 [\text{m}] \times ((248 \times 10^6) [\text{Pa}] \times 0,5)} = 23,28 [\text{um}] \approx 23 [\text{um}]$$

7.1.2. Diseño por Rigidez

Para este análisis se hace uso del método de la doble integral, sin embargo, existen ecuaciones definidas para casos específicos como se muestra en el Anexo C: Ecuaciones de cálculo para diseño por rigidez, Figura C.1.

Donde:

- E : Módulo de elasticidad del material
- I : Momento de Inercia
- y : Deflexión máxima permisible

La deflexión máxima permisible va a depender de la aplicación del elemento dentro del sistema, existen algunos lineamientos recomendados que se deben ocupar para determinar un valor estimado de deflexión de la pieza. Estos lineamientos se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Deflexiones Máximas Permisibles [21, p. 777]

	Deflexión por Flexión	Deflexión (rotación) debido a Torsión
Partes de máquina en general	$\frac{L}{300}$ a $\frac{L}{2000}$	$\frac{L}{100}$ a $\frac{L}{1000}$
Precisión moderada	$\frac{L}{2000}$ a $\frac{L}{100000}$	$\frac{L}{2500}$ a $\frac{L}{50000}$

	Deflexión por Flexión	Deflexión (rotación) debido a Torsión
Alta precisión	$\frac{L}{100000} \text{ a } \frac{L}{1000000}$	$\frac{L}{50000} \text{ a } \frac{L}{1000000}$

El elemento que se está calculando está dentro de la categoría de partes de máquina en general y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto se ocupa (19) para determinar la deflexión máxima permisible:

$$y_{max} = \frac{L}{300} \quad (19)$$

$$y_{max} = \frac{0,303}{300} = 1,01 \text{ [mm]}$$

Con los siguientes datos se calcula el espesor de la placa:

$$E_{acero} = 200 \text{ [GPa]} \quad ; \quad b = 0,213 \text{ [m]} \quad ; \quad L = 0,303 \text{ [m]} \quad ; \quad y = -1,01 \text{ [mm]} \quad ; \quad F = 205 \text{ [N]}$$

Del Anexo C: Ecuaciones de cálculo para diseño por rigidez se toma la ecuación (20) debido a que el caso que se analiza cae en la categoría de apoyos fijos con carga central y se ocupa (12) para la inercia, recordando que la altura hace referencia al espesor.

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} \quad (20)$$

$$1,01 \times 10^{-3} \text{ [m]} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times \frac{b \times e^3}{12}} = \frac{205 \text{ [N]} \times (0,303 \text{ [mm]})^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{0,213 \text{ [m]} \times e^3}{12}}$$

$$e = 2,02 \text{ [mm]} \approx 2 \text{ [mm]}$$

7.1.3. Simulación FEA (Finite Element Analysis)

Una vez seleccionado el espesor ideal para la pieza, se realiza un análisis por elementos finitos haciendo uso del software Fusion 360 y aplicando una carga de 205 N que es el valor

que se ocupó para los cálculos. A pesar de que en los cálculos no se obtuvo exactamente 2 mm, la diferencia con el resultado exacto es despreciable pues son apenas 20 μm y por lo tanto, la comparación de la deflexión se realiza con el mismo dato previamente calculado.

En la Figura 29 se verifica que la deformación esperada con 205 N de carga es de 1,017 mm, la deflexión máxima calculada es de 1,01 mm. La simulación indica un leve incremento sobre la deformación esperada pero se encuentra dentro de lo aceptable. El error porcentual se calcula con (21) y es de tan solo 0,69 % que es un valor correcto y confirma que el cálculo fue adecuado.

$$\%e = \frac{V_{real} - V_{medido}}{V_{real}} \times 100 \quad (21)$$

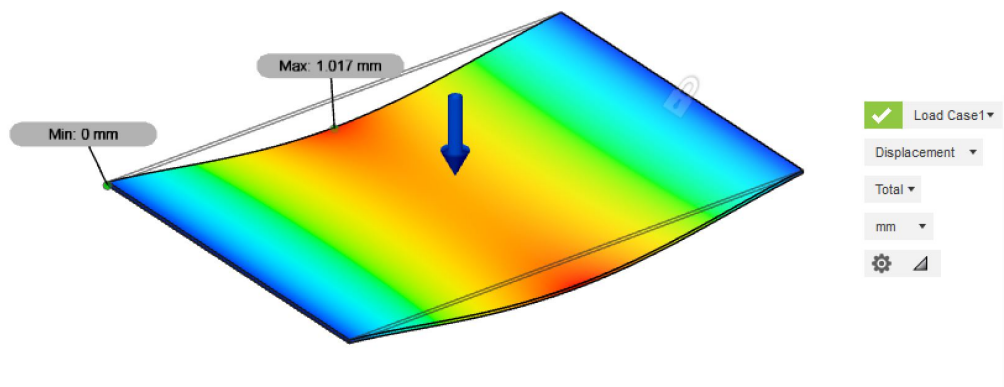


Figura 29. Simulación de deflexión sección de la tapa

7.1.4. Selección del material para la base del Banco de Pruebas para Alternadores

Los resultados obtenidos demuestran que el espesor a considerar es el calculado mediante el análisis por rigidez pues es mucho mayor que el espesor obtenido cuando se analizaron únicamente los esfuerzos.

Se busca entonces proveedores nacionales de planchas de acero A36 y los productos ofertados se muestran en el Anexo D: Planchas de Acero A36 ofertadas en Dismetel. Las planchas encontradas son laminadas en caliente.

El espesor necesario es de 2 mm por lo cual, la única opción que se tiene es adquirir la plancha de 1220 x 2440 mm.

Como se mencionó al inicio de la sección, el cálculo es usado también para las bases

y las paredes del banco de pruebas, la superficie total se calcula con ayuda del programa CAD y los datos se muestran a continuación:

- Base interna: $282,1 \times 10^3$ [mm²].
- Base carro de tensado: 189×10^3 [mm²].
- Tapa superior: $327,14 \times 10^3$ [mm²].
- Tapas laterales: $865,41 \times 10^3$ [mm²].
- Total: $1661,35 \times 10^3$ [mm²].

En caso de que se adquirieran los materiales por separado, la plancha que se debe seleccionar es la opción de 1220 x 2244 mm que tiene un area total de $2976,8 \times 10^3$ mm², lo cual implica que quedaría un metal sobrante con un área de $1315,45 \times 10^3$ mm², tomando esto en consideración, la otra opción que se presenta es contratar un servicio de ensamblaje donde el material ya se incluya.

7.2. Diseño de vigas

Como ya fue demostrado con el cálculo pasado, el diseño por rigidez da las dimensiones de espesor mayores y por ende las adecuadas para que se soporten las cargas requeridas; para esta estructura se emplea el diseño por rigidez.

7.2.1. Diseño por Rigidez

A diferencia con el proceso pasado, en este caso, se inicia con un tubo cuadrado de dimensiones ya conocidas y se busca determinar cual es la carga máxima que dicha estructura soportará, en el caso de que el tubo seleccionado no sea lo suficientemente resistente, se elije otro y se repite el cálculo.

Para iniciar con el diseño se toma en consideración las opciones de tubos cuadrados ofertadas en el catálogo de la Empresa DIPAC, los diferentes tubos con sus dimensiones se presentan en el Anexo E: Tubo Estructural cuadrado Dipac.

Como primera opción, se elige un tubo de 20 mm de lado y 1,5 mm de espesor además, es importante recordar que, la carga mínima que se espera que soporte es el peso de una

persona es decir, alrededor de 70 kg a esto se le añade también un factor de carga de 1,5. La fuerza total se muestra en (22).

$$F_T = 70 \times 1,5 \text{ [kg]} = 105 \text{ [kg]} = 1029 \text{ [N]} \quad (22)$$

El elemento está dentro de la categoría de partes de máquina en general y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto, haciendo uso de las ecuaciones presentadas en la Tabla 11 se ocupa (23). El tubo que se ocupa para el diseño es el de mayor longitud de la estructura pues este es el elemento más crítico y tiene una longitud de 723 mm:

$$y_{max} = \frac{L}{1000} \quad (23)$$

$$y_{max} = \frac{0,723}{1000} = 723 \text{ [um]}$$

Se considera que cada uno de los tubos se comporta como un elemento con apoyos fijos y carga central, de modo que se aplica (20). En cuanto a la inercia, se presenta un inconveniente pues, en el catálogo de DIPAC presentado en el Anexo E: Tubo Estructural cuadrado Dipac, se dispone ya de un valor de inercia en la quinta columna de la tabla; sin embargo, en el modelo 3D el tubo cuadrado que se utilizó no tiene filetes en las esquinas y por lo tanto, esta inercia no es acertada, en consecuencia, se debe recalcular la inercia para los tubos modelados con el fin de reducir el error en el momento del análisis por elementos finitos.

La inercia del tubo cuadrado modelado se calcula restando las inercias de la sección mayor menos la menor como se muestra en (24).

$$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{bh^3}{12} \quad (24)$$

$$I = \frac{20 \text{ [mm]} \times (20 \text{ [mm]})^3}{12} - \frac{(20 - (1,5 \times 2)) \text{ [mm]} \times ((20 - (1,5 \times 2)) \text{ [mm]})^3}{12}$$

$$I = 6,37 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

Los datos que se disponen son:

$$E_{acero} = 200 \text{ [GPa]} \quad ; \quad L = 0,723 \text{ [m]} \quad ; \quad y = -723 \text{ [um]}$$

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} \quad (20)$$

$$723 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I(\text{tubo})} = \frac{F \times (0,723 \text{ [mm]})^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times 6,37 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$F = 467,9 \text{ [N]}$$

La fuerza calculada está por debajo del 50% de la carga esperada, por lo tanto, se cambia la dimensiones del tubo cuadrado por uno de 25 mm de lado y 1,2 mm de espesor, el único valor que varía es la inercia y se la recalcula con (24) y para la carga esperada se utiliza (20).

$$I = \frac{25 \text{ [mm]} \times (25 \text{ [mm]})^3}{12} - \frac{(25 - (1,2 \times 2)) \text{ [mm]} \times ((25 - (1,2 \times 2)) \text{ [mm]})^3}{12}$$

$$I = 10,81 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$723 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I(\text{tubo})} = \frac{F \times (0,723 \text{ [mm]})^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times 10,81 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$F = 794,11 \text{ [N]}$$

La carga calculada llega al 75% del total esperado por lo cual se hace una nueva iteración variando solo el espesor del tubo cuadrado de 1,2 mm a 2 mm y se realiza el mismo proceso de la iteración pasada.

$$I = \frac{25 \text{ [mm]} \times (25 \text{ [mm]})^3}{12} - \frac{(25 - (2 \times 2)) \text{ [mm]} \times ((25 - (2 \times 2)) \text{ [mm]})^3}{12}$$

$$I = 16,35 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$723 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I(\text{tubo})} = \frac{F \times (0,723 \text{ [mm]})^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times 16,35 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$F = 1201,08 \text{ [N]} \approx 1201 \text{ [N]}$$

Si bien la carga que soporta excede la carga esperada por cerca de 170 N o 17 kg se selecciona este tubo pues, uno de menor espesor queda por debajo de lo esperado. Con el tubo seleccionado, el factor de carga se eleva de 1,5 a 1,75 lo cual no es un valor exagerado y más bien, se obtiene una estructura más robusta y segura.

7.2.2. Simulación FEA

Para la simulación se ocupa acero AISI 1015 H.R. que es el recomendado por la norma ASTM A500 que es la norma para tubos estructurales [41]. La carga aplicada en la simulación es de 1200 N como se obtuvo en el último cálculo realizado.

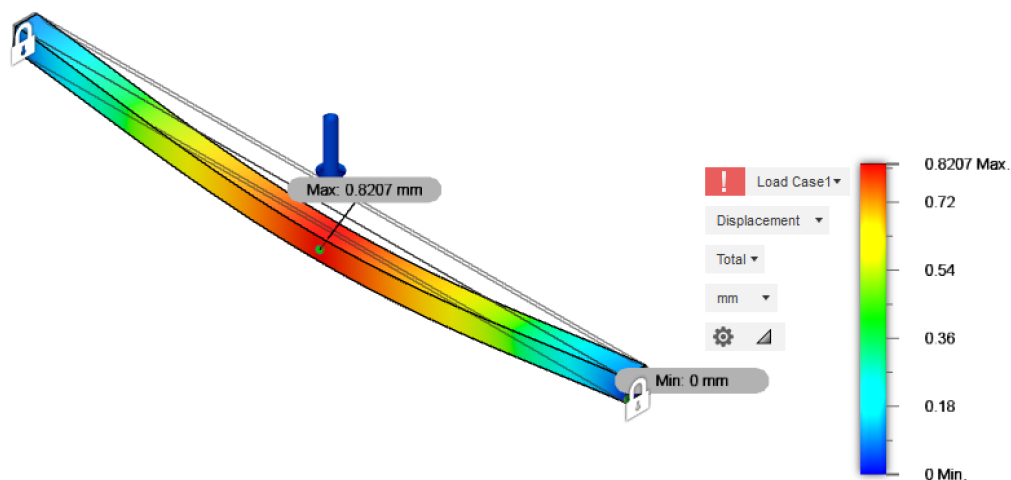


Figura 30. Simulación de deflexión de tubo cuadrado

Como se observa en la Figura 30 la simulación del elemento indica que va a existir una deflexión de 0,8207 mm mientras que el cálculo preveía un valor de 0,723 mm. Aplicando (21) se obtiene que el porcentaje de error es de 13,5% que, si bien no es un error bajo, tampoco es excesivo y por ende indica que la estructura si será capaz de soportar las cargas esperadas sin problema.

$$\%e = \frac{0,723 - 0,8207}{0,723} \times 100 = 13,51\%$$

7.3. Diseño de Pilares

Para el diseño de los pilares se los debe analizar como columnas a compresión las cuales deben soportar al menos la misma carga que se utilizó para el análisis de las vigas.

7.3.1. Diseño de columna a compresión

En base al diseño geométrico realizado se pueden conocer los siguientes datos que serán de utilidad en el cálculo:

- La longitud real, L
- La conexión de la columna con sus apoyos
- La forma de la sección transversal de la columna y sus dimensiones

Además se conoce el material del pilar pues va a ser un tubo cuadrado similar al utilizado para las vigas.

Para el análisis de columnas se plantea el siguiente procedimiento descrito en el libro de Mott [17]:

- Determinar el factor de fijación de los extremos, K .
- Calcular la longitud efectiva con (25)

$$L_e = K \times L \tag{25}$$

- Calcular el valor mínimo del radio de giro de la sección transversal.

- Calcular la relación de esbeltez máxima.
- Con el módulo de elasticidad y la resistencia a la cedencia calcular la constante de columna.
- Comparar el valor de SR con C_c .
 - a. Si $SR > C_c$ la columna es larga y se utiliza la fórmula de Euler mostrada en (26) para calcular la carga de pandeo crítica.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(SR)^2} \quad (26)$$

- b. Si $SR < C_c$ la columna es corta y se utiliza la fórmula de Johnson mostrada en (27) para calcular la carga de pandeo crítica.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{s_y (SR)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (27)$$

- Especificar el factor de diseño N .
- Calcular la carga permisible P_a .

Con los datos que se dispone se calcula la longitud efectiva que combina la longitud real con el factor de fijación de los extremos. Se utilizan las relaciones presentadas en el Anexo F: Factor k para columna a compresión para calcular este dato conociendo que el elemento analizado se encuentra en la categoría de ambos extremos fijos, por ende se ocupa (28) para calcular la longitud efectiva:

$$L_e = 0,65L \quad (28)$$

$$L = 329 \text{ [mm]}$$

$$L_e = 0,65 \times 329 \text{ [mm]}$$

$$L_e = 213,85 \text{ [mm]} \approx 214 \text{ [mm]}$$

La constante de la columna es de gran importancia para conocer con qué tipo de columna se está trabajando y para su cálculo se dispone de los siguientes datos:

- El módulo de elasticidad del acero es 207 GPa, pero se recomienda utilizar 200 GPa.
- El límite de fluencia del Acero AISI 1015 H.R. (Norma ASTM A500 para tubos estructurales) se encuentra en el Anexo G: Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros:

$$S_y = 190 \text{ [MPa]}$$

- El factor de seguridad (n) que se considera es de 1,5, con lo cual se calcula el límite de fluencia prima con (29):

$$S_{y'} = \frac{S_y}{n} \quad (29)$$

$$S_{y'} = 126,67 \text{ [MPa]}$$

- Se calcula la constante de la columna (30)

$$C_{c'} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (30)$$

$$C_{c'} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 200 \text{ [GPa]}}{126,67 \text{ [MPa]}}}$$

$$C_{c'} = 176,54$$

Para conocer el tipo de columna con la cual se va a trabajar, se debe calcular la medida de la esbeltez de la sección transversal de una columna que se obtiene con (32) y es necesario conocer el radio de giro que se calcula con (31), este depende a su vez de la inercia de la columna la cual, se toma como la inercia previamente calculada en el diseño de la viga para el tubo cuadrado de 25 x 25 x 2 mm que fue el seleccionado.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (31)$$

$$I = 16,35 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$A = (B \times H) - (b \times h) = 25 \text{ [mm]}^2 - 21 \text{ [mm]}^2 = 184 \text{ [mm]}^2$$

$$A = 184 \times 10^{-6} \text{ [m]}^2$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{16,35 \times 10^{-9} \text{ [m]}^4}{184 \times 10^{-6} \text{ [m]}^2}} = 9,43 \text{ [mm]}$$

$$SR_{max} = \frac{L_e}{r_{min}} \quad (32)$$

$$SR_{max} = \frac{214 \text{ [mm]}}{9,43 \text{ [mm]}} = 22,7$$

Se verifica entonces qué tipo de columna es según los siguientes parámetros:

$$SR > C_c' \rightarrow \text{Columna larga}$$

$$SR < C_c' \rightarrow \text{Columna corta}$$

$$22,7 < 128,43$$

Se sabe entonces que es una columna corta y se utiliza la (27). La carga de pandeo crítica para una columna corta es:

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{s_y(SR)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (27)$$

$$P_{cr} = 184 \times 10^{-6} \text{ [m]}^2 \times 126,67 \times 10^6 \text{ [Pa]} \left[1 - \frac{126,67 \times 10^6 \text{ [Pa]} (22,7)^2}{4\pi^2 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]}} \right]$$

$$P_{cr} = 23,115 \text{ [kN]}$$

Sabiendo la carga de pandeo crítica y asumiendo un factor de seguridad (n) de 2 se tiene la carga admisible que se calcula con la (33):

$$P_a = \frac{P_{cr}}{n} \quad (33)$$

$$P_a = \frac{23,115 \text{ [kN]}}{2} = 11,557 \text{ [kN]} = 1179,3 \text{ [kg]}$$

7.3.2. Simulación FEA

Con un análisis de elementos finitos se contrasta el cálculo realizado con los resultados obtenidos en la simulación; en este caso, lo que se debe comparar es el valor del factor de seguridad que se ocupó para el diseño que es de 2.

En la simulación se obtuvo un factor de seguridad de 2,365 como se observa en la Figura 31 el cual es mayor al que se utiliza en los cálculos de modo que el error porcentual que se obtiene es de 18,25 %, aunque no es ideal, corrobora que el tubo cuadrado va a soportar sin problema las cargas estimadas.

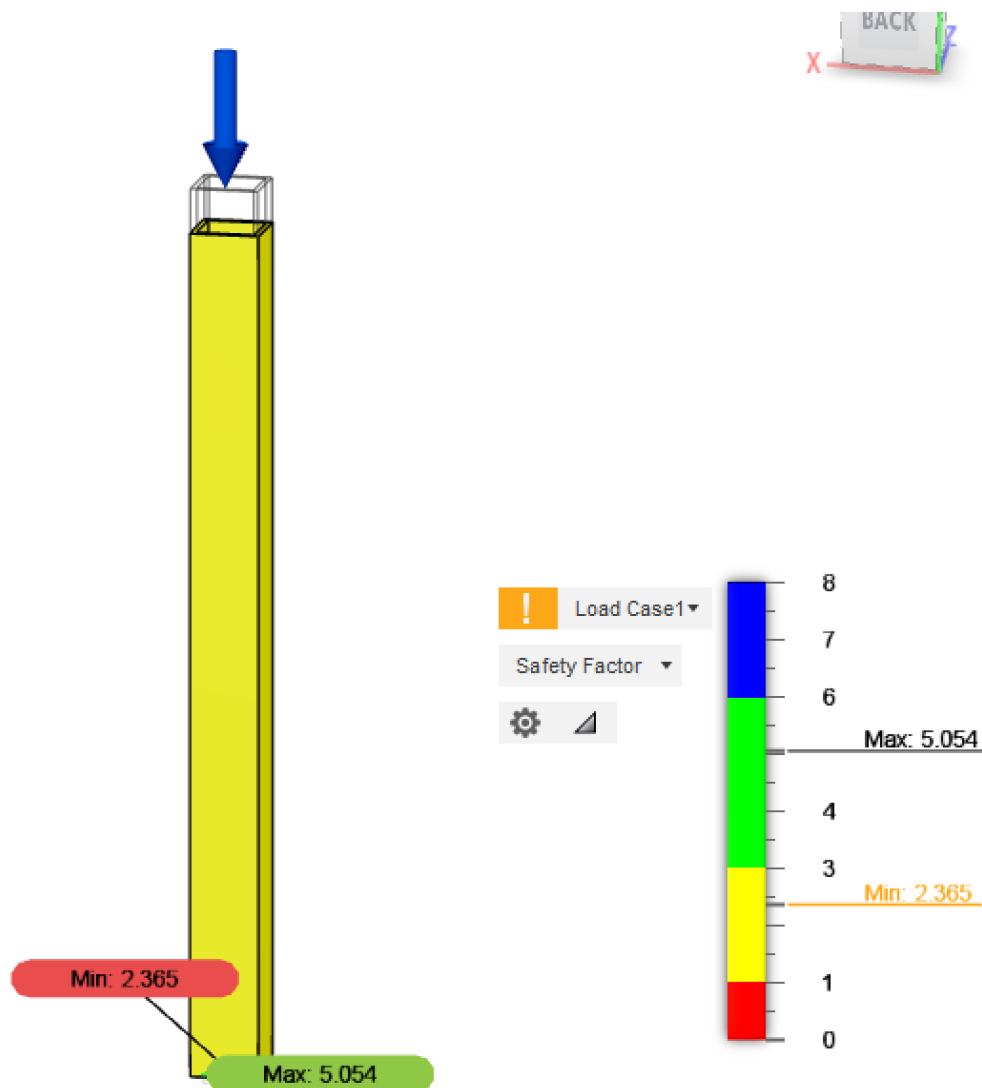


Figura 31. Factor de seguridad del pilar

En realidad, el elemento se encuentra sobredimensionado pues tiene la capacidad de soportar más cerca de 17 veces la carga deseada por lo cual, es factible seleccionar un tubo cuadrado con dimensiones y espesor menores; no obstante, los tubos se encuentran con longitudes de 6 m y, ya que se va a ocupar este tubo para las vigas, se tiene un excedente que será aprovechado para los pilares.

7.4. Diseño de Soldadura

Para el diseño de soldadura se toma como punto de partida los datos conocidos como las dimensiones de los tubos a soldar, el electrodo seleccionado y la altura del cordón para determinar si estos parámetros son adecuados o deben ser modificados. Además, se selecciona el proceso de soldadura SMAW (Soldadura por arco eléctrico con electrodo

revestido) con la que se obtiene una soldadura buena y de bajo costo.

En la Figura 32 se muestran las dimensiones que se deben tomar en cuenta para el cálculo.

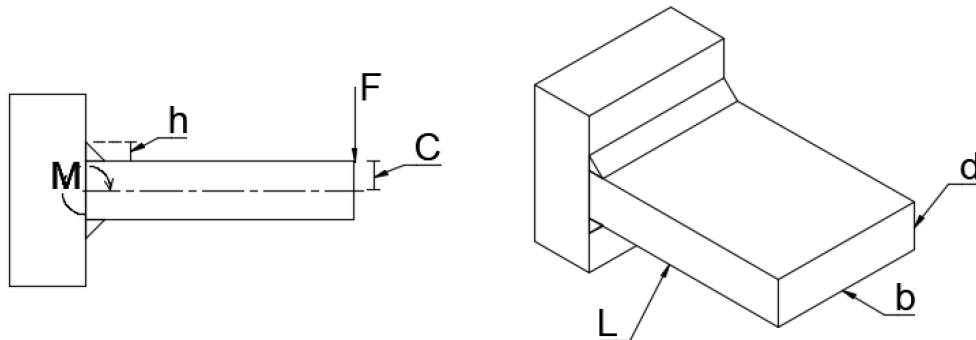


Figura 32. Dimensiones a considerar en el cálculo de soldadura

Para el diseño se decide hacer uso de un electrodo E70XX y con cordones paralelos en la parte superior del tubo además, se conocen los siguientes datos para el cálculo:

- $b = d = 25 \text{ mm}$.
- $C = 12,5 \text{ mm}$ (para conocer este dato se ocupa el Anexo H: Datos para soldadura de filete, Figura H.1 tomando en cuenta que C es la distancia vertical desde el punto de aplicación de la carga hasta el centro de gravedad del perfil).
- $L = 361,5 \text{ mm}$ (se utiliza la mitad de la longitud total de la viga de mayor dimensión debido a que va a estar soldada en ambos extremos y la fuerza será aplicada en el centro).
- $h = 7 \text{ mm}$ (en el Anexo H: Datos para soldadura de filete, Figura H.3 se tienen valores referenciales de esta altura en pulgadas).
- $F = 1029 \text{ N}$ (misma carga ocupada para el diseño de la viga).
- $n = 1,5$ (este es un factor de seguridad mínimo que se busca para este diseño).

Para el primer punto se ocupa el Anexo H: Datos para soldadura de filete, Figura H.1 para calcular el área de la garganta con (34) y el momento de inercia con (35) para lo cual es necesario primero determinar el segundo momento de inercia con (36).

$$A = 1,414 \times h \times d \quad (34)$$

$$I = 0,707 \times h \times I_u \quad (35)$$

$$I_u = \frac{b \times d^2}{2} \quad (36)$$

$$A = 1,414 \times (7 \times 10^{-3} \text{ [m]}) \times (25 \times 10^{-3} \text{ [m]}) = 247,45 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$I_u = \frac{(25 \times 10^{-3} \text{ [m]}) \times (25 \times 10^{-3} \text{ [m]})^2}{2} = 7,8125 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$I = 0,707 \times (7 \times 10^{-3} \text{ [m]}) \times (7,8125 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}) = 38,66 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$$

Con estos valores se puede ya calcular tanto el cortante primario, con (37), como el cortante secundario con (38) y, finalmente, obtener el cortante final con (39) que es básicamente la ecuación de Pitágoras.

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (37)$$

$$\tau'' = \frac{MC}{I} \quad (38)$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (39)$$

$$\tau' = \frac{1029 \text{ [N]}}{247,45 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}} = 4,16 \text{ [MPa]}$$

$$\tau'' = \frac{(1029 \text{ [N]} \times (361,5 \times 10^{-3} \text{ [m]})) \times (12,5 \times 10^{-3} \text{ [m]})}{38,66 \times 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}} = 120,27 \text{ [MPa]}$$

$$\tau = \sqrt{4,16 \text{ [MPa]}^2 + 120,27 \text{ [MPa]}^2} = 120,34 \text{ [MPa]}$$

Ahora se obtiene el factor de seguridad aplicando (40) para lo cual se necesita conocer el valor de S_y del electrodo E70XX ($S_y = 393 \text{ MPa}$) tomado del Anexo H: Datos para soldadura de filete, Figura H.2.

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0,5 S_y}{\tau} \quad (40)$$

$$n = \frac{0,5 \times 345 \text{ [MPa]}}{120,34 \text{ [MPa]}} = 1,63$$

El factor de seguridad obtenido es superior a 1,5 que es el valor mínimo que se plantea para el diseño por lo cual el material de aporte tiene una resistencia satisfactoria.

En el Anexo H: Datos para soldadura de filete, Figura H.3 se presentan cargas permisibles para soldaduras de filete, para un electrodo E70XX se tiene un valor admisible de esfuerzo cortante de 21 kpsi lo que equivale a 144,8 MPa. En el cálculo se obtuvo un esfuerzo cortante de 120,34 MPa por ende, la soldadura planteada cumple con los requisitos y es satisfactoria.

7.5. Diseño de los Ejes Guía del Carro de Tensado

El carro de tensado está soportado sobre 3 ejes que serían los dos ejes guía y el tornillo de potencia, sin embargo, se realizará el diseño asumiendo que solo se tienen los dos ejes guía como soporte con el fin de que, en el diseño del tornillo de potencia, se pueda hacer uso de un tornillo de potencia comercial y fácil de adquirir que sea de un diámetro menor al que se hubiera necesitado en el caso de que se hiciera el cálculo para que los 3 ejes soporten cargas iguales.

A continuación, se realizará el cálculo tanto para la carga distribuida entre 3 ejes como entre 2 ejes con la finalidad de realizar la comparación de los diámetros que se hubiera necesitado en ambos casos. En la Figura 33 se muestra el carro de tensado con los dos ejes guía y el tornillo de potencia.

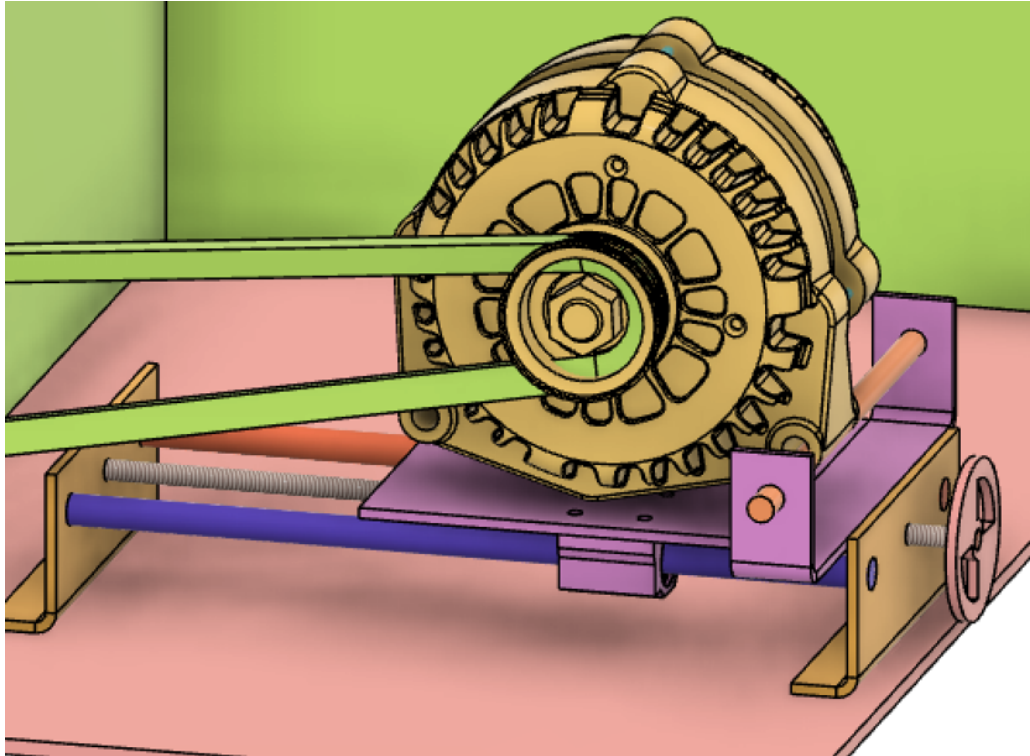


Figura 33. Carro de tensado

7.5.1. Análisis de Cargas

Para el carro de tensado se consideran 2 cargas principalmente, una de ellas debe ser necesariamente el alternador mientras que aparte se toma en cuenta cargas extras debido a objetos que podrían llegar a asentarse sobre el elemento, por ejemplo: baterías, componentes automotrices, etc. Los pesos de estas dos cargas son:

- Alternador: 3 kg
- Extras: 25 kg

Aparte de estos valores, se toma un factor de carga de 1,5 de modo que la fuerza total aplicada sobre el carro es:

$$F_T = (3 + 25) [\text{kg}] \times 1,5 = 42 [\text{kg}]$$

$$F_T = 411,6 [\text{N}]$$

En la Figura 34 se presenta el diagrama de cuerpo libre, diagrama de cortantes y de momentos para el caso en que la carga se distribuye en los dos ejes de apoyo, para el

caso con tres puntos de apoyo se tiene un diagrama similar con los valores de las cargas modificados de acuerdo a lo necesario.

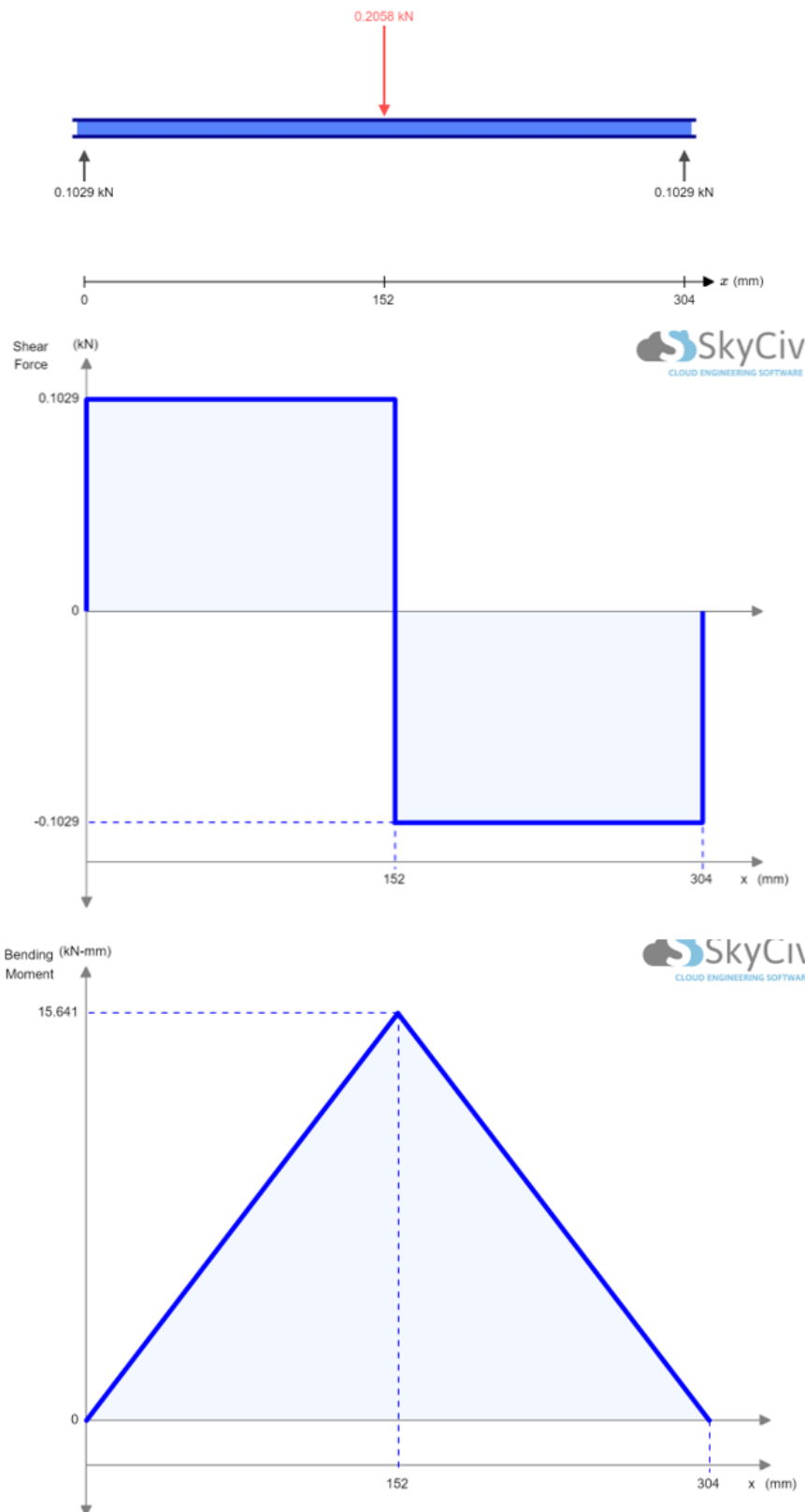


Figura 34. Diagrama de fuerzas de ejes de carro de tensado

Se calculan momentos y fuerzas del primer caso en donde se considera que la carga se reparte entre 3 ejes:

Se procede con el cálculo de momentos y fuerzas del primer caso en donde se considera que la carga se reparte entre 3 ejes. Ocupando (10) y (11) se determinan las fuerzas y momentos presentes en el componente.

$$\Sigma F_y = 0 \quad (10)$$

$$F_B = \frac{F_T}{3} = \frac{411,6}{3} = 137,2 \text{ [N]}$$

$$\Sigma F_y = R_{y1} - F_B + R_{y2}$$

$$R_{y1} + R_{y2} = 137,2$$

$$\Sigma M_A \odot (+) = 0 \quad (11)$$

$$0 = F_B \times 0,152 \text{ [m]} - R_{y2} \times 0,304 \text{ [m]}$$

$$R_{y2} \times 0,304 \text{ [N m]} = 137,2 \times 0,152 \text{ [N m]}$$

$$R_{y2} = 68,6 \text{ [N]}$$

$$R_{y1} = 68,6 \text{ [N]}$$

$$M_A = 0 \text{ [N m]}$$

Ahora se realiza el mismo análisis pero buscando que únicamente los dos ejes de guía sean capaces de soportar toda la carga.

$$\Sigma F_y = 0 \quad (10)$$

$$F_B = \frac{F_T}{2} = \frac{411,6}{2} = 205,8 \text{ [N]}$$

$$\Sigma F_y = R_{y1} - F_B + R_{y2}$$

$$R_{y1} + R_{y2} = 205,8$$

$$\Sigma M_A \circlearrowleft (+) = 0 \tag{11}$$

$$0 = F_B \times 0,152 \text{ [m]} - R_{y2} \times 0,304 \text{ [m]}$$

$$R_{y2} \times 0,304 \text{ [N m]} = 205,8 \times 0,152 \text{ [N m]}$$

$$R_{y2} = 102,9 \text{ [N]}$$

$$R_{y1} = 102,9 \text{ [N]}$$

$$M_A = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

7.5.2. Diseño por Rigidez

Como se ha verificado en puntos anteriores, al tener un elemento con soportes en sus extremos, el espesor o el diámetro, en este caso, calculado por los esfuerzos, es mucho menor que lo que se calcula en un análisis por rigidez, por lo tanto, se procede directamente a realizar el cálculo para asegurar la rigidez de los ejes los cuales van a ser hechos en acero de transmisión 1018 H.R. cuyo $S_y = 220 \text{ MPa}$ y al ser acero, su módulo de elasticidad sigue siendo $E = 200 \text{ MPa}$.

El elemento que se está calculando está dentro de la categoría de precisión moderada y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto, haciendo uso de las ecuaciones presentadas con anterioridad en la Tabla 11 se tiene (43):

$$y_{max} = \frac{L}{2000} \tag{41}$$

$$y_{max} = \frac{0,304}{2000} = 152 \text{ [um]}$$

Sabiendo que los ejes pueden considerarse como un elemento con apoyos fijos y carga central se ocupa (20) y para la inercia, al ser un eje, se debe ocupar (42):

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} \quad (20)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (42)$$

Se calculan 2 diámetros utilizando cada una de las fuerzas previamente calculadas. Se dispone de los siguientes datos:

$$E_{acero} = 200 \text{ [GPa]} \quad ; \quad y = -152 \text{ [um]} \quad ; \quad F_1 = 137,2 \text{ [N]} \quad ; \quad F_2 = 205,8 \text{ [N]}$$

$$152 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{137,2 \text{ [N]} \times 0,304^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{\pi \times d^4}{64}}$$

$$d_1 = 10,77 \text{ [mm]}$$

$$152 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{205,8 \text{ [N]} \times 0,304^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{\pi \times d^4}{64}}$$

$$d_2 = 11,92 \text{ [mm]}$$

7.5.3. Selección de Material para los Ejes

Los diámetros obtenidos en el análisis por rigidez de los ejes son 10,77 mm y 11,92 mm, es importante normalizar estos valores tomando en cuenta que será necesario hacer uso de rodamientos lineales. En el mercado, los rodamientos lineales con diámetros más cercanos a lo que se calculó son para ejes de 10 mm y 12 mm como se muestra en la Figura 35.

SC10UU DIÁMETRO 10MM \$6.99

SC12UU DIÁMETRO 12MM \$9.25



Figura 35. Rodamientos lineales Ecuarobotics [11]

Como se verifica, en cualquiera de los dos casos, es necesario utilizar un eje de 12 mm para las guías y, por lo tanto, el tercer eje, que viene a ser el tornillo de potencia, no necesita cumplir con este diámetro.

7.5.4. Simulación FEA (Finite Element Analysis)

A través de un análisis de elementos finitos se busca corroborar que el diámetro seleccionado para los ejes de acero de transmisión 1018 ocupados como guía para el carro de tensado del banco de pruebas para alternadores, sea el adecuado para un correcto funcionamiento del mecanismo.

Estos elementos son una de las partes más importantes dentro del diseño mecánico pues, si estos llegaran a fallar o deformarse de manera considerable, el carro de tensado quedaría inservible y por ende llevar a cabo las pruebas del alternador sería muy complicado o incluso imposible.

En la Figura 36 se muestra la deflexión que sufre el eje, este valor es en realidad muy importante pues, debido a que es un eje guía y un rodamiento se encontrará deslizándose sobre él, la deflexión que debe sufrir es mínima a fin de asegurar un deslizamiento suave de los rodamientos y por ende del carro de tensado.

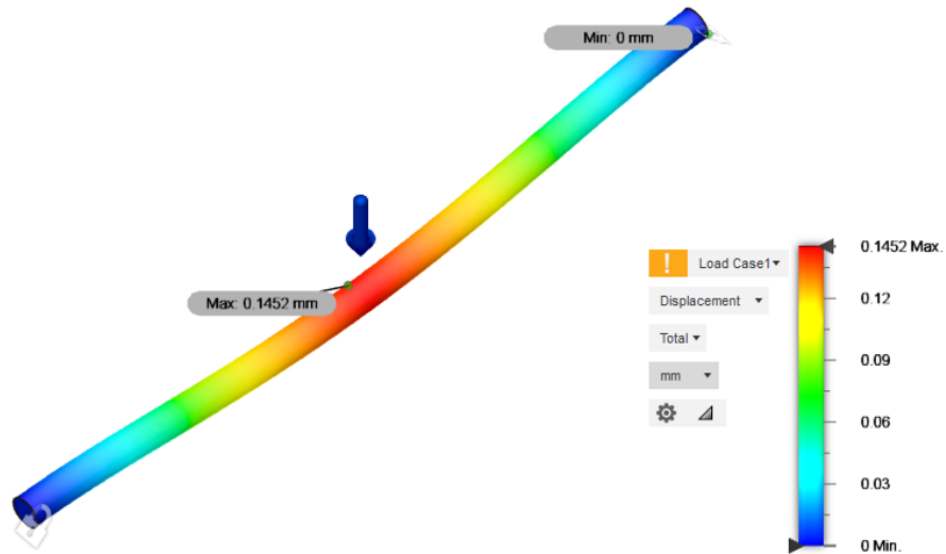


Figura 36. Deflexión presentada en los ejes guía del carro de tensado

Como se puede verificar, la deflexión máxima simulada es muy cercana al valor que se calculó de 152 μm (se debe tomar en cuenta incluso que, el diámetro calculado fue en realidad de 11,92 mm y en la simulación se ocupó un eje de 12 mm) y el error porcentual entre la deflexión calculada y simulada se calcula con (21) y se presenta a continuación:

$$\%e = \frac{V_{real} - V_{medido}}{V_{real}} \times 100 \quad (21)$$

$$\%e = \frac{145,2 - 152}{145,2} \times 100 = 4,7\%$$

7.6. Diseño del Tornillo de Potencia y Volante

Como se mencionó en el punto anterior, se diseñaron los ejes guías con el fin de que fueran capaces de soportar la carga total estimada que se podría aplicar sobre el carro de tensado con el propósito de poder hacer uso de un tornillo de potencia comercial de fácil acceso en el mercado nacional.

Debido a que el tornillo de potencia se encuentra colocado de forma horizontal y no existen cargas de compresión sobre el mismo, no es necesario un análisis a flexocompresión o de columna a compresión así como tampoco es necesario realizar un análisis de rigidez para las cargas del carro de tensado pues, los ejes guías, deberían dar el soporte necesario para que el tornillo de potencia no se deforme. Sin embargo, se realiza el análisis de rigidez

tomando en cuenta las características del tornillo de potencia existente en el mercado para determinar las cargas que este podría llegar a soportar en el caso hipotético de que sea necesario.

Para los cálculos se necesitan las siguientes características del tornillo de potencia [42]:

- Entradas: 4.
- Diámetro: 8 mm.
- Paso: 2 mm.
- Material: Acero Inoxidable (no se especifica exactamente, pero se asumirá como un acero AISI 304)

7.6.1. Análisis por Rigidez

Tal como se trabajó con los ejes, se procede a aplicar (20) para el caso de apoyos fijos con carga central y para la inercia del eje se utiliza (42).

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} \quad (20)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (42)$$

Al ser un elemento de transmisión entra en la categoría de precisión moderada y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto, haciendo uso de (43) presentada en la Tabla 11 se tiene:

$$y_{max} = \frac{L}{2000} \quad (43)$$

$$L = 304 \text{ [mm]}$$

$$y_{max} = \frac{0,304 \text{ [m]}}{2000} = 152 \text{ [um]}$$

Con este dato se puede calcular entonces la carga que soportará el tornillo de potencia:

$$152 \times 10^{-6} = \frac{F \times 0,304^3 [\text{m}^3]}{192 \times 200 \times 10^9 [\text{Pa}] \times \frac{\pi(4 \times 10^{-3})^4}{4}}$$

$$F = 41,77 [\text{N}] = 4,26 [\text{kg}]$$

Es decir, con el tornillo de potencia de 8 mm de diámetro el carro de tensado soportará 4 kg extra a lo que se espera.

7.6.2. Cálculo de Torques y Velocidades

Para este cálculo se necesitan ciertos datos adicionales además de lo que se indica en el anuncio del vendedor, por lo que, conociendo que el tornillo de potencia que se utilizará es designado como TR8 y pertenece a la designación según la ISO se obtienen estos valores necesarios de la Tabla 12.

Tabla 12. Diámetros de Tornillos de Potencia ISO [23]

ISO Thread Thread Designation	Pitch	External ISO Metric Trapezoidal Threads Table						
		Tolerance Class	Major Diam		Pitch Diam		Minor Diam	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min
TR8X1.5	1,5	7e	8,000	7,850	7,183	7,013	6,200	5,921
TR9X1.5	1,5	7e	9,000	8,850	8,183	8,013	7,200	6,921
TR9X2	2	7e	9,000	8,820	7,929	7,739	6,500	6,191
TR10X1.5	1,5	7e	10,000	9,850	9,183	9,013	8,200	7,921

Se tiene entonces el tornillo de potencia con las siguientes características:

- Número de entradas (N) = 4.
- Paso = 2 mm.
- De = 8 mm.
- Di = 6,2 mm.

Es necesario calcular el diámetro medio para lo que se utiliza (44) así como también el avance del tornillo que se calcula con (45).

$$D_m = D_i + \frac{p}{4} \quad (44)$$

$$D_m = 6,2 + \frac{2}{4} = 6,7 \text{ [mm]}$$

$$l = Np \quad (45)$$

$$l = 2 \times 4 \text{ [mm]} = 8 \text{ [mm]}$$

Para calcular el torque de subida se necesita del coeficiente de rozamiento entre el tornillo de potencia y la tuerca. En la Tabla 13 se puede observar esta información.

Tabla 13. Coeficientes de rozamiento estáticos obtenidos de diferentes fuentes [24]

Elementos en contacto	En seco	Rozamiento para capa delgada de lubricante
Acero-Acero	0,4 – 0,6	0,03 – 0,2
Acero-Bronce	0,35	0,18
Acero-Fundición	0,23	0,13
Fundición-Bronce	0,22	0,08
Fundición-Fundición	0,15	0,065

El tornillo de potencia es de acero mientras que la tuerca es de bronce, por lo tanto:

$$\mu = 0,18$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu_0 \text{ No hay} \\ d_c \text{ No hay} \end{array} \right\} \text{No hay collarín}$$

Debido a que el tornillo de potencia se encontrará colocado de manera horizontal, la

característica de autoblocancia no es importante; sin embargo, se la calcula a continuación con (46):

$$\mu\pi d_m \begin{cases} > l \Rightarrow \text{Existe Autoblocancia} \\ < l \Rightarrow \text{No Existe Autoblocancia} \end{cases} \quad (46)$$

$$\mu\pi d_m = 0,18 \times \pi \times 6,7 \text{ [mm]} = 3,79 \text{ [mm]}$$

$$3,79 \text{ [mm]} < 8 \text{ [mm]} \text{ (avance l)} \Rightarrow \text{No hay autoblocancia}$$

Para el cálculo del torque de subida es necesario primero realizar un análisis de la fuerza aplicada para tensar la banda para lo cual, se toman varios datos experimentales en la máquina que se dispone en el local "Autorepuestos Luis Rodríguez" haciendo uso de una balanza digital de gancho como se muestra en el Anexo I: Fuerza necesaria para tensar banda de transmisión, estos valores se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores medidos de Fuerza para Tensar la banda

Número de Medición	Valor [kg]
1	22,7
2	23,7
3	23,6
4	23,3
5	23,8
6	21,4

Se calcula el torque de subida aplicando (47):

$$T_s = \frac{F}{2} \left[\left(\frac{l + \mu\pi d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) d_m + \mu_c d_c \right] \quad (47)$$

Se toma como valor entonces 25 kg y se añade un factor de carga de 1,5 con lo cual se tiene que la Fuerza es de 37,5 kg.

$$T_s = \frac{\left(37,5 \text{ [kg]} \times 9,8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]\right) \text{ [N]}}{2} \left[\left(\frac{8 \text{ [mm]} + 0,18 \times \pi \times 6,7 \text{ [mm]}}{\pi \times 6,7 \text{ [mm]} - 0,18 \times 8 \text{ [mm]}} \right) 6,7 \text{ [mm]} \right]$$

$$T_s = 0,740 \text{ [N m]}$$

Ahora se debe determinar la eficiencia del sistema y para esto es necesario calcular el torque cuando no hay fricción aplicando (48).

$$T_o = \frac{F \times l}{2\pi} \quad (48)$$

$$T_o = \frac{(37,5 \text{ [kg]} \times 9,8 \text{ [m/s}^2]) \times 8 \text{ [mm]}}{2\pi}$$

$$T_o = 0,467 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

La eficiencia se calcula aplicando (49).

$$n = \frac{T_o}{T_s} \times 100 \quad (49)$$

$$n = \frac{0,467 \text{ [N} \cdot \text{m]}}{0,740 \text{ [N} \cdot \text{m]}} \times 100$$

$$n = 63,11 \%$$

7.6.3. Cálculo del Volante para el Tensado

Conociendo el torque de subida, se debe determinar cuál es el diámetro del volante para que una persona promedio pueda tensar la banda sin problema, se conoce que el torque se puede calcular con (50):

$$T = F \times d = F \times r \quad (50)$$

Se asume que en promedio una persona es capaz de generar una fuerza de 10 kg sin inconvenientes, por ende:

$$0,740 \text{ [N m]} = 10 \text{ [kg]} * r$$

$$0,075 \text{ [kg m]} = 10 \text{ [kg]} \times r$$

$$r = 7,5 \text{ [mm]} = 0,75 \text{ [cm]}$$

$$d = 1,5 \text{ [cm]}$$

Este diámetro es el mínimo requerido para lograr el tensado, sin embargo, un volante de 1,5 cm de diámetro es pequeño y no es cómodo de manipular; además, el sistema de seguridad que se implementará será a través de un pin, por lo tanto, se decide ocupar un volante de 4 veces el valor calculado, es decir de 6 cm de diámetro. De esta forma se reduce la fuerza que el operario debe aplicar para el tensado y el volante es más cómodo de manipular.

7.7. Diseño de soportes para los ejes guía y tornillo de potencia

Para el diseño de esta pieza, además del análisis de rigidez, se debe realizar un análisis de ajuste para determinar el diámetro de los orificios en donde encajarán los ejes previamente calculados y un cálculo para determinar las características de los pernos a ocupar.

El espesor obtenido de este cálculo es ocupado tanto para las placas de soporte de los ejes guía como para la base de soporte del alternador pues va a soportar fuerzas muy similares.

En la Figura 37 se presenta un diagrama con las referencias requeridas para el cálculo donde:

- L = 58,5 mm.
- b = 140 mm.
- F = 37,5 kg = 367,5 N (Fuerza de tensado).
- D = 12 mm.

- $d = 8 \text{ mm}$.

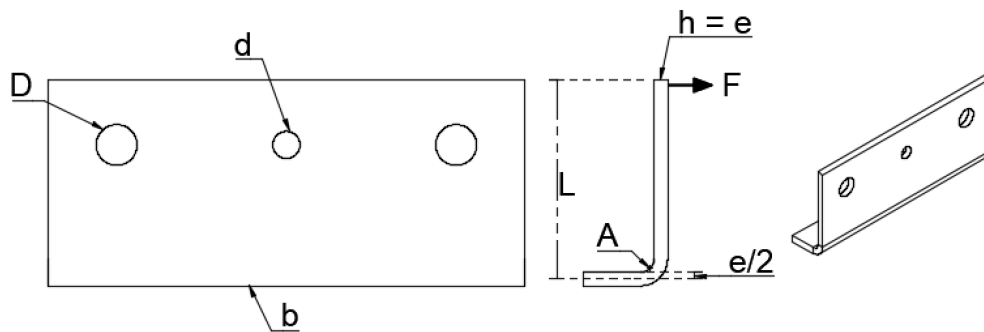


Figura 37. Dimensiones placa de sujeción de ejes guía

7.7.1. Diseño por Rigidez

Para este caso, se debe realizar un análisis como un elemento en voladizo y con carga en el extremo por lo cual se hace uso de (51) presentada en el Anexo C: Ecuaciones de cálculo para diseño por rigidez, Figura C.2, esta ecuación depende de la inercia (perfil rectangular), misma que se calcula con (12), además, se considera al elemento como parte de máquina en general y la deflexión máxima se calcula con (19).

El punto de análisis es el marcado como “A” en la Figura 37 pues estará a tracción y por lo general los elementos fallan debido a este esfuerzo.

$$y_{max} = -\frac{Fl^3}{3EI} \quad (51)$$

$$I = \frac{140 [\text{mm}] \times e^3}{12}$$

$$y_{max} = \frac{58,5 \times 10^{-3} [\text{m}]}{300} = 195 [\mu\text{m}]$$

$$y_{max} = -195 \times 10^{-6} = -\frac{367,5 [\text{N}] \times (58,5 \times 10^{-3} [\text{m}])^3}{3 \times 200 \times 10^9 [\text{Pa}] \times \frac{140 * 10^{-3} [\text{m}] \times e^3}{12}}$$

$$e = 3,77 [\text{mm}]$$

7.8. Simulación FEA

Para la simulación se toma una placa con espesor de 4 mm por ende, se recalcula la deflexión para que el porcentaje de error que se calcule más adelante sea más acertado para esto, se aplica nuevamente (51).

$$y_{max} = - \frac{367,5 \text{ [N]} \times (58,5 \times 10^{-3} \text{ [m]})^3}{3 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{140 * 10^{-3} \text{ [m]} \times (4 \times 10^{-3})^3}{12}}$$

$$y_{max} = 164,23 \text{ [um]}$$

En la Figura 38 se verifica una deformación de 162,1 um lo que significa un error porcentual de 1,3% con lo que se confirma con el resultado obtenido mediante cálculos.

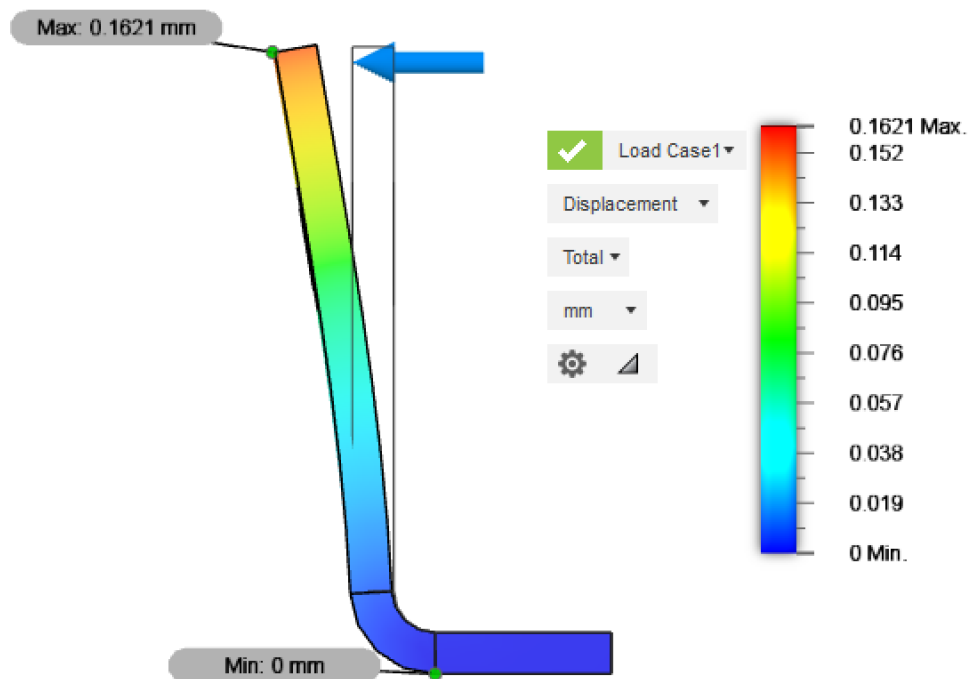


Figura 38. Deformación de la placa de soporte de los ejes guía

7.9. Análisis de Ajuste

En el mecanismo de tensado se utilizan rodamientos lineales lo que implica que, después de un cierto tiempo, será necesario realizar un mantenimiento y renovar estos componentes. Es indispensable que los ejes guía puedan ser separados de al menos una de

las placas de soporte, se plantea entonces que uno de los extremos presente un ajuste con juego para facilitar esta labor mientras que el otro extremo tenga un ajuste con apriete para que brinde seguridad al sistema.

Los ejes guía tiene un diámetro nominal de 12 mm, se asume que el eje será uniforme en toda su longitud y por lo tanto, para lograr los dos tipos de ajuste se deben modificar las dimensiones de cada uno de los agujeros.

Para el eje se considera una desviación de tipo “h” mientras que el agujero para un ajuste con apriete se toma una desviación tipo R por otro lado, para el ajuste con juego, se ocupa un agujero con desviación H. Estos datos se seleccionan del Anexo J: Tablas para cálculo de ajuste, Figura J.1.

Para obtener la magnitud de la tolerancia (MT) se hace uso del Anexo J: Tablas para cálculo de ajuste, Figura J.2 tomando en cuenta que la calidad (IT) es para piezas o elementos destinados a ajustar y por ende, se encuentra entre IT4 - IT11, en este caso se toma IT7 para el ajuste con apriete y para el ajuste con juego se ocupa una calidad IT11 que se encuentra en el límite entre piezas de ajuste y piezas que no deben ajustar.

Para la Posición de la Tolerancia se ocupan las Figuras J.3, J.4 e J.5.

Los resultados obtenidos para el eje son:

- $MT = +18 \text{ um}$
- $PT = 0 \text{ um}$

Para el agujero con ajuste de juego los valores son:

- $MT = +110 \text{ um}$
- $PT = 0 \text{ um}$

Para el agujero con ajuste de apriete los valores son:

- $MT = +18 \text{ um}$
- $PT = -23 \text{ um}$

Para calcular el juego máximo y mínimo es necesario realizar un gráfico en donde se ubiquen todos los datos obtenidos, los gráficos para ambos casos se presentan en la Figura 39 y Figura 40.

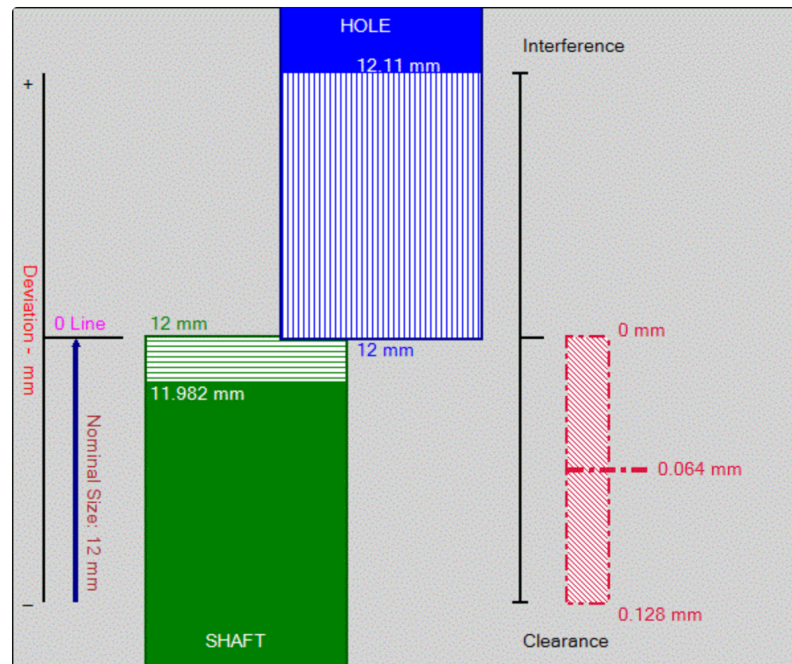


Figura 39. Ajuste con juego

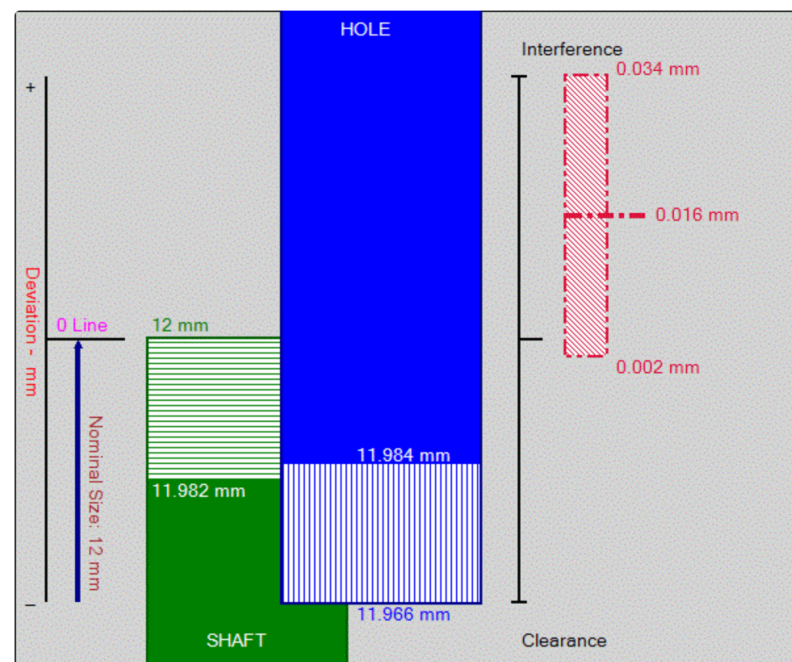


Figura 40. Ajuste con apriete

Los resultados indican que para el ajuste con juego se tiene un juego máximo de 128 μm y un mínimo de 0 μm mientras que en el caso del apriete, se presenta en realidad un ajuste indeterminado pues, puede existir un juego de 2 μm o una interferencia de 34 μm , en realidad, este último se encuentra en el límite de considerarse dentro del tipo de ajuste de apriete por lo que se decide mantener los valores.

En conclusión, el eje debe ser 12h7 mientras que los agujeros deben ser 12H11 y 12R7.

7.9.1. Cálculo de pernos

Para determinar los pernos adecuados en esta aplicación primero se identifica que el sistema va a estar sujeto a una carga cortante, esto implica que van a existir 6 diferentes modos en los que el sistema puede llegar a fallar, como se muestra en el Anexo K: Tablas para pernos, Figura K.1.

De los seis modos de fallo que existen, el fallo por flexión del perno puede obviarse aplicando un factor de seguridad al momento del cálculo mientras que los fallos por desgarro por cortante y por tensión se pueden eliminar si el perno se coloca a una distancia igual o mayor a 1,5 diámetros del perno desde el borde de la placa [14].

Considerando esto, el cálculo presentado a continuación analiza el posible fallo de la unión debido a corte del perno, falla o rotura por tensión de las placas y finalmente, apoyo del perno sobre las placas o apoyo de las placas sobre el perno (Esfuerzo de aplastamiento).

Para el cálculo se considera el uso de un perno SAE grado 1 de 1/4 in cuya resistencia de prueba mínima es de 33 kpsi (228 MPa) como se muestra en el Anexo K: Tablas para pernos, Figura K.2; además, en la Figura 41 se presenta un diagrama en donde se identifican las diferentes dimensiones que se deben tomar en consideración (los espesores y medidas que aún no han sido establecidas están identificadas con una letra que las identifique).

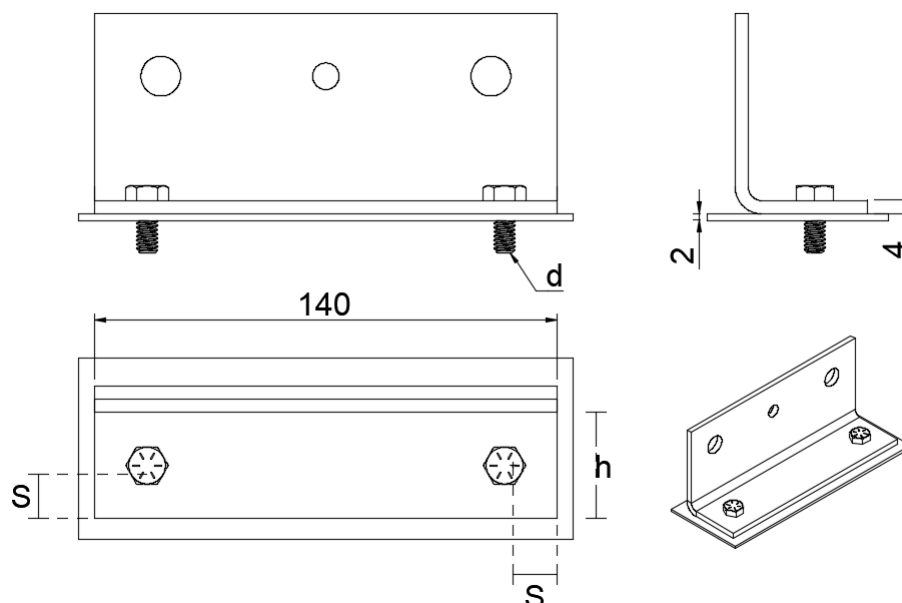


Figura 41. Diagrama de sistema emperrado

Como se visualiza en la Figura 41, el diámetro de los pernos, así como el ancho de la placa (h) y la separación de los pernos con los extremos no se encuentran definidos y a través de este cálculo se confirma si las medidas asumidas, mostradas a continuación, son adecuadas o deben ser modificadas.

Conociendo que se tomó como punto de partida un perno de 1/4 in y que se busca obviar el cálculo de los fallos por desgarramiento por cortante y por tensión y el fallo por flexión del perno de se tiene:

- $d = 1/4 \text{ in} = 6,35 \text{ mm}$.
- $s = 2d = 1/2 \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$.
- $h = 5d = 1 \text{ } 1/4 \text{ in} = 31,75 \text{ mm}$.
- $n = 2$ (factor de seguridad).

Primero se analiza la posibilidad de que se presente el corte del perno para lo cual se aplica (52) [14], donde el área ocupada es de la sección transversal de los pernos (suma de las áreas).

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{0,5 \times Sp}{n} \quad (52)$$

$$F = \frac{0,5 \times Sp \times A}{n} = \frac{0,5 \times 228 \text{ [MPa]} \times \left(2 \times \frac{\pi \times (6,35 \text{ [mm]})^2}{4} \right)}{2}$$

$$F = 3,61 \text{ [kN]} = 368,4 \text{ [kg]}$$

El siguiente análisis es del esfuerzo de aplastamiento tanto en los pernos, para lo cual se ocupa (53) [14], como en las placas o elementos sujetos calculado con (54) [14]. En ambos casos, el área se calcula con (55) [14] en donde t es el espesor de la placa más delgada, d es el diámetro del perno y finalmente, k es el número de pernos en acción.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{Sp}{n} \quad (53)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{S_{yplaca}}{n} \quad (54)$$

$$A = k \times t \times d \quad (55)$$

$$F = \frac{S_p \times 2 \times t \times d}{n} = \frac{228 \text{ [MPa]} \times 2 \times 2 \text{ [mm]} \times 6,35 \text{ [mm]}}{2}$$

$$F = 2,9 \text{ [kN]} = 295,5 \text{ [kg]}$$

$$F = \frac{S_{yplaca} \times 2 \times t \times d}{n} = \frac{248 \text{ [MPa]} \times 2 \times 2 \text{ [mm]} \times 6,35 \text{ [mm]}}{2}$$

$$F = 3,14 \text{ [kN]} = 321,4 \text{ [kg]}$$

Finalmente, se analiza el fallo o rotura de las placas para lo cual se aplica (56) en donde el área tomada es del perfil transversal restando el área ocupada por los pernos. En este caso, se ocupará la longitud de la placa de soporte de los ejes como si fuera la longitud de la placa de 2 mm en donde se debe realizar el análisis. En la Figura 42 se presenta de manera más clara cuál es el área a considerar que está marcada con líneas diagonales.

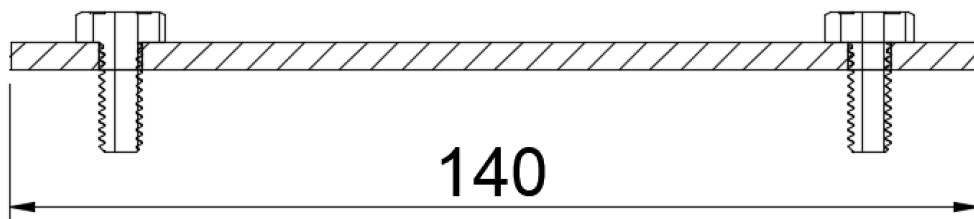


Figura 42. Área para análisis de rotura de placa emperrada

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{S_{yplaca}}{n} \quad (56)$$

$$F = \frac{S_{yplaca}}{n} = \frac{248 \text{ [MPa]} \times ((140 \text{ [mm]} \times 2 \text{ [mm]}) - 2(6,35 \text{ [mm]} \times 2 \text{ [mm]}))}{2}$$

$$F = 31,57 \text{ [kN]} = 3221,5 \text{ [kg]}$$

Después del cálculo se determina que el perno SAE grado 1 de 1/4 in es capaz de soportar la carga esperada que se presenta en el momento de tensar la banda y es de 37,5 kg (367,5 N).

7.10. Diseño del Eje de Sujeción del Alternador

El eje que servirá para asegurar al alternador debe ser diseñado para que no ceda ante la fuerza de tensión que se aplica para la banda. En este caso en particular, se tiene una restricción debido a que el agujero de la carcasa del alternador es de 10 mm e idealmente, se desea que el eje sea un tanto menor para que el alternador pueda ingresar con cierta holgura. Para esto se verifica si un eje de 9 mm de diámetro y 230 mm de largo de acero de transmisión 1018 H.R. es capaz de soportar las cargas que se mencionan. El análisis que se realizará es únicamente por rigidez.

7.10.1. Diseño por Rigidez

El elemento que se está calculando está dentro de la categoría de partes de máquina en general y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto, haciendo uso de (19) presentada con anterioridad en la Tabla 11 se tiene:

$$y_{max} = \frac{L}{300} \quad (19)$$

$$y_{max} = \frac{0,230}{300} = 766,67 \text{ [um]}$$

Se puede entonces calcular el espesor. Teniendo:

$$E_{acero} = 200 \text{ [GPa]} ; \quad y = -766,67 \text{ [um]}$$

Sabiendo que el eje tiene apoyos fijos a ambos lados y considerando una carga central, se ocupa (20) y para la inercia, al ser un eje, se aplica (42).

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} \quad (20)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (42)$$

$$766,67 \times 10^{-6} \text{ [m]} = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times \frac{\pi \times d^4}{64}} = \frac{F \times 0,230^3}{192 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{\pi \times (9 \times 10^{-3})^4}{64}}$$

$$F = 779,52 \text{ [N]} = 79,52 \text{ [kg]}$$

7.10.2. Simulación FEA (Finite Element Analysis)

Con el análisis de elementos finitos se busca verificar que el eje será capaz de soportar las cargas con las que se diseñó, buscando sobre todo que se mantenga rígido.

En la Figura 47 se muestra la deflexión que sufre el eje la cual es de 731,7 um lo cual se encuentra incluso por debajo del valor esperado con lo que se ratifica que el cálculo del eje es adecuado y este es capaz de soportar la carga esperada.

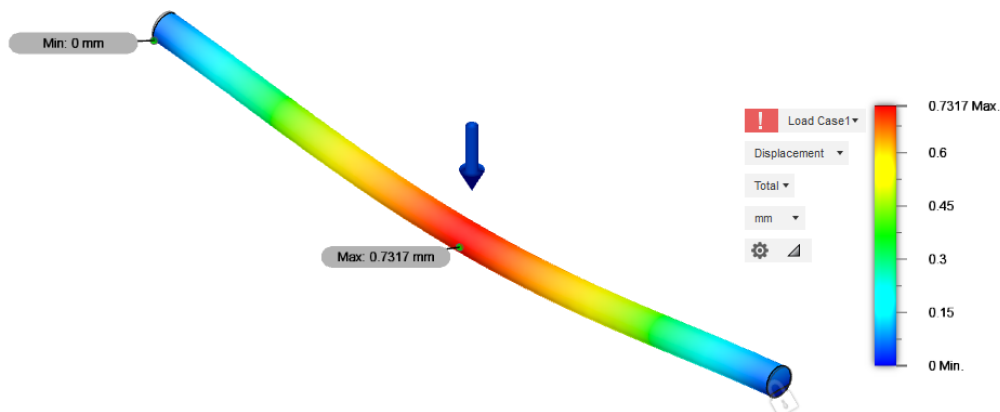


Figura 43. Deflexión presentada en el eje de sujeción

El error porcentual entre la deflexión calculada y simulada se calcula con (21) y se presenta a continuación:

$$\%e = \frac{V_{real} - V_{medido}}{V_{real}} \times 100 \quad (21)$$

$$\%e = \frac{766,67 - 731,7}{766,67} \times 100 = 4,56\%$$

7.10.3. Selección de Materiales para el Eje de Sujeción

Considerando la fuerza aplicada sobre el eje de 37,5 kg y que un eje de 9 mm soportará de manera rígida hasta una fuerza de 79 kg, se toma la decisión de continuar con el uso de un eje de acero de transmisión 1018 del diámetro indicado.

7.11. Diseño pin de bloqueo del volante

Conociendo que se debe aplicar una fuerza de alrededor de 10 kg (98 N) en el volante para lograr la tensión de la banda, el pin de bloqueo debe ser capaz de soportar al menos esta fuerza misma que ya incluye un factor de carga como se describió durante el cálculo del tornillo de potencia y el volante.

En la Figura 44 se presenta la longitud de la pieza a ser diseñada.

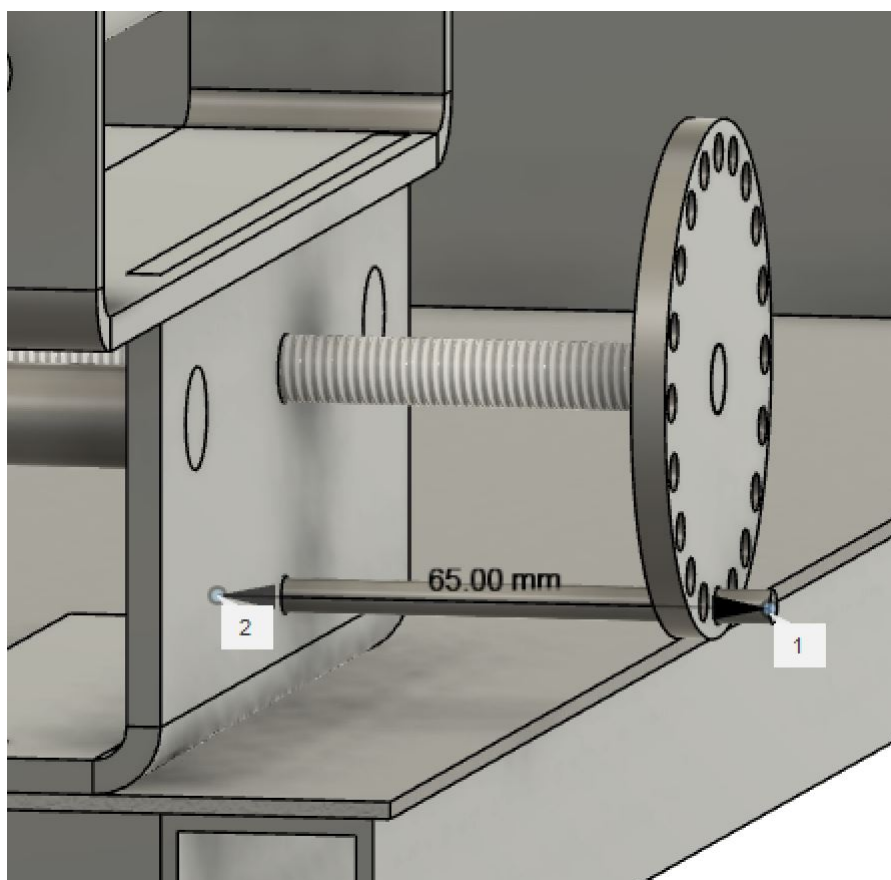


Figura 44. Pin de bloqueo del volante

7.11.1. Diseño por Rigidez

El elemento que se está calculando está dentro de la categoría de partes de máquina en general y la deflexión es causada por flexión, por lo tanto, la deflexión máxima se calcula con (19):

$$y_{max} = \frac{L}{300} \quad (19)$$

$$y_{max} = \frac{0,065}{300} = 216,67 \text{ [um]}$$

Se puede entonces calcular el espesor. Teniendo:

$$E_{acero} = 200 \text{ [GPa]} \quad ; \quad y = -216,67 \text{ [um]} \quad F = 98 \text{ [N]}$$

En este caso, el pin se va a comportar como un elemento en voladizo con carga en el extremo pues, un extremo del pin estará fijo en la placa de soporte de los ejes guía mientras que el otro extremo debe soportar la fuerza que el volante le aplique por ende, se ocupa (51) y la inercia con (42).

$$y_{max} = -\frac{Fl^3}{3EI} \quad (51)$$

$$y_{max} = -216,67 \times 10^{-6} = -\frac{98 \text{ [N]} \times (65 \times 10^{-3} \text{ [m]})^3}{3 \times 200 \times 10^9 \text{ [Pa]} \times \frac{\pi \times d^4}{64}}$$

$$d = 8,06 \text{ [mm]} \approx 8 \text{ [mm]}$$

7.11.2. Simulación FEA (Finite Element Analysis)

En la Figura 47 se muestra la deflexión que sufre el eje que es de 198,7 um es decir que es incluso menor que el valor esperado con lo cual se comprueba que el cálculo del pin es correcto.

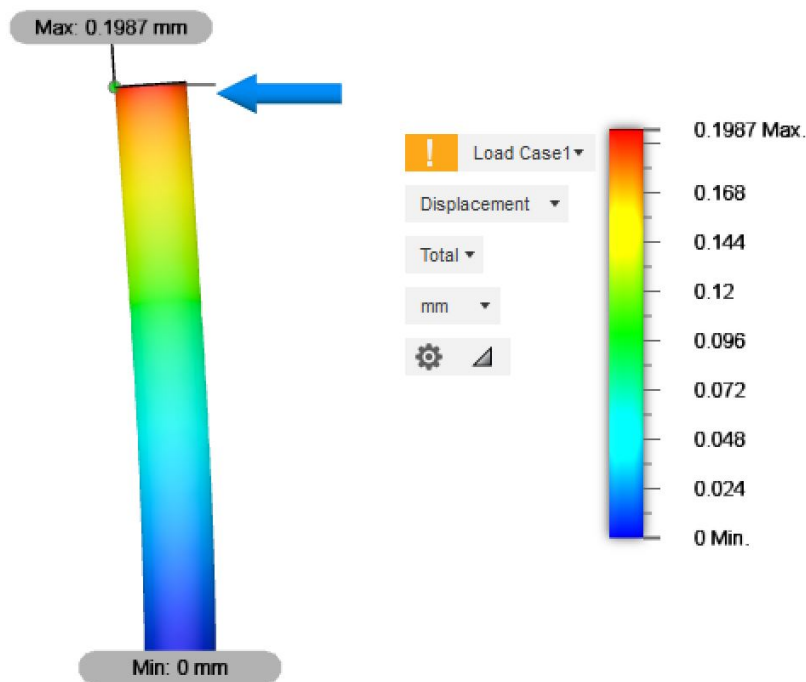


Figura 45. Deflexión presentada en el pin de bloqueo del volante

El error porcentual entre la deflexión calculada y simulada se calcula con (21) y se presenta a continuación:

$$\%e = \frac{216,67 - 198,7}{216,67} \times 100 = 8,3\%$$

7.11.3. Selección Materiales para el pin de bloqueo

En base al cálculo y corroborado por la simulación mostrada se determina que el pin de bloqueo del volante debe ser de un diámetro de 8 mm de acero de transmisión 1018.

7.11.4. Cálculo de la cantidad de puntos de bloqueo en el volante

Una vez conocido el diámetro del pin de bloque y el diámetro del volante del carro de tensado, se puede determinar cuántos puntos de bloqueo o cuántos agujeros van a haber en el volante para colocar el pin y fijar el tensado de la banda.

Para conocer esto se hace uso del criterio ocupado en el cálculo de pernos en donde se indica que, para evitar el desgarramiento por cortante o por tensión del material se debe dejar un espacio entre el filo y el agujero de 1 diámetro y medio, en este caso, el pin es de 8

mm y por ende, el agujero, idealmente, debe ser de 8 mm también en consecuencia, entre cada agujero debe haber un espacio de 12 mm.

El problema presentado con este requisito, es que, manteniendo esa separación la cantidad de puntos de fijación es poca y podrían presentarse problemas al momento del tensado. Tomando esto en consideración y que, además, se ocupa acero de 4 mm para el volante, cuando en realidad, para soportar la carga que se aplica sobre el mismo es suficiente con una placa de la mitad del espesor, se toma la decisión de colocar 8 agujeros en el volante lo que da una separación entre cada uno de prácticamente 10 mm como se muestra en la Figura 46 es decir, una distancia de 1,25 diámetros.

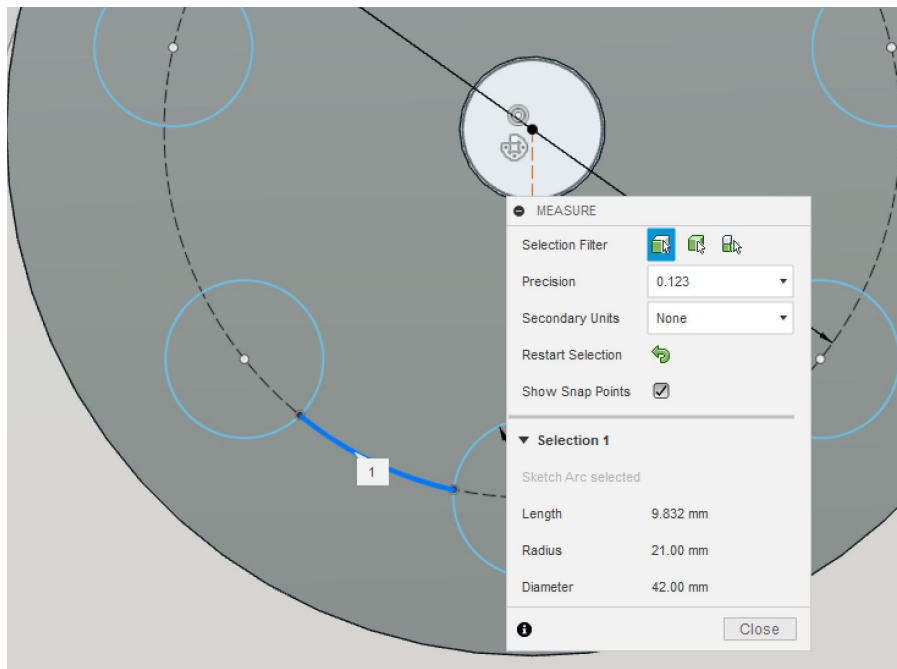


Figura 46. Separación entre puntos de fijado

7.12. Selección de correa de transmisión

Para la selección de la correa tipo V es importante determinar los ciertos parámetros como son los diámetros de las poleas y las velocidades angulares a las que cada una de ellas va a girar. En este caso, para la polea del motor se toma como referencia el catálogo de Ecuasierras [43] y se selecciona una polea de 4 in \approx 100 mm mientras que la polea de los alternadores es variable; sin embargo, el diámetro más común de los alternadores probados en el local Autorepuestos Luis Rodríguez, es de 70 mm. En la Figura 47 se muestra la distancia entre centros aproximada que existe entre el motor y el alternador mientras que

en la Figura 48 se presenta un diagrama con los datos necesarios para el cálculo.

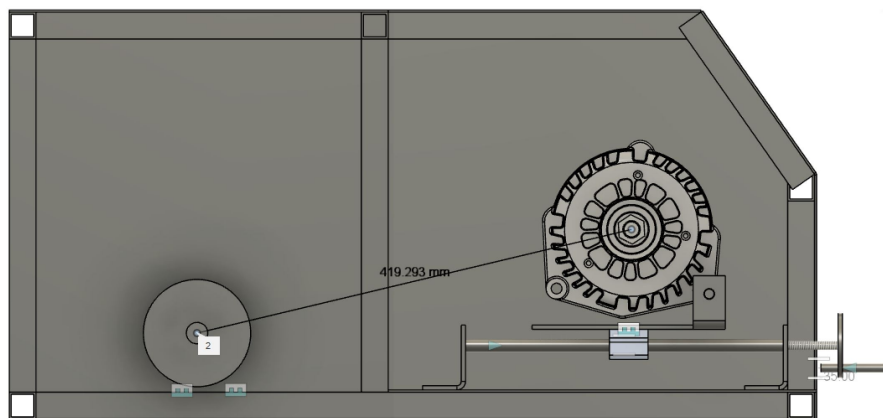


Figura 47. Distancia entre centros de las poleas del motor y el alternador

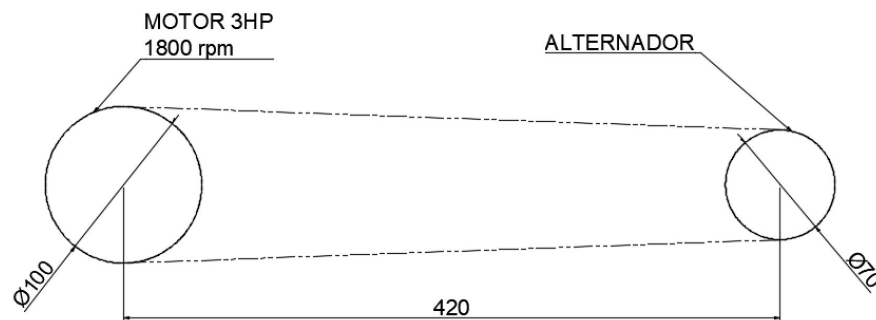


Figura 48. Diagrama del sistema de transmisión por banda tipo V

Un punto importante a tomar en cuenta es que, se desea tener una velocidad angular en la polea del alternador de al menos 2500 rpm debido al análisis realizado en la sección de diseño electrónico en donde se selecciona el motor a ocupar.

El primer punto para el diseño es determinar la potencia de diseño para lo cual se selecciona un coeficiente de servicio ocupando el Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V, Figura L.1 conociendo que el alternador es un generador y el motor ocupado es eléctrico monofásico, además, la máquina funciona de manera intermitente. La potencia de diseño se calcula con (57) donde P_e es la potencia de entrada o la potencia nominal del motor.

$$P_d = P_e \times C_1 \quad (57)$$

$$P_d = 3 \text{ [Hp]} \times (1,2 - 0,2) = 3 \text{ [Hp]}$$

A continuación, se determina la relación de transmisión aplicando (58) y con esta misma expresión se calcula la velocidad angular de la polea del alternador.

$$i = \frac{D_{conducido}}{d_{conductor}} = \frac{n_{conducido}}{n_{conductor}} \quad (58)$$

$$i = \frac{70 \text{ [mm]}}{100 \text{ [mm]}} = 0,7$$

$$0,7 = \frac{n_{conducido}}{1800 \text{ [rpm]}}$$

$$n_{conducido} = 2570 \text{ [rpm]}$$

La relación obtenida es menor a uno lo que indica que se trata de un sistema de multiplicación de la velocidad, este dato concuerda con el hecho de que en la polea se tendrá 2570 rpm que, además, cumple con la condición antes mencionada de ser mayor o igual a 2500 rpm.

Con estos datos se selecciona el perfil de la banda ocupando el Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V, Figura L.2, con la velocidad angular mayor y la potencia de diseño calculada. El perfil adecuado es de tipo A.

Para conocer la longitud de la correa es necesario primero determinar los ángulos α y β aplicando (59) y (60) respectivamente.

$$\alpha = \arcsen \left(\frac{D_2 - d_1}{2C} \right) \quad (59)$$

$$\beta = 180^\circ - 2\alpha \quad (60)$$

Donde:

- d_1 es el diámetro menor, en mm.
- D_2 es el diámetro mayor, en mm.
- C es la distancia entre centros.

$$\alpha = \arcsen \left(\frac{100 - 1,5 \text{ mm} [\text{mm}] - 70 [\text{mm}]}{2 \times 420 [\text{mm}]} \right) = 2,05^\circ$$

$$\beta = 180^\circ - 2(2,05^\circ)$$

Ya que β es mayor a 140° , se ocupa (61) para calcular la longitud de la banda.

$$L = 2C + 1,57(D_2 + d_1) + \frac{(D_2 - d_1)^2}{4C} \quad (61)$$

$$L = 2(420 [\text{mm}]) + 1,57(100 + 70) [\text{mm}] + \frac{(100 - 70)^2 [\text{mm}^2]}{4(420 [\text{mm}])}$$

$$L = 1107,44 [\text{mm}]$$

Con este valor se hace uso del Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V, Figura L.3 para conocer la longitud primitiva de las bandas existentes, en estos casos, se selecciona siempre la banda de menor longitud pues con esto se asegura que va a poder ser tensada de modo que, teniendo como alternativas las bandas tipo A N° 42 y N° 46 (La longitud calculada se encuentra en medio de estas alternativas), se toma la banda N° 42. Este número indica la longitud de la banda estandarizada en pulgadas, sin embargo, cada marca puede llegar a tener longitudes de bandas diferentes y es preferible calcular el valor más cercano al que se necesita para esto, se toma la medida en mm que indica la tabla y transformarlo a pulgadas con (62).

$$L = \frac{1097 [\text{mm}]}{25,4} = 43,2 [\text{in}] \approx 43 [\text{in}] \quad (62)$$

Lo siguiente es calcular la velocidad lineal del eje rápido con (63) [19] donde n_1 debe estar en rpm. Esta velocidad no debe superar los 25 m/s.

$$V = \frac{\pi \times d_1 \times n_1}{60000} \quad (63)$$

$$V = \frac{\pi \times 70 \text{ [mm]} \times 2570 \text{ [rpm]}}{60000} = 9,42 \text{ [m/s]}$$

$$9,42 \text{ [m/s]} < 25 \text{ [m/s]} (\text{cumple})$$

Con la velocidad calculada se procede a determinar la potencia que puede transmitir cada banda para lo cual se ocupa el Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V, Figura L.4 y se obtiene que cada banda es capaz de transmitir 1,7 Hp.

$$P_t = 1,7 \text{ [Hp/banda]}$$

A continuación, con la Figura L.5 y la Figura L.6 se determinan los coeficientes C_2 y C_3 ocupados en (64) con lo cual se calcula el número de bandas necesarias para transmitir la potencia de diseño. En el caso de C_2 se considera un porcentaje de sobrecarga momentánea de 50% mientras que, para C_3 se ocupa 174° que es el valor más cercano al β calculado.

$$Z = \frac{P_d}{C_2 \times C_3 \times P_t} \quad (64)$$

$$Z = \frac{3 \text{ [Hp]}}{1,2 \times 0,99 \times 1,7 \text{ [Hp/Banda]}}$$

$$Z = 1,48 \approx 2 \text{ [Bandas]}$$

La banda que se necesita para esta aplicación es:

Banda 2A43

Un posible problema es que, el ancho de una correa tipo A es de $1/2 \text{ in} \approx 13 \text{ mm}$ [44], por lo tanto, 2 correas tipo A necesitan un espacio de al menos 26 mm para calzar de manera adecuada. Sin embargo, una polea de alternador no siempre dispone de este espacio como se observa en el modelo ocupado para la simulación del banco de pruebas mostrado en la

Figura 49.

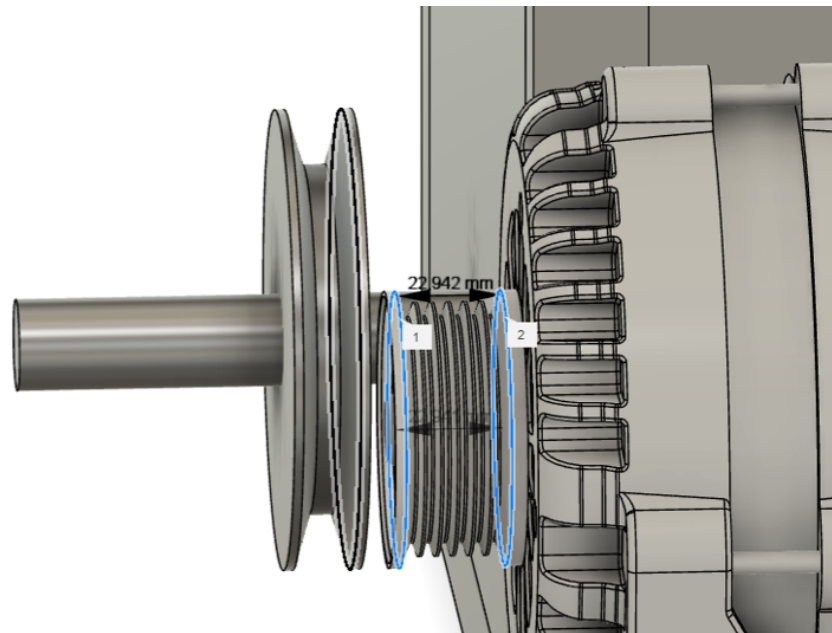


Figura 49. Ancho de la polea de alternador modelo

Tomando esto en consideración, se recurre nuevamente, al Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V, Figura L.4 y con la misma velocidad antes ocupada, se toma un banda de perfil C que me permite soportar más de los 3 Hp que debe aguantar el sistema de transmisión. Esta banda tiene un ancho de 7/8 in \approx 22 mm que calza de manera adecuada en la polea mostrada.

Banda 1C43

7.13. Selección de Rodamientos

En esta sección se busca determinar si los rodamientos SC12UU disponibles en el mercado local, con una capacidad de carga dinámica de 510 N y 780 N de carga estática [45] es adecuada para la aplicación propuesta.

En este caso, se considera que solo existe una carga radial que va a ser al menos la misma carga que lo ejes guía van a soportar es decir, 205,8 N. Con estos datos y con (65) [46] se determina la carga dinámica equivalente que debe soportar el rodamiento.

$$P = V \times X \times F_r + Y \times F_a \quad (65)$$

Donde:

- P es la carga dinámica equivalente.
- V constante (1,2 si gira la pista exterior, 1 si gira la pista interior).
- X es el factor de carga radial.
- F_r es la carga radial.
- Y es el factor de carga axial.
- F_a es la carga axial.

Debido a que solo se tiene carga radial, todo lo referente a la carga axial se simplifica y el factor de carga radial es 1, además, es la pista interna la que gira y por lo tanto, la carga equivalente es la carga radial.

$$P = 205,8 \text{ [N]}$$

En el banco de pruebas, los ejes son estáticos y la acción de los rodamientos es ocasional por ende, el criterio de decisión se basa en la carga estática que el rodamiento es capaz de soportar por lo tanto, los rodamientos SC12UU son adecuados para la aplicación ya que soportan una carga estática 3.8 veces superior a la que se van a ver sometidos.

A continuación se calcula la vida útil esperada de los rodamientos, aplicando (66) [46]

$$L_2 = 1000000 \times \left(\frac{C}{P} \right)^k \quad (66)$$

Donde:

- L_2 es vida útil esperada del rodamiento en revoluciones.
- C es la capacidad de carga dinámica del rodamiento.
- P es la carga dinámica equivalente calculada.
- k es una constante (3 si es cojinete de bolas, 10/3 si es cojinete de rodillos).

El rodamiento seleccionado es de bolas por ende, k es 3 y la vida útil esperada es:

$$L_2 = 1000000 \times \left(\frac{510 \text{ [N]}}{205,8 \text{ [N]}} \right)^3$$

$$L_2 = 15,21 \times 10^6 \text{ [rev]}$$

Ahora se determina la equivalencia en horas de funcionamiento con (67) [46] donde n son las revoluciones por minuto, sin embargo, en esta aplicación no hay un valor de velocidad angular pues, prácticamente todo el tiempo, el rodamiento funciona como soporte estático y solo se acciona durante el desplazamiento del carro de tensado. Con el fin de calcular un valor estimado, se asume que la pista interna del rodamiento gira a una velocidad máxima de 15 rpm.

$$L_h = \frac{L_2}{60 \times n} \quad (67)$$

$$L_h = \frac{15,21 \times 10^6}{60 \times 15}$$

$$L_h = 16909,54 \text{ [h]} \approx 23 \text{ [meses]}$$

Este valor obtenido es asumiendo que la máquina trabaje constantemente. Este no es el caso y, en realidad, los rodamientos van a soportar un tiempo superior a los 2 años calculados.

8. Programación

Para la parte de programación se debe tomar en consideración la parte de la interfaz humano máquina (HMI) así como también la parte correspondiente con la adquisición de datos y generación de informes. Para una mejor comprensión del proceso que se debe seguir en el desarrollo del programa, se presenta en la Figura 50 un diagrama de bloques de la sección de programación.

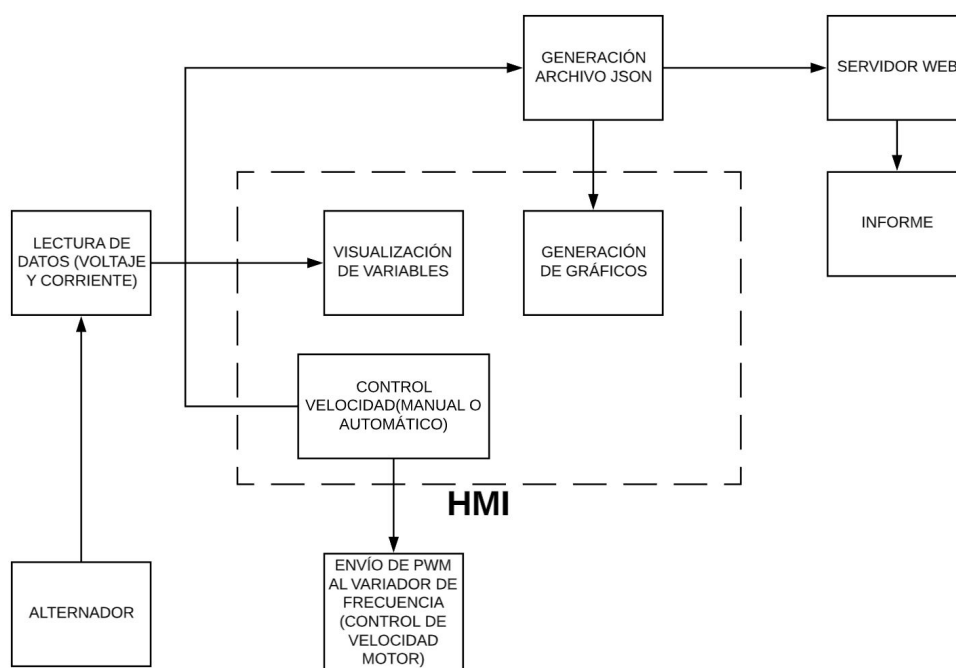


Figura 50. Diagrama de bloques de programación

8.1. Adquisición de datos

Como se muestra en el diagrama de bloques, el primer punto de la programación se relaciona con la toma de lecturas de voltaje y corriente del alternador para esto, ya que se va a trabajar con un Raspberry Pi se ocupa la librería WiringPi [47] para C++, que permite acceder de manera sencilla a los pines GPIO.

Para el desarrollo del código, es importante seleccionar un editor que permita el trabajo con interfaces gráficas para el desarrollo del HMI, por lo tanto, se ocupa Qt5 con el IDE (Integrated Development Environment) Qtcreator, un editor que permite el trabajo en C++ con interfaces gráficas.

En el proyecto se hace uso del sistema operativo Raspbian en su versión publicada el 13 de febrero de 2020. En esta versión, para instalar Qt5, Qtcreator y la librería WiringPi se deben colocar únicamente los siguientes comandos:

- `sudo apt-get install qt5-default`
- `sudo apt-get install qtcreator`
- `sudo apt-get install wiringpi`

Una vez instalado todo, se encuentran las aplicaciones de Qt bajo la pestaña de programación en el menú de Raspbian como se muestra en la Figura 51.

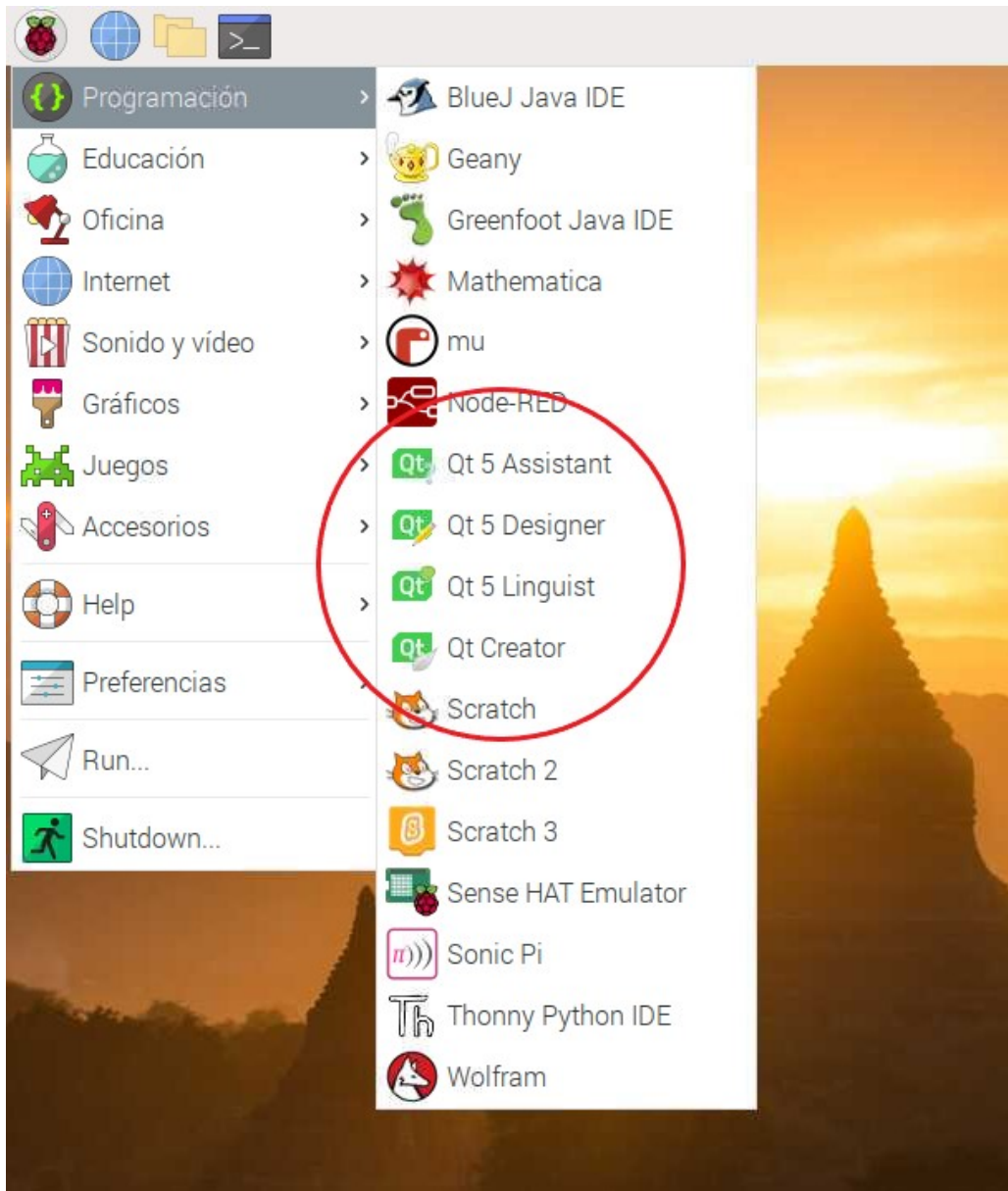


Figura 51. Aplicaciones Qt instaladas

Antes de iniciar con la programación, es importante encontrar la ubicación de la librería Wiring Pi previamente instalada, en este caso la librería se encuentra bajo la dirección: `/usr/lib -lwiringPi`, como se presenta en la Figura 52, pero hay la posibilidad de que se haya creado en otro directorio.

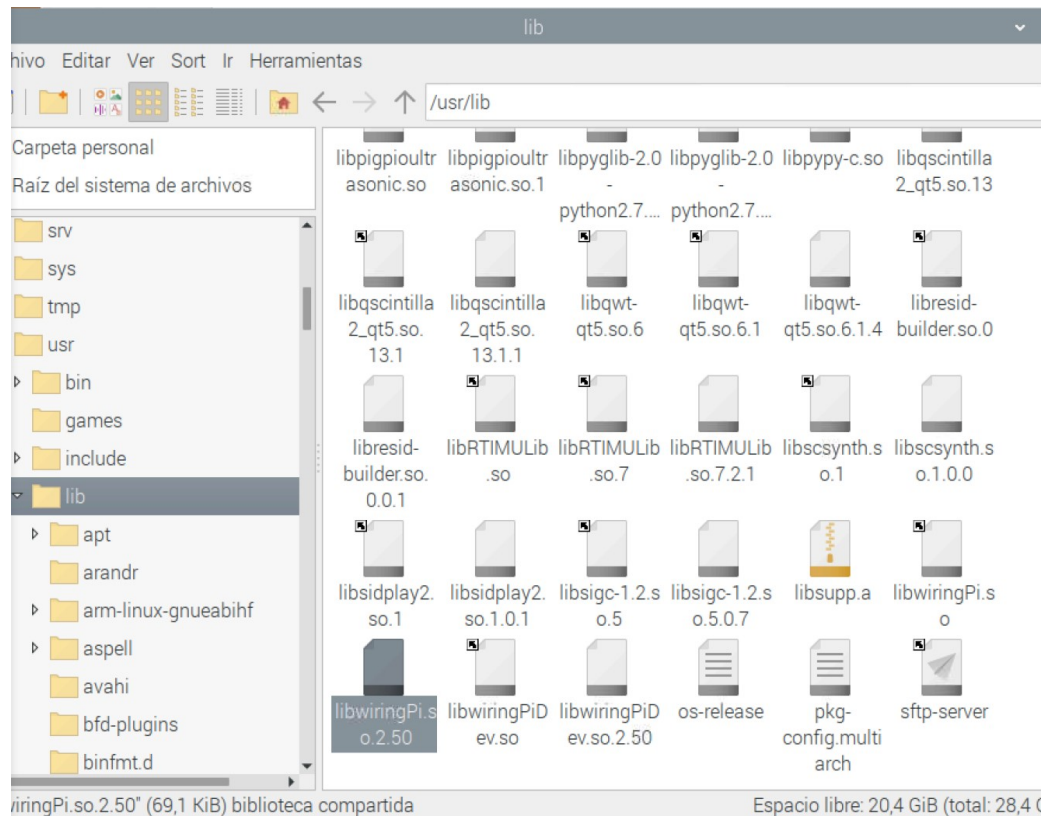


Figura 52. Ubicación librería WiringPi

Una vez instalado se inicia la programación a través de Qt Creator. Se inicia un nuevo proyecto de tipo Qt Widgets Application. El proyecto generado incluye un archivo Qt Designer para desarrollar la interfaz gráfica del proyecto.

En los archivos, nombre_Proyecto.pro y mainwindow.h, se deben añadir algunos elementos para configurar el uso de la librería Wiring Pi:

- En el primer archivo mencionado se debe colocar la ubicación de la librería de la siguiente manera (importante recordar que previamente se debe verificar en donde se instaló la librería): `LIBS += -L/usr/lib -lwiringPi`
- En el segundo archivo se añade: `#include "wiringPi.h"`

Con esta configuración ya se puede programar y manipular los pines GPIO de la Raspberry, ya que se va a ocupar el módulo PCF8591 para la lectura de los valores analógicos, se debe habilitar en la configuración de Raspberry la comunicación I2C. Este cambio se puede hacer por medio de la consola o accediendo a las configuraciones como se muestra en la Figura 53 y Figura 54. Además, en el mismo archivo mainwindow.h se añade la librería `<pcf8591.h>`.

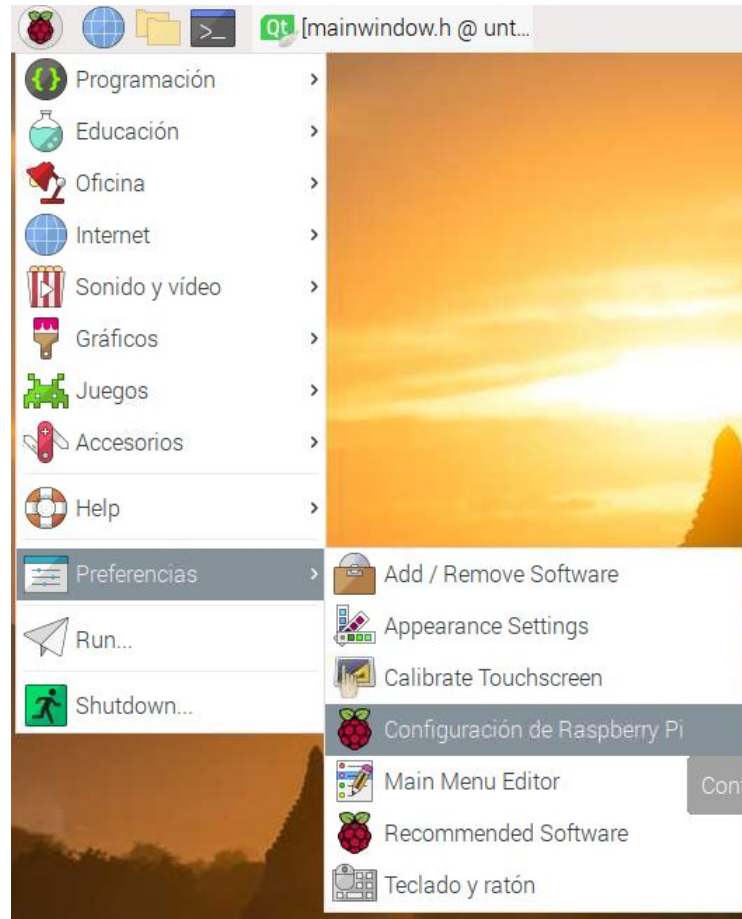


Figura 53. Configuración Raspberry Pi

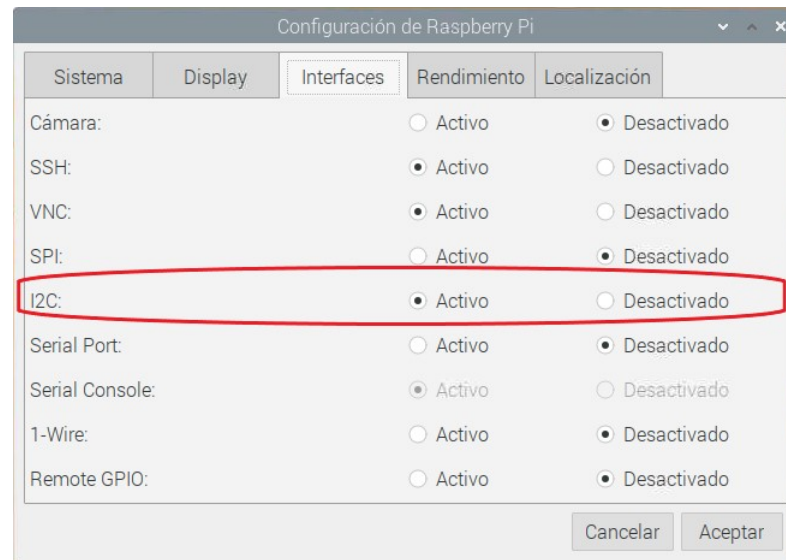


Figura 54. Activar I2C Raspberry Pi

Con esta configuración se desarrolla el código para la adquisición de datos de Voltaje y Corriente que se presenta en el Anexo M: Código Fuente.

8.2. Diseño Sección de control HMI

El HMI brinda un control sencillo y rápido para la realización de las pruebas del alternador. Se coloca lo indispensable en una sola pantalla con controles de velocidad (rpm) modificables de forma manual o automática, indicadores de voltaje, corriente y velocidad. En una segunda pantalla se presenta la gráfica de rpm-voltaje y rpm-corriente.

Para mostrar las variables, se ocupa el widget LCD Number y, en el caso de voltaje y corriente, se coloca a la par el Widget Progress Bar que permite otro tipo de realimentación al operario. Para el control manual de la velocidad, el Widget Horizontal Slider brinda una alternativa intuitiva para el operario y fácil de manipular. Para visualizar el valor del slider, se lo puede hacer mediante programación, sin embargo, Qt Creator brinda una alternativa más sencilla para transferir esta información al display correspondiente, estableciendo una conexión gráfica entre ambos widgets como se muestra en la Figura 55 (Es importante mencionar que esta conexión no va a ser visible en forma de código en el archivo donde se realizan otros procesos).

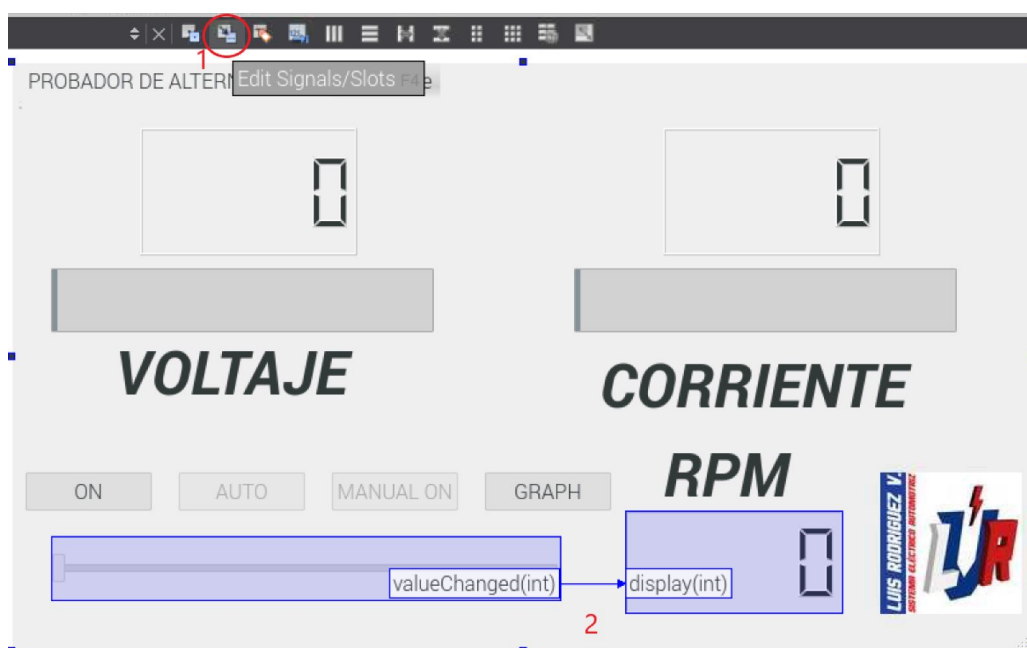


Figura 55. Conexión Slider con Display Qt Creator

Finalmente, para el control de velocidad, se genera una señal PWM para enviar al variador de frecuencia para esto, se debe importar la librería que incluye WiringPi para generar la señal PWM, para lo cual se coloca: **#include <softPwm.h>** y, en el archivo nombre_Proyecto.pro se añade también **LIBS +=-L/usr/lib -lpthread**, ocupando la misma direc-

ción en donde se encuentra WiringPi.

El código ocupado para las diferentes funciones de la sección de control del HMI se encuentra en el Anexo M: Código Fuente.

8.3. Generación de informes mediante Json

Antes de continuar con la parte de la presentación de las Gráficas en el HMI, es importante mencionar como se debe generar el Archivo Json con los datos de voltaje, corriente y velocidad pues este archivo es ocupado más adelante para generar las curvas de corriente y voltaje que se muestran en el HMI.

Qt5 incluye ya una librería destinada a la lectura y generación de archivos en formato Json, el primer paso es importar dichas librerías al proyecto:

- include <QJsonObject>
- include <QJsonDocument>
- include <QJsonArray>
- include <QJsonValue>
- include <QFile> (Esta librería no se relaciona con el Formato Json pero permite la generación de cualquier archivo una vez la información tiene el formato deseado).

Para comprender con más detalle como se ocupan estas librerías es importante revisar el código fuente mostrado en el Anexo M: Código Fuente. En este proyecto, el documento Json se conforma de un objeto que a su vez está compuesto de 4 JsonArrays (Voltajes, corrientes, rpm y tiempo), cada uno con su respectivo identificador o nombre como se muestra en la Figura 56.

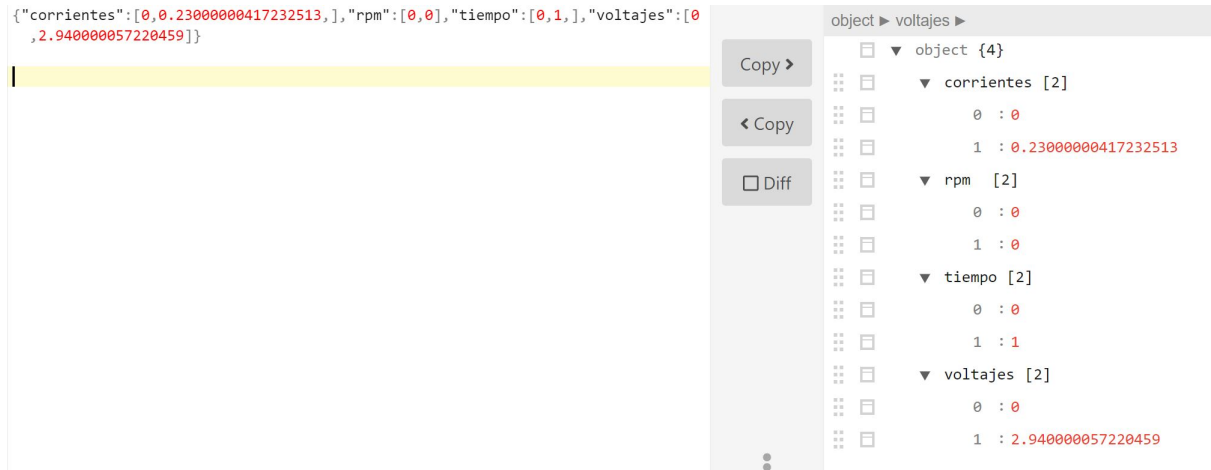


Figura 56. Valores leídos en formato Json

8.4. Presentación de Gráficas en HMI

Para generar una gráfica en Qt Creator, se ocupa una librería para C++ llamada QCustomPlot [48] en su versión 1.3.2. Se debe descargar el archivo Zip, descomprimirlo en la carpeta del proyecto e importar los archivos qcustomplot.h y qcustomplot.cpp al proyecto.

En la página web de la librería existen diferentes ejemplos que permiten comprender de manera clara cómo aplicar las diversas funciones de la librería. Para iniciar la programación, se coloca un Container de tipo Widget en la interfaz gráfica, con clic un derecho se despliegan las diferentes opciones y se elige Promote to. En la ventana emergente, respetando las letras mayúsculas, se debe colocar QCustomPlot en el campo de Promoted Class Name, a continuación se selecciona Add y finalmente se elige Promote. Este proceso se muestra en la Figura 57 y Figura 58.

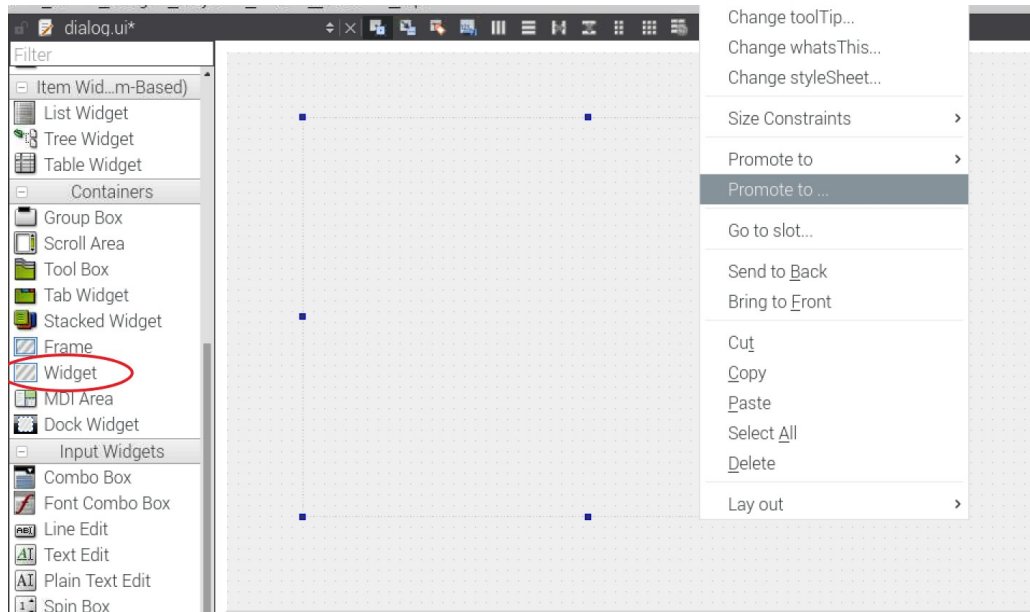


Figura 57. Configuración Widget para Custom Plot

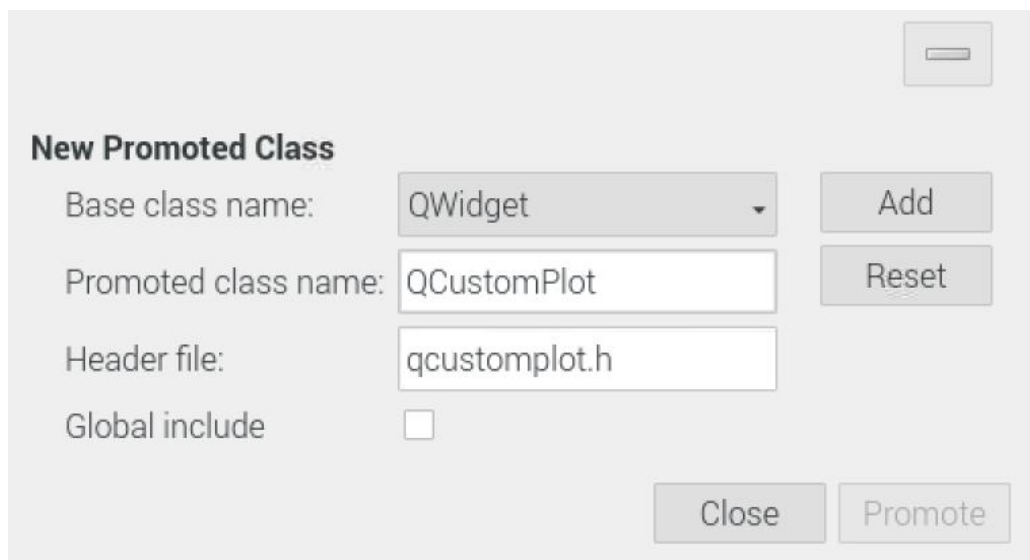


Figura 58. Promote to Widget Custom Plot

Se importa la librería colocando **#include <qcustomplot.h>** en el archivo en el cual se va a trabajar y ya está todo configurado para realizar las gráficas.

El código fuente para los gráficos se encuentran en el Anexo M: Código Fuente y, en la Figura 59 se presenta el HMI completo.

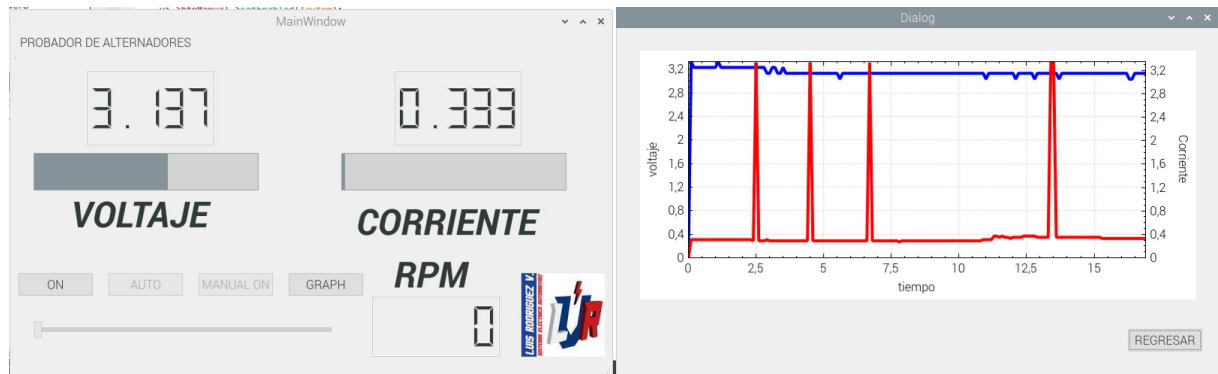


Figura 59. HMI completo

8.5. Servidor Web para la generación del informe

Una vez completa la programación del HMI se elabora el informe con los resultados obtenidos en la prueba que se entrega al cliente. Este informe se elabora en Excel, para esto se deben obtener los datos a partir del archivo Json previamente generado a través de un servidor Web establecido con Raspberry Pi.

Para el servidor se deben instalar algunos paquetes; se deben ejecutar los siguientes comandos en la terminal de Raspbian:

- `sudo apt-get install apache2 -y`
- `sudo apt-get install php libapache2-mod-php -y`

Una vez instaladas las librerías se crea un archivo .php en donde se coloca toda la información que se desea transmitir. Dentro de la carpeta `/var/www/html/` se encuentra un archivo llamado `index.html` y se deben correr los siguientes comandos:

- `sudo mv index.html index_`
- `sudo nano index.php`

En el archivo .php creado, se indica en donde se encuentra el documento Json que se desea transmitir, de la siguiente manera:

```
<?php
$data = json_decode(file_get_contents(/home/pi/Proyecto_Tesis/lecturas.json"));
echo json_encode($data)
?>
```

Con esto se genera el servidor Web. La dirección URL para encontrar la información es la misma dirección IP del Raspberry Pi, esta se puede encontrar ejecutando el comando `hostname -I` y se obtiene una respuesta como la mostrada en la Figura 60.

```
Procesando disparadores para libc-bin (2.28-10+rpi1) ...
pi@raspberrypi:~/Proyecto_Tesis/SERVIDOR_WEB $ hostname -I
192.168.1.54 2800:370:cb:f760:4f2f:d72c:3d5e:a995
```

Figura 60. Obtener dirección del servidor Web

8.6. Generación del Informe

El informe se genera en un archivo Excel ubicado en la computadora principal del local “Autorespuestos Luis Rodríguez”, la misma que se encuentra conectada a la impresora. El programa para obtener la información del servidor Web se desarrolla en Windows ocupando Java como lenguaje de programación y un JDK versión 1.8. Es importante recalcar que tanto el Raspberry como la computadora del local, deben estar conectados a la misma red.

Al proyecto se deben importar 2 librerías, la primera para el manejo de archivos tipo Json y la segunda librería permite la manipulación de archivos de Excel. Las librerías son:

- Gson [49], en este caso se ocupa la versión 2.6.9
- jxl [50], la versión ocupada es la 2.6.9

El código más a detalle se puede encontrar en el Anexo M: Código Fuente. Es importante mencionar un punto referente a la edición del archivo de Excel para lo cual, es necesario que, cada vez que se va a cargar un nuevo set de datos, se debe crear una copia del archivo anterior y actualizar un archivo nuevo con la información actualizada y con el formato del informe previamente desarrollado; en caso contrario, al actualizar el archivo, todos los datos del libro de Excel son eliminados y por ende el formato del informe se tendría que rehacer continuamente.

9. Conclusiones y Recomendaciones

- El banco de pruebas para alternadores diseñado, consta de una estructura de cuyas dimensiones son 381 x 854.4 x 843.3 mm, hace uso de un motor AC de 3HP a 1800

rpm y se puede transmitir una velocidad de hasta 2500 rpm a la polea del alternador a probar haciendo uso de un sistema de transmisión con bandas. Para el control del motor se ocupa un variador de frecuencia de 5HP de marca Powtran y se varía la frecuencia de salida a través de una señal PWM enviada por el controlador (RaspberryPi) mismo que se ocupa para adquirir los valores de corriente y voltaje medidos por módulos que transmiten una señal digital.

- Todos los elementos de la estructura del banco de pruebas para alternadores son diseñados bajo el criterio de rigidez por lo tanto, son capaces de soportar las cargas de diseño sin presentar deformaciones considerables, esto asegura un adecuado funcionamiento del prototipo, además, los cálculos realizados son contrastados con simulación por elementos finitos (FEA) con lo que se corrobora que tanto los espesores de las placas de acero como los diámetros de los ejes ocupados, son correctos y permitirán un correcto testeo de alternadores brindando además una experiencia segura al usuario.
- El usuario de la máquina es capaz de controlar el banco de pruebas haciendo uso de una pantalla táctil en donde dispone de una funcionalidad de testeo automático así como una de testeo manual en la cual es capaz de controlar la velocidad de giro del alternador y probar de esta manera su respuesta en diferentes escenarios; además, un informe se genera en donde se incluye toda la información necesaria para certificar al cliente el adecuado funcionamiento de la pieza.
- En toda máquina es importante la implementación de protecciones tanto para la parte de potencia como para la parte de control en donde se debe tomar en cuenta el consumo esperado de la máquina considerando posibles picos de corriente como puede darse en el arranque del motor. Las protecciones seleccionadas en el siguiente proyecto son fusibles tanto para la sección de control como para la de potencia. En la parte de control se tiene un factor de seguridad de 2 mientras que en la parte de potencia es de 1.5.
- A pesar de que el control se hace por completo a través de una pantalla táctil, es indispensable el uso de elementos físicos extra que permitan tener un control directo

sobre el sistema; en el caso de una emergencia, por ejemplo, se requiere el botón de paro para cortar la alimentación de la sección de potencia.

- La dirección IP del Raspberry Pi puede ser ocupada como el URL para el servidor web debido a que éste es el único servidor que se implementa con este hardware, en el caso de que sea necesario transmitir más información por separado, se debe generar un URL diferencial para cada host que se tenga.
- Al diseñar una estructura, es recomendable hacer uso de tubos de acero con los cuales el prototipo es capaz de soportar las cargas deseadas y reducir los costos de fabricación pues las planchas de acero ocupadas tienen un espesor mucho menor y cumplen principalmente una función de protección de componentes internos y estética.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. U. O. T. W. INDIES, *THREE PHASE SYNCHRONOUS MACHINES*. DEPARTMENT OF ELECTRICAL COMPUTER ENGINEERING, 2019.
- [2] La ley de faraday. [En línea]. Disponible: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/teoria/A_Franco/electromagnet/fem/fem.htm [Fecha de consulta: Junio 2019]
- [3] Ley de faraday. [En línea]. Disponible: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-4Induccion/leydelenz.htm> [Fecha de consulta: Junio 2019]
- [4] C. D. Edison Iván, “Diseño y construcción de un banco de pruebas para generadores d.c. de aeronaves del ala de combate n22,” Proy. pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10432/1/UPS-GT001520.pdf>
- [5] M. C. Freta, *Circuitos electrotécnicos básicos: sistema de carga y arranque del vehículo*, edición ed. Macmillan Iberia, S.A. - Madrid, 2009.
- [6] M. Tracy, *How to Diagnose and Repair Automotive Electrical Systems*, edición ed. St. Paul: MotorBooks International, 2005.
- [7] F. Coyago. Alternadores bosch. [En línea]. Disponible: <https://es.slideshare.net/freddico04/alternadores-bosch> [Fecha de consulta: Diciembre 2012]
- [8] J. G. T. Sánchez, *Circuitos electrotécnicos básicos: sistema de carga y arranque del vehículo*, 1st ed. Ediciones Paraninfo S.A. - Madrid, 2009.
- [9] C. International. Multi-mount current coil. [En línea]. Disponible: http://www.camscointernational.com/productos/transformadores_para_edicion_r5a.html (2019)

- [10] N. Mechatronics. Tutorial sensor de corriente acs712. [En línea]. Disponible: https://naylorlampmechatronics.com/blog/48_tutorial_sensor_de_corriente_acs712.html (2019)
- [11] Robotics electrónica y robótica. [En línea]. Disponible: <https://www.ecuarobotics.com/productos-cnc.html> (2018)
- [12] B. P. Solutions y Protection. Type 3sb / 3sbp slow blow fuse series. [En línea]. Disponible: <https://www.mouser.ec/datasheet/2/643/ds-CP-3sb-3sbp-series-1313144.pdf> (2020)
- [13] Littelfuse. Mini® smart glow blade fuse. [En línea]. Disponible: https://www.mouser.ec/datasheet/2/240/Littelfuse_smartGlow_MINI_Blade_datasheet_1291256.pdf (2016)
- [14] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 8th ed. McGraw Hill Interamericana - México, 2008.
- [15] Dismetal metales para la industria y la construcción. [En línea]. Disponible: <https://dismetal.ec/productos/planchas/laminadas-en-caliente/1800-x-6000> (2015)
- [16] Dipac productos de acero. [En línea]. Disponible: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubos-estructurales/tubo-estructural-cuadrado-galvanizado> (2016)
- [17] R. L. Mott, *Resistencia de Materiales*, 5th ed. Pearson Educación - México, 2009.
- [18] *ISO 286-1: Basis of tolerances, deviations and fits*, 2nd ed., ISO. [En línea]. Disponible: <http://www.sharifcadcam.ir/uploaded/3f323a49-f815-4077-b569-73b866c52ada.pdf>
- [19] D. I. M. T. Piovan, *Proyecto de Elementos de Transmisión Flexibles*. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Bahía Blanca, 2014.
- [20] J. A. Elena, *Mantenimiento del sistema de carga con alternador (MF0626_2)*, edición ed. IC Editorial, 2012.
- [21] R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquina*, 4th ed. Pearson Educación - México, 2006.
- [22] R. Org. Gpio. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/> (2020)

- [23] External iso metric trapezoidal screw threads table chart sizes tr8-tr315. [En línea]. Disponible: <https://www.engineersedge.com/hardware/iso-metric-trapezoidal-threads1.htm> (2019)
- [24] S. Cardona Foix y D. Costa Clos, *Teoría de Máquinas*, 2nd ed. Edicions UPC - España, 2008.
- [25] B. J. Castro y R. Ramírez Ardón, “Diseño y construcción de probador de alternadores y motores de arranque para vehículos,” Proy. pregrado, Escuela especializada en Ingeniería ITCA FEPADE, Santa Tecla, El Salvador, 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/963/1/Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20probador%20de%20alternadores%20y%20motores%20de%20arranque%20para%20veh%C3%ADculos.pdf>
- [26] R. A. Posligua Yépez, “Diseño y construcción de un banco de pruebas para alternadores,” Proy. pregrado, Univeridad San Francisco de Quito-USFQ, Quito, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6496/1/131142.pdf>
- [27] G. O. Erasmo Israel, “Diseño y construcción de un banco de entrenamiento para alternadores y motores de arranque,” Proy. pregrado, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1405/1/T-UIDE-1096.pdf>
- [28] Electro lipe. [En línea]. Disponible: <https://electrolipe.jimdofree.com/> [Fecha de consulta: Enero 2010]
- [29] Banco de alternadores bape 2010 marca rm. [En línea]. Disponible: <http://www.saetanet.com/item/banco-de-alternadores-bape-2010-marca-rm/> [Fecha de consulta: Julio 2017]
- [30] Banco de pruebas serie ar1 petit. [En línea]. Disponible: <https://rosell.com.ar/bancos-prueba/> [Fecha de consulta: Julio 2019]
- [31] Onyx tester-alternador starter equipo de banco de prueba. [En línea]. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/onyx-tester-alternator-starter-test-bench-equipment-136766948.html> [Fecha de consulta: Julio 2019]

- [32] M. Libre. Variador de frecuencia de 4kw 220v 5hp vfd vsd variable. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-424411875-variador-de-frecuencia-de-4kw-220v-5hp-vfd-vs-d-variable-_JM?quantity=1position=1type=itemtracking_id=af9ef448-0c3c-4790-bb28-59c40206a1c1(2019)
- [33] —. Variador de frecuencia weg cfw500 4hp 3f 440v + modulo ios. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423931901-variador-de-frecuencia-weg-cfw500-4hp-3f-440v-modulo-ios-_JMposition=3type=itemtracking_id=af9ef448-0c3c-4790-bb28-59c40206a1c1(2019)
- [34] —. Variador de frecuencia 1hp 2hp 3hp 5hp 220v trabajo pesado. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-424303975-variador-de-frecuencia-1hp-2hp-3hp-5hp-220v-trabajo-pesado-_JM?quantity=1position=10type=itemtracking_id=af9ef448-0c3c-4790-bb28-59c40206a1c1(2019)
- [35] H. HUANYANG. Vfd 220v 3.0kw 4hp variable frequency drive cnc motor inverter converter for spindle speed control huanyang hy-series(3.0kw, 220v). [En línea]. Disponible: https://www.amazon.com/HY-HUANYANG-Variable-Frequency-Converter/dp/B0775GRPFJ/ref=sr_13?crid=2HG PQ0ZF2IMVkeywords=hy%2Bhuanyangqid=1581430678srefix=hy%2Bhu%2Caps%2C256sr=8-3th=1(2019)
- [36] M. Libre. Pantalla touch 5 pulgadas waveshare raspber hdmi 800x480 rye. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423744541-pantalla-touch-5-pulgadas-waveshare-raspber-hdmi-800x480-rye-_JM?quantity=1position=10type=itemtracking_id=169c0c9a-51e7-44e1-8a35-efa4462c204a(2019)
- [37] —. Pantalla hmi tft serial arduino raspberry nextion 5 inch. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-424034493-pantalla-hmi-tft-serial-arduino-raspberry-nextion-5-inch-_JM?quantity=1position=1type=itemtracking_id=169c0c9a-51e7-44e1-8a35-efa4462c204a(2019)

- [38] BricoGeek. Sensor medidor de voltaje hasta 25v - fz0430. [En línea]. Disponible: <https://tienda.bricogeek.com/sensores/1148-sensor-medidor-de-voltaje-hasta-25v-fz0430.html> (2019)
- [39] A. Martínez Antón, V. Blanca Gimenez, N. Castilla Cabanes, y R. Pastor Villa. Cálculo de fusibles de una instalación eléctrica en baja tensión. [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10765/FUSIBLES.pdf> (2020)
- [40] R. Org. Power supply. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/power/README.md> (2020)
- [41] C. M. Nacional, *PERFIL ESTRUCTURAL TUBULAR Negro y Galvanizado ASTM A500 (NTC 4526)*. COLMENA.
- [42] Tornillo sin fin 8mm 4 entradas 400mm largo+tuerca+camisa. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423844628-tornillo-sin-fin-8mm-4-entradas-400mm-largotuercacamisa-_JM?quantity=1position=1type=itemtracking_id=c5624510-7df2-4857-899a-87c65491bb17 (2019)
- [43] Ecuasierras. Poleas reductores de velocidad. [En línea]. Disponible: https://fd9d0c46-dba9-4cb7-b3e5-d0063727862f.filesusr.com/ugd/37b045_0b0b931643eb4a73b2b9593fdddbfba7.pdf (2016)
- [44] G. Industrial. Correas en banda tipo a. [En línea]. Disponible: <https://www.gprindustrial.com/es/179-correas-en-banda-tipo-a> (2016)
- [45] Misumi. Linear bush sc series (slide unit) (sc12uu). [En línea]. Disponible: <https://sg.misumi-ec.com/vona2/detail/221005476085/?HissuCode=SC12UU> (2020)
- [46] *Rodamientos FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB*, FAG Rodamientos.
- [47] G. Henderson. Gpio interface library for the raspberry pi. [En línea]. Disponible: <http://wiringpi.com/> (2020)
- [48] E. Eichhammer. Qcustomplot. [En línea]. Disponible: <https://www.qcustomplot.com/> (2020)

[49] Google. Gson. [En línea]. Disponible: <https://github.com/google/gson> (2020)

[50] jxl. [En línea]. Disponible: <http://www.java2s.com/Code/Jar/j/Downloadjxl26jar.htm> (2020)

Anexo A: Etapas de funcionamiento del alternador en el automóvil

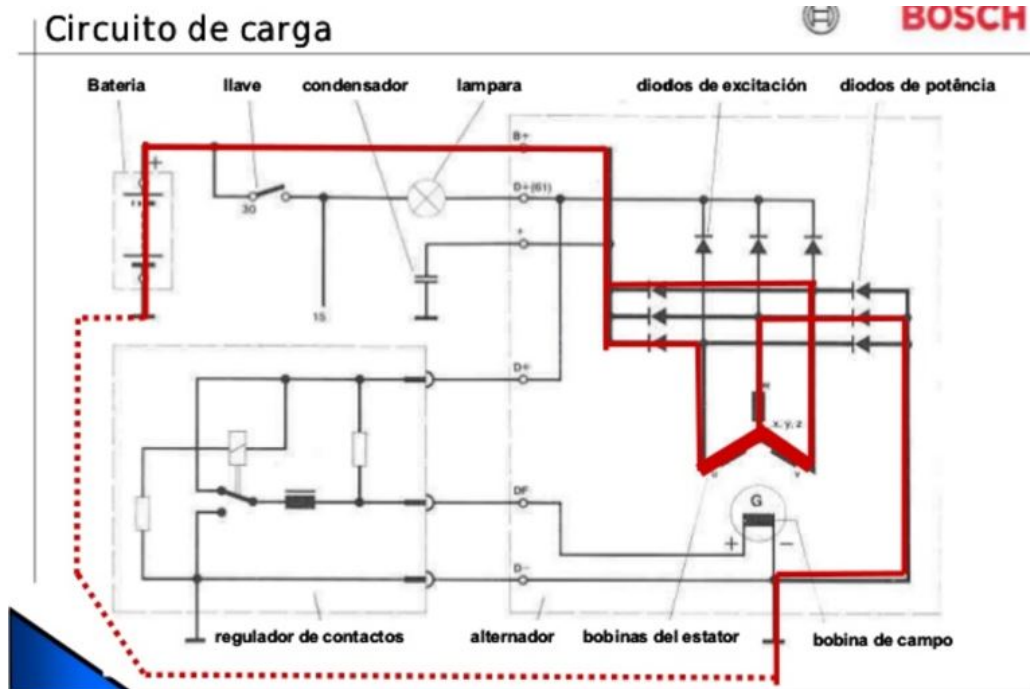


Figura A.1. Circuito de carga [7]

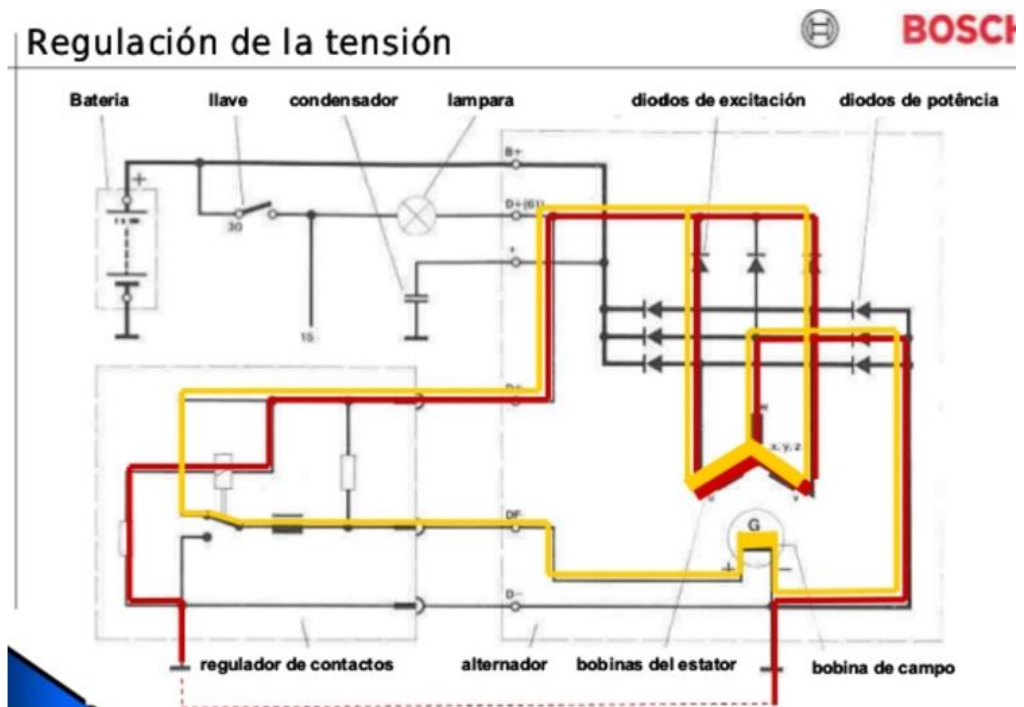


Figura A.2. Regulación de tensión [7]

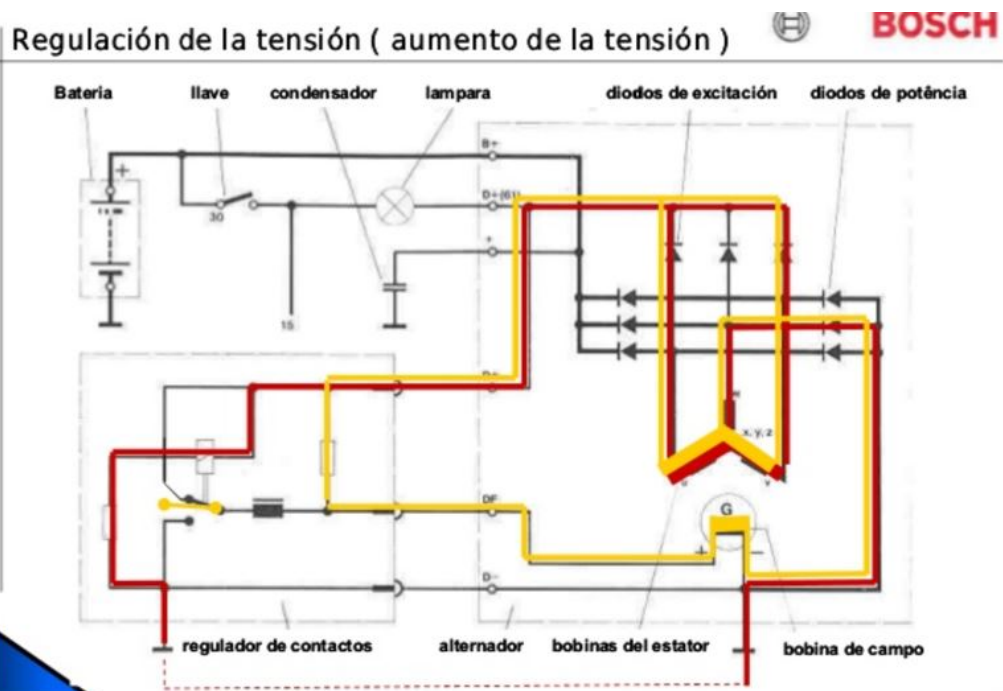


Figura A.3. Regulación de tensión (aumento de tensión) [7]

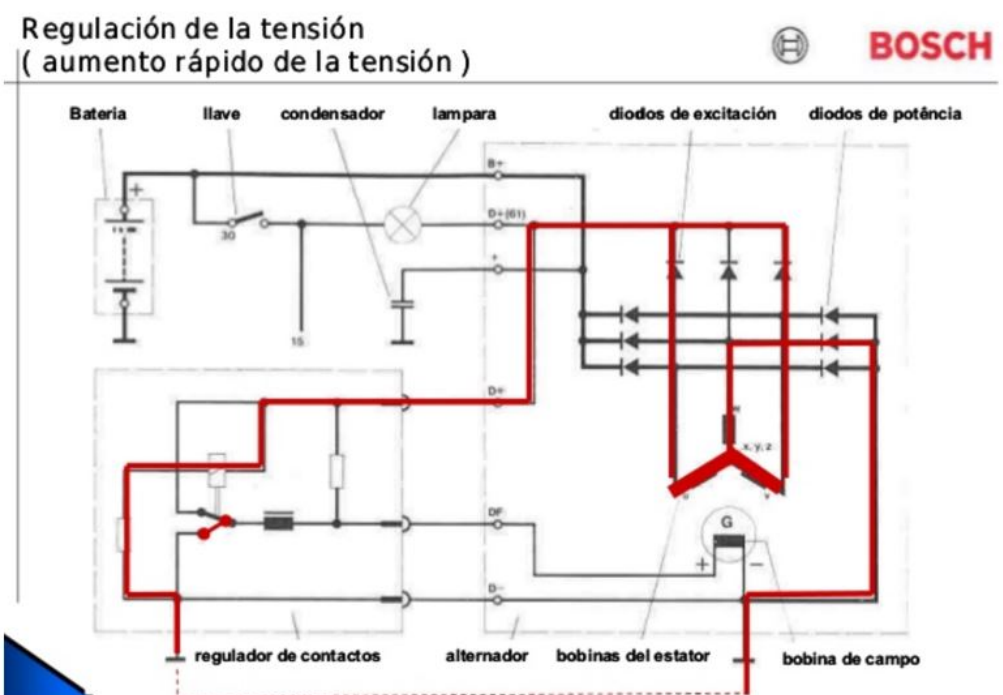
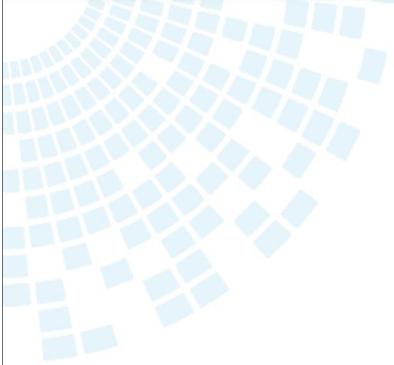




Figura A.4. Regulación de tensión (aumento rápido de tensión) [7]


Anexo B: Elementos de protección electrónica

62mA-400mA EOL – Last Buy Date is Jun 30, 2020
No replacements for these ratings

Type 3SB / 3SBP

Slow Blow Fuse Series

HF  3SB/3SBP Series, 6x32mm Glass Tube Slow Blow Fuse RoHS 2 Compliant



Description
6x32mm Slow Blow, glass tube body cartridge fuse designed, approved and complied with UL and CSA standard 248-14.

Features

- Meet UL and CSA standard 248-14
- Wide operating temperature range
- Bulk packing available
- RoHS 2 compliant
- Halogen Free
- Lead Free

Applications
Provide individual protection for components or internal circuits.

- Power supplies
- Battery charger
- Monitor
- Adapter

LEAD FREE = 
HALOGEN FREE = 




Physical Specifications

Materials	Body : Glass
	Cap : Nickel Plated Brass Caps
	Leads : Matte Tin Plated Copper
Marking	On Fuse :
	"bel", "3SB", "Current Rating", "Voltage Rating",
	"Appropriate Safety Logos", "✓" (RoHS 2 compliant)
	On Label :
"bel", "3SB"or"3SBP", "Current Rating", "Voltage Rating", "Interrupting Rating",	
"Appropriate Safety Logos" and "✓", "Ⓢ", "Ⓜ" (China RoHS compliant).	

Electrical Characteristics (UL/CSA STD.248-14)

Testing Current	Blow Time	
	Minimum	Maximum
100%	4 hrs.	N/A
135%	N/A	1 Hr
200%	5 sec	30 sec

Safety Agency Approvals

Safety Agency	Safety Agency Certificate	Voltage Rating (V)	Ampere Range / Volt @ I.R. ability*
	E20624	63mA-8A/ 250V AC	63mA-8A/125V AC@10,000A
			63mA-8A/250V AC@200A
	LR39772	8.1A-15A/ 125V AC	8.1A-15A/125V AC@10,000A
			63mA-1A/250V AC@35A
	JET1037-31003-1010	8.1A-15A/ 125V AC	>1A-3.5A/250V AC@100A
	JET1037-31003-1011		>3.5A-8A/250V AC@200A
	JET1037-31003-1007		>5A-15A/125V AC@300A

*I.R.= Interrupting Rating = Short Circuit Rating(Amps)

Figura B.1. Fusible sección de potencia [12]

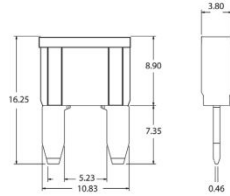


MINI® Smart Glow Blade Fuse

Smart Glow fuses are innovative automotive style fuses that feature an indicator light that glows when the fuse is blown, saving time to troubleshoot an open circuit.

Interrupting Rating: 1000A @32VDC
 Voltage Rating: 32 VDC
 Operating Temperature Range: -40°C to +125°C
 Terminals: Tin plated Zinc alloy

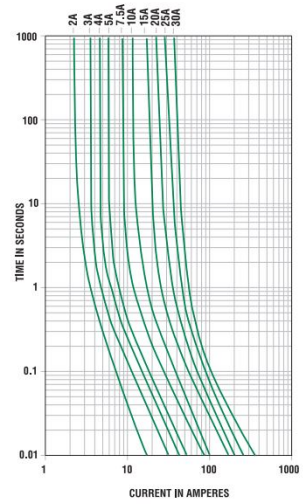
DIMENSIONS



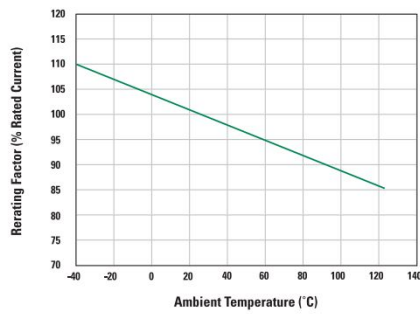
TIME-CURRENT CHARACTERISTICS

% of Rating	Opening Time Min / Max (s)
110	360,000 s / -
135	0.75 s / 600 s
200	0.15 s / 5 s
350	0.080 s / 0.250 s
600	0.030 s / 0.100 s

TIME-CURRENT CHARACTERISTIC CURVES



TEMPERATURE DERATING CURVE



MINI® FUSE TABLE

COLOR CODE	CURRENT RATING (A)	CARDED	
		MATERIAL #	CATALOG #
Gray	2A	---	---
Violet	3A	OMIN003.VPGLO	11-0003
Pink	4A	---	---
Tan	5A	OMIN005.VPGLO	11-1000
Brown	7.5A	OMIN007.5VPGLO	11-0007
Red	10A	OMIN010.VPGLO	11-1001
Blue	15A	OMIN015.VPGLO	11-1002
Yellow	20A	OMIN020.VPGLO	11-1003
Clear	25A	OMIN025.VPGLO	11-1004
Green	30A	OMIN030.VPGLO	11-1005



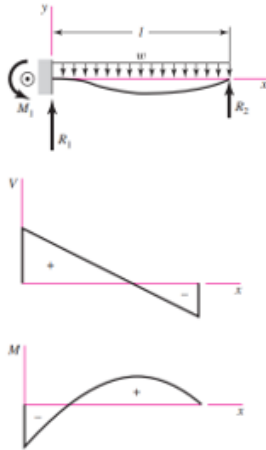
Figura B.2. Fusible sección de control [13]

Anexo C: Ecuaciones de cálculo para diseño por rigidez

Tabla A-9

Cortante, momento y deflexión de vigas (continuación)
 (Nota: La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante V y el momento cortante M siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)

13 Un apoyo fijo y el otro simple: carga uniforme



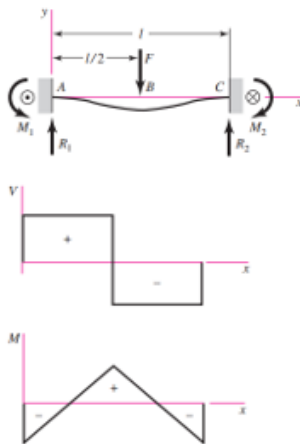
$$R_1 = \frac{5wl}{8} \quad R_2 = \frac{3wl}{8} \quad M_1 = \frac{wl^2}{8}$$

$$V = \frac{5wl}{8} - wx$$

$$M = -\frac{w}{8}(4x^2 - 5lx + l^2)$$

$$y = \frac{wx^2}{48EI}(l-x)(2x-3l)$$

14 Apoyos fijos: carga central



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad M_1 = M_2 = \frac{Fl}{8}$$

$$V_{AB} = -V_{BC} = \frac{F}{2}$$

$$M_{AB} = \frac{F}{8}(4x-l) \quad M_{BC} = \frac{F}{8}(3l-4x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{48EI}(4x-3l)$$

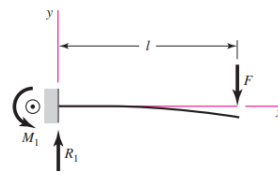
$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$

[continúa]

Figura C.1. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas [14]

Tabla A-9

Cortante, momento y deflexión de vigas (Nota: La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante V y el momento cortante M siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)

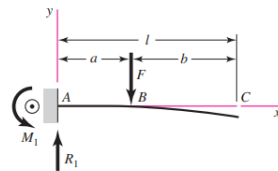
1 En voladizo: carga en extremo

$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fl$$

$$M = F(x - l)$$

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{3EI}$$

**2 En voladizo: carga intermedia**

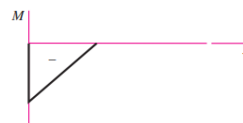
$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fa$$

$$M_{AB} = F(x - a) \quad M_{BC} = 0$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3a)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa^2}{6EI}(a - 3x)$$

$$y_{\text{máx}} = \frac{Fa^2}{6EI}(a - 3l)$$



(continúa)

Figura C.2. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas [14]

Anexo D: Planchas de Acero A36 ofertadas en Dismetral

CALIDAD:	ASTM A36
OTRAS CALIDADES:	PREVIA CONSULTA
FORMATO:	1220 x 2244
ACABADOS:	NATURAL

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
2	1220	2440	46.74
3	1220	2440	70.11
4	1220	2440	93.48
5	1220	2440	116.85
6	1220	2440	140.22
8	1220	2440	186.96
9	1220	2440	210.33

Figura D.1. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetral [15]

CALIDAD:	ASTM A36
OTRAS CALIDADES:	PREVIA CONSULTA
FORMATO:	1500 x 6000
ACABADOS:	NATURAL

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
3	1500	6000	211.95
4	1500	6000	282.60
5	1500	6000	353.25
6	1500	6000	423.90
8	1500	6000	565.20
9	1500	6000	635.85

Figura D.2. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetral [15]

CALIDAD:	ASTM A36
OTRAS CALIDADES:	PREVIA CONSULTA
FORMATO:	1800 x 6000
ACABADOS:	NATURAL

ESPESOR	DIMENSIONES		PESO
mm	ancho	largo	kg.
	mm	mm	
3.00	1800	6000	254.34
4.00	1800	6000	339.12
5.00	1800	6000	423.90
6.00	1800	6000	508.68
8.00	1800	6000	678.24
9.00	1800	6000	763.02

Figura D.3. Características de planchas de Acero A36 disponibles en Dismetral [15]

Anexo E: Tubo Estructural cuadrado Dipac



TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2.0mm a 3.0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

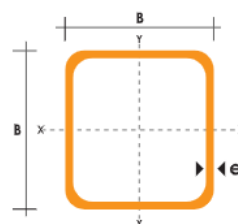


Figura E.1. Tubo estructural cuadrado Dipac [16]

Anexo F: Factor k para columna a compresión

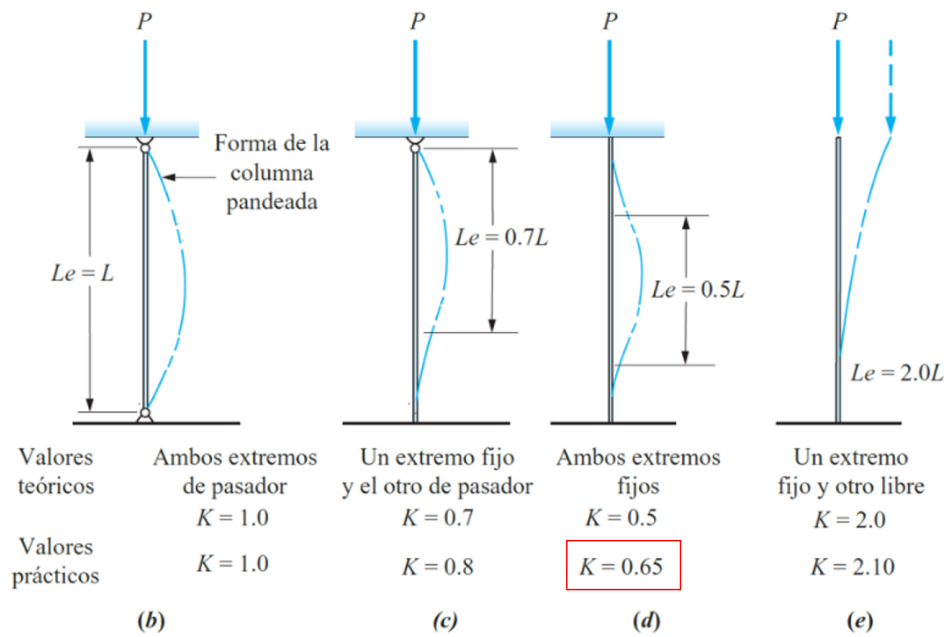


Figura F.1. Valores de k según el tipo de sujeción de los extremos de la columna [17]

Anexo G: Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros

Tabla A-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Figura G.1. Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros [14]

Anexo H: Datos para soldadura de filete

Tabla 9-2

Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete*


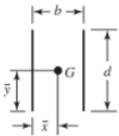
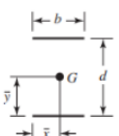
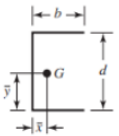
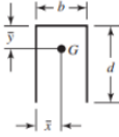
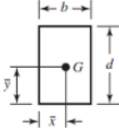
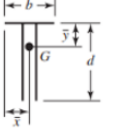
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

Figura H.1. Propiedades flexionantes de la soldadura de filete [14]

Tabla 9-3

Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

Figura H.2. Propiedades del electrodo para soldadura SMAW [14]

Tabla 9-6

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete								Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h	
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)									
	60*	70*	80	90*	100	110*	120		
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial									
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal									
$^{\dagger}f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h		
Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal								
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59		

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$ Hasta $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$ Hasta $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
† Mayor que $\frac{3}{4}$ Hasta $1\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$ Hasta $2\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$ Hasta 6	$\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AISC-AWS Task Committee.
 $^{\dagger}f = 0.707h\tau_{perm}$

Fuente: Adaptada de Omer W. Blodgett (ed.), *Stress Allowables Affect Weldment Design*, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo de 1991, p. 3. Reproducido con autorización de Lincoln Electric Company.

Figura H.3. Cargas permisibles para soldadura de filete [14]

Anexo I: Fuerza necesaria para tensar banda de transmisión

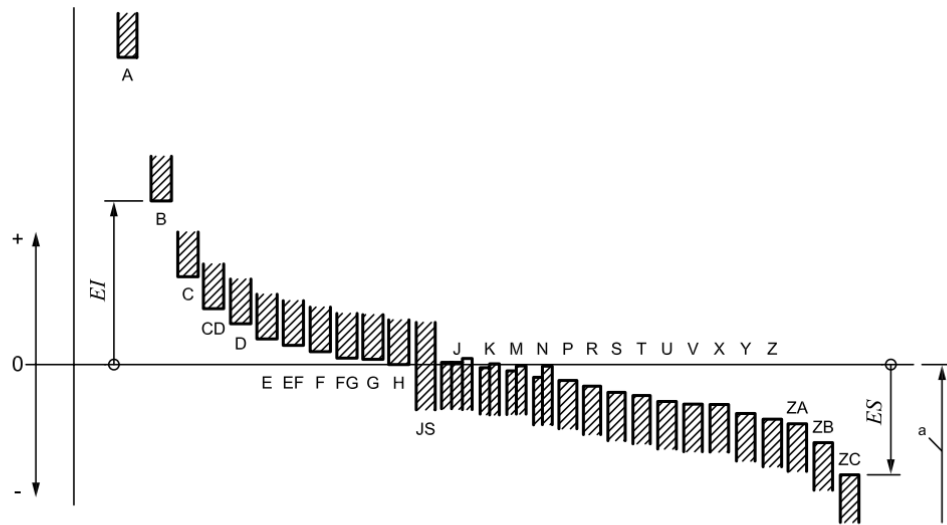


Figura I.1. Medida de tensado de banda

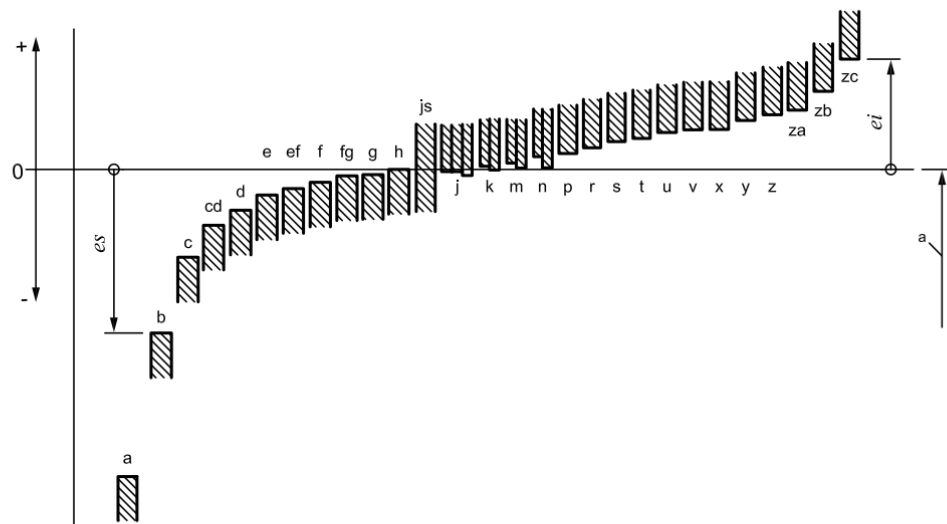


Figura I.2. Toma de medidas de fuerza para tensado de banda

Anexo J: Tablas para cálculo de ajuste



a) Holes (internal features of size)



b) Shafts (external features of size)

Key

EI, ES fundamental deviations of holes (examples)
 ei, es fundamental deviations of shafts (examples)

^a Nominal size.

NOTE 1 According to convention, the fundamental deviation is the one defining the nearest limit to the nominal size.

NOTE 2 For details concerning fundamental deviations for J/j, K/k, M/m and N/n, see Figures 8 and 9.

Figure 7 — Schematic representation of the placement of the tolerance interval (fundamental deviation) relative to the nominal size

Figura J.1. Representación Esquemática de intervalos de tolerancia [18]

Table 1 — Values of standard tolerance grades for nominal sizes up to 3 150 mm

Nominal size mm		Standard tolerance grades																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Above	Up to and including	Standard tolerance values										Standard tolerance values									
		μm										mm									
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1 000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1 000	1 250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1 250	1 600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1 600	2 000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1 100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3 150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1 350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Figura J.2. Valores de tolerancia estándar [18]

Table 2 — Values of the fundamental deviations for holes A to M

Fundamental deviation values in micrometres

Nominal size mm		Fundamental deviation values																		
Above	Up to and including	Lower limit deviation, <i>EI</i>											Upper limit deviation, <i>ES</i>							
		All standard tolerance grades											IT6	IT7	IT8	Up to and including IT8	Above IT8	Up to and including IT8	Above IT8	
		A ^a	B ^a	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J		K ^{c,d}		M ^{b,c,d}		
—	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		+2	+4	+6	0	0	-2	-2
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+12	-1 + Δ		-4 + Δ	-4
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1 + Δ		-6 + Δ	-6
10	14													+6	+10	+15	-1 + Δ		-7 + Δ	-7
14	18	+290	+150	+95	+70	+50	+32	+23	+16	+10	+6	0		+8	+12	+20	-2 + Δ		-8 + Δ	-8
18	24													+10	+14	+24	-2 + Δ		-9 + Δ	-9
24	30	+300	+160	+110	+85	+65	+40	+28	+20	+12	+7	0		+13	+18	+28	-2 + Δ		-11 + Δ	-11
30	40	+310	+170	+120	+100	+80	+50	+35	+25	+15	+9	0		+16	+22	+34	-3 + Δ		-13 + Δ	-13
40	50	+320	+180	+130										+18	+26	+41	-3 + Δ		-15 + Δ	-15
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+22	+30	+47	-4 + Δ		-17 + Δ	-17
65	80	+360	+200	+150										+25	+36	+55	-4 + Δ		-20 + Δ	-20
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+29	+39	+60	-4 + Δ		-21 + Δ	-21
100	120	+410	+240	+180										+33	+43	+66	-5 + Δ		-23 + Δ	-23
120	140	+460	+260	+200													0		-26	
140	160	+520	+280	+210		+145	+85		+43		+14	0					0		-30	
160	180	+580	+310	+230													0		-34	
180	200	+660	+340	+240													0		-40	
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0					0		-48	
225	250	+820	+420	+280													0		-58	
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0					0		-68	
280	315	+1 050	+540	+330													0		-76	
315	355	+1 200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0					0			
355	400	+1 350	+680	+400													0			
400	450	+1 500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0					0			
450	500	+1 650	+840	+480													0			
500	560					+260	+145		+76		+22	0					0			
560	630																0			
630	710					+290	+160		+80		+24	0					0			
710	800																0			
800	900					+320	+170		+86		+26	0					0			
900	1 000																0			
1 000	1 120					+350	+195		+98		+28	0					0			
1 120	1 250																0			
1 250	1 400					+390	+220		+110		+30	0					0			
1 400	1 600																0			
1 600	1 800					+430	+240		+120		+32	0					0			
1 800	2 000																0			
2 000	2 240					+480	+260		+130		+34	0					0			
2 240	2 500																0			
2 500	2 800					+520	+290		+145		+38	0					0			
2 800	3 150																0			

Deviations = ± IT_n/2, where *n* is the standard tolerance grade number

^a Fundamental deviations A and B shall not be used for nominal sizes ≤ 1 mm.
^b Special case: for tolerance class M6 in the range above 250 mm up to and including 315 mm, *ES* = -9 μm (instead of -11 μm according to the calculation).
^c For determining the values K and M, see 4.3.2.5.
^d For Δ values, see Table 3.

Figura J.3. Valores fundamentales de desviación para agujeros [18]

Table 3 — Values of the fundamental deviations for holes N to ZC

Fundamental deviation values and Δ values in micrometres

Nominal size mm	Fundamental deviation values Upper limit deviation, ES										Values for Δ													
	Above	Up to and including	Up to and including IT8	Above IT8	Up to and including IT7	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	
—			3	-4	-4	-6	-10	-14		-18	-20			-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0	0
3		6	-8 + Δ	0		-12	-15	-19		-23	-28			-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6	6
6		10	-10 + Δ	0		-15	-19	-23		-28	-34			-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7	7
10		14	-12 + Δ	0		-18	-23	-28		-33	-40			-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9	9
14		18								-39	-45			-60	-77	-108	-150	1,5	2	3	4	8	12	12
18		24	-15 + Δ	0		-22	-28	-35	-41	-47	-54		-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12	12
24		30							-48	-55	-64		-75	-88	-118	-160	-218	1,5	3	4	5	9	14	14
30		40	-17 + Δ	0		-26	-34	-43	-48	-60	-80		-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14	14
40		50							-54	-70	-81		-114	-136	-180	-242	-325	2	4	5	6	11	16	16
50		65	-20 + Δ	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102		-144	-172	-226	-300	-405	2	4	5	6	11	16	16
65		80							-75	-102	-120		-174	-210	-274	-360	-480	2	4	5	6	11	16	16
80		100	-23 + Δ	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146		-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19	19
100		120							-104	-144	-172		-254	-310	-400	-525	-690	3	4	6	7	15	23	23
120		140	-27 + Δ	0		-43	-63	-92	-122	-170	-202		-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23	23
140		160							-134	-190	-228		-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23	23
160		180							-146	-210	-252		-380	-465	-600	-780	-1000	3	4	6	7	15	23	23
180		200							-166	-236	-284		-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26	26
200		225	-31 + Δ	0		-50	-80	-130	-180	-258	-310		-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26	26
225		250							-196	-284	-340		-520	-640	-820	-1050	-1350	3	4	6	9	17	26	26
250		280	-34 + Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385		-560	-710	-920	-1200	-1550	3	4	6	9	17	26	26
280		315							-240	-350	-425		-650	-790	-1000	-1300	-1700	3	4	6	9	17	26	26
315		355	-37 + Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475		-730	-900	-1150	-1500	-1900	3	4	6	9	17	26	26
355		400							-294	-435	-530		-820	-1000	-1300	-1650	-2100	3	4	6	9	17	26	26
400		450	-40 + Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595		-920	-1100	-1450	-1850	-2400	3	4	6	9	17	26	26
450		500							-360	-540	-660		-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	3	4	6	9	17	26	26
500		560							-400	-600	-740		-1100	-1400	-1800	-2300	-2900	3	4	6	9	17	26	26
560		630	-44						-450	-660	-820		-1200	-1550	-2000	-2600	-3300	3	4	6	9	17	26	26
630									-310	-450	-660		-1000	-1300	-1700	-2200	-2800	3	4	6	9	17	26	26

Figura J.4. Valores fundamentales de desviación para agujeros [18]

Table 4 — Values of the fundamental deviations for shafts a to j

Fundamental deviation values in micrometres

Nominal size mm		Fundamental deviation values											Lower deviation, <i>ei</i>				
Above	Up to and including	Upper limit deviation, <i>es</i>											<i>js</i>	IT5 and IT6	IT7	IT8	
		All standard tolerance grades															<i>j</i>
		<i>a</i> ^a	<i>b</i> ^a	<i>c</i>	<i>cd</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>ef</i>	<i>f</i>	<i>fg</i>	<i>g</i>	<i>h</i>					
—	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-12	-8	-5	0		-2	-5		
10	14	-290	-150	-95	-70	-50	-32	-23	-16	-10	-6	0		-3	-6		
14	18	-290	-150	-95	-70	-50	-32	-23	-16	-10	-6	0		-3	-6		
18	24	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-25	-20	-12	-7	0		-4	-8		
24	30	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-25	-20	-12	-7	0		-4	-8		
30	40	-310	-170	-120	-100	-80	-50	-35	-25	-15	-9	0		-5	-10		
40	50	-320	-180	-130	-100	-80	-50	-35	-25	-15	-9	0		-5	-10		
50	65	-340	-190	-140	-100	-60	-30	-30	-20	-10	-10	0		-7	-12		
65	80	-360	-200	-150	-100	-60	-30	-30	-20	-10	-10	0		-7	-12		
80	100	-380	-220	-170	-120	-72	-36	-36	-24	-12	-12	0		-9	-15		
100	120	-410	-240	-180	-120	-72	-36	-36	-24	-12	-12	0		-9	-15		
120	140	-460	-260	-200	-145	-85	-43	-43	-28	-14	-14	0		-11	-18		
140	160	-520	-280	-210	-145	-85	-43	-43	-28	-14	-14	0		-11	-18		
160	180	-580	-310	-230	-170	-100	-50	-50	-32	-15	-15	0		-13	-21		
180	200	-660	-340	-240	-170	-100	-50	-50	-32	-15	-15	0		-13	-21		
200	225	-740	-380	-260	-190	-110	-56	-56	-36	-17	-17	0		-16	-26		
225	250	-820	-420	-280	-190	-110	-56	-56	-36	-17	-17	0		-16	-26		
250	280	-920	-480	-300	-210	-125	-62	-62	-40	-18	-18	0		-18	-28		
280	315	-1 050	-540	-330	-210	-125	-62	-62	-40	-18	-18	0		-18	-28		
315	355	-1 200	-600	-360	-230	-135	-68	-68	-44	-20	-20	0		-20	-32		
355	400	-1 350	-680	-400	-230	-135	-68	-68	-44	-20	-20	0		-20	-32		
400	450	-1 500	-760	-440	-260	-145	-76	-76	-48	-22	-22	0					
450	500	-1 650	-840	-480	-260	-145	-76	-76	-48	-22	-22	0					
500	560				-290	-160	-80	-80	-52	-24	-24	0					
560	630				-290	-160	-80	-80	-52	-24	-24	0					
630	710				-320	-170	-86	-86	-56	-26	-26	0					
710	800				-320	-170	-86	-86	-56	-26	-26	0					
800	900				-350	-195	-98	-98	-60	-28	-28	0					
900	1 000				-350	-195	-98	-98	-60	-28	-28	0					
1 000	1 120				-390	-220	-110	-110	-68	-30	-30	0					
1 120	1 250				-390	-220	-110	-110	-68	-30	-30	0					
1 250	1 400				-430	-240	-120	-120	-76	-32	-32	0					
1 400	1 600				-430	-240	-120	-120	-76	-32	-32	0					
1 600	1 800				-480	-260	-130	-130	-84	-34	-34	0					
1 800	2 000				-480	-260	-130	-130	-84	-34	-34	0					
2 000	2 240				-520	-290	-145	-145	-92	-36	-36	0					
2 240	2 500				-520	-290	-145	-145	-92	-36	-36	0					
2 500	2 800				-520	-290	-145	-145	-92	-36	-36	0					
2 800	3 150				-520	-290	-145	-145	-92	-36	-36	0					

Deviations = ± IT_n/2, where *n* is the standard tolerance grade number

^a Fundamental deviations a and b shall not be used for nominal sizes ≤ 1 mm.

Figura J.5. Valores fundamentales de desviación para ejes [18]

Anexo K: Tablas para pernos

Figura 8-23

Modos de falla por carga cortante de una conexión con pernos o remaches: a) carga cortante; b) flexión del remache; c) corte del remache; d) falla de tensión de los elementos; e) apoyo del remache sobre los elementos, o apoyo de los elementos sobre el remache; f) desgarramiento por cortante; g) desgarramiento por tensión.

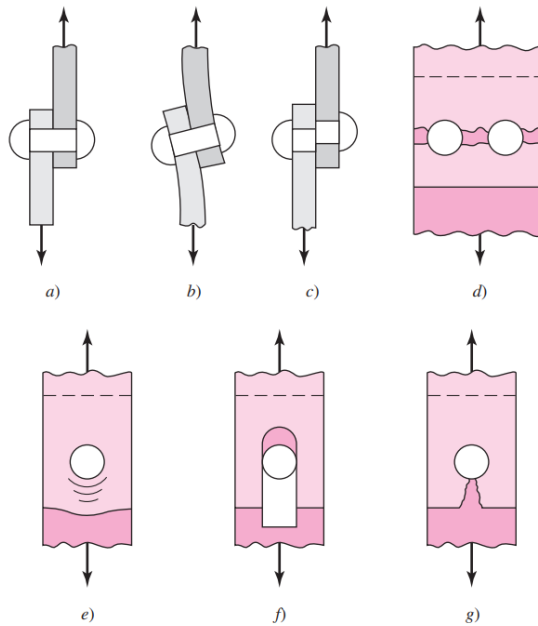


Figura K.1. Modos de falla por carga cortante de una conexión con pernos [14]

Tabla 8-9

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado de SAE	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

*Las resistencias mínimas son resistencias que excede 99% de los sujetadores.

Figura K.2. Características de pernos SAE [14]

Anexo L: Tablas para selección de bandas tipo V

Tabla 1.- Coeficiente de servicio C_s según el tipo de motor y máquina empleada

Clase de máquina	Tipo de motor	
	Motores eléctricos: C. A. monofásicos C. A. sincrónicos C. A. Jaula de ardilla de par normal C. C. bobinado shunt Motores a gas Ruedas Hidráulicas Motores de combustión interna poli-cilíndricos	Motores eléctricos: C. A. con par de gran potencia De rotor bobinado y anillos rozantes C. C. bobinado compound Motores mono-cilíndricos Ejes de transmisión Tomas de fuerza con embrague Máquinas de vapor
Agitadores de líquidos Ventiladores pequeños y medianos Compresores centrífugos Bombas centrífugas.	1,1	1,2
Punzonadoras Mezcladoras pequeñas y medianas Generadores Compresores de tornillo Cizallas y prensas Máquinas de imprenta Cribas vibratorias Cintas transportadoras Troqueles Ventiladores	1,2	1,4
Elevadores Compresores de pistones Maquinaria de lavanderías Bombas de pistones Ventiladores grandes Maquinaria textil Máquinas herramientas Maquinaria de aserraderos Batidoras para fabricas de papel Transportadoras de tornillo	1,4	1,6
Malacates y huinches Molinos Chancadoras de mandíbulas Transportadora de correa sinfín Montacargas	1,6	1,8

C A .- corriente alterna C C .- corriente continua

Para servicios continuos de 24 h aumentar 0,2 al factor
Si la transmisión ha de funcionar mojada, aumentar 0,2 al factor
Si se usan poleas tensoras, aumentar 0,2 al factor
Para funcionamiento intermitente, restar 0,2 al factor

Figura L.1. Coeficiente de Servicio para Bandas tipo V [19]

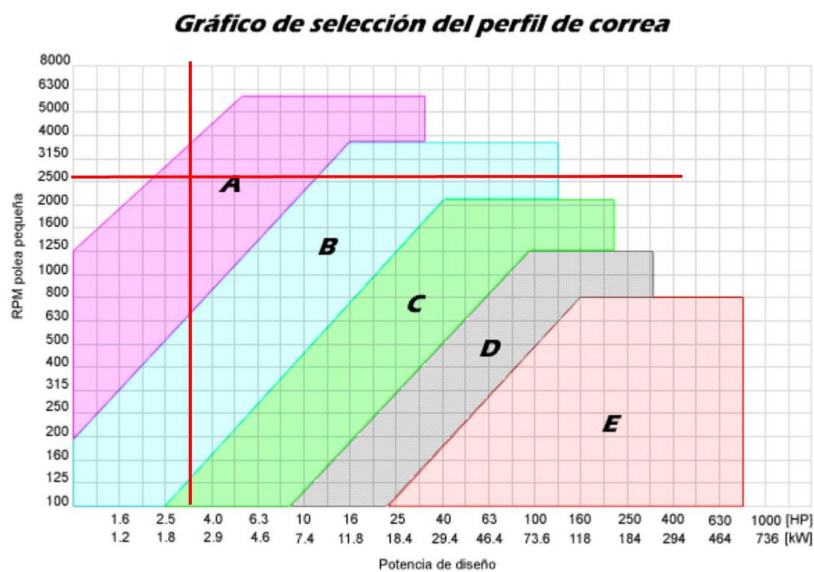


Figura L.2. Gráfico para selección de perfil de la banda tipo V [19]

Tabla 4.- Longitudes primitivas de las correas

Nº	Perfil A (13 x 8)	Perfil B (17 x 10,5)	Perfil C (22 x 13.5)	Perfil D (32 x 19)	Perfil E (40 x 25)
26	690				
28	741				
31	817				
35	919	932			
38	995	1008			
42	1097	1110			
46	1198	1211			
51	1325	1338	1347		
55	1427	1440			
60	1554	1567	1576		
64	1656	1669			
68	1757	1770	1779		
71	1833	1846			
75	1935	1948	1957		
80	2062	2079	2084		
81		2100	2109		
85	2189	2202	2211		
90	2316	2329	2338		
96	2468		2490		
97	2494	2507	2516		
105	2697	2710	2719		
112	2875	2888	2897		
120	3078	3091	3100	3117	
128	3281	3294	3303	3320	
136		3497	3506		
144		3701	3710	3727	
158		4055	4065	4082	
162		4158	4167	4184	
173		4437	4446	4463	
180		4615	4624	4641	4656
195		4996	5005	5022	5037
210		5377	5386	5403	5418
240		6106	6105	6102	6109
270		6868	6867	6864	6871
300		7630	7629	7626	7633
330			8391	8388	8395
360			9153	9150	9157
390			9915	9912	9919
420			10677	10674	10681
480				12198	12205
540				13722	13729
600				15246	15253

Fuente: Catálogo Reflex de correas trapezoidales.

Figura L.3. Longitudes primitivas de las correas [19]

Tabla 5.- potencia P_i que pueden transmitir las correas trapezoidales $\approx [Hp/correa]$

Velocidad Periférica en m/s	Sección Z 10 * 6	Sección A 13 * 8	Sección B 17 * 11	Sección C 22 * 14	Sección D 32 * 19	Sección E 38 * 25	Sección F 51 * 30
4.0	0.25	0.8	1.1	2.4	4.7	6.5	9.2
4.5	0.28	0.8	1.2	2.6	5.0	7.1	10.5
5.0	0.30	0.9	1.3	3.0	5.5	7.9	11.2
5.5	0.33	1.0	1.4	3.2	6.1	8.7	12.8
6.0	0.36	1.0	1.5	3.4	6.7	9.4	14.0
6.5	0.39	1.1	1.6	3.6	7.3	10.2	15.1
7.0	0.42	1.2	1.7	3.9	7.9	10.9	16.3
7.5	0.45	1.3	1.8	4.2	8.5	11.6	17.4
8.0	0.48	1.4	1.9	4.5	9.0	12.3	18.6
8.5	0.51	1.5	2.0	4.8	9.5	13.0	19.8
9.0	0.54	1.6	2.2	5.2	10.0	13.7	21.0
9.5	0.57	1.7	2.4	5.5	10.5	14.3	22.1
10.0	0.60	1.8	2.5	5.8	11.0	15.0	23.3
10.5	0.63	1.8	2.6	6.0	11.4	15.7	24.4
11.0	0.66	1.9	2.6	6.2	11.8	16.3	25.6
11.5	0.69	1.9	2.7	6.4	12.2	16.9	26.8
12.0	0.72	2.0	2.9	6.7	12.6	17.5	28.0
12.5	0.75	2.1	3.0	6.9	13.0	18.1	29.1
13.0	0.78	2.2	3.1	7.1	13.4	18.7	30.3
13.5	0.81	2.3	3.2	7.3	13.8	19.3	31.4
14.0	0.84	2.3	3.3	7.5	14.2	19.8	32.6
14.5	0.87	2.4	3.4	7.7	14.6	20.5	33.7
15.0	0.90	2.5	3.5	7.9	15.0	21.0	34.8
15.5	0.91	2.5	3.6	8.1	15.3	21.3	35.9
16.0	0.92	2.6	3.6	8.3	15.5	21.7	37.0
16.5	0.94	2.6	3.7	8.5	15.7	22.2	37.9
17.0	0.95	2.6	3.7	8.7	15.9	22.6	38.9
17.5	0.96	2.7	3.8	8.9	16.1	23.0	39.7
18.0	0.97	2.7	3.9	9.0	16.3	23.4	40.6
18.5	0.97	2.8	4.0	9.1	16.4	23.8	41.4
19.0	0.98	2.8	4.1	9.2	16.6	24.2	42.3
19.5	0.99	2.9	4.2	9.3	16.8	24.6	43.1
20.0	1.00	2.9	4.2	9.4	17.0	25.0	43.9
20.5	1.02	2.9	4.2	9.5	17.1	25.3	44.6
21.0	1.04	2.9	4.3	9.6	17.3	25.6	45.3
21.5	1.06	3.0	4.3	9.6	17.4	25.8	45.9
22.0	1.08	3.0	4.3	9.7	17.5	26.0	46.6
22.5	1.10	3.0	4.4	9.7	17.6	26.2	47.2
23.0	1.10	3.0	4.4	9.8	17.7	26.3	47.8
23.5	1.10	3.0	4.4	9.8	17.8	26.5	48.3
24.0	1.10	3.1	4.4	9.9	17.9	26.7	48.8
24.5	1.10	3.1	4.5	9.9	18.0	26.9	49.3
25.0	1.10	3.1	4.5	10.0	18.0	27.0	49.8

Figura L.4. Potencia transmitida por correa [19]

Tabla 6 .- Coeficiente C_2 según el tanto por ciento de sobrecarga

Sobrecarga momentánea %	0	25	50	100	150
C_2	1	1,1	1,2	1,4	1,6

Figura L.5. Coeficiente de sobrecarga para banda tipo V [19]

Tabla 7.- Coeficiente de adherencia C_3

B	180°	174°	169°	163°	157°	151°	145°	139°	133°	127°	120°	113°	106°	99°	91°
C_3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.82	0.80	0.77	0.73	0.70

Figura L.6. Coeficiente de adherencia para banda tipo V [19]

Anexo M: Código Fuente

```
///ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO///

QT      += core gui
QT      += network

#widgets printsupport se añade para poder hacer uso de qcustomPlot sin problema
greaterThan(QT_MAJOR_VERSION, 4): QT += widgets printsupport

CONFIG += c++11

TARGET = untitled
TEMPLATE = app

# The following define makes your compiler emit warnings if you use
# any feature of Qt which has been marked as deprecated (the exact warnings
# depend on your compiler). Please consult the documentation of the
# deprecated API in order to know how to port your code away from it.
DEFINES += QT_DEPRECATED_WARNINGS

# You can also make your code fail to compile if you use deprecated APIs.
# In order to do so, uncomment the following line.
# You can also select to disable deprecated APIs only up to a certain version of Qt.
#DEFINES += QT_DISABLE_DEPRECATED_BEFORE=0x060000    # disables all the APIs deprecated

CONFIG += c++11

SOURCES += \
```

```

        main.cpp \
        mainwindow.cpp \
graphvolt.cpp \
qcustomplot.cpp

HEADERS += \
        mainwindow.h \
graphvolt.h \
qcustomplot.h

FORMS += \
        mainwindow.ui \
graphvolt.ui

#Añadir la librería Wiring pi
LIBS +=-L/usr/lib -lwiringPi

#-lpthread es necesario para poder usar softPWM
LIBS +=-L/usr/lib -lpthread

# Default rules for deployment.
qnx: target.path = /tmp/${TARGET}/bin
else: unix:!android: target.path = /opt/${TARGET}/bin
!isEmpty(target.path): INSTALLS += target

\\ \\ HEADER PANTALLA PRINCIPAL (MAIN) \\ \\

#ifdef MAINWINDOW_H
#define MAINWINDOW_H

```



```
#include <QMainWindow>

#include "wiringPi.h"
#include <pcf8591.h>

namespace Ui {
class MainWindow;
}

class MainWindow : public QMainWindow
{
    Q_OBJECT

public:
    explicit MainWindow(QWidget *parent = nullptr);
    ~MainWindow();

private slots:
    void on_btnON_clicked();

    void on_btnAuto_clicked();

private slots:
    void Leer();

    void on_VELOCIDAD_MOTOR_SLIDER_valueChanged(int value);

    void on_btnManual_clicked();
```

```
void on_btnGrafico_clicked();

private:
    Ui::MainWindow *ui;
};

#endif // MAINWINDOW_H

\\\ HEADER PANTALLA GRÁFICO \\\

#ifndef GRAPHVOLT_H
#define GRAPHVOLT_H

#include <QDialog>

namespace Ui {
class GraphVolt;
}

class GraphVolt : public QDialog
{
    Q_OBJECT

public:
    explicit GraphVolt(QWidget *parent = nullptr);
    ~GraphVolt();

private slots:
```

```
void on_btnRegresar_clicked();

void PlotVoltaje();

private:
    Ui::GraphVolt *ui;
};

#endif // GRAPHVOLT_H

/// INCLUIR qcustomplot.h y qcustomplot.cpp ///
///PARA PODER OCUPAR LA LIBRERÍA QcustomPlot///

/// CÓDIGO CLASE PRINCIPAL(main.cpp)///

#include "mainwindow.h"
#include <QApplication>

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    MainWindow w;
    w.show();

    return a.exec();
}
```

```
/// CÓDIGO PANTALLA PRINCIPAL (mainwindow.cpp) ///
```

```
#include "mainwindow.h"  
#include "ui_mainwindow.h"  
#include <QTimer>  
#include <softPwm.h>  
#include <graphvolt.h>  
#include <JsonObject>  
#include <JsonDocument>  
#include <JsonArray>  
#include <JsonValue>  
#include <QtNetwork/QNetworkRequest>  
#include <QtNetwork/QNetworkReply>  
#include <QString>  
#include <QVariant>  
#include <QList>  
#include <QFileDialog>  
#include <QFile>  
#include <QMessageBox>  
  
QTimer *timer1 = new QTimer();  
  
#define DIRECCION 0x48  
#define AN0 0  
#define AN1 1  
#define AN2 2  
#define AN3 3  
#define BASE 120  
#define G22 3  
#define VALOR_INICIAL 0
```

```
#define RANGO_PWM 100

bool manual = false;
bool encendido = false;
bool autom = false;

QJsonArray voltajeList = {0};
QJsonArray corrienteList = {0};
QJsonArray tiempoList = {0};
QJsonArray rpmList = {0};

int tiempo = 1;
int rpm = 0;
bool subir = true;

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
    wiringPiSetup();

    pcf8591Setup(BASE, DIRECCION);

    pinMode(5,OUTPUT);
    pinMode(G22,OUTPUT);

    softPwmCreate (G22, VALOR_INICIAL, RANGO_PWM);

    connect(timer1,
```

```
        SIGNAL(timeout()),
        this,
        SLOT(Leer())
    );
}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}

void MainWindow::on_btnON_clicked()
{
    encendido=!encendido;

    ui->btnAuto->setEnabled(encendido);
    ui->btnManual->setEnabled(encendido);

    if(!encendido){
        ui->btnON->setText("ON");
        digitalWrite(5,LOW);
        timer1->stop();
    }else {
        ui->btnON->setText("OFF");
        digitalWrite(5,HIGH);
        timer1->start(100);
    }
}
```

```
void MainWindow::on_btnAuto_clicked()
{
    rpm = 50;
    autom = !autom;
    ui->btnManual->setEnabled(!autom);
}

void MainWindow::Leer()
{
    int Readvalue;
    float vout;
    float iout;

    //cada 5 segundos cambio el pwm si estoy en modo automatico y, si ya
    //se acaba el proceso, se activan boton de manual de nuevo
    if((tiempo%5)==0 && autom){
        if(subir){
            if(rpm == 250){
                subir = !subir;
            }
            rpm+=10;
            softPwmWrite(G22,(100*rpm/200));
            ui->VELOCIDAD_MOTOR_DISPLAY->display(rpm);
        }else if(!subir){
            if(rpm == 50){
                //subir=!subir;
                ui->btnManual->setEnabled(true);
                autom = !autom;
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    rpm-=10;
    softPwmWrite(G22, (100*rpm/200));
    ui->VELOCIDAD_MOTOR_DISPLAY->display(rpm);
}
}

Readvalue = analogRead(BASE+AN0);
vout = (Readvalue*25.0/255);

Readvalue = analogRead(BASE+AN1);
iout = (Readvalue*5.0/255);

ui->BARRA_VOLT->setValue(vout);
ui->BARRA_CURR->setValue(iout);
ui->VOLTAJE->display(vout);
ui->CORRIENTE->display(iout);

//LLENADO DE LAS LISTAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE (Límite a 2 decimales)

float valueVolt = (int)(vout * 100);
float valueCurr = (int)(iout * 100);

voltajeList.append((float)valueVolt/100);
corrienteList.append((float)valueCurr/100);
tiempoList.append(tiempo++);
rpmList.append(rpm);
}

```



```

void MainWindow::on_VELOCIDAD_MOTOR_SLIDER_valueChanged(int value)
{
    //value tiene un vaor entre 0 y 200 rpm (rango del slider), debo ajustar este
    \\valor de 0 a 100 que es el rango del softPWM seteado y que es el recomendado
    rpm = value;
    softPwmWrite(G22,(100*rpm/200));
}

void MainWindow::on_btnManual_clicked()
{
    manual=!manual;

    if(!manual){
        ui->VELOCIDAD_MOTOR_SLIDER->setValue(0);
        ui->btnManual->setText("MANUAL ON");
    }else {
        ui->btnManual->setText("MANUAL OFF");
    }

    ui->VELOCIDAD_MOTOR_SLIDER->setEnabled(manual);
    ui->btnAuto->setEnabled(!manual);
}

void MainWindow::on_btnGrafico_clicked()
{
    //GENERAR Y GUARDAR EL ARCHIVO JSON EN LA CARPETA DEL PROYECTO

    QString nombre_Archivo = "/home/pi/Proyecto_Tesis/lecturas.json";

    if(nombre_Archivo.isEmpty()){

```

```

}else{
    QJsonDocument doc;
    QJsonObject obj;

    obj["voltajes"] = voltajeList;
    obj["corrientes"] = corrienteList;
    obj["tiempo"] = tiempoList;
    obj["rpm"] = rpmList;

    doc.setObject(obj);

    QByteArray data_Json = doc.toJson();
    QFile output(nombre_Archivo);
    if(output.open(QIODevice::WriteOnly | QIODevice::Text)){
        output.write(data_Json);
        output.close();
    }else{
        QMessageBox::critical(this, tr("Error"), output.errorString());
    }
}

GraphVolt graphVolt;
graphVolt.setModal(true);
graphVolt.exec();
}

/// CÓDIGO PANTALLA GRÁFICO ///
```

```

#include "graphvolt.h"

```

```
#include "ui_graphvolt.h"
#include <mainwindow.h>
#include <qcustomplot.h>
#include <QJsonObject>
#include <QJsonDocument>
#include <QJsonArray>
#include <QJsonValue>
#include <QString>
#include <QVariant>
#include <QList>
#include <QFileDialog>
#include <QFile>
#include <QMessageBox>
#include <iostream>

GraphVolt::GraphVolt(QWidget *parent) :
    QDialog(parent),
    ui(new Ui::GraphVolt)
{
    ui->setupUi(this);

    GraphVolt::PlotVoltaje();
}

GraphVolt::~GraphVolt()
{
    delete ui;
}
```

```
void GraphVolt::on_btnRegresar_clicked()
{
    close();
}

void GraphVolt::PlotVoltaje()
{
    QString nombre_Archivo = "/home/pi/Proyecto_Tesis/lecturas.json";

    if(nombre_Archivo.isEmpty()){

    }else{
        QJsonDocument doc;
        QJsonObject obj;
        QJsonArray numeros;

        QByteArray data_json;
        QFile input(nombre_Archivo);
        if(input.open(QIODevice::ReadOnly | QIODevice::Text)){
            data_json = input.readAll();
            doc = doc.fromJson(data_json);
            obj = doc.object();

            QJsonArray voltajesJson = obj["voltajes"].toArray();
            QJsonArray corrientesJson = obj["corrientes"].toArray();
            QJsonArray tiempoJson = obj["tiempo"].toArray();
            QJsonArray rpmJson = obj["rpm"].toArray();

            QList<double> voltajes;
```

```

QList<double> corrientes;
QList<double> tiempo;
QList<double> rpm;

int cantidad = voltajesJson.size();
//      QString s = QString::number(cantidad);

//      QTextStream(stdout) << s << endl;

for (int i = 0;i < cantidad;i++) {
    voltajes.append((voltajesJson[i].toDouble()));
//      QTextStream(stdout) << voltajes.at(i) << endl;
    corrientes.append((corrientesJson[i].toDouble()));
    tiempo.append((tiempoJson[i].toDouble()*0.1);
    rpm.append(rpmJson[i].toInt());
}

// CREAR PRIMER GRAFICO PARA EL VOLTAJE, CON LOS EJES INFERIOR E
//IZQUIERDO COMO X e Y
ui->wdgVoltaje->addGraph(ui->wdgVoltaje->xAxis, ui->wdgVoltaje->yAxis);
QPen bluePen;
bluePen.setColor(Qt::blue);
bluePen.setWidthF(4);
ui->wdgVoltaje->graph(0)->setPen(bluePen);
ui->wdgVoltaje->graph(0)->setName("Voltaje");

// CREAR SEGUNDO GRAFICO PARA LA CORRIENTE, CON LOS EJES INFERIOR
//Y DERECHO COMO X e Y
ui->wdgVoltaje->addGraph(ui->wdgVoltaje->xAxis, ui->wdgVoltaje->yAxis2);
QPen redPen;

```

```

redPen.setColor(Qt::red);
redPen.setWidthF(4);
ui->wdgVoltaje->graph(1)->setPen(redPen);
ui->wdgVoltaje->graph(1)->setName("Corriente");

//Configurar ejes principales

// give the axes some labels:
//ui->wdgVoltaje->xAxis->setLabel("tiempo");
ui->wdgVoltaje->xAxis->setLabel("rpm");
ui->wdgVoltaje->yAxis->setLabel("voltaje");
ui->wdgVoltaje->yAxis2->setLabel("Corriente");

// SETEAR EL RANGO DE LOS EJES
//
//   ui->wdgVoltaje->xAxis->setRange(0, 100);
//
//   ui->wdgVoltaje->yAxis->setRange(0, 25);

//Configurar ejes secundarios, en este caso si es importante activar
//los valores del eje "Y" secundario pues van a ser diferentes que
//del principal
ui->wdgVoltaje->xAxis2->setVisible(true);
ui->wdgVoltaje->xAxis2->setTickLabels(false);
ui->wdgVoltaje->yAxis2->setVisible(true);
ui->wdgVoltaje->yAxis2->setTickLabels(true);

//Configurar mismo rango de ejes principales para secundarios,
//en este caso solo para el eje horizontal (rpm) que es igual
//para ambos
connect(ui->wdgVoltaje->xAxis, SIGNAL(rangeChanged(QCPRange)),
ui->wdgVoltaje->xAxis2, SLOT(setRange(QCPRange)));

```

```

//Colocar los valores para graficar
ui->wdgVoltaje->graph(0)->setData(rpm.toVector(), voltajes.toVector());
ui->wdgVoltaje->graph(1)->setData(rpm.toVector(), corrientes.toVector());

//AUTO ESCALAR LOS EJES
ui->wdgVoltaje->rescaleAxes();

// Permite al usuario hacer moverse en la pantalla (Drag) y hacer
//zoom también.
//SE SETEA ADEMÁS QUE LOS EJES QUE SE REESCALEN SEAN LOS DOS EJES Y
//PUES los rpm NO ES NECESARIO DE ESCALAR
ui->wdgVoltaje->setInteractions(QCP::iRangeDrag | QCP::iRangeZoom
| QCP::iSelectPlottables);
ui->wdgVoltaje->axisRect()->setRangeZoomAxes(ui->wdgVoltaje->yAxis,
ui->wdgVoltaje->yAxis2);
ui->wdgVoltaje->axisRect()->setRangeDragAxes(ui->wdgVoltaje->yAxis,
ui->wdgVoltaje->yAxis2);
ui->wdgVoltaje->replot();

// show legend with slightly transparent background brush:
ui->wdgVoltaje->legend->setVisible(true);
ui->wdgVoltaje->legend->setBrush(QColor(255, 255, 255, 150));

//QMessageBox::information(this, tr("Mensaje"), tr("Documento Json
//Leído Correctamente"));

}else{
    QMessageBox::critical(this, tr("Error"), input.errorString());
}

```

```
    }  
}  
  
    /// CÓDIGO GENERACIÓN DE INFORME ///  
    /// CLASE PRINCIPAL ///  
package jsonweb;  
  
import java.io.File;  
import java.io.IOException;  
import java.util.logging.Level;  
import java.util.logging.Logger;  
import jxl.Workbook;  
import jxl.write.*;  
import jxl.write.Number;  
import com.devazt.networking.HttpClient;  
import com.devazt.networking.OnHttpRequestComplete;  
import com.devazt.networking.Response;  
import com.google.gson.Gson;  
import jsonweb.entidad.Lecturas;  
  
public class JsonWeb {  
  
    //private static final String EXCEL_FILE_LOCATION = "C:\\\\Users\\\\Esteban\\\\OneDrive  
  
    public static void main(String[] args) throws Exception {  
        servicioWeb("http://192.168.1.54");  
    }  
}
```



```

public static void servicioWeb(String url){
    HttpClient web = new HttpClient(new OnHttpRequestComplete() {
        @Override
        public void onComplete(Response status) {

            try{
                Gson gson = new Gson();

                //PARA USAR CON SERVICIO WEB
                Lecturas valores = gson.fromJson(status.getResult(), Lecturas.class);

                System.out.println(valores.getCorrientes());
                System.out.println(valores.getVoltajes());
                System.out.println(valores.getRpm());
                System.out.println(valores.getTiempo());

                GraphExcel(valores);

            }catch(UnsupportedOperationException e){
                System.err.println(e.getMessage());
            } catch (IOException ex) {
                Logger.getLogger(JsonWeb.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
            }
        }
    });

    web.execute(url);
}

```

```
public static void GraphExcel(Lecturas valores) throws IOException{

    File file = new File ("Informe.xls");

    if(!file.exists()){
        createExcel ();
    }else{
        writingExcel(valores);
    }

}

public static void createExcel()
{
    try {
        WritableWorkbook workbook = Workbook.createWorkbook(new File("Informe.xls"));
        workbook.createSheet("Datos", 0);
        workbook.write();
        workbook.close();

    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

public static void writingExcel(Lecturas valores){
    try {
        Workbook wb = Workbook.getWorkbook(new File("Informe.xls"));

        //hago una copia del archivo existente y de la hoja que quiero mantener
```

```

WritableWorkbook copy = Workbook.createWorkbook(new File("Informe.xls"),w);
WritableSheet copySheet = copy.getSheet(0);

//Elimino las columnas con los datos anteriores antes de cargar los nuevos
copySheet.removeColumn(0);
copySheet.removeColumn(1);
copySheet.removeColumn(2);
copySheet.removeColumn(3);

//IMPORTANTE RECORDAR QUE EN LA UBICACIÓN DE LA CELDA SE COLOCA PRIMERO LA FILA Y DESPUÉS LA COLUMNA

for(int i = 0; i < valores.getCorrientes().size();i++){
    Number corriente = new Number(0,i+1,valores.getCorrientes().get(i));
    Number voltaje = new Number(1,i+1,valores.getVoltajes().get(i));
    Number rpm = new Number(2,i+1,valores.getRpm().get(i));
    Number tiempo = new Number(3,i+1,valores.getTiempo().get(i));

    copySheet.addCell(corriente);
    copySheet.addCell(voltaje);
    copySheet.addCell(rpm);
    copySheet.addCell(tiempo);
}

Label corrientes = new Label (0,0,"Corrientes");
Label voltajes = new Label (1,0,"Voltajes");
Label rpms = new Label (2,0,"Rpm");
Label tiempos = new Label (3,0,"Tiempo");

copySheet.addCell(corrientes);
copySheet.addCell(voltajes);

```

```
        copySheet.addCell(rpms);
        copySheet.addCell(tiempos);

        copy.write();
        copy.close();

    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

/// OBJETO LECTURAS ///
```

```
package jsonweb.entidad;
import java.util.List;

public class Lecturas {

    private List<Double> corrientes;
    private List<Double> tiempo;
    private List<Double> rpm;
    private List<Double> voltajes;

    public Lecturas(List<Double> Corrientes, List<Double> Tiempo, List<Double> rpm, I

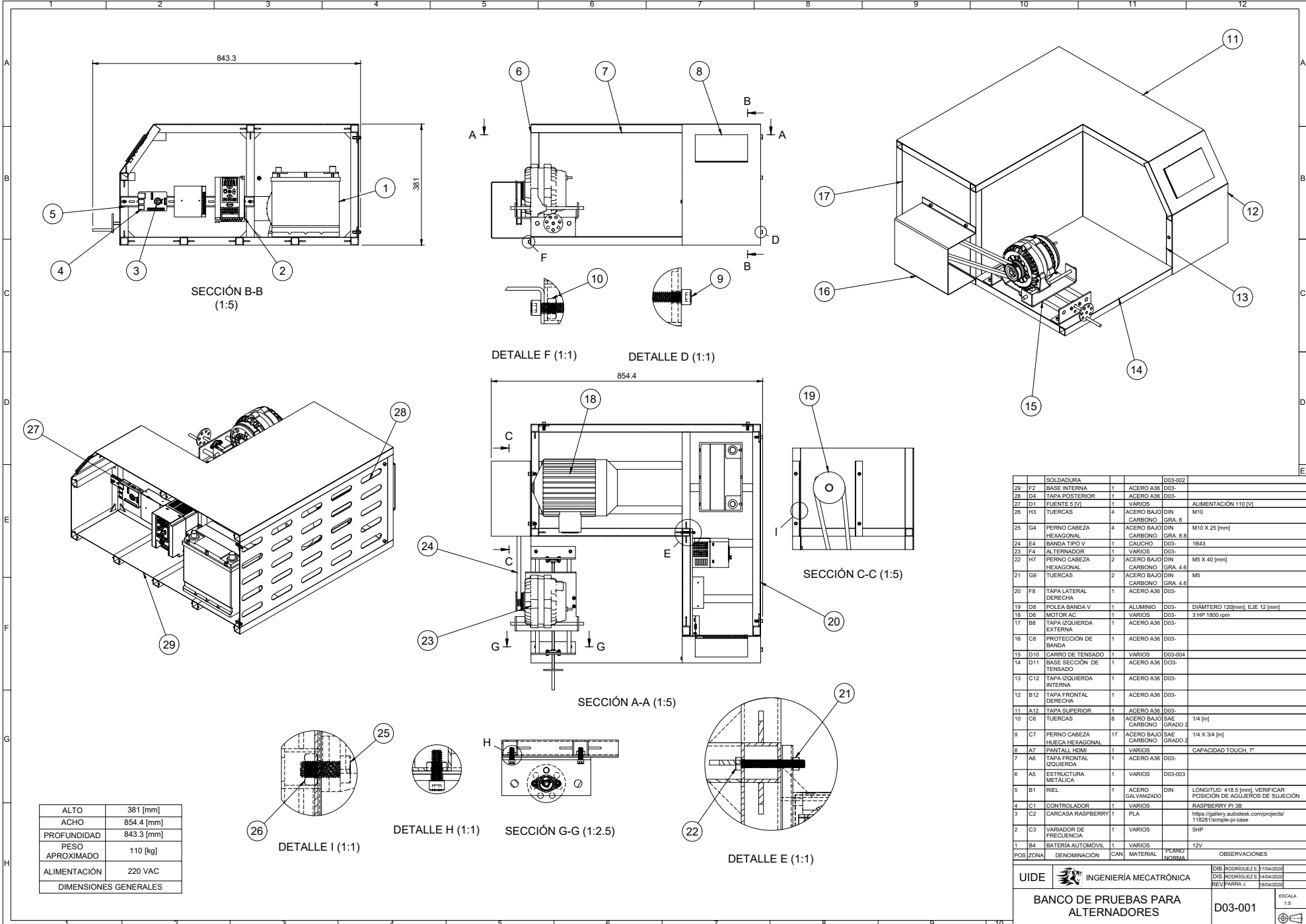
        this.corrientes = Corrientes;
        this.tiempo = Tiempo;
        this.rpm = rpm;
        this.voltajes = Voltajes;
    }
}
```

```
public List<Double> getVoltajes() {  
    return voltajes;  
}  
  
public void setVoltajes(List<Double> Voltajes) {  
    this.voltajes = Voltajes;  
}  
  
public List<Double> getCorrientes() {  
    return corrientes;  
}  
  
public void setCorrientes(List<Double> Corrientes) {  
    this.corrientes = Corrientes;  
}  
  
public List<Double> getTiempo() {  
    return tiempo;  
}  
  
public void setTiempo(List<Double> Tiempo) {  
    this.tiempo = Tiempo;  
}  
  
public List<Double> getRpm() {  
    return rpm;  
}  
  
public void setRpm(List<Double> rpm) {
```

```
        this.rpm = rpm;
    }

}
```

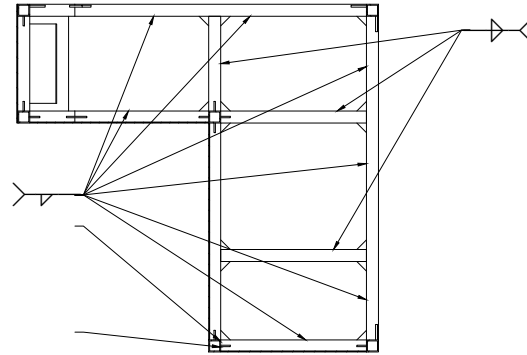
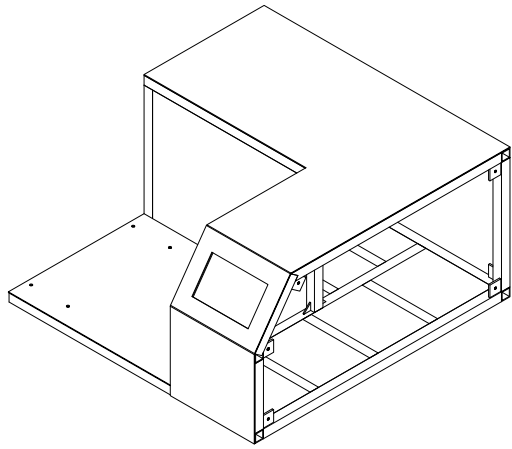
Anexo N: Planos Mecánicos



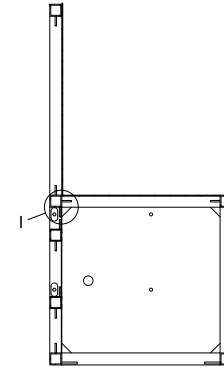
ALTO	381 [mm]
ACHO	854.4 [mm]
PROFUNDIDAD	843.3 [mm]
PESO APROXIMADO	110 [kg]
ALIMENTACIÓN	220 VAC
DIMENSIONES GENERALES	

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CAN	MATERIAL	PLANO	NORMA	OBSERVACIONES
29	F2	SOLDADURA	1		D03-002		
28	D4	BASE INTERNA	1	ACERO A36	D03-		
27	D1	TAPA POSTERIOR	1	ACERO A36	D03-		
27	D1	FUENTE S [IV]	1	VARIOS	D03-		ALIMENTACIÓN 110 [V]
26	H3	TUERCAS	4	ACERO BAJO DIN CARBONO GRA. 8	D03-		M10
25	G4	PERNO CABEZA HEXAGONAL	4	ACERO BAJO DIN CARBONO GRA. 8.8	D03-		M10 X 25 [mm]
24	E4	BANDA TIPO V	1	CAUCHO	D03-		1B43
23	F4	ALTERNADOR	1	VARIOS	D03-		
22	H7	PERNO CABEZA HEXAGONAL	2	ACERO BAJO DIN CARBONO GRA. 4.6	D03-		M5 X 40 [mm]
21	G9	TUERCAS	2	ACERO BAJO DIN CARBONO GRA. 4.6	D03-		M5
20	F8	TAPA LATERAL DERECHA	1	ACERO A36	D03-		
19	D8	POLEA BANDA V	1	ALUMINIO	D03-		DIÁMETRO 120[mm], EJE 12 [mm]
18	D6	MOTOR AC	1	VARIOS	D03-		3 HP 1800 rpm
17	B8	TAPA IZQUIERDA EXTERNA	1	ACERO A36	D03-		
16	C8	PROTECCIÓN DE BANDA	1	ACERO A36	D03-		
15	D10	CARRO DE TENSADO	1	VARIOS	D03-004		
14	D11	BASE SECCIÓN DE TENSADO	1	ACERO A36	D03-		
13	C12	TAPA IZQUIERDA INTERNA	1	ACERO A36	D03-		
12	B12	TAPA FRONTAL DERECHA	1	ACERO A36	D03-		
11	A12	TAPA SUPERIOR	1	ACERO A36	D03-		
10	C6	TUERCAS	6	ACERO BAJO SAE CARBONO GRADO 2	D03-		1/4 [in]
9	C7	PERNO CABEZA HUECA HEXAGONAL	17	ACERO BAJO SAE CARBONO GRADO 2	D03-		1/4 X 3/4 [in]
8	A7	PANTALL HDI	1	VARIOS	D03-		CAPACIDAD TOUCH: 7"
7	A6	TAPA FRONTAL IZQUIERDA	1	ACERO A36	D03-		
6	A5	ESTRUCTURA METÁLICA	1	VARIOS	D03-003		
5	B1	RIEL	1	ACERO GALVANIZADO	DIN		LONGITUD: 418.5 [mm], VERIFICAR POSICIÓN DE AGUJEROS DE SUJECCIÓN
4	C1	CONTROLADOR	1	VARIOS	D03-		RASPBERRY PI 3B
3	C2	CARCASA RASPBERRY	1	PLA	D03-		https://github.com/andresmk/projector/118281/simple-pi-case/
2	C3	VARIADOR DE FRECUENCIA	1	VARIOS	D03-		5HP
1	B4	BATERIA AUTOMÓVIL	1	VARIOS	D03-		12V

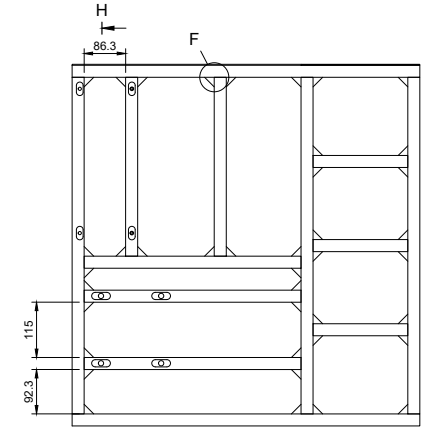
UIDE INGENIERÍA MECATRÓNICA
 BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES
 D03-001
 ESCALA 1:5



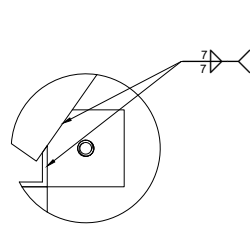
SECCIÓN B-B (1:5)



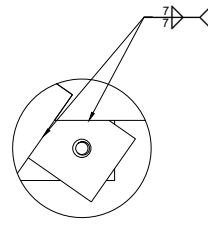
SECCIÓN H-H (1:5)



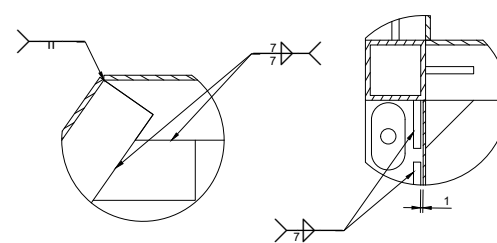
SECCIÓN I-I (1:5)



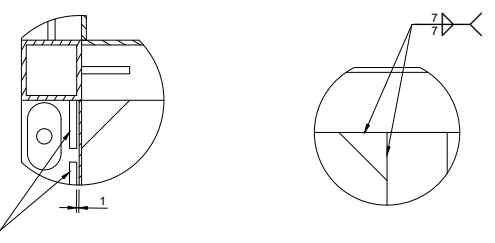
DETALLE D (1:1)



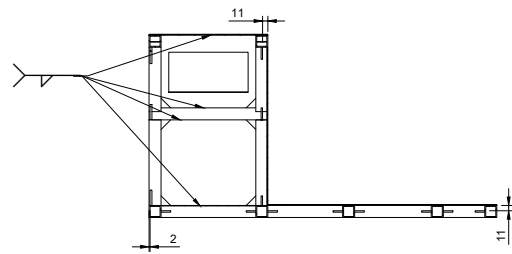
DETALLE E (1:1)



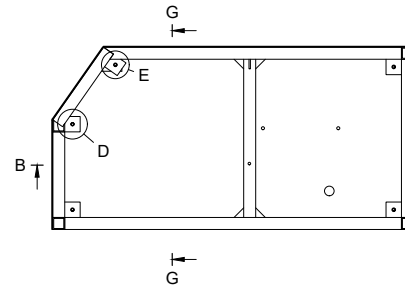
DETALLE C (1:1)





DETALLE F (1:1)

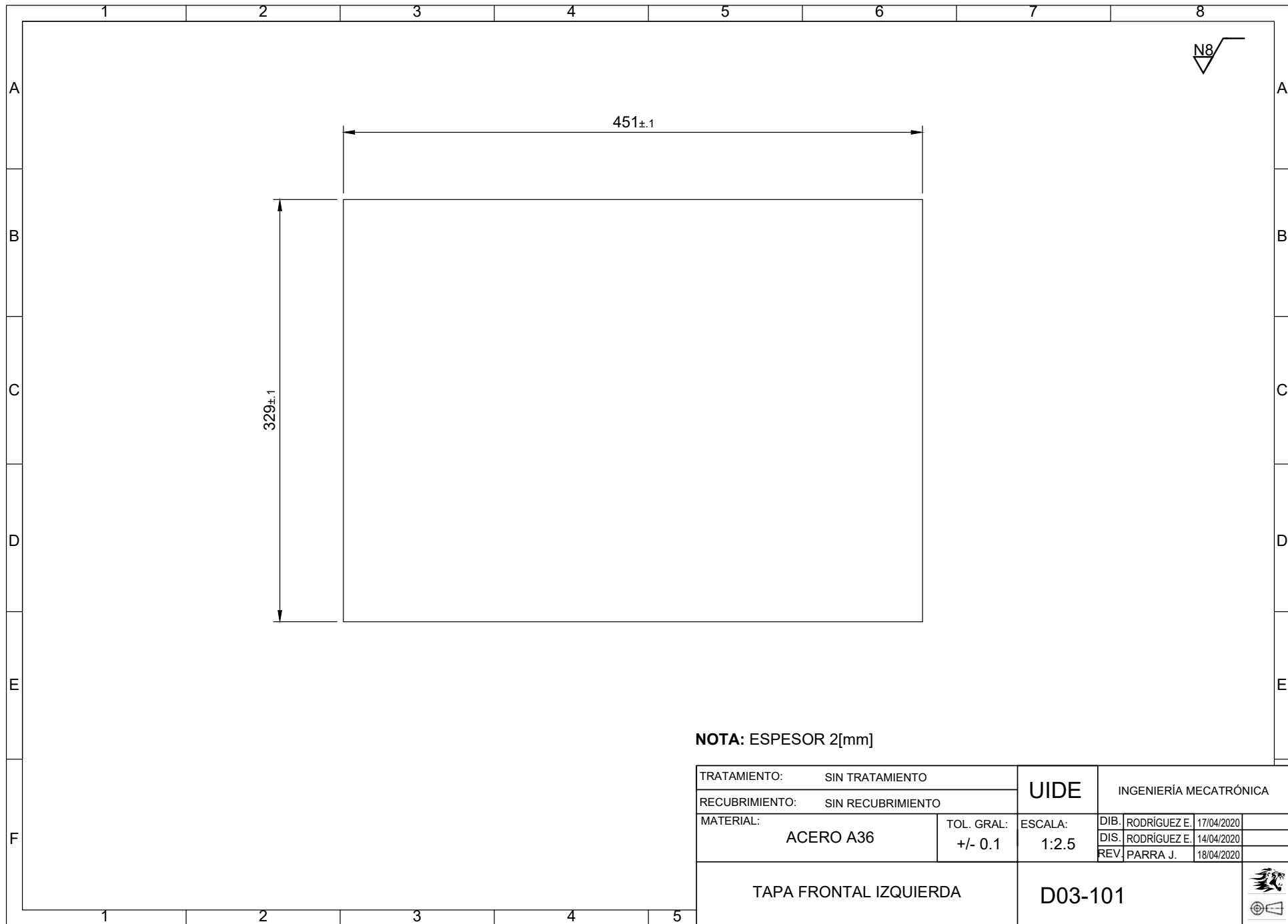


SECCIÓN G-G (1:5)



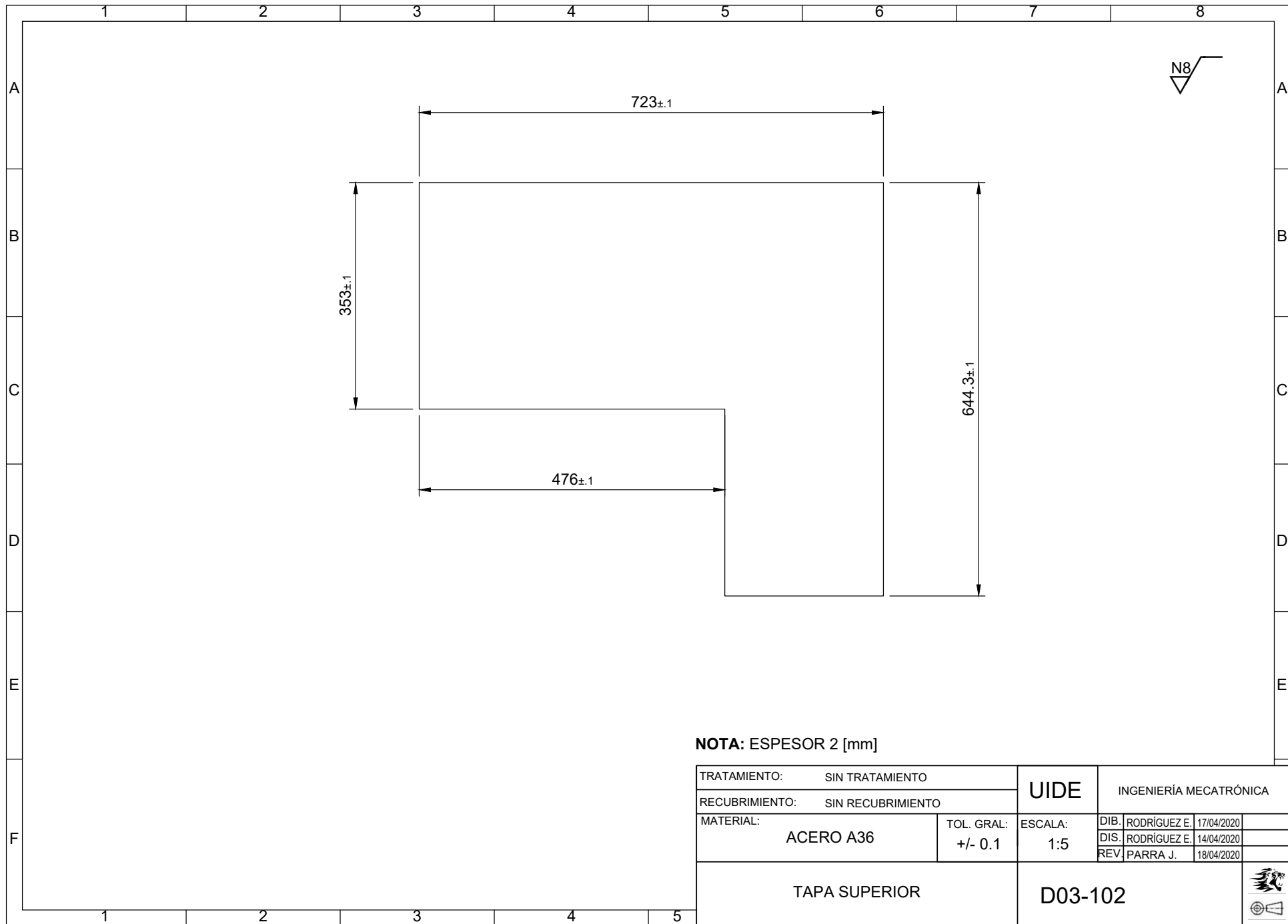
SECCIÓN A-A (1:5)

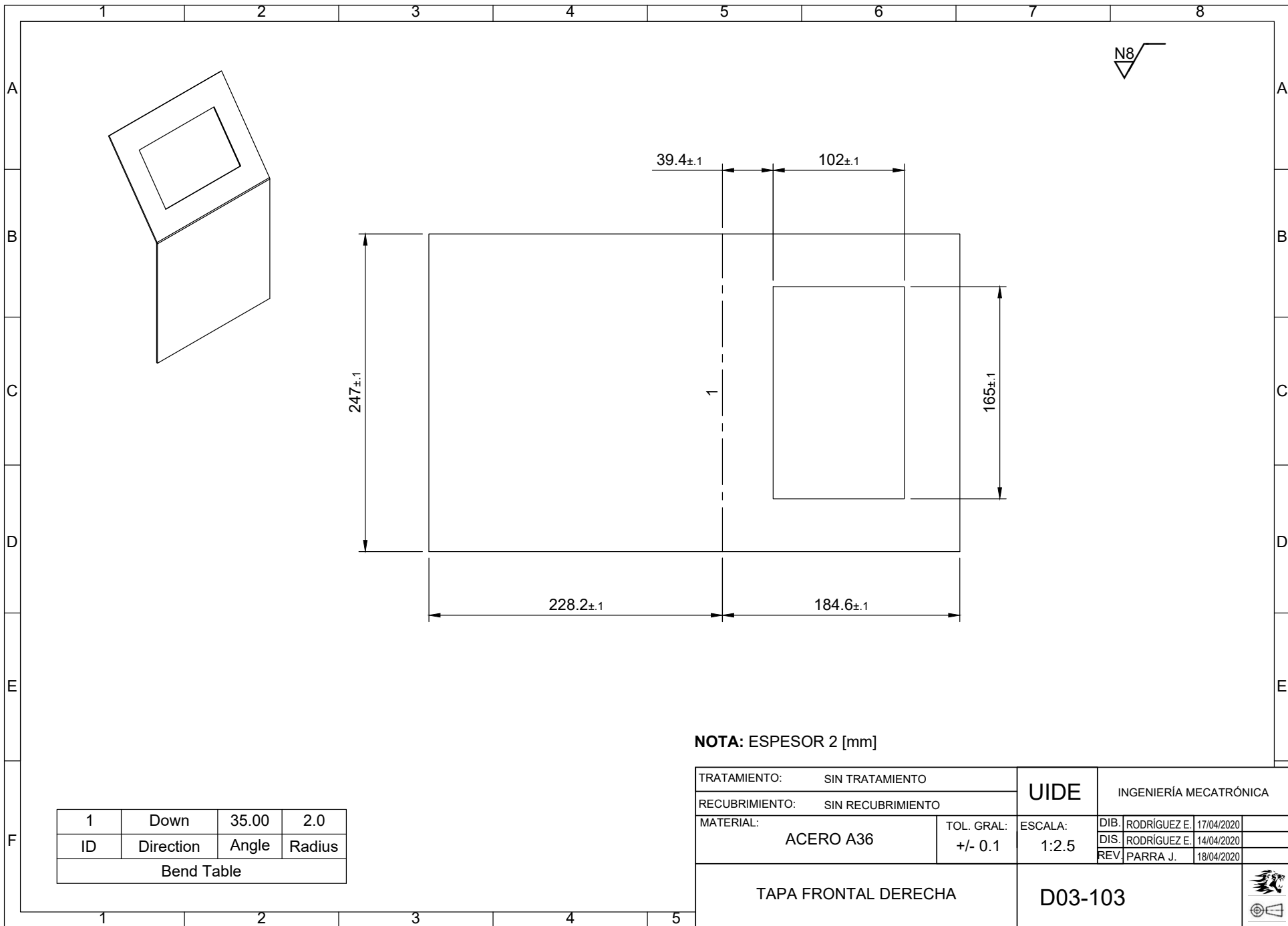
UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB RODRIGUEZ E 17/04/2020 DISE RODRIGUEZ E 18/04/2020 REV FARRA J 18/04/2020
SOLDADURA		D03-002
ESCALA 1:5		



NOTA: ESPESOR 2[mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB.:	17/04/2020
ACERO A36	+/- 0.1	1:2.5	DIS.:	14/04/2020
			REV.:	18/04/2020
TAPA FRONTAL IZQUIERDA		D03-101		

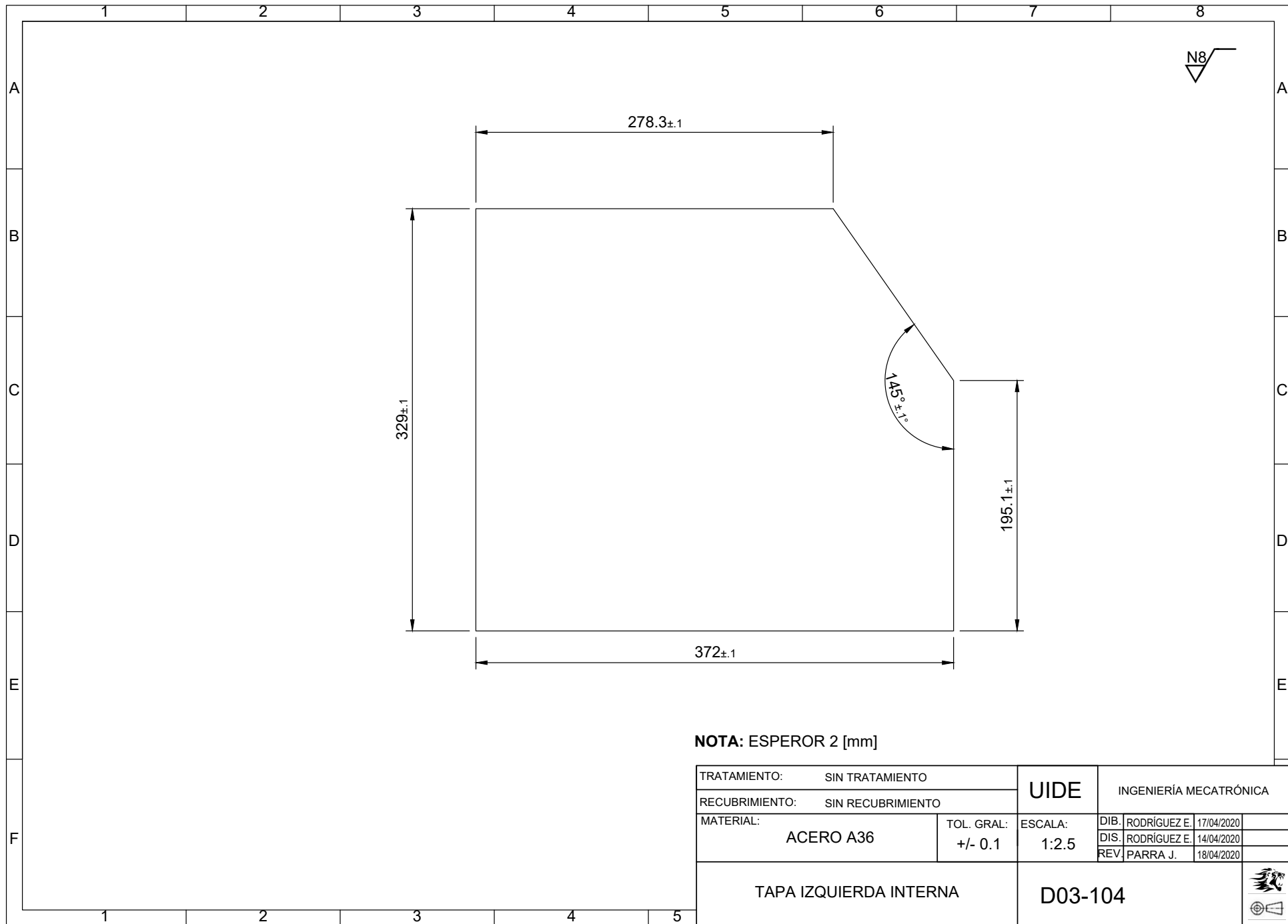


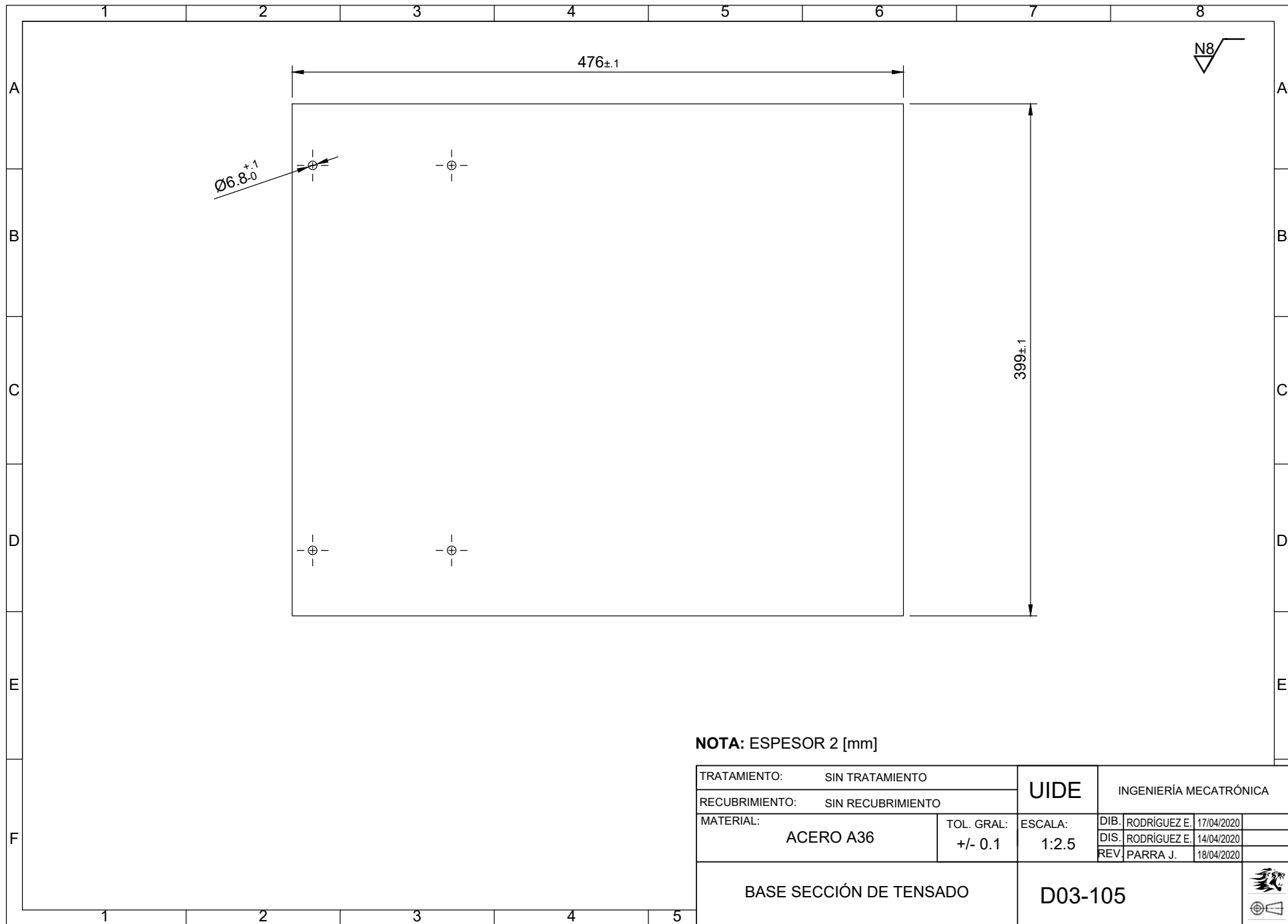


NOTA: ESPESOR 2 [mm]

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO			
MATERIAL:	ACERO A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020
		+/- 0.1	1:2.5	DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020
				REV. PARRA J. 18/04/2020
TAPA FRONTAL DERECHA			D03-103	



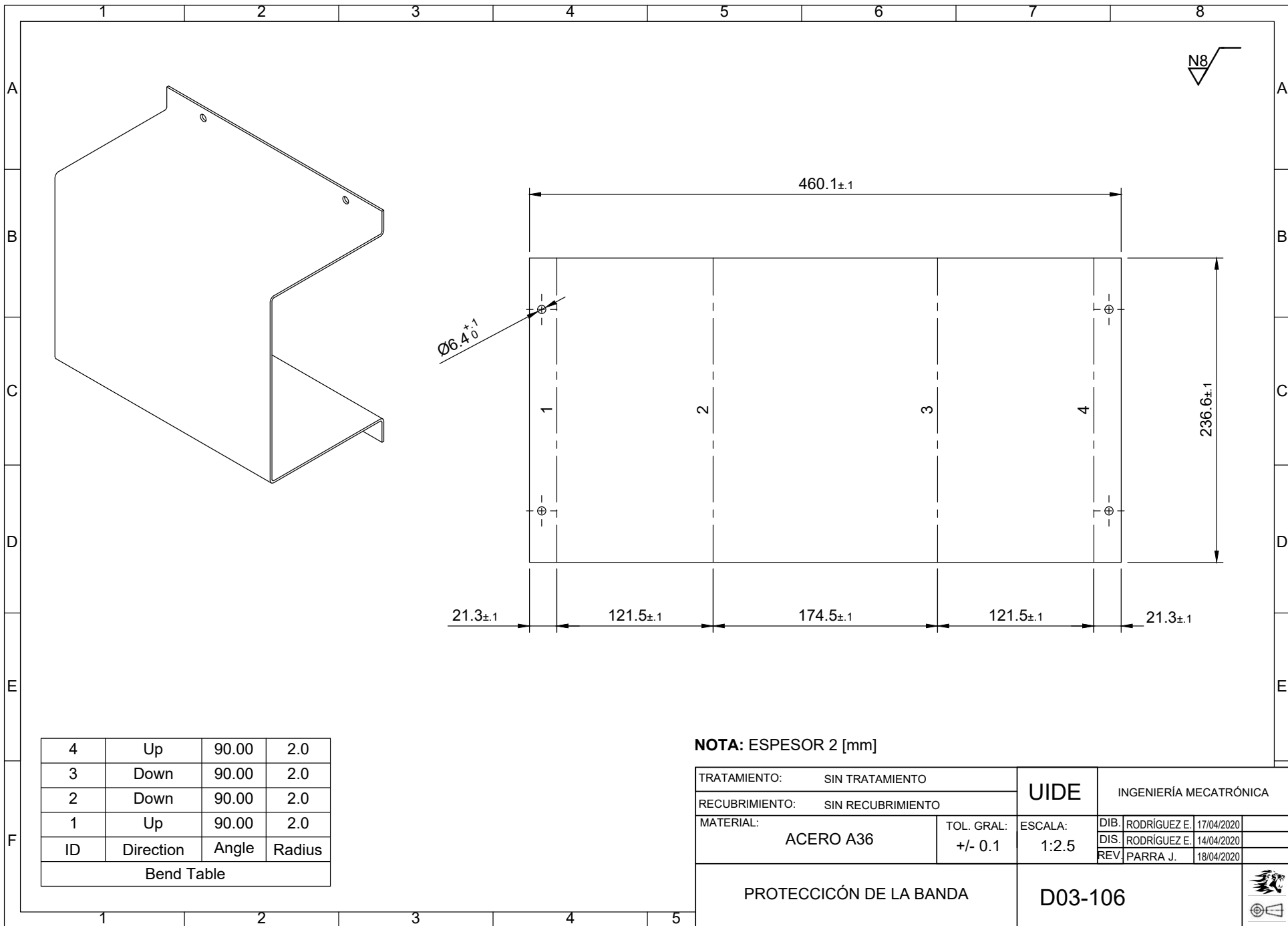




NOTA: ESPESOR 2 [mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020	
BASE SECCIÓN DE TENSADO		D03-105	DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020	
			REV. PARRA J. 18/04/2020	





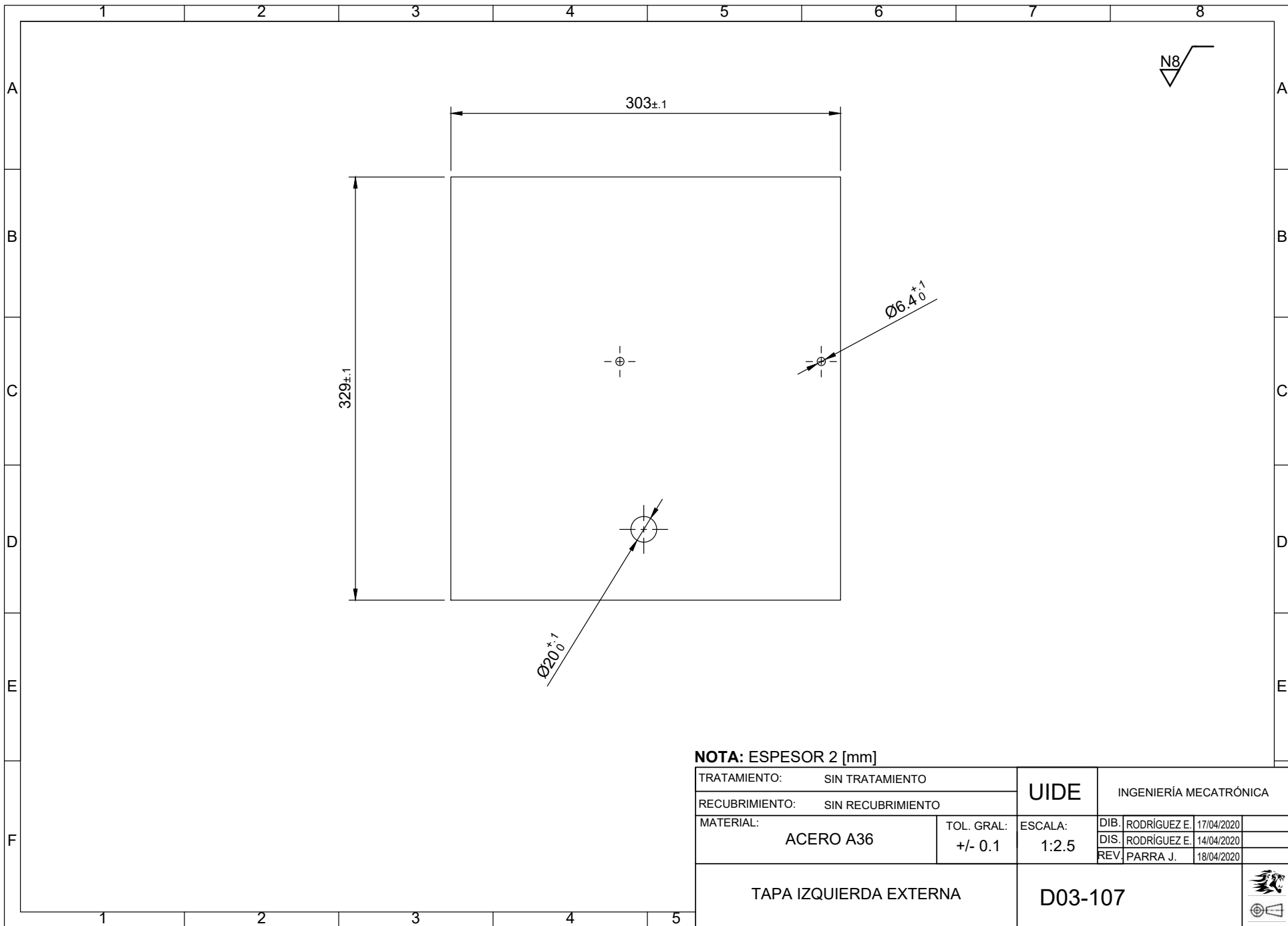
ID	Direction	Angle	Radius
4	Up	90.00	2.0
3	Down	90.00	2.0
2	Down	90.00	2.0
1	Up	90.00	2.0

Bend Table

NOTA: ESPESOR 2 [mm]

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO		DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
MATERIAL:	ACERO A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIS. RODRÍGUEZ E.
		+/- 0.1	1:2.5	14/04/2020
				REV. PARRA J.
				18/04/2020
PROTECCIÓN DE LA BANDA			D03-106	

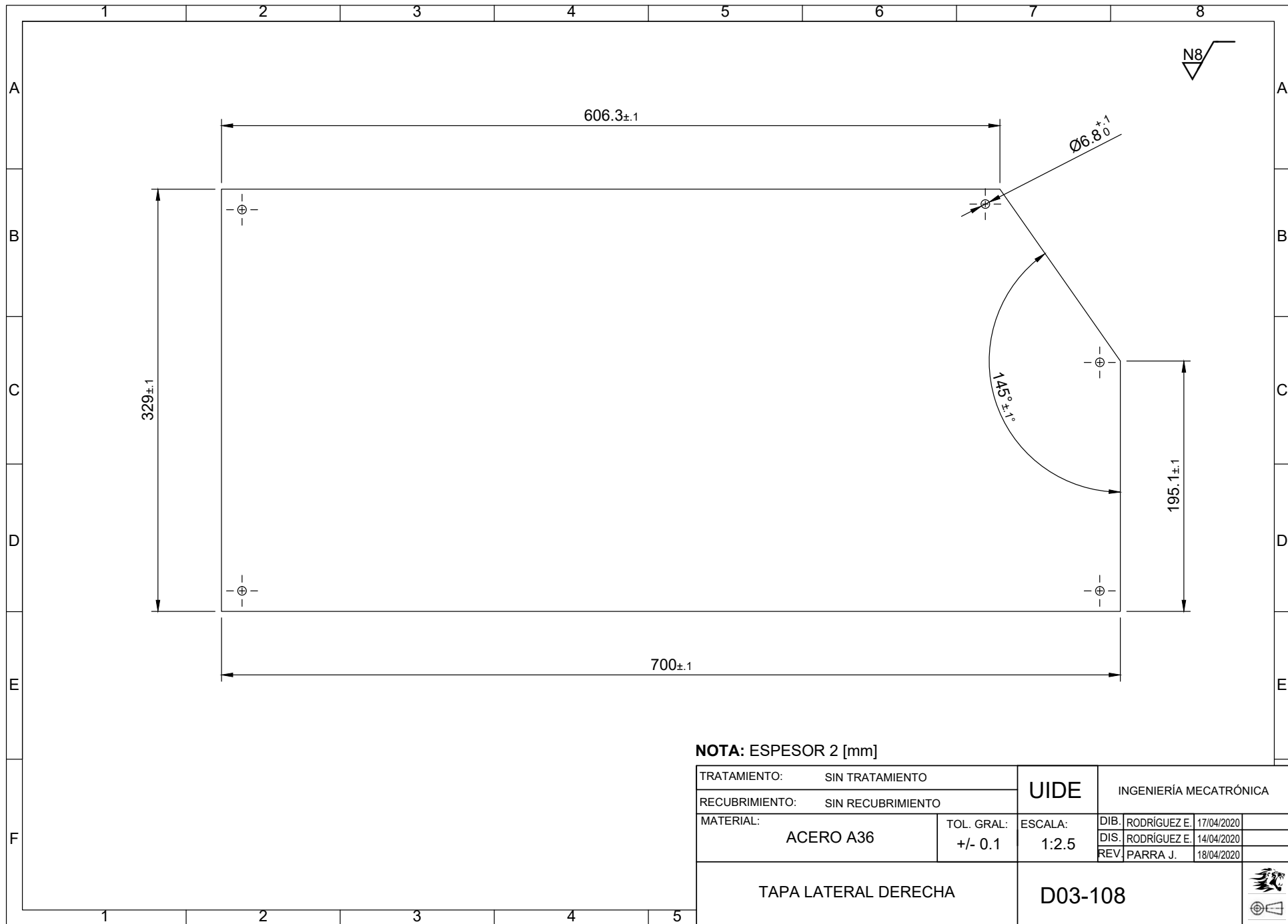




NOTA: ESPESOR 2 [mm]

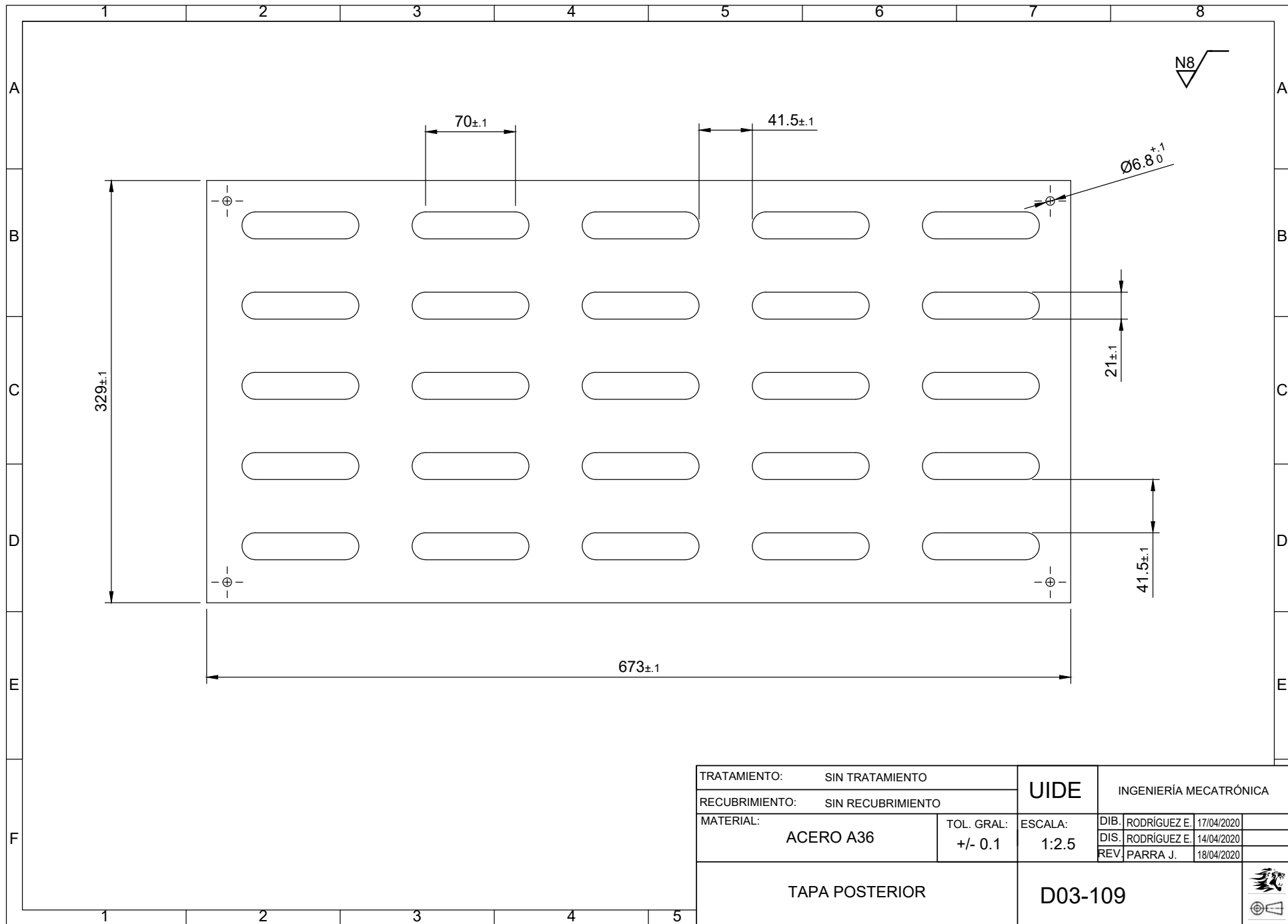
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: ACERO A36		TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020
				DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020
				REV. PARRA J. 18/04/2020
TAPA IZQUIERDA EXTERNA			D03-107	



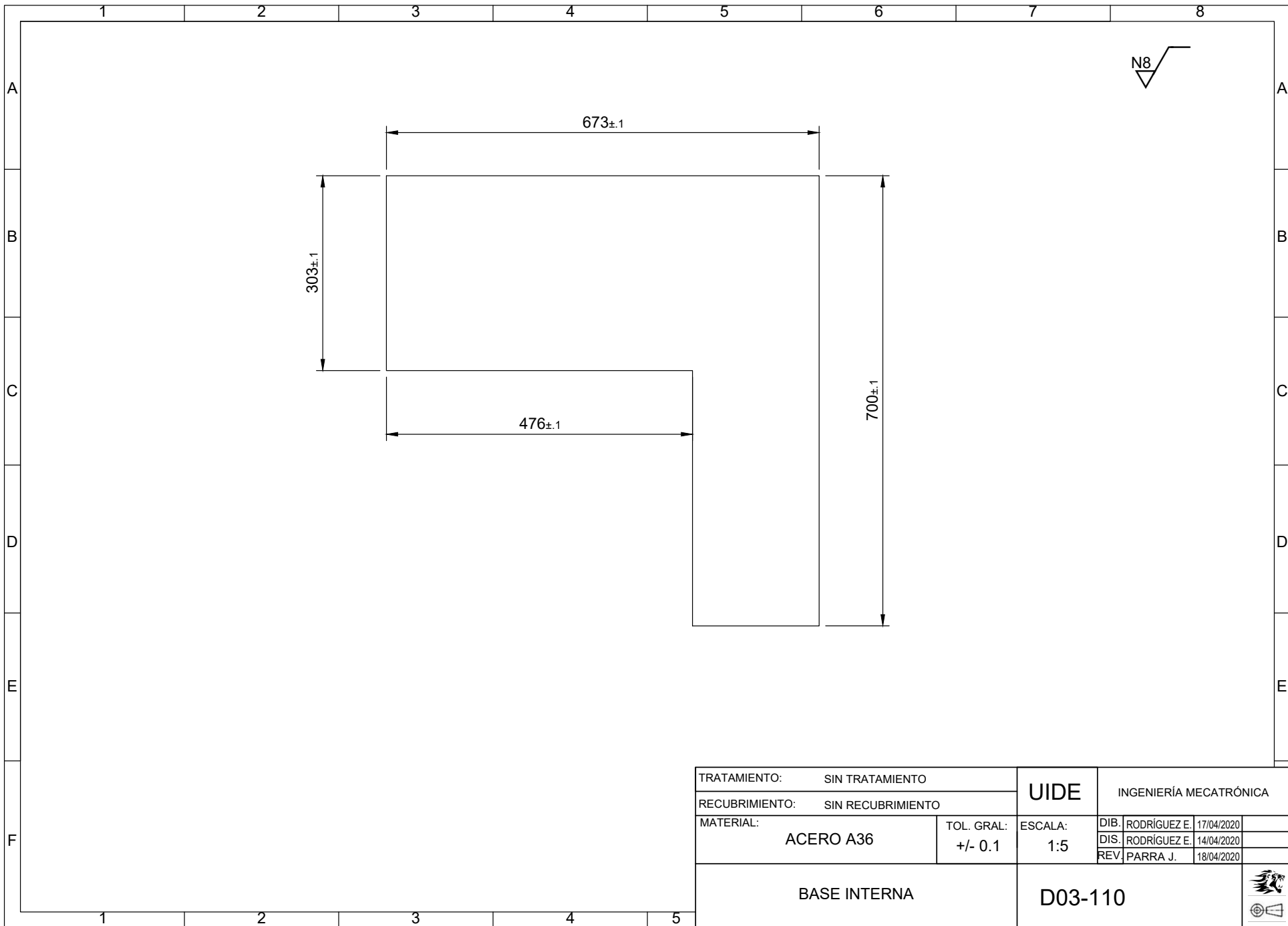


NOTA: ESPESOR 2 [mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB.:	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
ACERO A36	+/- 0.1	1:2.5	DIS.:	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.:	PARRA J.	18/04/2020
TAPA LATERAL DERECHA		D03-108			

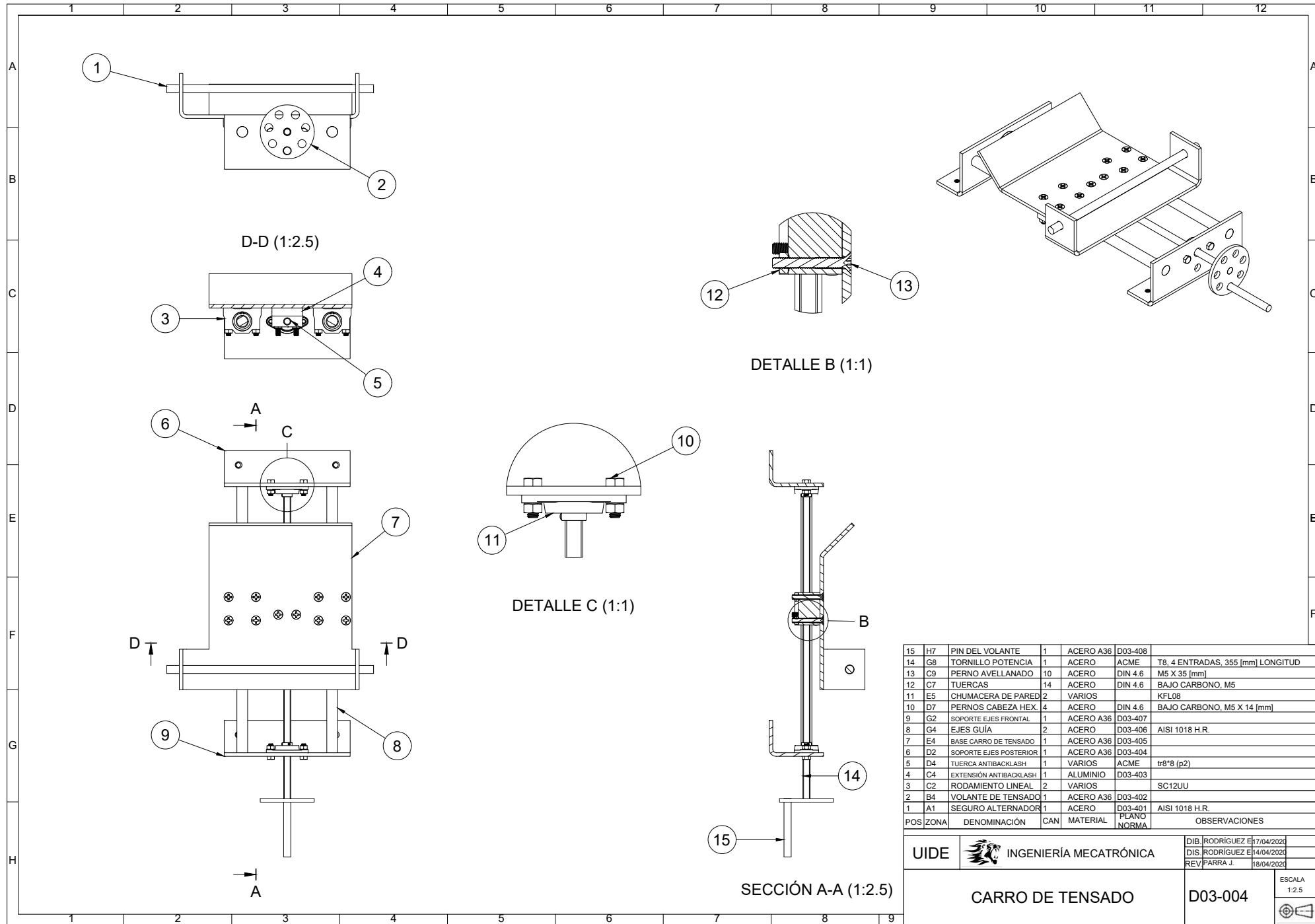


TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020	
			DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020	
			REV. PARRA J. 18/04/2020	
TAPA POSTERIOR		D03-109		



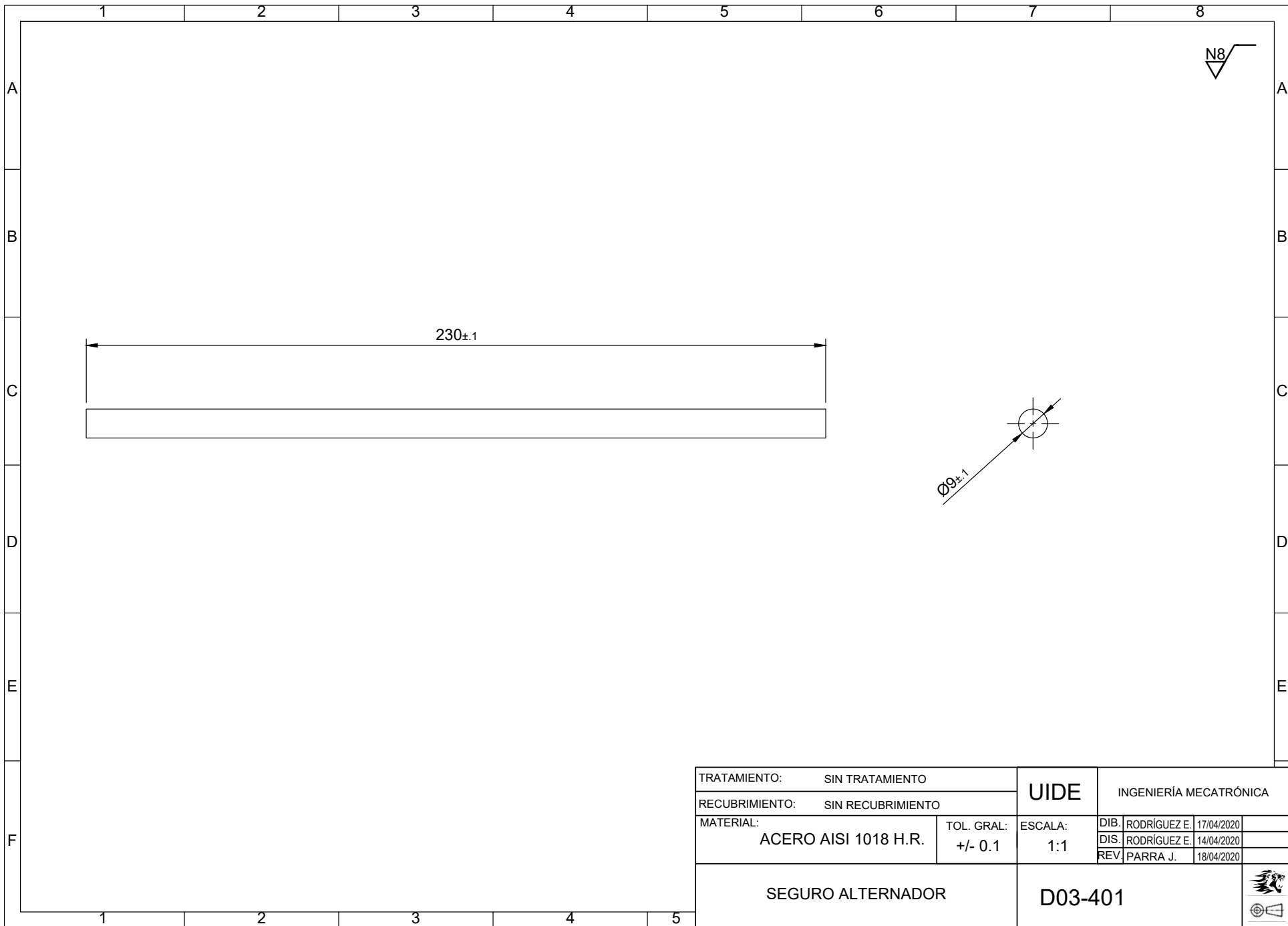
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:5	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020	
BASE INTERNA		D03-110	DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020	
			REV. PARRA J. 18/04/2020	



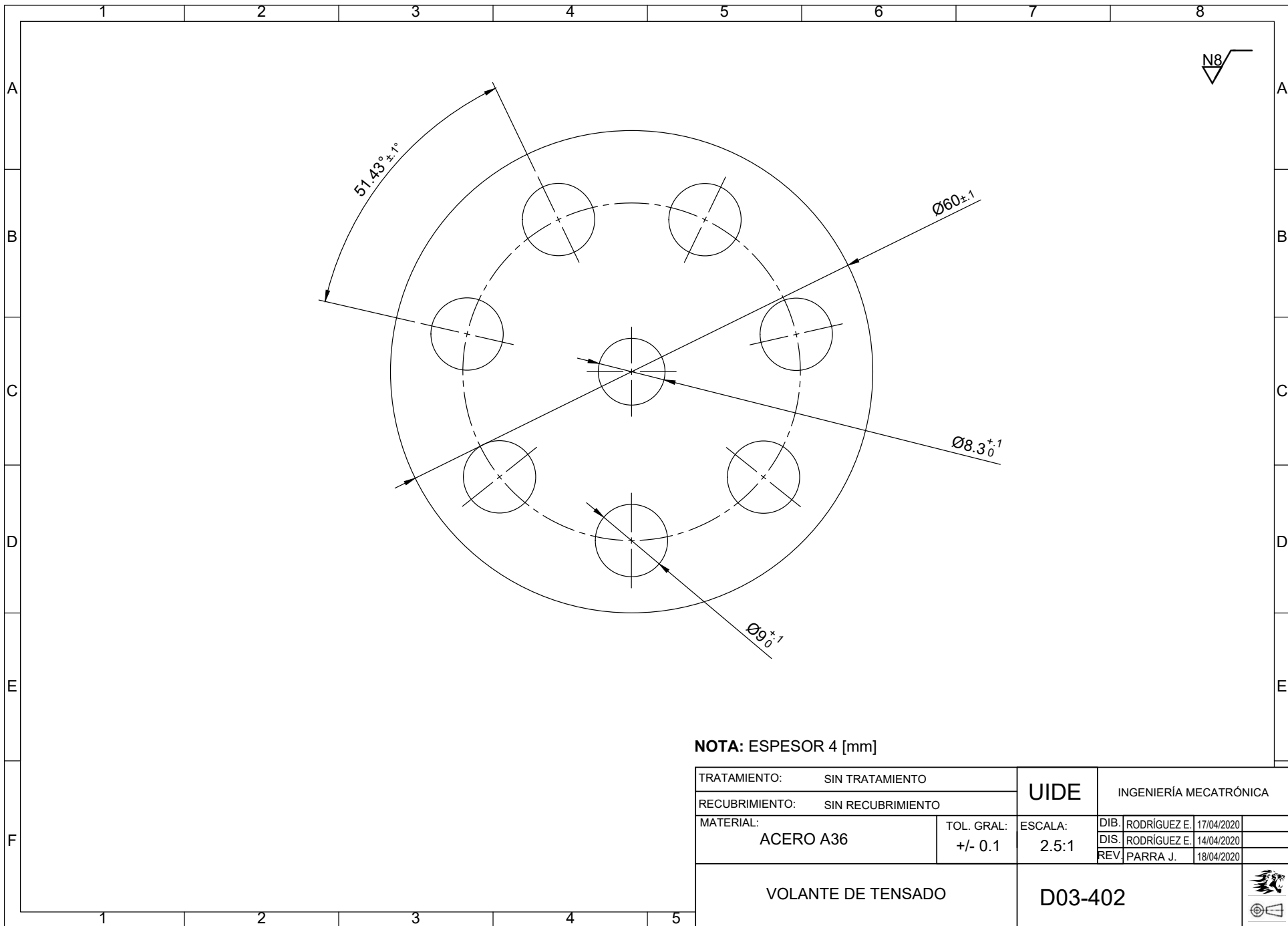


15	H7	PIN DEL VOLANTE	1	ACERO A36	D03-408	
14	G8	TORNILLO POTENCIA	1	ACERO	ACME	T8, 4 ENTRADAS, 355 [mm] LONGITUD
13	C9	PERNO AVELLANADO	10	ACERO	DIN 4.6	M5 X 35 [mm]
12	C7	TUERCAS	14	ACERO	DIN 4.6	BAJO CARBONO, M5
11	E5	CHUMACERA DE PARED	2	VARIOS		KFL08
10	D7	PERNOS CABEZA HEX.	4	ACERO	DIN 4.6	BAJO CARBONO, M5 X 14 [mm]
9	G2	SOPORTE EJES FRONTAL	1	ACERO A36	D03-407	
8	G4	EJES GUÍA	2	ACERO	D03-406	AISI 1018 H.R.
7	E4	BASE CARRO DE TENSADO	1	ACERO A36	D03-405	
6	D2	SOPORTE EJES POSTERIOR	1	ACERO A36	D03-404	
5	D4	TUERCA ANTIBACKLASH	1	VARIOS	ACME	t8*8 (p2)
4	C4	EXTENSION ANTIBACKLASH	1	ALUMINIO	D03-403	
3	C2	RODAMIENTO LINEAL	2	VARIOS		SC12UU
2	B4	VOLANTE DE TENSADO	1	ACERO A36	D03-402	
1	A1	SEGURO ALTERNADOR	1	ACERO	D03-401	AISI 1018 H.R.
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CAN	MATERIAL	PLANO	OBSERVACIONES

UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB. RODRÍGUEZ E	17/04/2022
		DIS. RODRÍGUEZ E	14/04/2022
		REV. PARRA J.	18/04/2022
CARRO DE TENSADO		D03-004	ESCALA 1:2.5

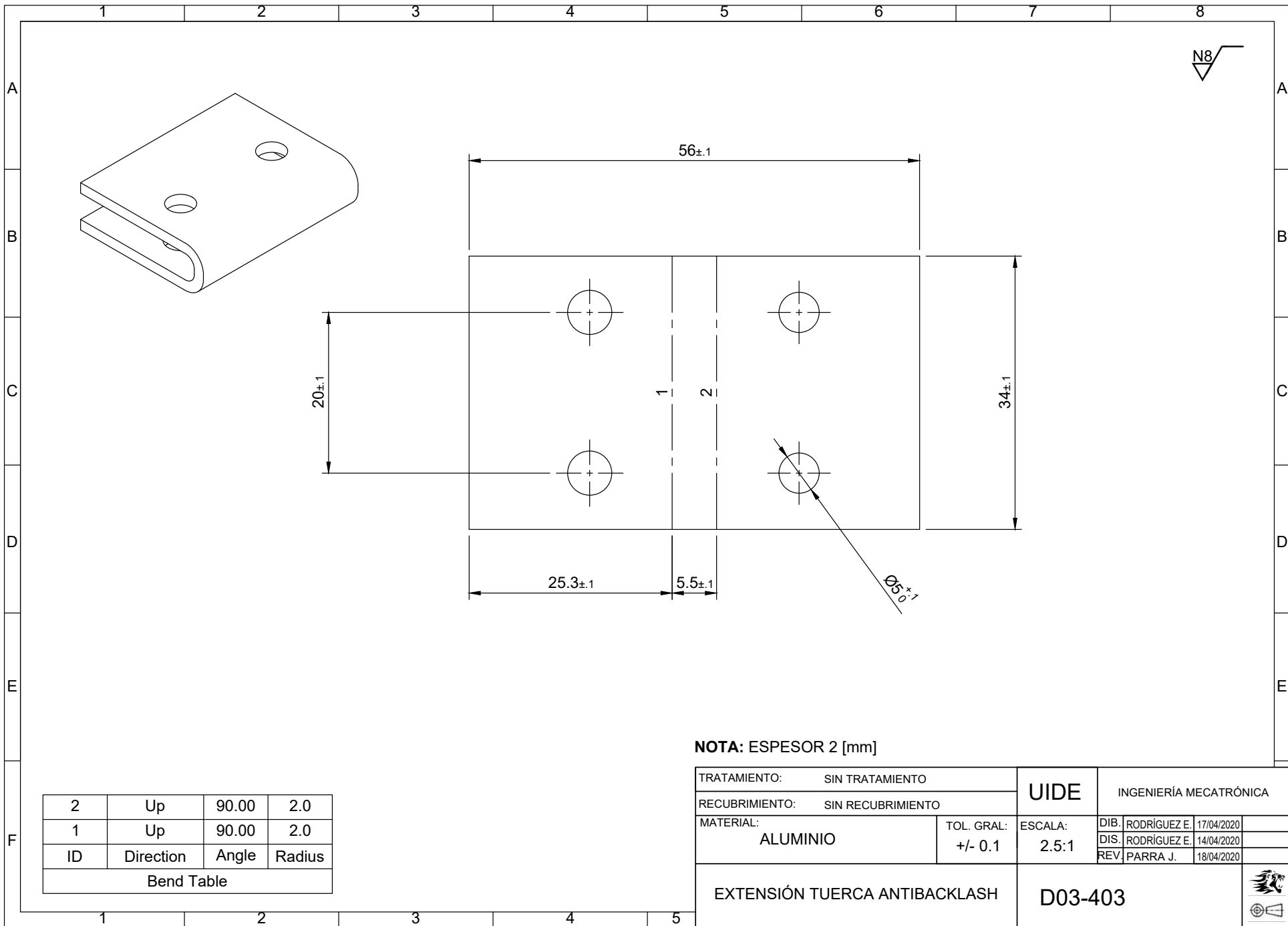


TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
ACERO AISI 1018 H.R.	+/- 0.1	1:1	DIS. RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV. PARRA J.	18/04/2020
SEGURO ALTERNADOR		D03-401		



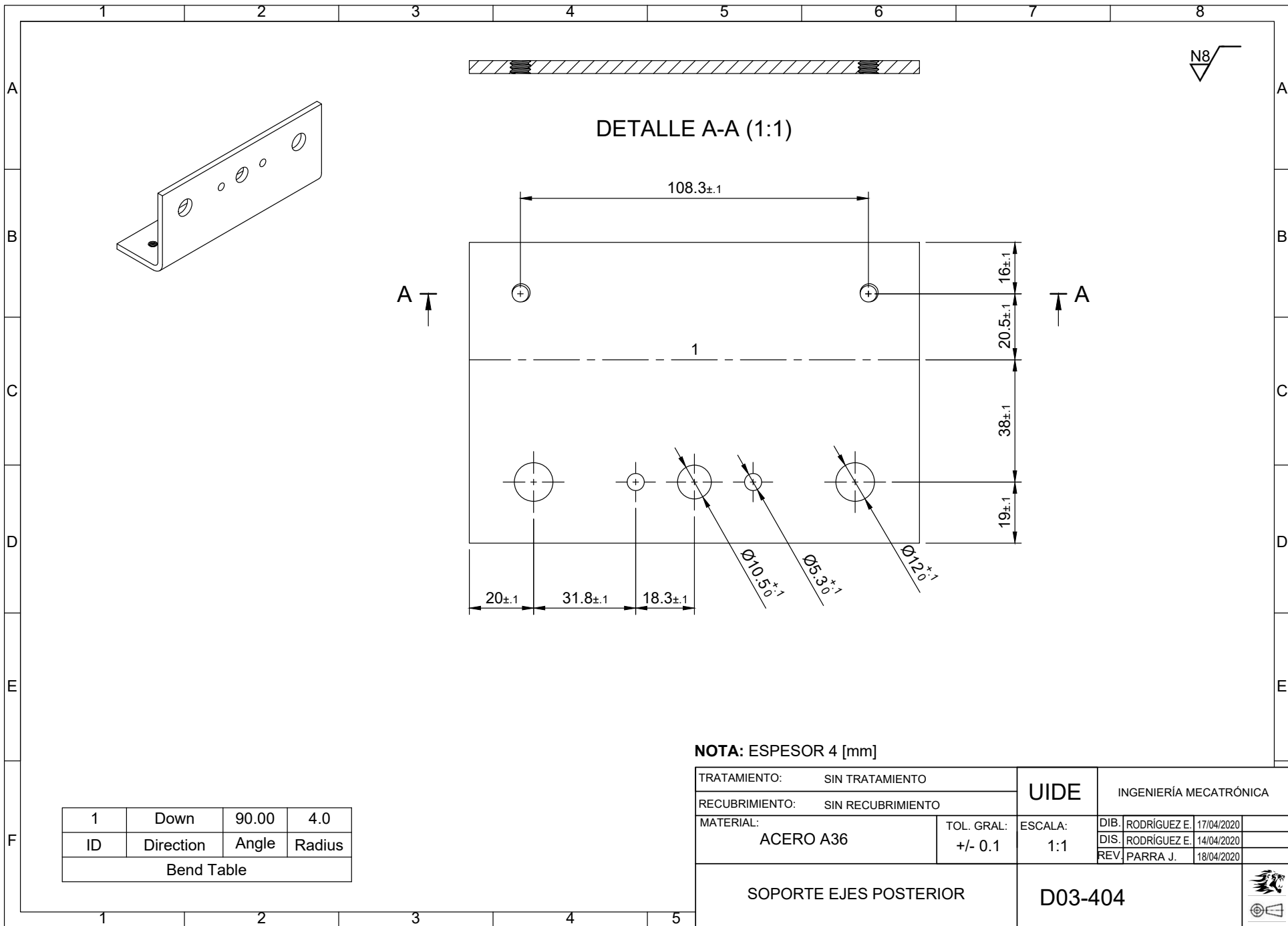
NOTA: ESPESOR 4 [mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020	
			DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020	
			REV. PARRA J. 18/04/2020	
VOLANTE DE TENSADO		D03-402		



NOTA: ESPESOR 2 [mm]

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO		DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
MATERIAL:	ALUMINIO	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIS. RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
		+/- 0.1	2.5:1	REV. PARRA J.	18/04/2020
EXTENSIÓN TUERCA ANTIBACKLASH			D03-403		



DETALLE A-A (1:1)

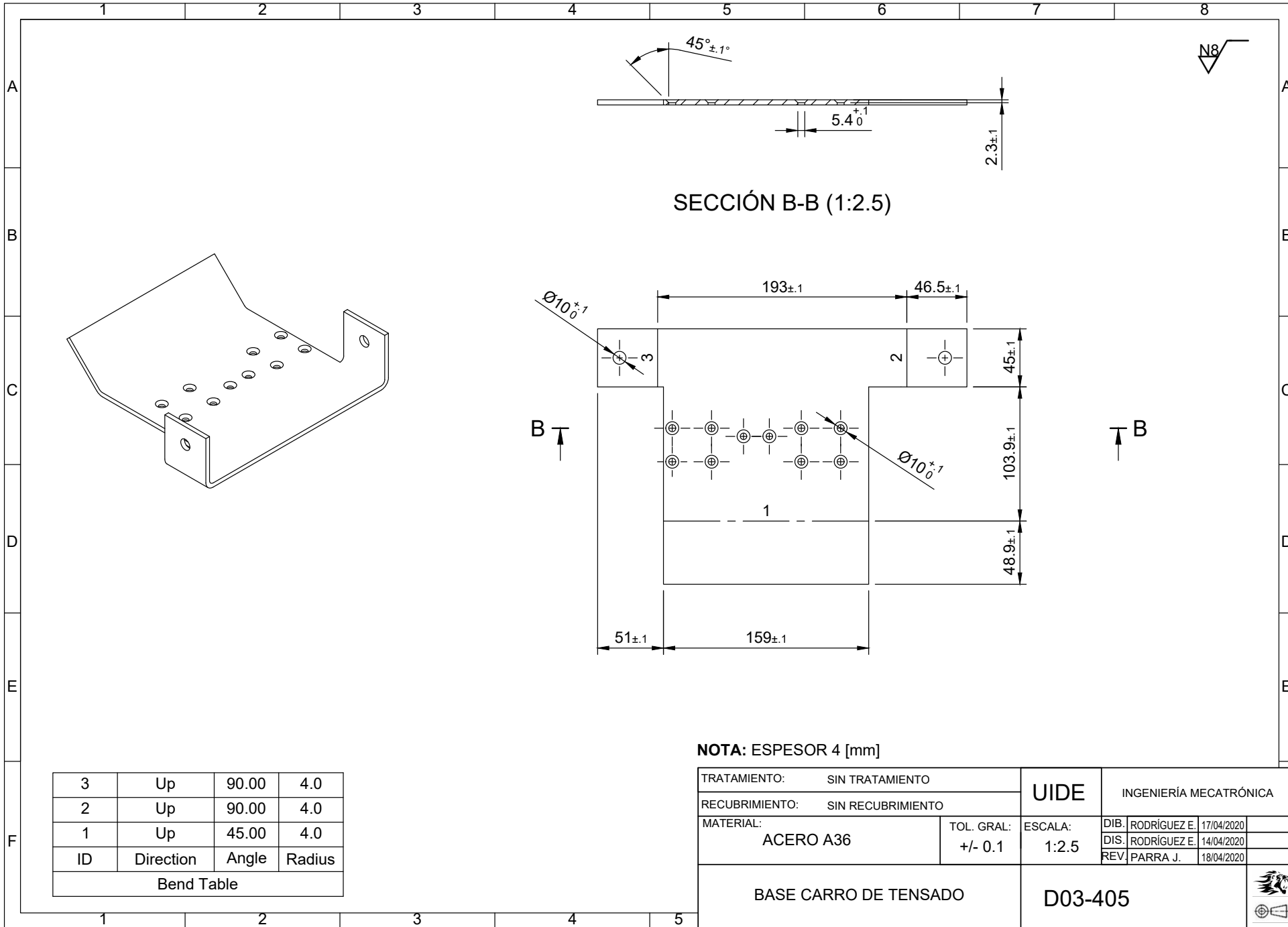


ID	Direction	Angle	Radius
1	Down	90.00	4.0

Bend Table

NOTA: ESPESOR 4 [mm]

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO		DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
MATERIAL:	ACERO A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIS. RODRÍGUEZ E.
		+/- 0.1	1:1	14/04/2020
SOPORTE EJES POSTERIOR			REV. PARRA J.	18/04/2020
			D03-404	



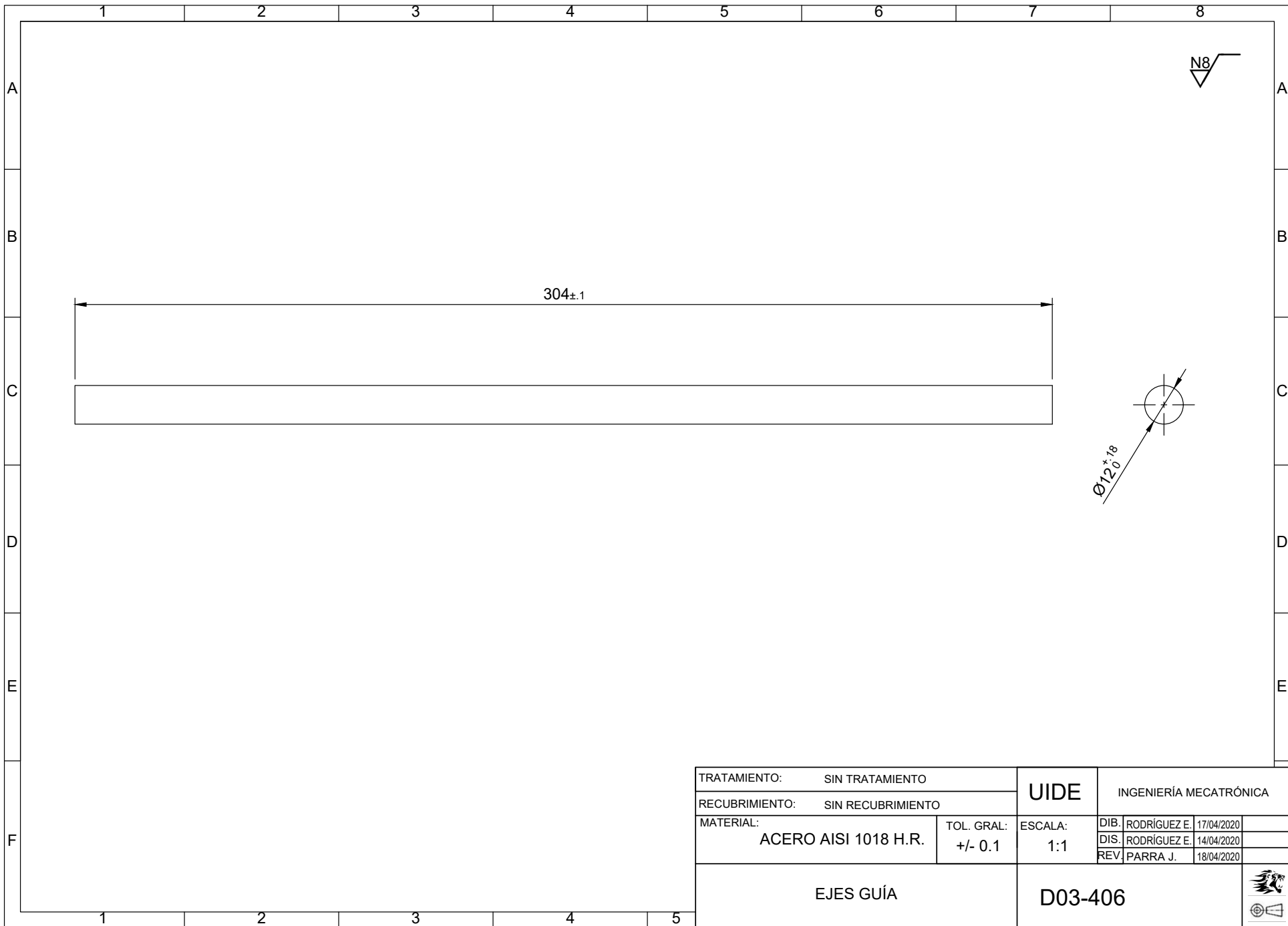
SECCIÓN B-B (1:2.5)

3	Up	90.00	4.0
2	Up	90.00	4.0
1	Up	45.00	4.0
ID	Direction	Angle	Radius
Bend Table			

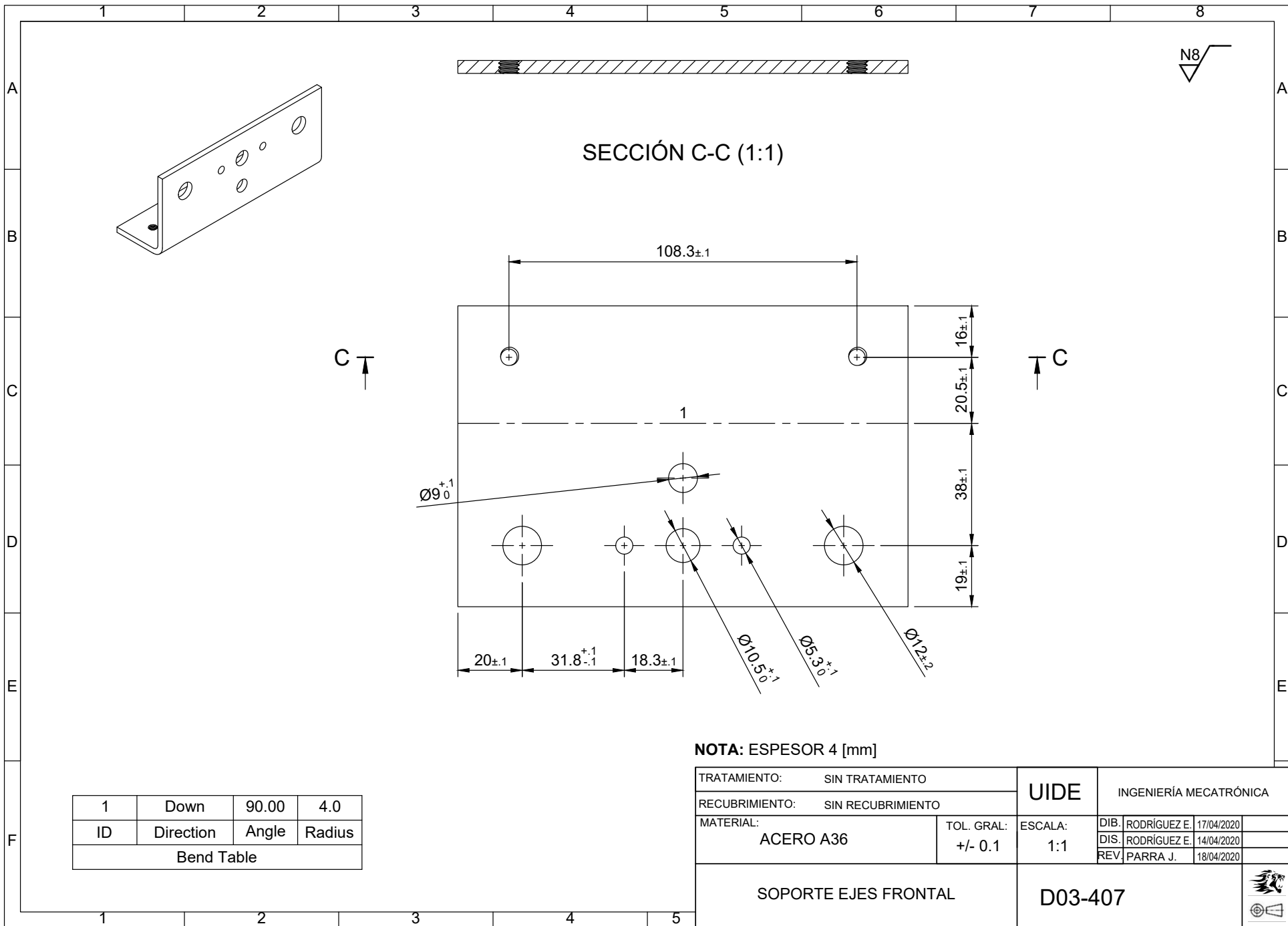
NOTA: ESPESOR 4 [mm]

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO		DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
MATERIAL:	ACERO A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIS. RODRÍGUEZ E.
		+/- 0.1	1:2.5	14/04/2020
			REV. PARRA J.	18/04/2020
BASE CARRO DE TENSADO			D03-405	





TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB.:	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
ACERO AISI 1018 H.R.	+/- 0.1	1:1	DIS.:	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.:	PARRA J.	18/04/2020
EJES GUÍA		D03-406			



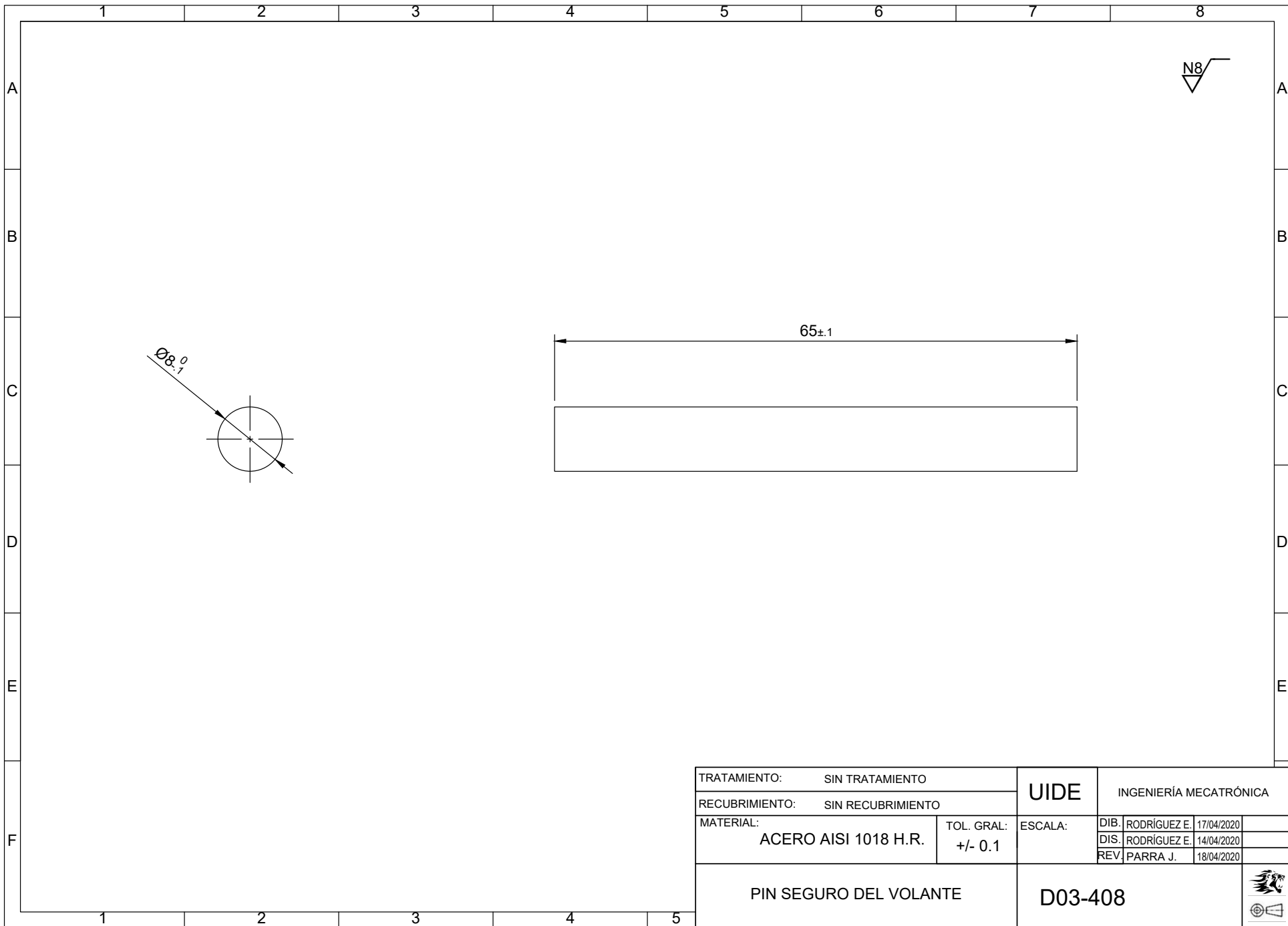
SECCIÓN C-C (1:1)

NOTA: ESPESOR 4 [mm]

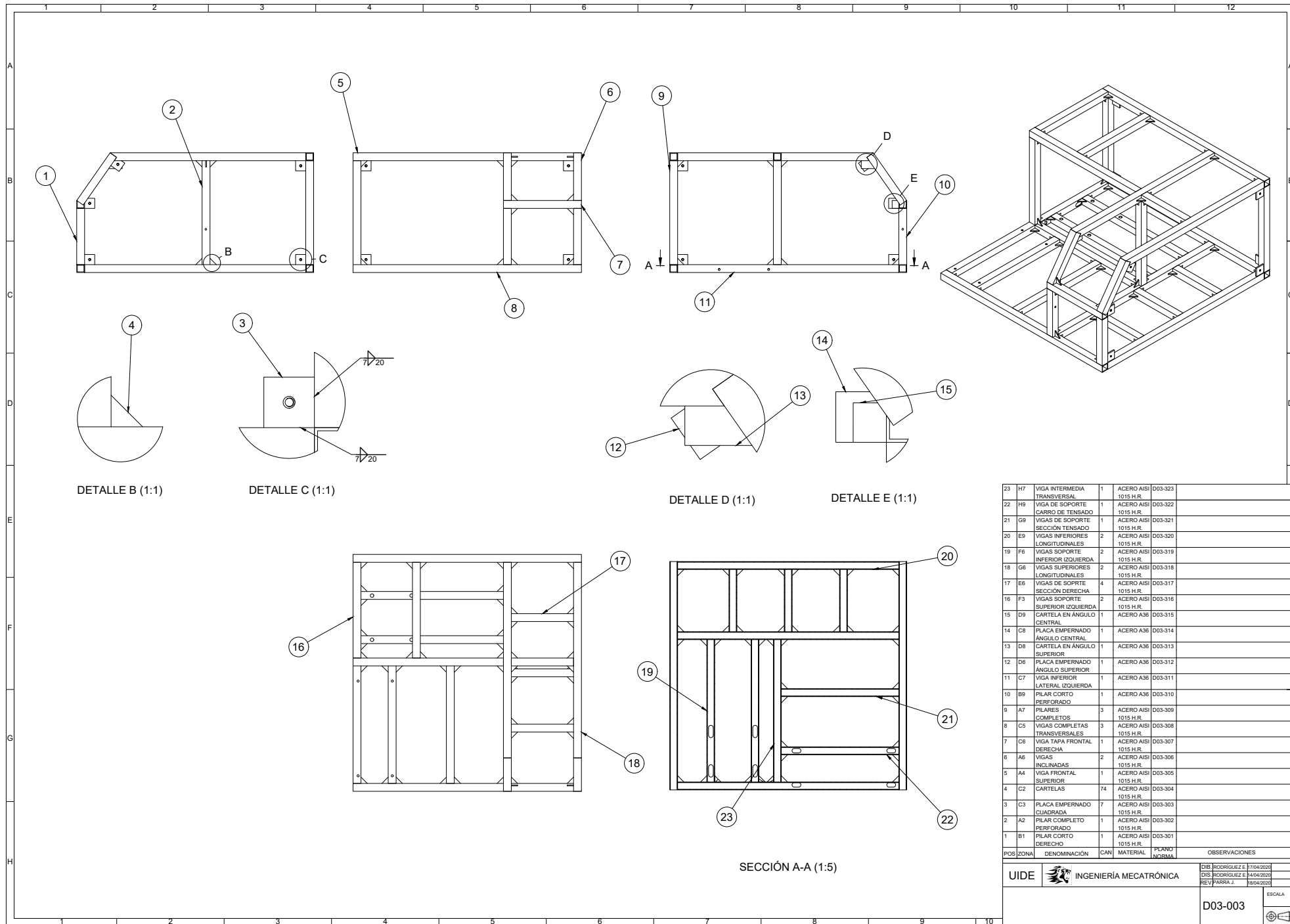
ID	Direction	Angle	Radius
1	Down	90.00	4.0
Bend Table			

TRATAMIENTO:	SIN TRATAMIENTO	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO:	SIN RECUBRIMIENTO		DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
MATERIAL:	ACERO A36	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIS. RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
		+/- 0.1	1:1	REV. PARRA J.	18/04/2020
SOPORTE EJES FRONTAL			D03-407		






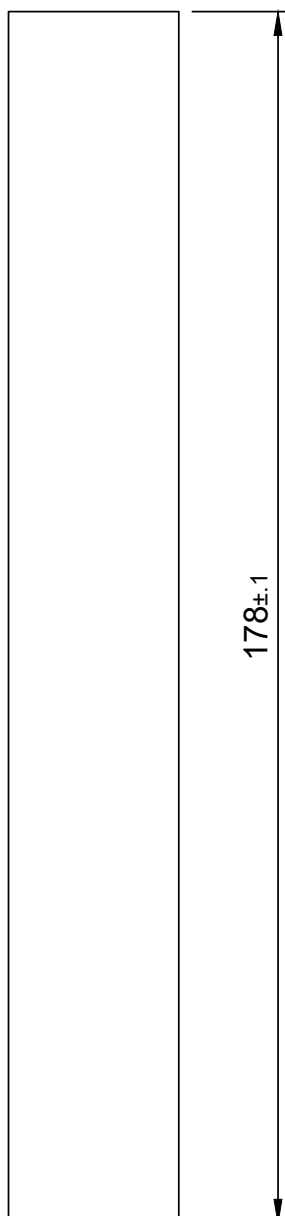
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO				
MATERIAL:	TOL. GRAL:	ESCALA:	DIB. RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
ACERO AISI 1018 H.R.	+/- 0.1		DIS. RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV. PARRA J.	18/04/2020
PIN SEGURO DEL VOLANTE		D03-408		





23	H7	VIGA INTERMEDIA TRANSVERSAL	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-323	
22	H9	VIGA DE SOPORTE CARRO DE TENSADO	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-322	
21	G9	VIGAS DE SOPORTE SECCIÓN TENSADO	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-321	
20	E9	VIGAS INFERIORES LONGITUDINALES	2	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-320	
19	F6	VIGAS SOPORTE INFERIOR IZQUIERDA	2	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-319	
18	G6	VIGAS SUPERIORES LONGITUDINALES	2	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-318	
17	E6	VIGAS DE SOPORTE SECCIÓN DERECHA	4	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-317	
16	F3	VIGAS SOPORTE SUPERIOR IZQUIERDA	2	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-316	
15	D9	CARTELA EN ANGULO CENTRAL	1	ACERO A36	D03-315	
14	C8	PLACA EMPERNADO ANGULO CENTRAL	1	ACERO A36	D03-314	
13	D8	CARTELA EN ANGULO SUPERIOR	1	ACERO A36	D03-313	
12	D6	PLACA EMPERNADO ANGULO SUPERIOR	1	ACERO A36	D03-312	
11	C7	VIGA INFERIOR LATERAL IZQUIERDA	1	ACERO A36	D03-311	
10	B9	PILAR CORTO PERFORADO	1	ACERO A36	D03-310	
9	A7	PILARES COMPLETOS	3	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-309	
8	C5	VIGAS COMPLETAS TRANSVERSALES	3	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-308	
7	C6	VIGA TAPA FRONTAL DERECHA	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-307	
6	A6	VIGAS INCLINADAS	2	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-306	
5	A4	VIGA FRONTAL SUPERIOR	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-305	
4	C2	CARTELAS	74	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-304	
3	C3	PLACA EMPERNADO CUADRADA	7	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-303	
2	A2	PILAR COMPLETO PERFORADO	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-302	
1	B1	PILAR CORTO DERECHO	1	ACERO AISI 1015 H.R.	D03-301	
POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CAN	MATERIAL	PLANO	NORMA
						OBSERVACIONES

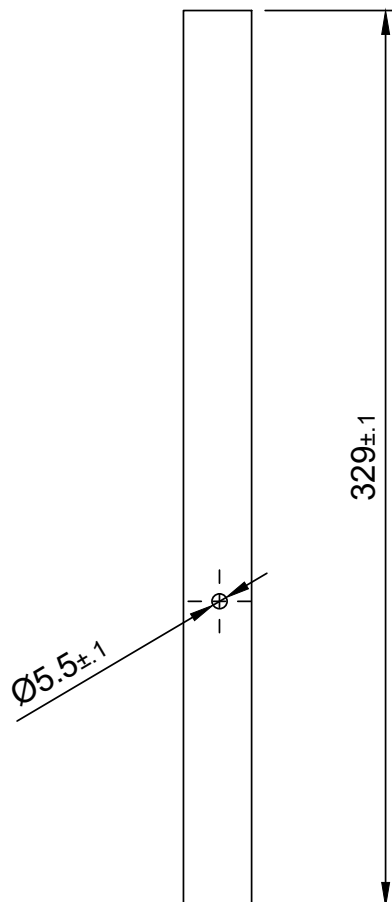
UIDE  INGENIERÍA MECATRÓNICA
 DIB RODRIGUEZ E 17/04/2020
 DIB RODRIGUEZ E 18/04/2020
 REV FARRA J 18/04/2020

ESCALA
D03-003





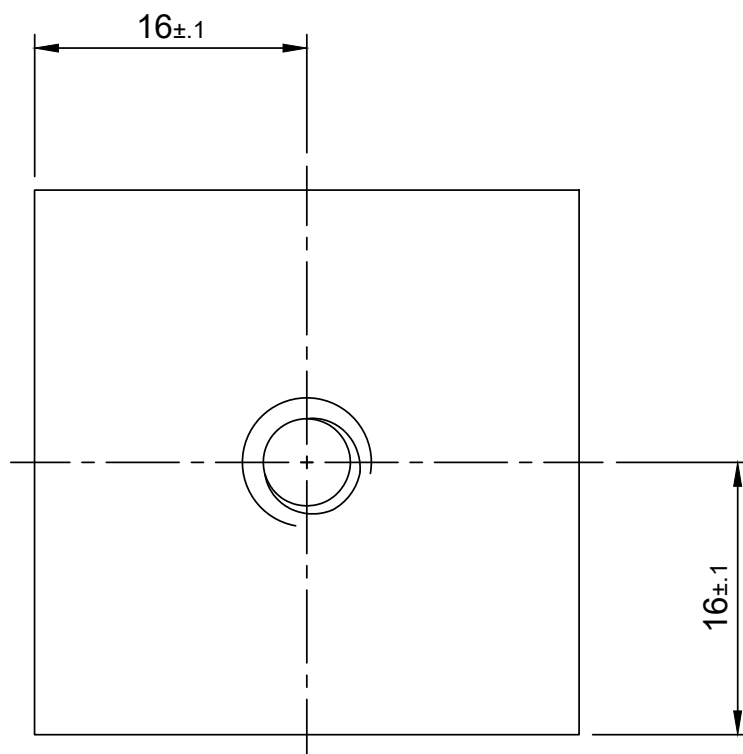
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
PILAR CORTO DERECHO		D03-301				 




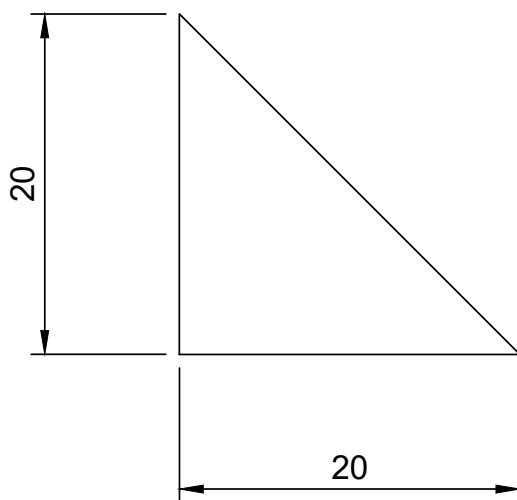
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
PILAR COMPLETO PERFORADO		D03-302			 



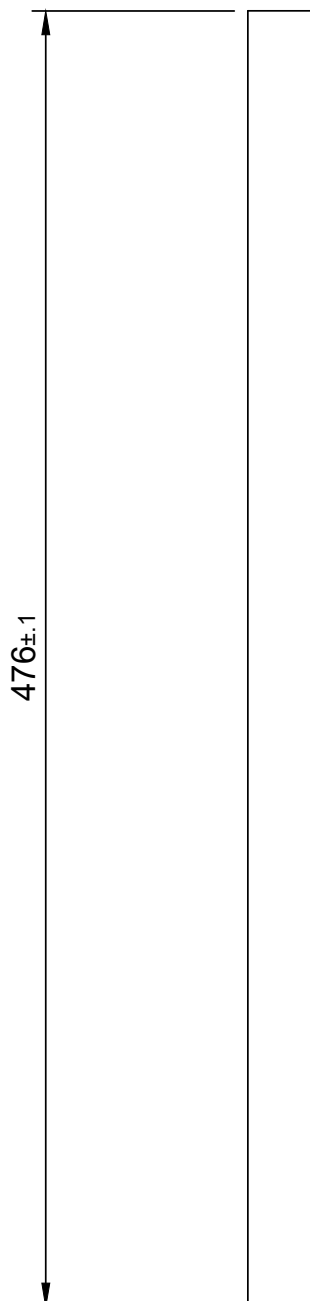
NOTA: ESPESOR 4 [mm], AGUJERO $\frac{1}{4}$ in[in]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO			DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
			PLACA EMPERNADO CUADRADA			
						





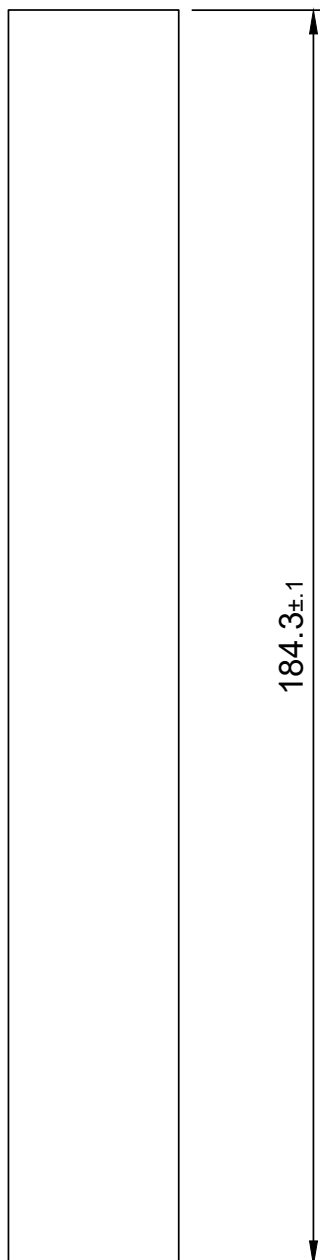
NOTA: ESPESOR 4[mm]



TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO							
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020		
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020		
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020		
CARTELAS		D03-304				 	



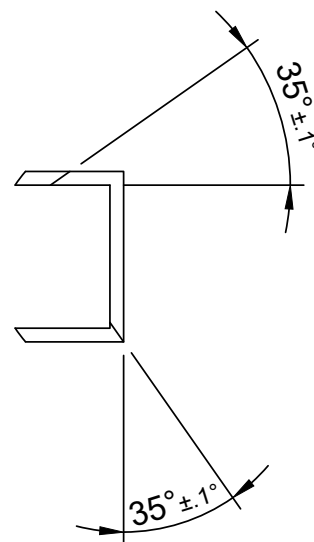
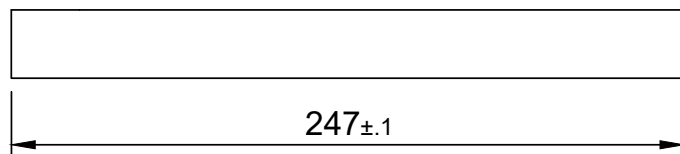
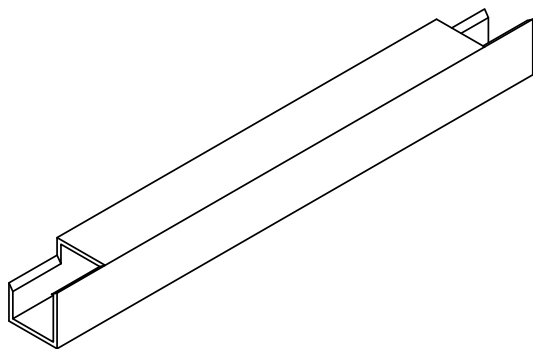
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGA FRONTAL SUPERIOR		D03-305				 

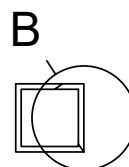


TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGAS INCLINADAS		D03-306				 



N8

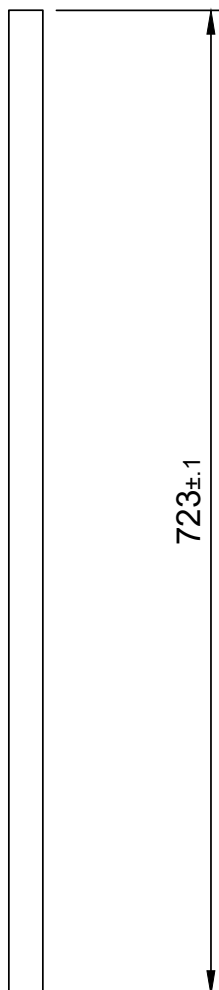




DETALLE B (1:1)

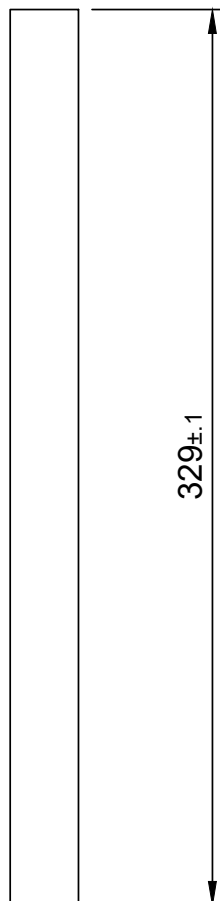


NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor



TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL:	ACERO ASTM A500	TOL. GRAL:	±/ - 0.1	ESCALA:	1:2.5	DIB. RODRÍGUEZ E. 17/04/2020
						DIS. RODRÍGUEZ E. 14/04/2020
						REV. BELTRÁN J. 18/04/2020
VIGA FRONTAL DERECHA				D03-307		 

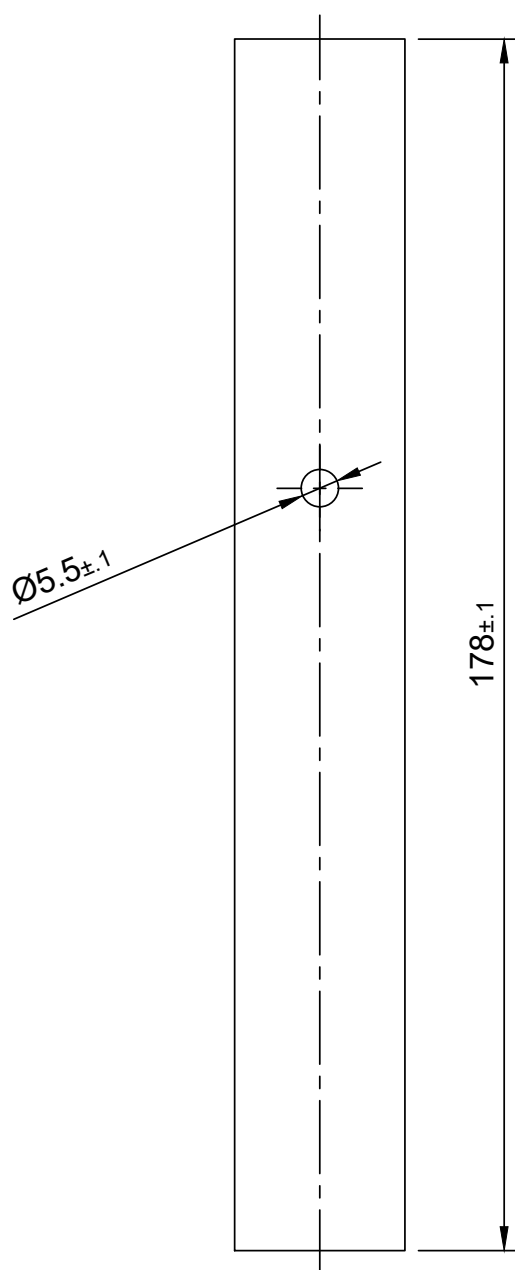


TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
VIGAS COMPLETAS TRANSVERSALES		D03-308			 




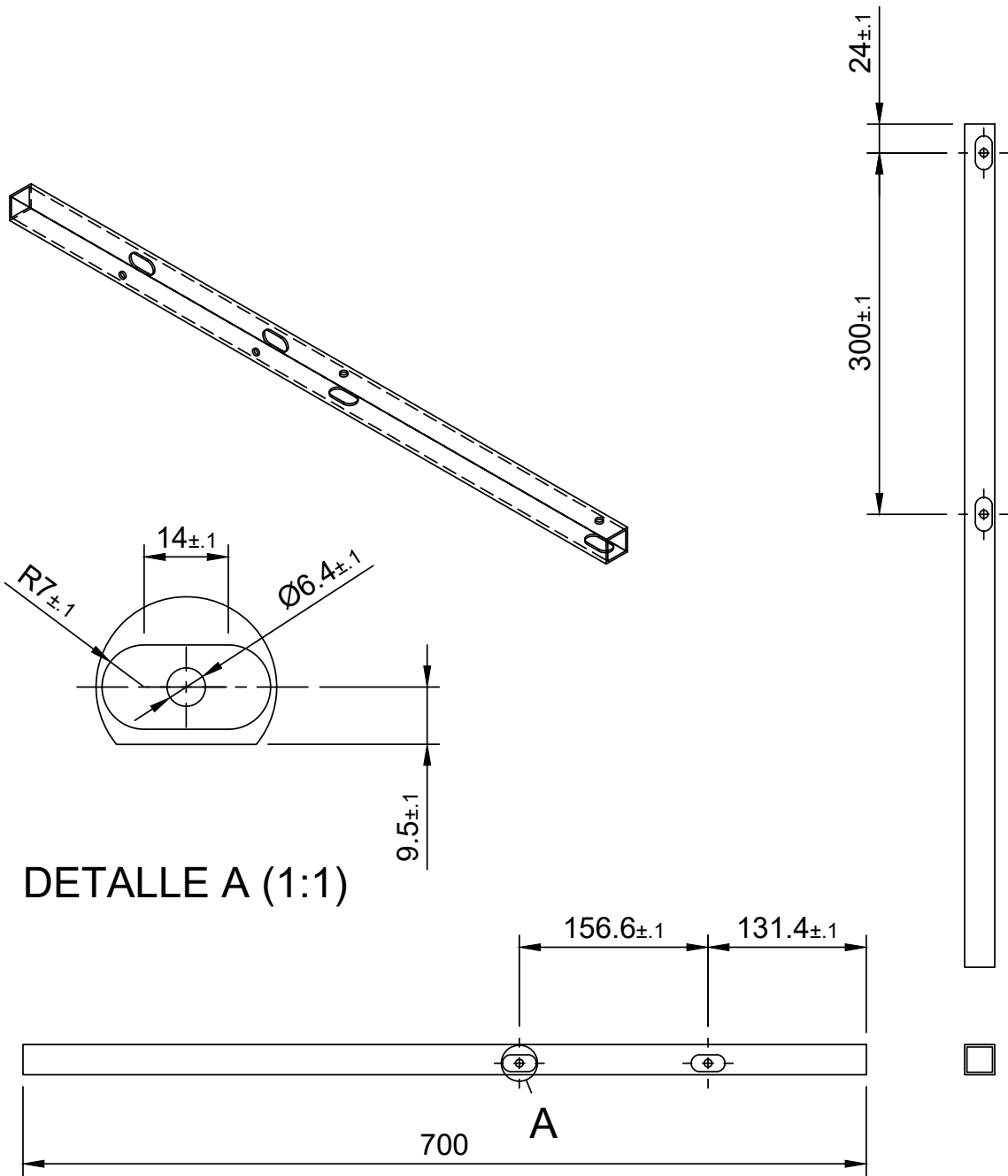
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
PILARES COMPLETOS		D03-309			 



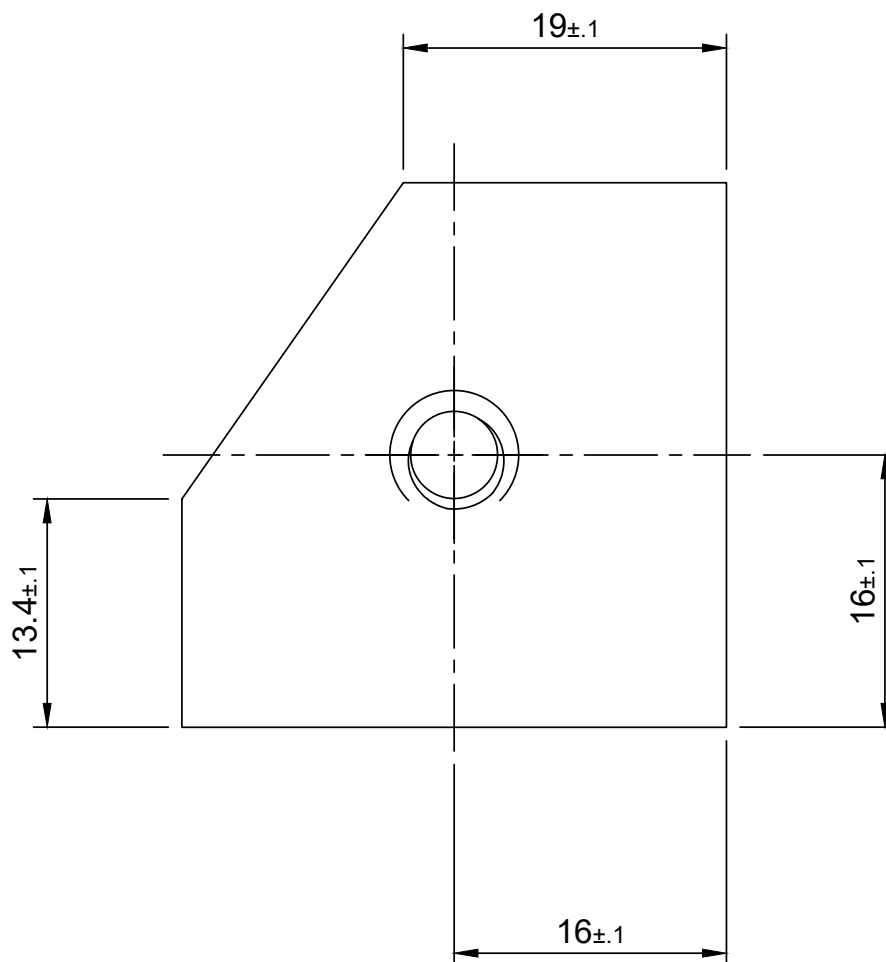
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
PILAR CORTO PERFORADO		D03-310			 





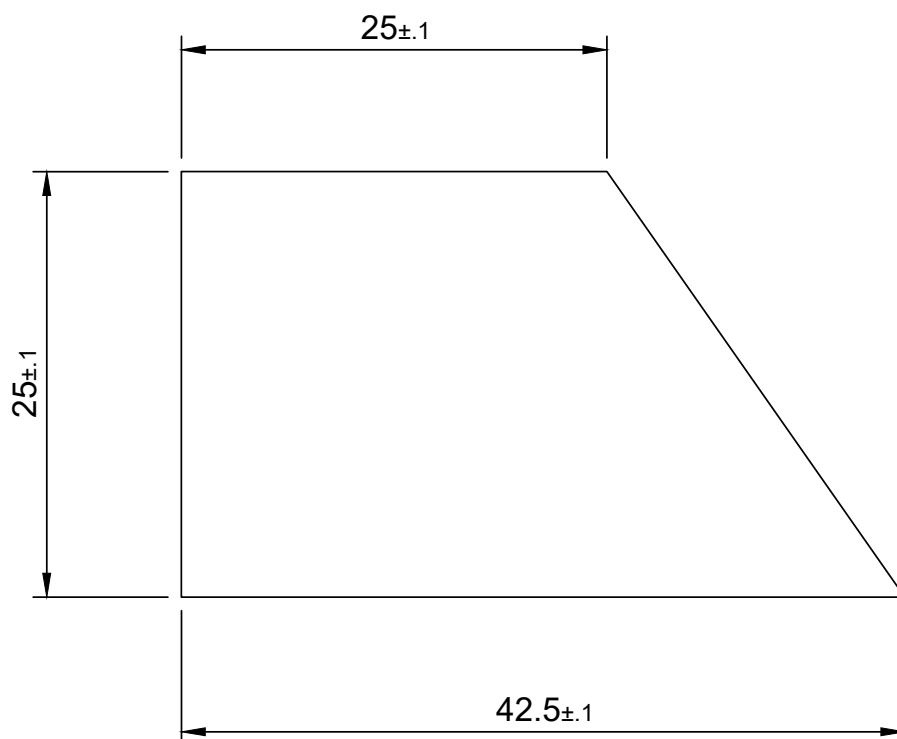
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO			DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:5	DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
			VIGA INFERIOR LATERAL IZQUIERDA		D03-311



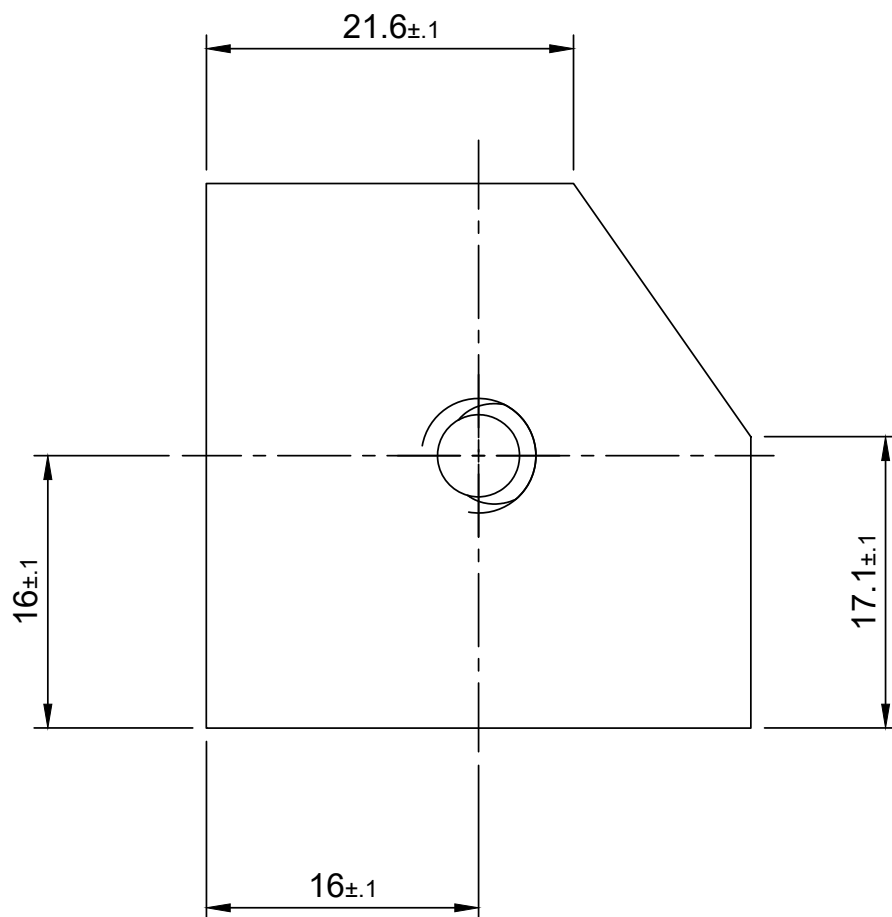
NOTA: ESPESOR 4 [mm], AGUJERO $\frac{1}{4}$ [in]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
PLACA EMPERNADO ÁNGULO SUPERIOR		D03-312				 





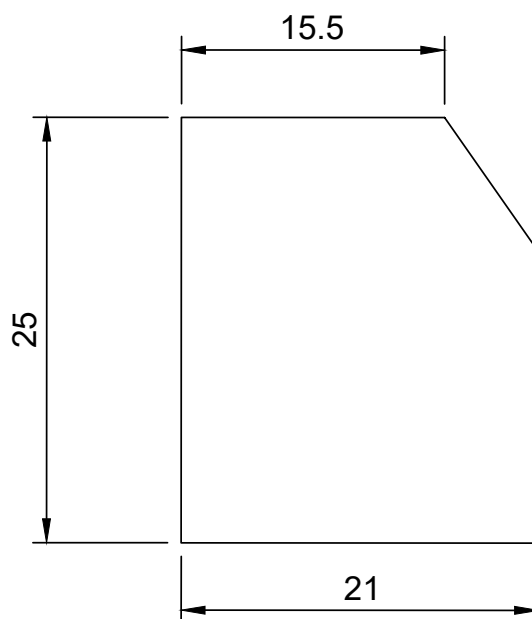
NOTA: ESPESOR 4[mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
CARTELA EN ÁNGULO SUPERIOR		D03-313				





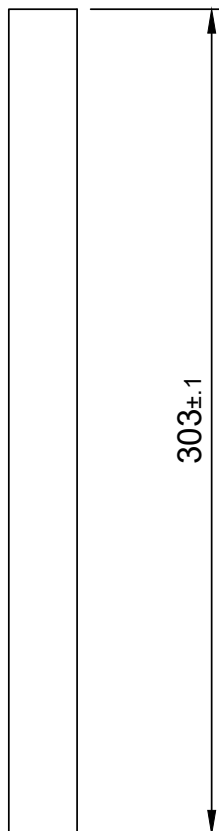
NOTA: ESPESOR 4[mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
PLACA EMPERNADO ÁNGULO CENTRAL		D03-314			 	





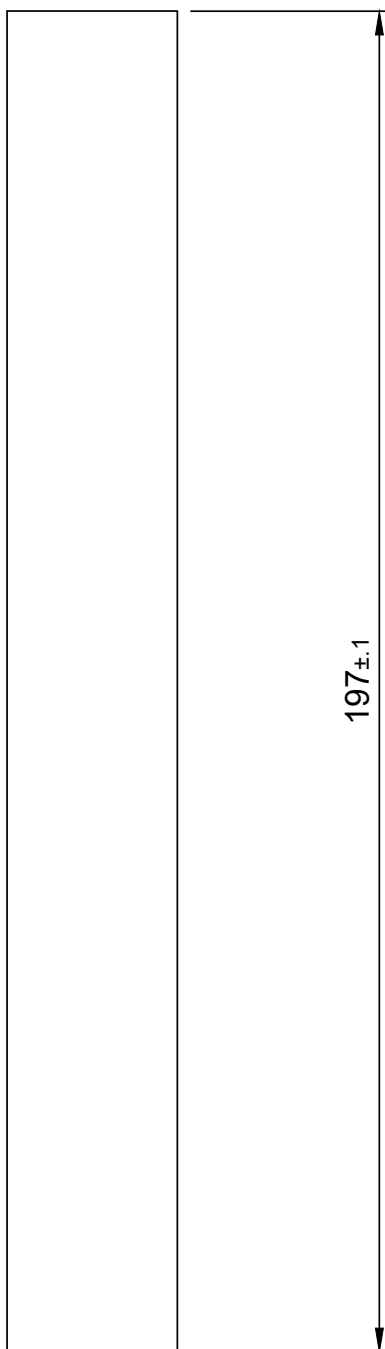
NOTA: ESPESOR 4[mm]

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 2.5:1	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
CARTELA EN ÁNGULO CENTRAL		D03-315				 



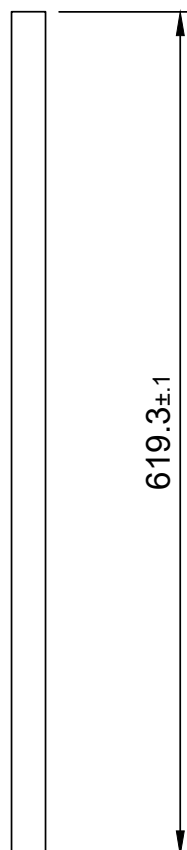
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
VIGAS SOPORTE SUPERIOR IZQUIERDA		D03-316			 





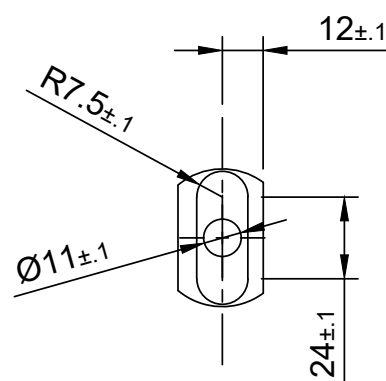
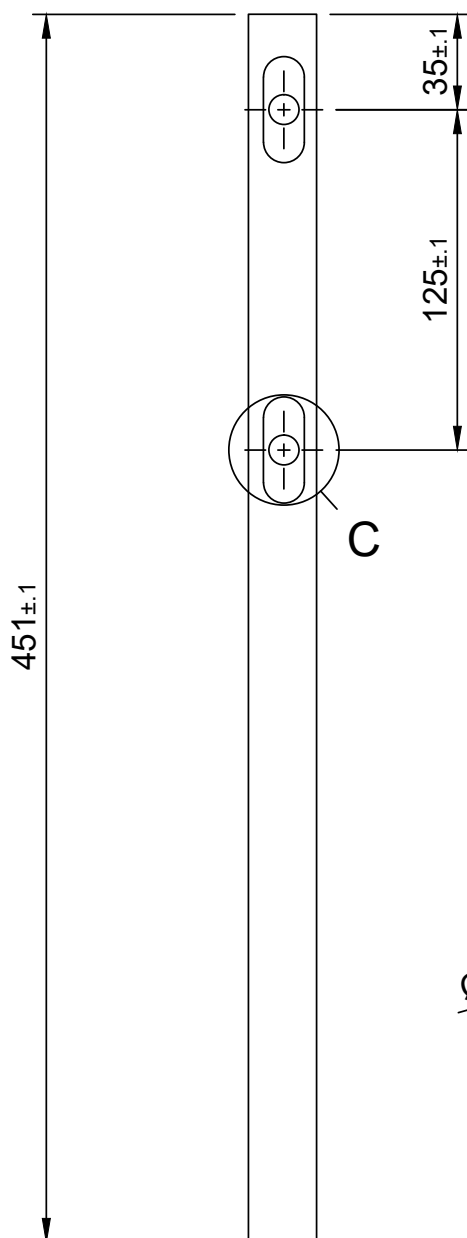
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO			DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:1	DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
			VIGAS DE SOPORTE SECCIÓN DERECHA		D03-317	



NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

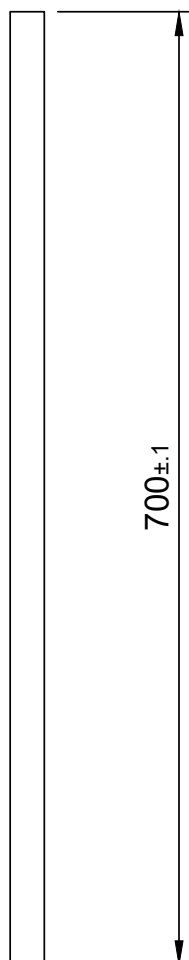
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
VIGAS SUPERIORES LONGITUDINALES		D03-318			 





DETALLE C
(1:2)

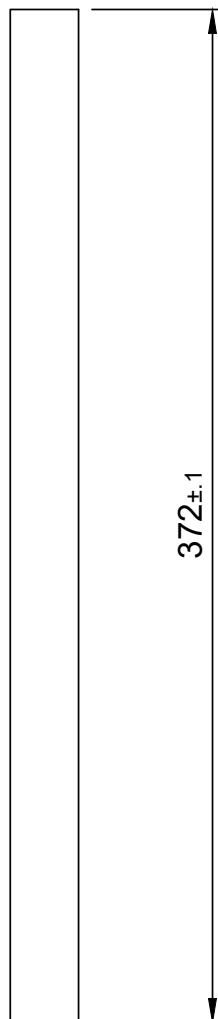
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO A36	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGAS SOPORTE INFERIOR IZQUIERDA		D03-319				





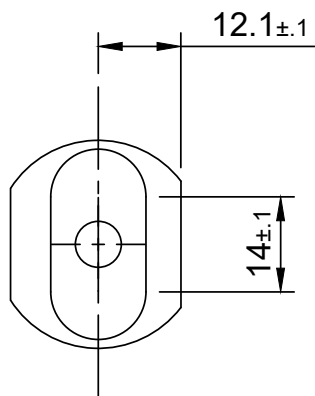
NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM A500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGAS INFERIORES LONGITUDINALES		D03-320				 

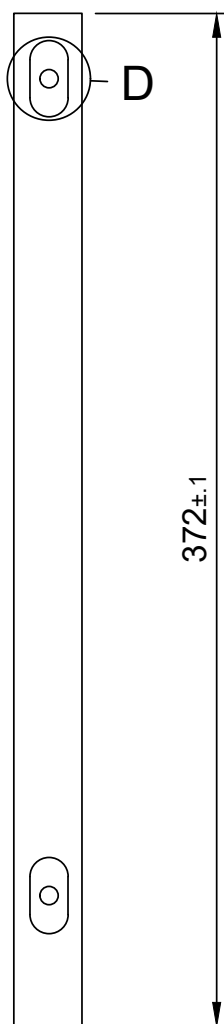


NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor



TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGA DE SOPORTE SECCIÓN TENSADO		D03-321				 

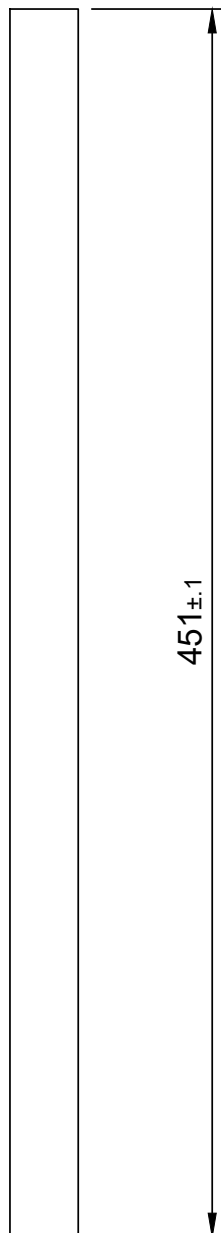


DETALLE D
(1:1)





NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

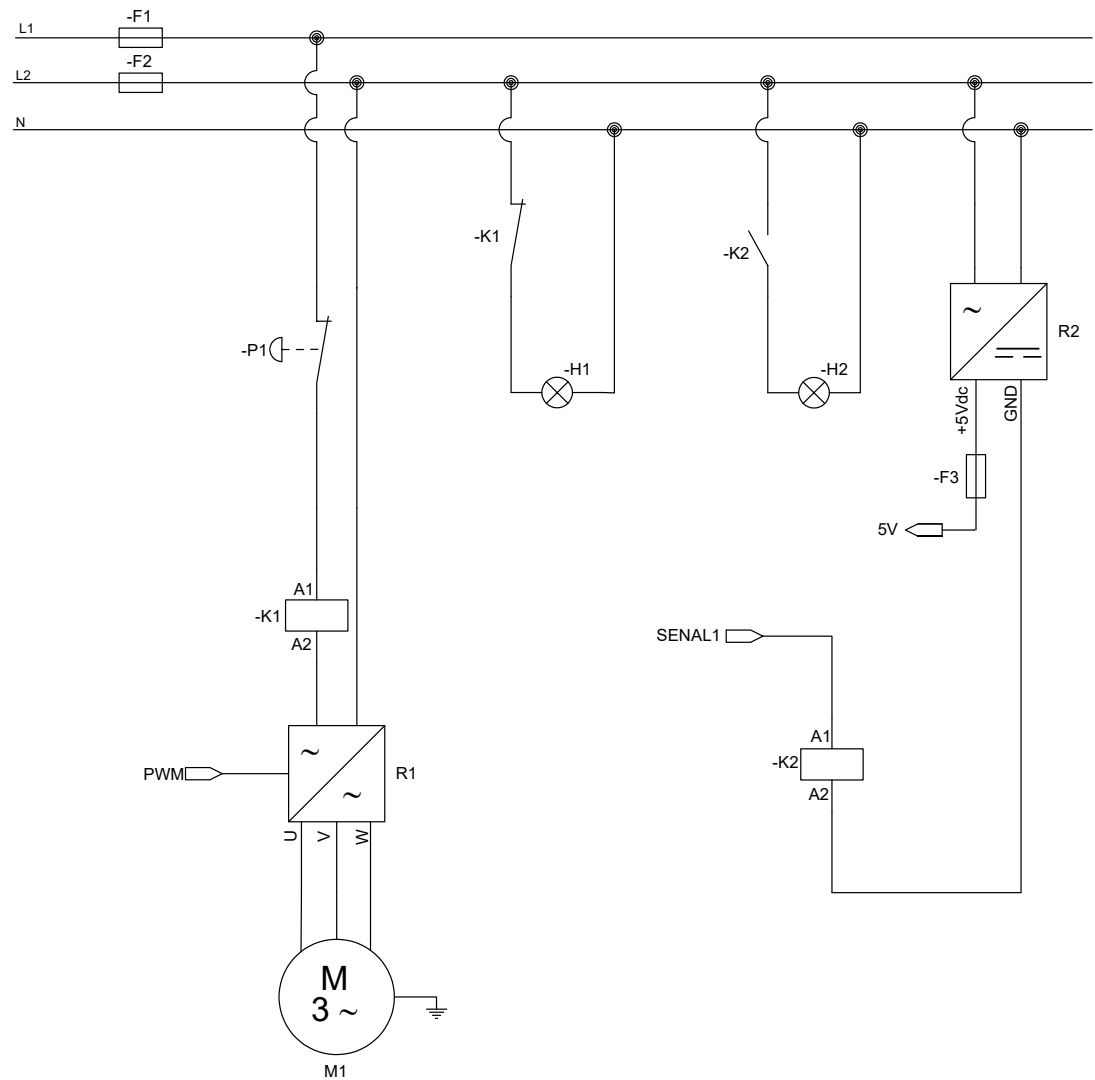
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO					
MATERIAL: ACERO ASTM500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020
VIGA DE SOPORTE CARRO DE TENSADO		D03-322			 





NOTA: TUBO DE ACERO 25 X 25 [mm], 2 [mm] de espesor

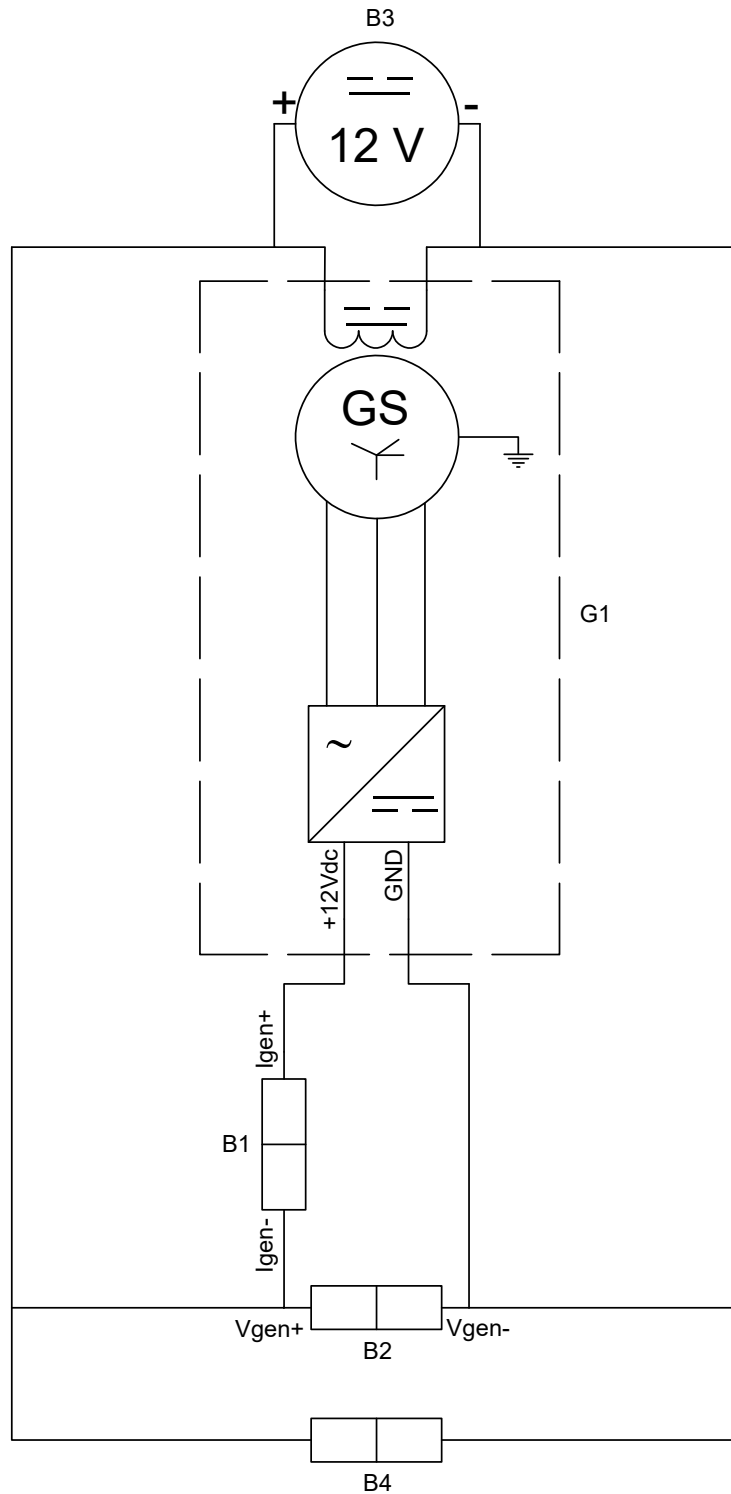
TRATAMIENTO: SIN TRATAMIENTO		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO: SIN RECUBRIMIENTO						
MATERIAL: ACERO ASTM500	TOL. GRAL: +/- 0.1	ESCALA: 1:2.5	DIB.	RODRÍGUEZ E.	17/04/2020	
			DIS.	RODRÍGUEZ E.	14/04/2020	
			REV.	BELTRÁN J.	18/04/2020	
VIGA INTERMEDIA TRANSVERSAL		D03-323				 


Anexo O: Planos Electrónicos

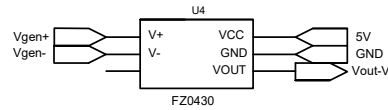
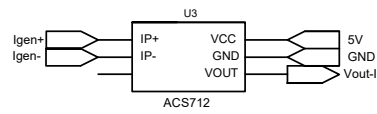
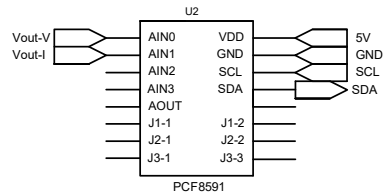
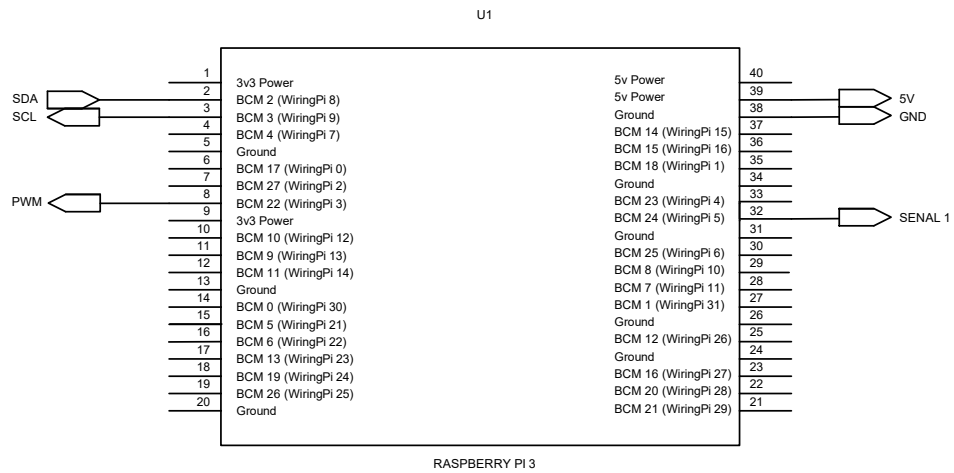



UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		DIS.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		REV.	GREFA V.	07-01-2019	
BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES		PLANO ELÉCTRICO		ESCALA	
				N/A	
D02-001				N/A	
				N/A	


POS.	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES
CONTACTORES			
K1	CONTACTOR NC, BOBINA 110 V	1	ENCENDER LUZ INDICADORA H1
K2	CONTACTOR NA, BOBINA 5 V	1	ENCENDER LUZ INDICADORA H2
INDICADORES			
H1	LUZ INDICADORA ROJO 110 V	1	SEÑAL DE EMERGENCIA
H2	LUZ INDICADORA VERDE 110 V	1	SEÑAL DE TRABAJO EN PROCESO
MOTORES			
M1	MOTOR TRIFÁSICO 3 HP, 1800 rpm	1	
PULSADORES			
P1	PARO DE EMERGENCIA NC	1	
REGULADORES			
R1	VARIADOR DE FRECUENCIA 5HP	1	
R2	REGULADOR DE VOLTAJE 110V/ 5V - 5A	1	
UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	RODRÍGUEZ E. 17-05-2020
		DIS.	RODRÍGUEZ E. 15-05-2020
		REV.	GREFA V. 18-05-2020
BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES		D02-101	
LISTA DE COMPONENTES			
		N/A	



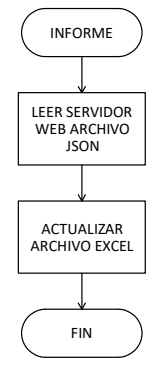
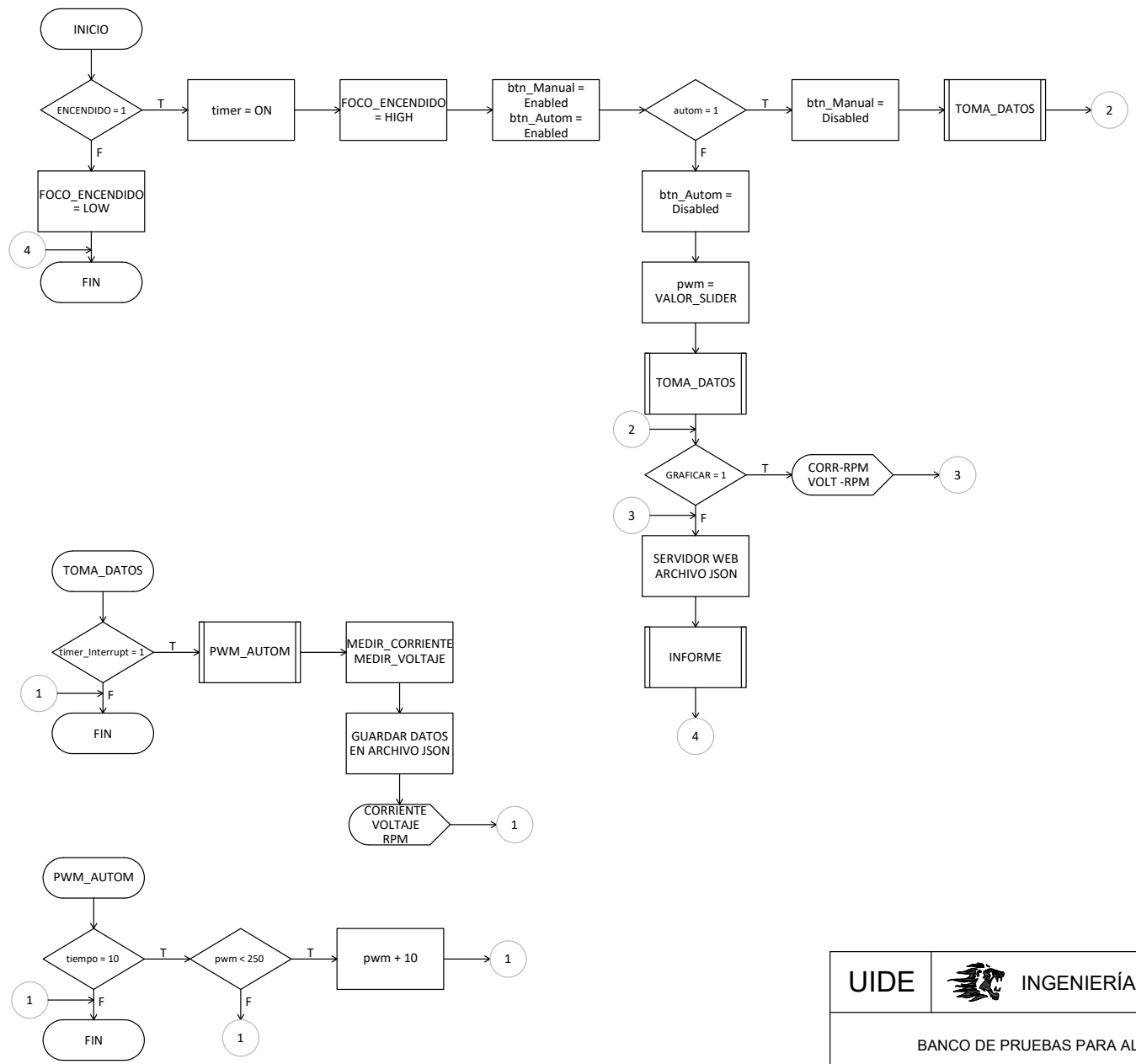
UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		DIS.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		REV.	GREFA V.	07-01-2019	
CONEXIÓN ALTERNADOR PLANO ELÉCTRICO		D02-002			ESCALA N/A
					N/A



UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		DIS.	RODRÍGUEZ E.	07-01-2019	
		REV.	GREFA V.	07-01-2019	
BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES PLANO ELECTRÓNICO		D02-003		ESCALA N/A N/A	

POS.	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES
CIRCUITOS INTEGRADOS			
U1	RASPBERRY PI 3	1	
U2	CONVERSOR A/D PCF8591	1	ADQUISICIÓN DE SEÑALES PARA RASPBERRY
U3	SENSOR DE CORRIENTE 5 A ACS712	1	MEDIR CORRIENTE GENERADA POR EL ALTERNADOR
U3	SENSOR DE VOLTAJE 25 V FZ043	1	MIDE VOLTAJE EN LOS TERMINALES DEL ALTERNADOR
VISUALIZACIÓN			
	WAVESHARE 5 in HDMI LCD (B)	1	INTERFAZ HMI
UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	RODRÍGUEZ E. 17-05-2020
		DIS.	RODRÍGUEZ E. 15-05-2020
		REV.	GREFA V. 18-05-2020
BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES		D02-301	ESCALA N/A
LISTA DE COMPONENTES			N/A

Anexo P: Planos Informáticos



UIDE		INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB. RODRIGUEZ E.	17-09-2018	
			DIS. RODRIGUEZ E.	11-09-2018	
			REV. GREFA V.	19-09-2018	
BANCO DE PRUEBAS PARA ALTERNADORES			D01-001		ESCALA N/A
PLANO INFORMÁTICO					N/A