

Título del proyecto:

Diseño y fabricación de un dispositivo portátil para el corte de tubos de acero en ángulos variables.

Licenciatura: Ingeniería Mecánica

Modalidad: Proyecto tecnológico

Alumno: Ramírez Rivera Raúl

Matricula: 2173001120

Asesor: Ing. Romy Pérez Moreno

Coasesor. M. en C. Iván González Uribe

Ciudad de México., trimestre 22-P, Enero - 2023

Diseño de una cortadora de tubos de acero

Declaratoria:

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Nombre y firma.

Yo, M. en C. Iván González Uribe, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Nombre y firma.

Yo, Raúl Ramírez Rivera, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Nombre y firma.

AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 22P

Fecha: 27/09/2022

PI-A-MEC 042-22-PT

DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Raúl Ramírez Rivera

Matrícula: 2173001120

Correo personal: raul982@gmail.com


Firma

ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Departamento de Energía

Área de investigación: Mecánica y Mecatrónica

Correo institucional: romy@azc.uam.mx


Firma


COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Iván González Uribe

No. económico/Teléfono: 42095 Adscripción/Puesto: Departamento de Energía

Área de investigación/Departamento: Mecánica y Mecatrónica

Correo electrónico: igu@azc.uam.mx


Firma

MODALIDAD DEL PROYECTO

☒ Proyecto tecnológico ☐ Proyecto de investigación ☐ Estancia profesional ☐ Experiencia profesional

TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y fabricación de un dispositivo portátil para el corte de tubos de acero en ángulos variables.

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: ☐ No ☒ Sí Clave (?): EN006-22

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y fabricar un dispositivo portátil autocentrante para sujetar y guiar un taladro comercial en el corte de tubos de acero en ángulos variables.

UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		22P Término
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		22O

Nombre y firma del Coordinador de Estudios


Ing. Romy Pérez Moreno



Sello de la Coordinación de Estudios

4. Resumen

Un cortador de tubos es una herramienta eléctrica que ayuda a dar la forma que se desea emplear, en la actualidad los cortadores tienen la desventaja de poseer poca versatilidad en sus diseños, por lo que se requirió de un cortador que realice la función de cortar los tubos de acero en diversos ángulos.

Los métodos más frecuentes eran los siguientes: el primero es con ayuda de un esmeril y un disco de corte (Forma artesanal), su desventaja es que toma demasiado tiempo realizar el corte, otro aspecto es que para cortes a diferentes ángulos de 45° y 90° aumenta la complejidad haciendo que este método se vuelva muy agotador para el operario. El segundo método es mediante maquinaria, las principales desventajas son el costo que poseen y la limitación en variación angular para realizar el corte requerido [1].

De esta manera, el objetivo de este proyecto es realizar el diseño y construcción de un dispositivo mecánico autocentrante para el corte de tubos de acero, involucrando aspectos como accesibilidad y seguridad para las personas que operen el dispositivo mecánico.

Como primera parte se analizan los equipos que se han fabricado y los componentes que se emplean, se buscó adaptar ideas de prototipos para la idealización de este dispositivo.

Posteriormente, se realizaron los cálculos correspondientes para cada elemento requerido del dispositivo. Se diseñaron los planos del dispositivo mecánico, ya que existen elementos importantes que deben cumplir con características para su buen funcionamiento.

Después se procedió a realizar la manufactura de las piezas y el ensamble del dispositivo, de esta manera se procedió a entregar el equipo armado para su uso.

.

5. Tabla de contenido, índice de figuras, tablas, diagramas, fotografías, etc.

Contenido	Pág.
1. Portada	1
2. Declaratoria	2
3. Copia digital del formato PI-A	3
4. Resumen	4
5. Tabla de contenido, índice de figuras, tablas, diagramas, fotografías, etc.	5
6. Introducción, antecedentes y justificación	7
6.1 Introducción	8
6.2 Antecedentes	9
6.3 Justificación	11
7. Objetivos	12
7.1 Objetivo General	13
7.2 Objetivos particulares	13
8. Marco teórico	14
9. Desarrollo del proyecto	27
10. Resultados	50
10.1 Planos mecánicos	51
10.2 Diagramas de procesos, fases y costos	62
11. Análisis y discusión de resultados	73
12. Conclusiones	76
13. Referencias bibliográficas	78
14. Apéndices	81
15. Entregables comprometidos con la propuesta	81

Tablas	Pág.
Tabla 1. Propiedades de los aceros	17
Tabla 1.1 Acabado superficial del material	19
Tabla 2. Propiedades mecánicas de los resortes	22
Tabla 2.1 Propiedades de diferentes tipos de resortes	24
Tabla 3. Propiedades de los resortes	25
Tabla 4. Valores de los resortes	49

Índice de figuras		Pág.
Figura 1.	Tijera para el corte de tubos	9
Figura 2.	Diseño de máquina de troceado de tubos	9
Figura 3.	Máquina portátil para el cilindrado periférico de una tubería	10
Figura 4.	Dibujo técnico de prensa autocentrante lineal	10
Figura 5.	Diagrama cortante	15
Figura 6.	Diagrama de momento	16
Figura 7.	Tubo de acero de 2 in de diámetro	28
Figura 8.	Esquema representativo de fuerzas para el corte de tubo de acero	28
Figura 9.	Tubo de acero perforado	29
Figura 10.	Bosquejo del dispositivo para cortar tubos de acero	29
Figura 11.	Diagrama de cuerpo libre de un eje	30
Figura 12.	Reacciones en el eje	31
Figura 13.	Diagrama del eje	32
Figura 14.	Triángulos semejantes	33
Figura 15.	Sustitución de valores en el triángulo	33
Figura 16.	Dispositivo en inclinación	34
Figura 17.	Reacciones representadas	35
Figura 18.	Tabla para aceros	38
Figura 19.	Balero radial	39
Figura 20.	Posición inicial de las guías	40
Figura 21.	Posición inclinada de las guías	40
Figura 22.	Descomposición de fuerzas	41
Figura 23.	Baleros lineales	42
Figura 24.	Resorte a compresión	44
Figura 25.	Fuerzas en el resorte	49
Figura 26.	Eje maquinado	74
Figura 27.	Balero radial comercial	74
Figura 28.	Guía maquinada	75
Figura 29.	Balero lineal comercial	75

Introducción, antecedentes y justificación.

6.1 Introducción.

Los cortadores de tubos son herramientas eléctricas que ayudan a dar una forma específica para poder unir mediante soldadura y ensamblar las uniones de los tubos. Existen métodos para el corte de tubos como el método artesanal y la maquinaria, pero ambos poseen poca versatilidad para realizar el corte, como: los ángulos, dimensiones y diámetros del tubo [1].

La idea de construir un dispositivo mecánico portátil autocentrante con mayor rango de cortes, se originó pensando en las estructuras que son conformadas por tubos de acero, ya que estos requerían demasiados cortes a distintos ángulos, lo que provoca que los operarios se llevaran demasiado tiempo en una sola actividad.

Se diseño y construyo un dispositivo que eliminará la mayor parte de los inconvenientes mencionados, el dispositivo se dividió en dos partes: el primero es el soporte para tubos, este dispositivo tiene como finalidad sujetar el tubo de acero para mantenerlo restringido (estático) y así poder realizar un correcto corte. El segundo dispositivo tiene como objetivo guiar un taladro que le permita desplazarse tanto vertical como angularmente y, poder perforar el tubo de acero.

Uniendo los dos dispositivos en una superficie de metal forman un solo dispositivo, el cual abarcará un ángulo desde -30° a $+30^{\circ}$ respecto a la vertical teniendo un movimiento total de 120° , el soporte se realizó para poder contener tubos de acero desde $\frac{1}{2}$ in a 2 in de diámetro.

Finalmente se realizaron algunas pruebas con el nuevo dispositivo para determinar si se encuentra en óptimas condiciones para operarlo de manera continua.

6.2 Antecedentes

En 2014 en España los inventores Groten A., Eizaguirre Bengoetxea M., y Aizpurua Egaña M.. Registraron la invención a una herramienta cortatubos que presenta un dispositivo de ajuste, que le permite adaptarse a diferentes diámetros de tubos [2]. Con está invención adapte un soporte para taladros, el cual se adapta dependiendo del diámetro del taladro ya que no es una medida estándar como en la figura 1.

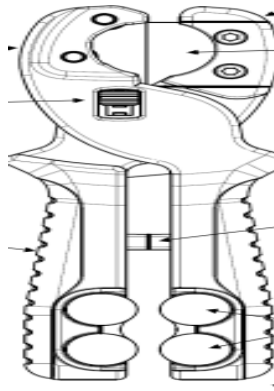


Figura 1. Tijera para el corte de tubos [2]

Los italianos Micali L., Anesi A., Vecchini G., y Chezzi A., inventaron una máquina de troceado en 2016 que comprende una unidad de corte, que es capaz de recibir un tubo y cortar el tubo de acuerdo con un plano transversal a un eje longitudinal del tubo [3]. En está patente utilice el método del tubo en el eje longitudinal mostrado en la figura 2 para mi soporte, ya que ayuda a cortarlo de una manera precisa.

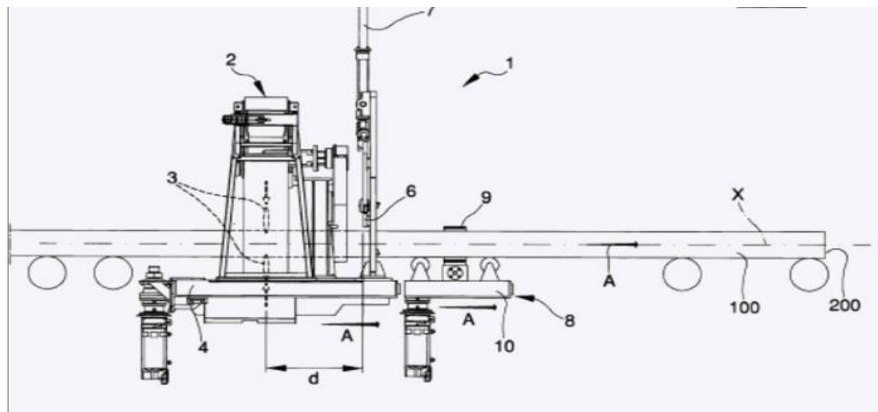


Figura 2. Diseño de máquina de troceado de tubos [3]

En 2018 en España, el inventor Patiño Álvarez José creó una máquina portátil para el cilindrado periférico de una tubería [4]. Este trabajo consta de un elemento expansivo cerrado por unos conos y que se encaja en la pared interna de la tubería lo que hace que se pueda realizar un cilindrado periférico limpio, homogéneo y continuo. Con esta patente realice lo de paredes internas en mi diseño, el cual es la caja del eje que ayuda a dar movimiento angular y fijación del sistema como se muestra en la figura 3.

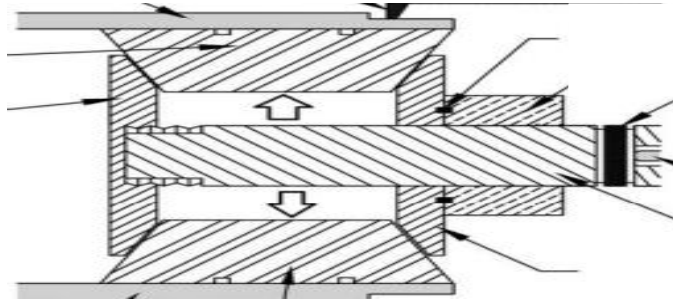


Figura 3. Máquina portátil para el cilindrado periférico de una tubería [4]

En 2017 los alumnos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Ana Karen G., y Luis Manuel N., realizaron el diseño de los componentes de la prensa autocentrante lineal [5]. Con la información de esta tesis encontré los criterios para la elaboración de un soporte que centró los tubos de acero de forma automática (Figura 4).

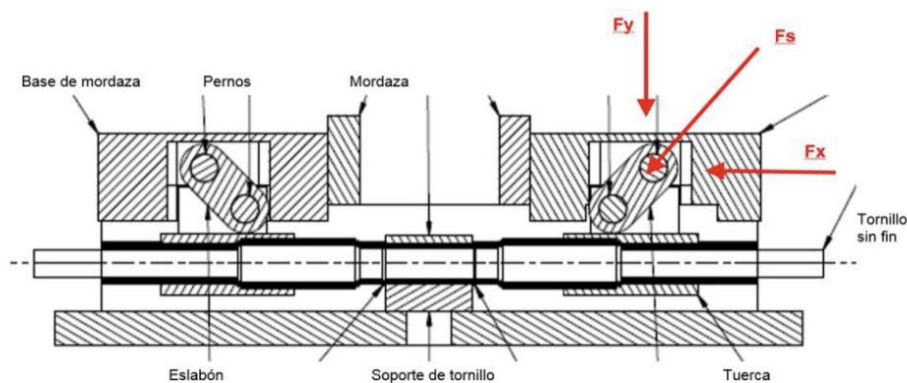


Figura 4. Dibujo técnico de prensa autocentrante lineal [5]

6.3 Justificación

Los equipos comerciales no realizan el trabajo de corte en ángulos variables, la mayor parte está diseñada para dos inclinaciones: 90° y 45° , ya que son las medidas más utilizadas para realizar empalmes comerciales. Por otro lado, existe el método artesanal el cual consume mucho tiempo y cada corte debe ajustarse individualmente.

Para aportar en la solución de esta problemática, se propone construir un cortador de tubos que cubra las limitaciones antes mencionadas. El mecanismo que se pretende construir será fabricado con aluminio, por su bajo peso y adecuada rigidez, para soportar y guiar un taladro convencional de mano. La estructura soportará y orientará el tubo a cortar en un intervalo de -30° a $+30^\circ$ respecto a la vertical, con un incremento de 10° , para tubos con un diámetro máximo de 2 in.

Objetivos

7.1 Objetivo general.

Diseñar y fabricar un dispositivo portátil autocentrante para sujetar y guiar un taladro comercial en el corte de tubos de acero en ángulos variables.

7.2 Objetivos particulares.

Analizar los métodos de trabajo requeridos para realizar cortes en tubos de acero que están formados por uniones de soldadura.

Realizar el diseño mecánico del dispositivo para sujeción y avance de un taladro comercial de mano.

Realizar el diseño mecánico para sujeción y auto centrado de los tubos de acero con el taladro de mano en un rango de -30° a $+35^{\circ}$ respecto a la vertical.

Realizar los diagramas de procesos correspondientes.

Construir el soporte para sujeción y avance del taladro.

Construir el dispositivo de sujeción y auto centrado para tubos.

Realizar las pruebas de operación del equipo.

Realizar un análisis de calidad de un método tradicional con respecto al correspondiente.

Realizar y entregar el reporte final del proyecto de integración.

Marco teórico

Cuando un sistema tiene movimientos constantes se determinar que está en reposo, siempre que no interactúen fuerzas que lo aceleren. Se considera que el sistema experimenta cambios debido a fuerzas externas y se resuelve utilizando la fórmula [6].

$$F = ma \quad (1)$$

Donde:

F : Fuerza (N)

m : Masa (Kg)

a : Aceleración (m/s^2)

El sistema presenta varias fuerzas, por lo que es importante saber la fuerza resultante expresada en la fórmula 2 [6].

$$\Sigma F_y = F_{y1} + F_{y2} \quad (2)$$

Las fuerzas que interactúan en el sistema se representan con la fuerza de carga y las reacciones $R1$ y $R2$, por lo que esas fuerzas son producidas internamente por el material provocando que existan dos consideraciones importantes para que el sistema este en equilibrio como son: Fuerza cortante y momento flexionante [6].

Para el primer caso las fuerzas cortantes se obtienen con un esquema representativo de la ubicación de las fuerzas y se puede calcular por medio del método de área, como en el siguiente ejemplo (figura 5).

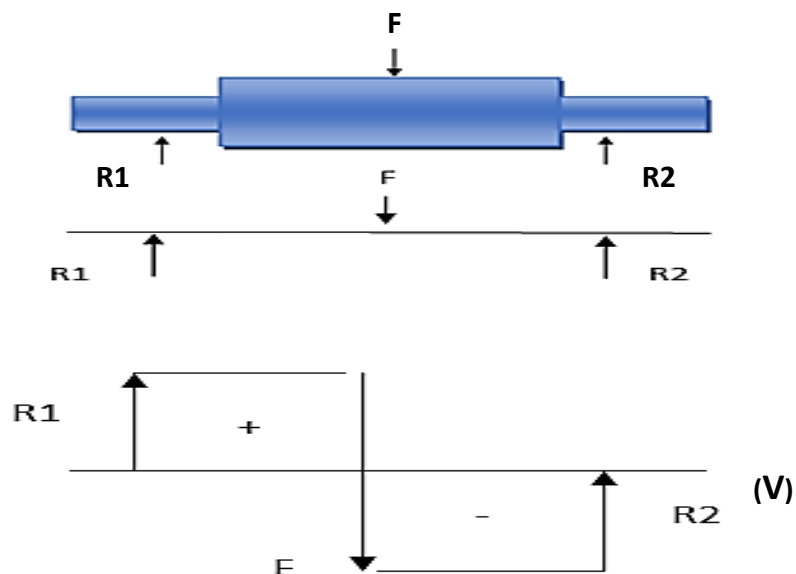


Figura 5. Diagrama cortante

Para el segundo caso es importante considerar la fuerza flexionante que tendrá la pieza, por lo que podría ocasionar alguna falla y que se rompa el elemento [7]. Este método se calcula con ayuda del primer diagrama como se muestra en la figura 6.

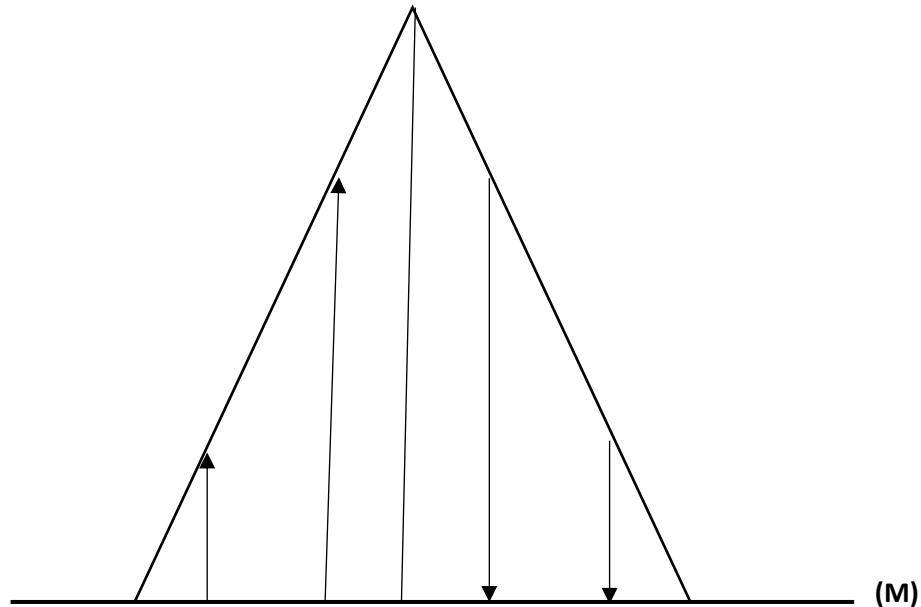


Figura 6. Diagrama de momento

Un aspecto importante es conocer los puntos críticos en los diagramas de cortante y momento, lo que con lleva a conocer la ley de senos que se encargará de descomponer las fuerzas o distancias que se requieran como en la fórmula 3 [8].

$$\frac{\alpha}{\text{sen } \alpha} = \frac{\beta}{\text{Sen} \beta} \quad (3)$$

Para diseñar un elemento se deben tener 2 consideraciones:

El primero es conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, esto es importante ya que al conocer el material nos ayuda a determinar que material puede soportar los esfuerzos a los que estará expuesto. El segundo es el tipo de esfuerzo al que se somete: axial, radial y flexionante [9].

Teniendo en cuenta estas consideraciones se puede proponer un material para el diseño, en la tabla 1 se muestran amplios materiales que se han sometido a diferentes pruebas experimentales para tener un amplio panorama de las propiedades que poseen a distintos esfuerzos [9].

Tabla 1. Propiedades de los aceros [9].

1 AISI núm.	2 Tratamiento	3 Temperatura	4 Resistencia a la tensión MPa (Kpsi)	5 Resistencia a la fluencia MPa (Kpsi)	6 Elongación %	7 Reducción del área, %	8 Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1630 (236)	1460 (212)	10	41	467
	TyR*	315(600)	1500 (217)	1380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1280 (186)	1190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1000)	1030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	TyR	205 (400)	1770 (257)	1640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1550 (225)	1430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1250 (181)	1140 (165)	13	49	370
	TyR	540 (1000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1600)	1020 (148)	655 (95)	18	47	302
	Recocido	815 (1500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
4340	TyR	315 (600)	1720 (250)	1590 (230)	10	40	486
	TyR	425 (800)	1470 (213)	1360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1000)	1170 (170)	1080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

Un esfuerzo por considerar es cuando la carga se desplaza del punto de origen, al tener un desplazamiento las condiciones cambian. Se consideran en el diseño para evitar fallas y a este tipo de esfuerzo se le denomina torsión.

Para proceder al cálculo de la torsión se debe de considerar el brazo de palanca que genera la carga como se muestra en la fórmula 4 [8].

$$T = Fd \quad (4)$$

Donde:

T : Torsión del elemento (Nm)

F : Fuerza externa al elemento (N)

d : Distancia perpendicular a la fuerza (m)

Los esfuerzos dependerán de las cargas presentes en los elementos [9]. en este caso en particular el esfuerzo máximo es de vital importancia ya que está directamente relacionado con las propiedades de los materiales y se obtiene con la fórmula 5 [9].

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (5)$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo máximo del material del eje (MPa)

S_{sy} : Resistencia ultima a la tensión del material del eje (MPa)

n : Factor de seguridad (3)

Conociendo estos esfuerzos son considerados para la siguiente fórmula 6, donde se consideran los esfuerzos a los que está expuesto el dispositivo y así obtener el diámetro ideal [9].

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\right) \left(\frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2 + (3(K_{fs} T_a)^2)^{0.5} + \frac{1}{S_{ut}} (4(k_f M_m)^2 + (3(K_{fs} T_m)^2))^{0.33}\right)^{0.33} \quad (6)$$

Donde:

d : Diámetro del eje

S_{ut} : Resistencia última a la tensión

S_e : Resistencia a la cedencia

K_f : Factor de concentración de esfuerzo

M_a : Momento alternante

T_a : Par torsor alternante

M_m : Momento medio

T_m : Par torsor medio

La fórmula 6 se reduce debido a que el momento medio y par torsor alternante no interactúan, debido a que los movimientos que tiene el dispositivo no oscilan.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\right) \left(\frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2)^{0.5} + \frac{1}{S_{ut}} 3(K_{fs} T_m)^{0.5}\right)^{0.33} \quad (7)$$

Para obtener S_e , lo primero es calcular el valor corregido debido a las condiciones a las que estará expuesto (S'_e), utilizando la fórmula 8 [9].

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (8)$$

Donde:

S'_e : Resistencia a la cedencia

S_{ut} : Resistencia última del material

Un factor de condición superficial es K_a [10]. Este factor se calcula con la fórmula 9 y la tabla 1.1.

$$K_a = (a \times S_{ut}^b) \quad (9)$$

Tabla 1.1. Acabado superficial del material [9].

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	S_{ut}' Kpsi	S_{ut}' MPa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Donde:

a: Factor de acabado superficial (tabla 1.1)

S_{ut} : Resistencia ultima a la tensión

b: Exponente (tabla 1.1)

Finalmente, para obtener la resistencia (S_e) se expresa con la fórmula 10 [9].

$$S_e = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_f)S'_e \quad (10)$$

Donde:

K_a : Factor de acabado superficial

K_b : Factor de tamaño

K_c : Tipo de esfuerzo

K_d : Factor de temperatura

K_e : Factor de confiabilidad

K_f : Factor de concentración de esfuerzos

La relación de radios se establece con la fórmula 11, para determinar el diámetro máximo del eje [9].

$$\frac{D}{d} = 1.2 \quad (11)$$

Donde:

D : Es el diámetro máximo del eje

d : Es el diámetro mínimo del eje

Los cojinetes son piezas comerciales, tienen como objetivo transferir la carga mediante elementos que están en contacto. Los cojinetes de bolas radiales tienen la función de transferir la fuerza perpendicularmente del eje horizontal es por ello por lo que se usa como apoyo para soportar cargas. Mientras que los cojinetes lineales solo guían las fuerzas en dirección axial [7].

Existen varios tipos de cojinetes para distintas cargas, es importante conocer estos factores antes de elegir un balero en cualquier catálogo. Con ayuda de la fórmula 12, se determina cuanto puede soportar el balero y poder escoger un balero de algún catálogo [7].

$$C_{10} = FD \left(\frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{1/3} \quad (12)$$

Donde:

C_{10} : Clasificación del catalogo

FD : Carga radial

L_D : Vida deseada

n_D : Velocidad deseada

L_R : Vida nominal

n_R : Velocidad nominal

Otro elemento que se analiza son las guías, su función principal es deslizar los componentes que estén sujetos. El caso relevante es cuando las guías se inclinan, calculándose con la fórmula 13 [9].

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (13)$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Par torso máximo

S_{sy} : Resistencia última del material

n : Factor de seguridad (3)

El objetivo es determinar el par torsor máximo en las guías, para obtener el diámetro que soportará los esfuerzos provocados cuando el dispositivo este en inclinación y se calcula con la fórmula 14 [9].

$$T_{m\acute{a}x} = \sqrt[3]{\frac{16 T}{\pi d^3}} \quad (14)$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Par torso máximo

T : Par torsor

d : Diámetro

Despejando d^3 se obtiene la formula15.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(T)}{(\pi)(T_{m\acute{a}x})}} \quad (15)$$

El cortador genera vibraciones por lo que es recomendable utilizar un resorte, su función es dar movimientos lineales más controlados y estabilidad a los mecanismos. El resorte de interés está sometido a fuerzas de compresión, este resorte al interactuar con una fuerza externa lo deformara, pero al quitar la fuerza externa este vuelve a su estado original.

Para el diseño de un resorte primero se debe saber el material y sus propiedades para determinar su resistencia como en la fórmula 16 [9].

$$S_{sy} = 0.45(A/d^n) \quad (16)$$

Donde:

S_{sy} : Resistencia del alambre

A : Constante (tabla 2.1)

d : Diámetro del alambre

n : Exponente (tabla 2.1)

Con ayuda de la tabla 2.1 [9], se determina el tipo de material dependiendo del diámetro del resorte.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los resortes [9].

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi . Pulgm	Diámetro, mm	A, MPa . mmm	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	1.10-6.5	2211	2.6
Alambre T y R en aceite	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1855	1.3
Alambre estirado duro	A227	0.19	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1783	1
Alambre al cromo vanadio	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2005	3.1
Alambre al cromo silicio	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1947	4
Alambre inoxidable 302	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2065	
		0.478	0.20-0.40	90	0.5-10	2911	
Alambre de bronce fosforado	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1000	8
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

Un elemento es el factor de seguridad de los resortes, esto garantiza que no falle el elemento. Para determinar el valor C, se requieren los factores de modificación de esfuerzos mostrados en las fórmulas 17 y 18 [9].

$$\alpha = \frac{S_{sy}}{n_s} \quad (17)$$

Donde:

α : Constante de corrección de curvatura

S_{sy} : Resistencia del alambre

n_s : Factor de seguridad (1.2)

$$\beta = \frac{8(1+\epsilon) F_{\max}}{\pi(d)^2} \quad (18)$$

Donde:

β : Constante de esfuerzos de curvatura

S_{sy} : Resistencia del alambre

n_s : Factor de seguridad (1.2)

Finalmente se obtiene el índice del resorte C con la fórmula 19.

$$C = \frac{2\alpha-\beta}{4\beta} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha-\beta}{4\beta}\right)^2 - \frac{3\alpha}{4\beta}} \quad (19)$$

Al igual que cualquier pieza para su diseño se deben tener importantes consideraciones en los esfuerzos que estarán concentrados en el resorte, como el esfuerzo máximo que puede soportar mostrado en la fórmula 21 [7].

$$\tau = K_s \frac{8FD}{(\pi d^3)} \quad (21)$$

Donde:

τ : Esfuerzo máximo

K_s : Factor de corrección del esfuerzo cortante

F : Fuerza

D : Diámetro promedio

d : Diámetro de las espiras

La geometría es importante y se debe tener el factor de corrección de curvatura con la siguiente ecuación [9].

$$K_s = \frac{4C+2}{4C-3} \quad (22)$$

Para conocer más propiedades de un resorte [9], se puede consultar la tabla 2 .

Tabla 2.1. Propiedades de diferentes tipos de resortes [9].

Material	Limite elástico, porcentaje de Sut, tensión, torsión		Diámetro, d, pulg	E		G	
				Mpsi	Gpa	Mpsi	Gpa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12	82.7
			0.033-0.063	29	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81
			>0.125	28	193	11.6	80
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.5	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.4	80
			0.064-0.125	28.6	1917.2	11.2	79.3
			>0.125	28.5	14-jul	11.2	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero Inoxidable							
	A2313*	65-75	45-55	28	193	10	69
	17-7PH	75-80	55-60	29.5	208.4	11	75.8
	414	65-70	42-55	29	200	11.2	77.2
	420	65-75	45-55	29	200	11.2	77.2
	431	72-76	50-55	30	206	11.5	79.3

La deflexión se determina para saber cuanto se deformará el resorte cada que apliquemos una fuerza, se calcula con la fórmula 23 [9].

$$y = \frac{8FD^3Na}{d^4G} \quad (23)$$

Donde:

y : Deflexión máxima

F : Fuerza aplicada

D : Diámetro medio

d : Diámetro del resorte

Na : Numero de espiras activas

G : Modulo de elasticidad

Un parámetro importante es la constante del resorte ya que por lo regular es una medida que los fabricantes utilizan y se determina con la fórmula 24 [9].

$$k = \frac{F}{y} \quad (24)$$

Donde:

K : Constante del resorte

y : Deflexión máxima

F : Fuerza aplicada

Para los resortes a compresión se utilizan tabla 3 estandarizadas, para determinar el número de espiras activas [14].

Tabla 3. Propiedades de los resortes [9].

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, Ne	0	1	2	2
Espiras totales, Nt	Na	Na + 1	Na + 2	Na + 2
Longitud libre, Lo	pNa + d	p(Na + 1)	pNa + 3d	pNa + 2
Longitud sólida, Ls	d(Nt + 1)	dNt	d(Nt + 1)	dNt
Paso, p	(Lo-d)/Na	Lo/(Na+1)	(Lo - 3d)/Na	(Lo - 2d)/Na

De acuerdo con la tabla 3, se pueden sacar las fórmulas para determinar la longitud libre, longitud sólida y el paso que tendrá el resorte mostradas en las fórmulas: 25, 26 y 27 [9].

$$L_o = (N_t)d + y + a \quad (25)$$

Donde:

L_o : Longitud libre

N_t : Numero de espiras totales

d : Diámetro del resorte

y : Deflexión del resorte

a : Constante (1/4)(y)

$$p = \frac{(L_o - 2d)}{N_a} \quad (26)$$

Donde:

p : Paso del resorte

L_o : Longitud libre

d : Diámetro del resorte

N_a : Numero de espiras activas

$$L_s = d(N_t) \quad (27)$$

Donde:

L_s : Longitud sólida

d : Diámetro del resorte

N_t : Numero de espiras totales

DESARROLLO DEL PROYECTO

Desarrollo del proyecto

Para los cálculos se analizará un tubo de acero de 2 in de diámetro como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Tubo de acero de 2 in de diámetro.

Se colocan de forma representativa las fuerzas que interactúan en el sistema como en el siguiente esquema (figura 8). Primero se representa un cortador con una flecha azul indicando la dirección que ejercerá el cortador (FC), después se hace el análisis del peso del taladro (FW). En la superficie del material de color naranja existe una fuerza que se opone a ser penetrada, representada con la flecha negra conocida como dureza (FD).



Figura 8. Esquema representativo de fuerzas para el corte de tubo de acero.

Al obtener dos fuerzas en la misma dirección se suman las fuerzas de corte (FC) y la fuerza generada por el peso del cortador (FW), juntas formaran una sola que será la fuerza necesaria (FN).

Existe otra fuerza provocada por el material (FD), la cual es la dureza del material como se representa en la figura 9.

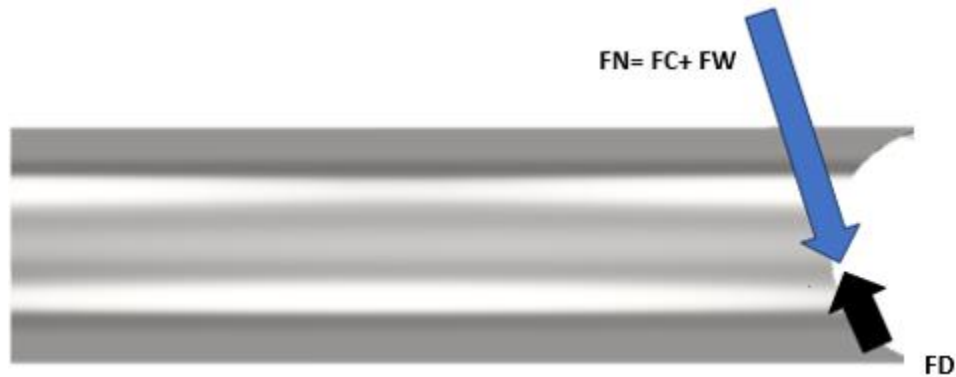


Figura 9. Tubo de acero perforado.

Una vez determinadas todas las cargas presentes en los elementos en el prototipo mecánico, se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre (figura 10) donde: el peso del taladro (Wt), Peso de la base del taladro (Wbt), Peso de las guías (Wg) y el Peso base del eje (Wbe).

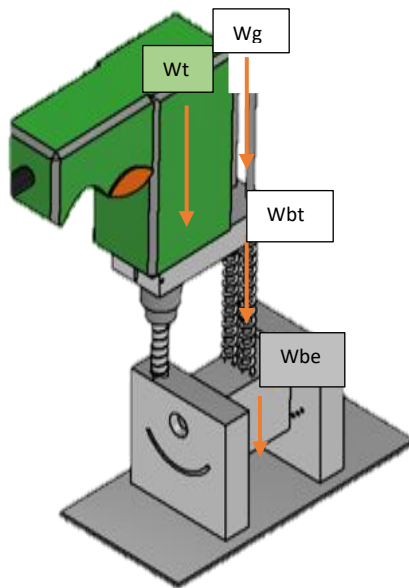


Figura 10. Bosquejo del dispositivo para cortar tubos de acero.

Estas fuerzas están soportadas por el eje, las cuales se pueden sumar pasando a un peso equivalente.

Donde las piezas tendrán el siguiente peso.

$$Wt = 21 \text{ Kg}$$

Para tener la fuerza provocada por el peso se utiliza la ecuación 1.

$$F = ma \quad (1)$$

$$F = (21)(9.81) \left(\text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F = 206.01 \text{ N}$$

Se colocan las fuerzas en el eje de forma representativa con flechas, en un diagrama de cuerpo libre como se muestra a continuación (Figura 11). Donde R_1 y R_2 son fuerzas que se oponen a la fuerza total, estas son provocadas por baleros lineales que se ajustarán en el eje y la variable F es la fuerza total.

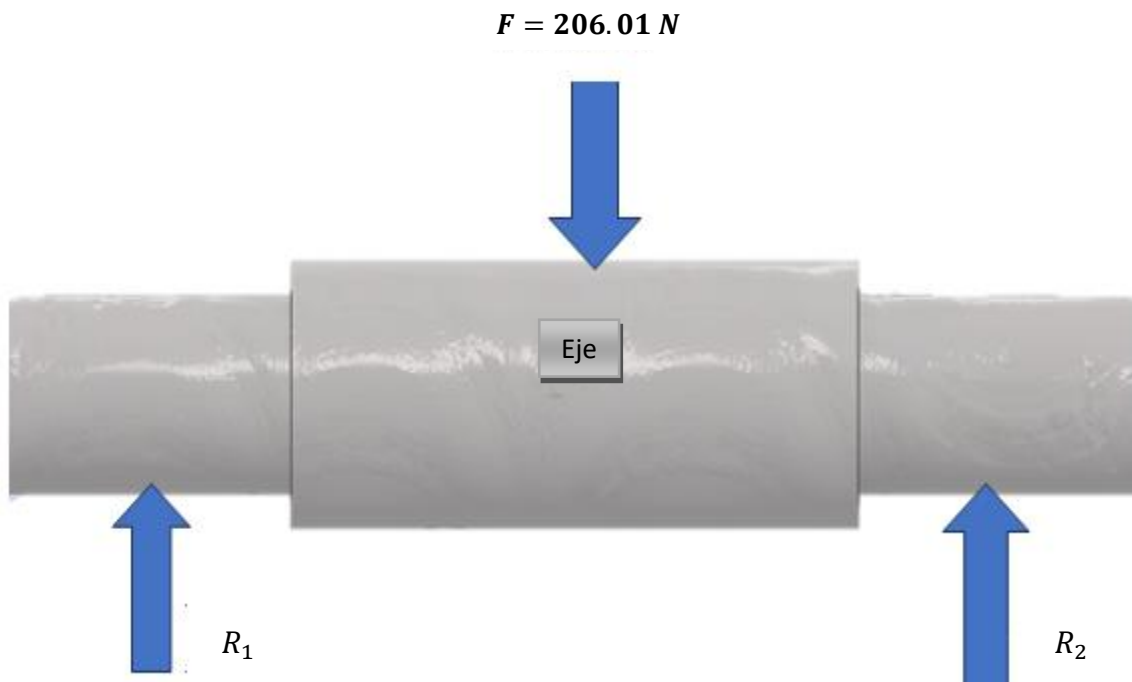


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre de un eje.

Se observa que los esfuerzos solo se concentran en el eje vertical por lo que utiliza la ecuación 2.

ΣF_y : Sumatoria de fuerzas en el eje vertical.

$$\Sigma F_y = F_{y1} + F_{y2} \quad (2)$$

Las cargas serán distribuidas equivalentemente en las reacciones (R_1 y R_2), expresándose de la siguiente forma.

$$2R - F = 0$$

Donde conocemos F y despejamos R .

$$R = \frac{206.01}{2}$$

$$R_1 = R_2 = 103.005 \text{ N}$$

Estas reacciones R_1 y R_2 quedan representadas en la figura 12.

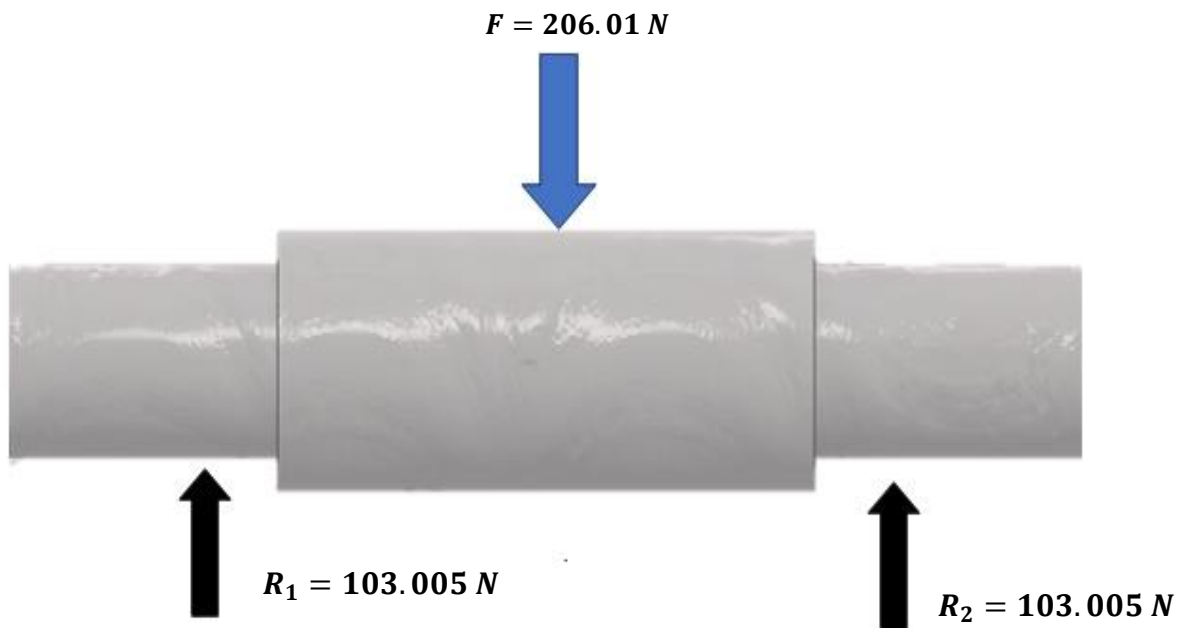


Figura 12. Reacciones en el eje

Al tener las fuerzas que el elemento debe soportar, se supone una longitud de acuerdo con los materiales comerciales. El material para elegir es el acero 4140 por lo que se procede a obtener el diámetro que proporcionará estabilidad en el diseño mecánico.

Se realizan los diagramas de esfuerzos correspondientes al eje, para determinar puntos críticos (figura 13).

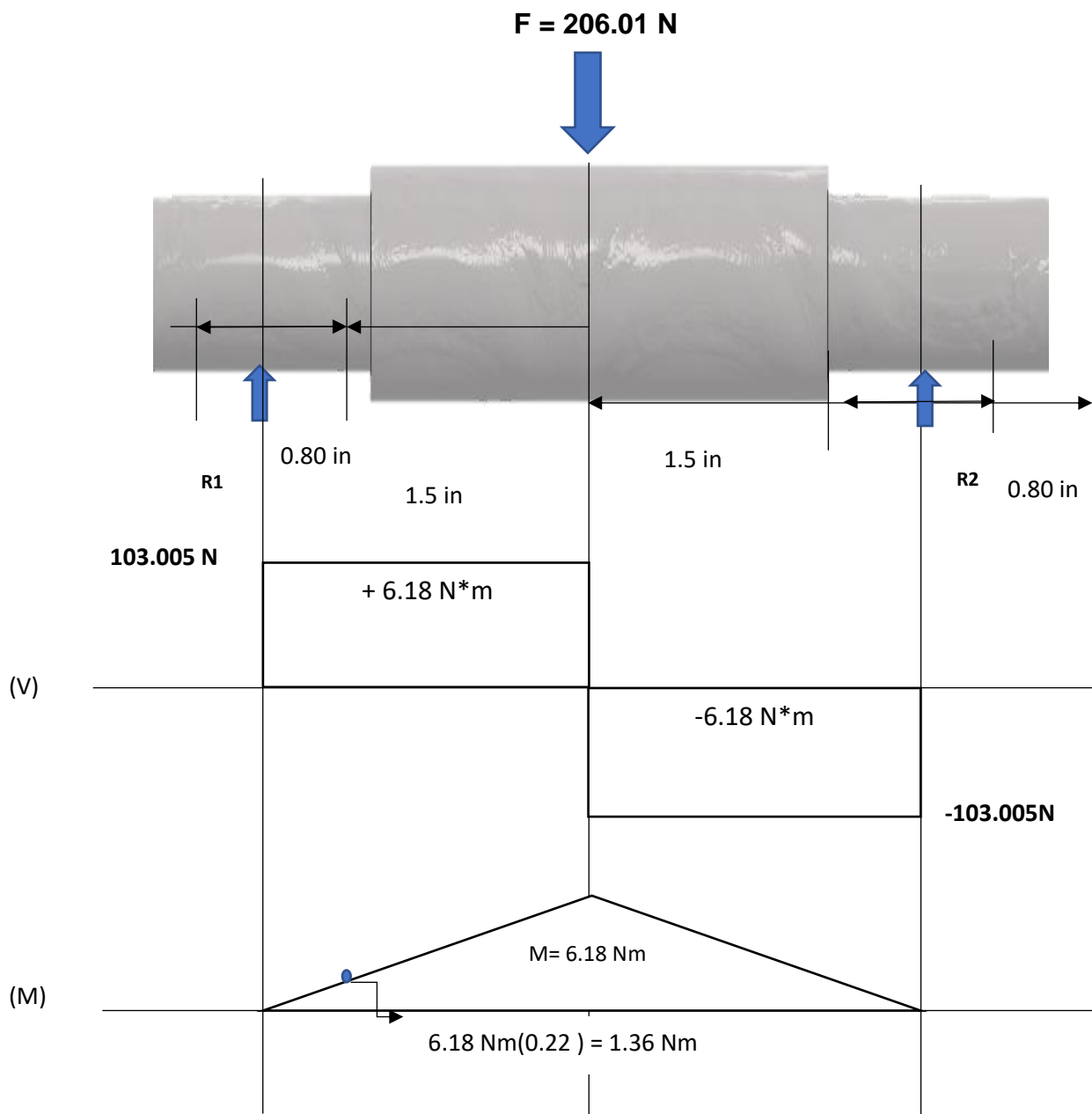


Figura 13 . Diagramas del eje

En los diagramas se determinaron los puntos críticos, para que el eje no falle cuando este en operación. La distancia del momento crítico en el diagrama es importante, se representa con ayuda de un triángulo como en la figura 14.

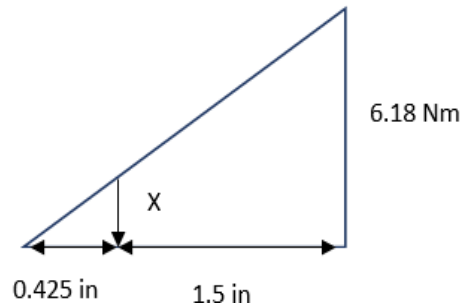


Figura 14. Triángulos semejantes

Para seguir con las unidades adecuadas es importante pasar de pulgadas a metros.

$$(0.425 \text{ in}) \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}} = 0.010 \text{ m}$$

$$(1.5 \text{ in}) \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}} = 0.048 \text{ m}$$

Se representa con el cambio de unidades (figura 15).

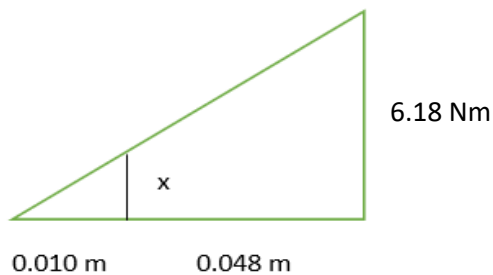


Figura 15. Sustitución de valores en el triángulo.

Se sustituyen los valores del triángulo de la figura 12.

$$\frac{X}{6.18 \text{ Nm}} = \frac{0.010 \text{ m}}{0.048 \text{ m}}$$
$$x = \frac{0.010 \text{ m}}{0.048 \text{ m}} (6.18 \text{ Nm})$$
$$X = 1.28 \text{ Nm}$$

Esa distancia se representará en la figura 16, para calcular las fuerzas provocadas por el par torsor. Iniciando con la posición Inicial del dispositivo (1), y terminando con la posición Inclinada del dispositivo (2).

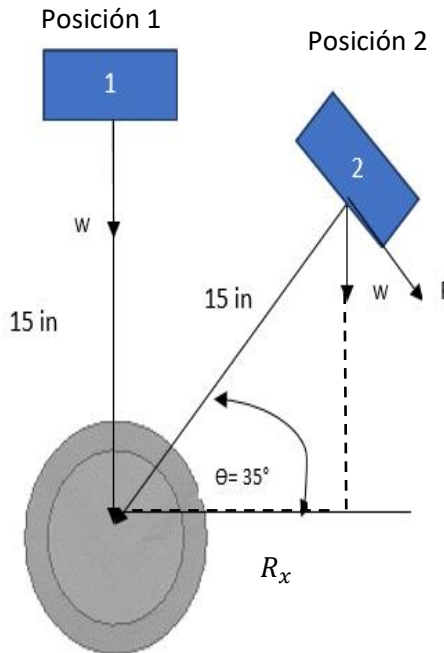


Figura 16. Dispositivo en inclinación.

Las fuerzas en inclinación provocan torsión, por lo que se representarán en un triángulo mostrado con la figura 17. Para poder determinar la variable (R_x) se utiliza la fórmula 3, que es el brazo de palanca que genera la fuerza cuando el dispositivo está en inclinación.

Ley de senos

$$\frac{\alpha}{\text{sen } \alpha} = \frac{\beta}{\text{Sen} \beta}$$

(3)

$$\frac{15 \text{ in}}{\text{sen} 90^\circ} = \frac{R_x}{\text{sen} 35^\circ}$$

$$R_x = \frac{15 \text{ in}}{\text{sen} 90^\circ} (\text{sen} 55^\circ)$$

$$R_x = 12.28 \text{ in} = 0.312 \text{ m}$$

Se representan las fuerzas obtenidas (figura 17).

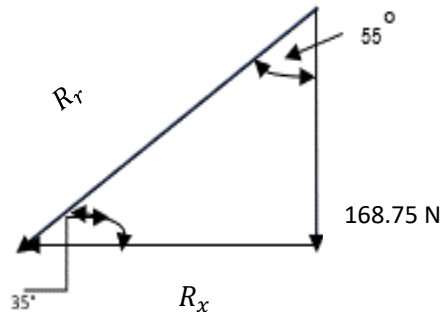


Figura 17. Reacciones representadas.

Con los datos encontrados se utiliza la fórmula 4 para determinar el par torsor.

$$T = Fd \quad (4)$$

$$T = (168.75 \text{ N})(0.312 \text{ m})$$

$$T = 52.65 \text{ Nm}$$

La torsión obtenida es información que se requiere para el cálculo del diámetro del eje. De acuerdo con la fórmula 5 es importante obtener el momento torsor máximo.

$$T_{\text{máx}} = \frac{Ssy}{n} \quad (5)$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{1250 \text{ MPa}}{3}$$

$$T_{\text{máx}} = 416.667 \text{ MPa}$$

Finalmente, se sustituyen los valores para obtener el cálculo del diámetro con ayuda de la siguiente fórmula 6.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\right) \left(\frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2 + (3(K_f s T_a)^2)^{0.5} + \frac{1}{s_{ut}} (4(K_f M_m)^2 + (3(K_f s T_m)^2)^{0.33} \right) \quad (6)$$

Donde podemos simplificar la expresión debido a que T_a y M_m no interactúan en nuestro sistema queda de la siguiente forma (fórmula 7) .

$$d = \left(\frac{16n}{\pi}\right) \left(\frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2 + (3(K_f s T_a)^2)^{0.5} + \frac{1}{s_{ut}} (4(K_f M_m)^2 + (3(K_f s T_m)^2)^{0.33} \right) \quad (7)$$

Organizamos los datos que tenemos para posteriormente hacer la sustitución de datos en la fórmula 7, para ello se requiere el valor de S_{ut} del material 4140 a una temperatura en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de los aceros

1 AISI	2 Tratamiento	3 Temperatura	4 Resistencia a la tensión MPa (Kpsi)	5 Resistencia a la fluencia MPa (Kpsi)	6 Elongación n %	7 Reducción del área, %	8 Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1630 (236)	1460 (212)	10	41	467
	TyR*	315(600)	1500 (217)	1380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1280 (186)	1190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1000)	1030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
	TyR	205 (400)	1770 (257)	1640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1550 (225)	1430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1250 (181)	1140 (165)	13	49	370
4140	TyR	540 (1000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1600)	1020 (148)	655 (95)	18	47	302
	Recocido	815 (1500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
	TyR	315 (600)	1720 (250)	1590 (230)	10	40	486
4340	TyR	425 (800)	1470 (213)	1360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1000)	1170 (170)	1080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

En relación a todo lo obtenido hasta el momento los datos de interés para el eje son: $n = 3$, $S_{ut} = 1250$ MPa, $S_{sy} = 1140$ MPa, $K_f = 1.5$, $M_a = 0.9732$ Nm, $K_{fs} = 1.5$ y $T_m = 52.65$ Nm

Con ayuda de la fórmula 8, obtenemos los siguientes parámetros.

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (8)$$

$$S'_e = (0.5)(1250) \text{ MPa}$$

$$S'_e = 625 \text{ MPa}$$

El valor de K_a es obtenido con ayuda de la tabla 1.1

$$K_a = (a \times S_{ut}^b) \quad (9)$$

Tabla 1.1. Acabado superficial del material .

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	Sut' Kpsi	Sut' MPa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Estos factores son para corregir las condiciones a la que está expuesto el dispositivo.

$$K_a = (4.51 \times 1250 \text{ MPa})^{-0.265}$$

$$K_a = 0.68$$

Se procede al cálculo de Se con la ecuación 10.

$$S_e = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_f)S'_e \quad (10)$$

De acuerdo con los parámetros las constantes se pueden tomar con un valor de 1

$$K_b = 1$$

$$K_c = 1 \text{ (Flexión)}$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 0.702 \text{ Confiabilidad del 99.99}$$

$$K_f = \text{(Barra sólida)}$$

Con la ecuación 10 podemos calcular Se.

$$S_e = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_f)S'_e$$

$$S_e = (0.68)(1)(1)(1)(0.702)(1)(625 \text{ MPa})$$

$$S_e = 298.35 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido el verdadero factor (Se), se sustituye en la ecuación 7.

$$d = \left(\left(\frac{16(3)}{\pi} \right) \left(\frac{1}{298350000 \text{ Pa}} (4(1.5(1.28 \text{ Nm}))^2)^{0.5} + \left(\frac{1}{1250000000 \text{ Pa}} 3(1.5(52.65 \text{ Nm})^2)^{0.5} \right)^{0.33} \right)^{\frac{1}{0.33}}$$

$$d = 0.012 \text{ m} \approx 0.50 \text{ in}$$

$$\frac{D}{d} = 1.2 \quad (11)$$

$$D = (1.2)(0.47 \text{ in})$$

$$D = 0.60 \text{ in}$$

Con la figura 18, se determina la relación de radios que tiene el acero.

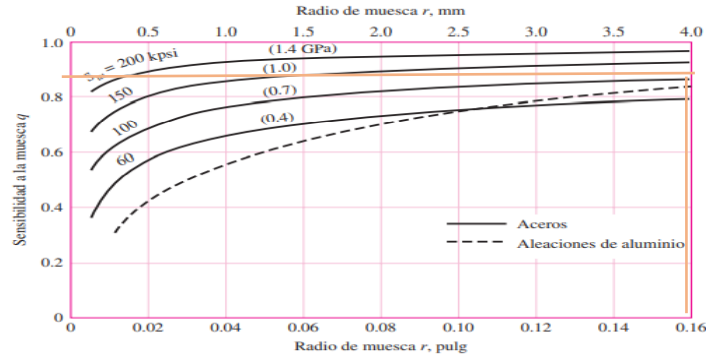


Figura 18.Tabla para aceros [9].

$$\frac{r}{d} = \frac{0.26}{0.534}$$

$$\frac{r}{d} = 0.48$$

$$q = 0.95$$

$$K_t = 1.66$$

$$K_f = 1 + (0.95)(1.66 - 1)$$

$$K_f = 1.627$$

Cálculo del factor Se modificado con la ecuación 10.

$$S_e = (0.68)(1)(1)(1)(0.702)(1.627)(625 \text{ MPa})$$

$$S_e = 485.41 \text{ MPa}$$

Se sustituye el valor de Se en la ecuación 7 y obtenemos los diámetros.

$$d = \left(\left(\frac{16(3)}{\pi} \right) \left(\frac{1}{485410000 \text{ Pa}} (4(1.5(1.28 \text{ Nm}))^2)^{0.5} + \left(\frac{1}{1250000000 \text{ Pa}} (3(1.5(52.65 \text{ Nm})^2)^{0.5}) \right)^{0.33} \right)^{0.33}$$

$$d = 0.011 \approx 0.43 \text{ in}$$

Relación de diámetros sustituyendo en la ecuación 11, para obtener un diámetro máximo confiable.

$$\frac{D}{d} = 1.2$$

$$D = (1.2)(0.43 \text{ in})$$

$$\mathbf{D = 0.516 \text{ in}}$$

Para los cojinetes radiales (R_1 y R_2), se tomará el diámetro interno de 0.5 in para el balero radial (figura 19).

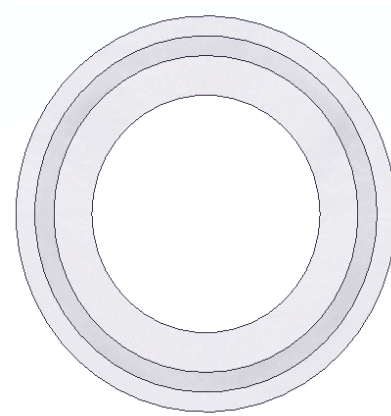


Figura 19. Balero radial.

Datos obtenidos.

$$d = 0.5 \text{ in}$$

$$F = 103.005 \text{ N} = 0.01905 \text{ kN}$$

$$L_R n_R 60 = 10^6$$

$$n = 10 \text{ RPM}$$

Con la ecuación 12 se resuelve la carga que soporta el balero radial.

$$C_{10} = FD \left(\frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{1/3} \quad (12)$$

$$C_{10} = 0.01905 \text{ kN} \left(\frac{5000(10 \text{ RPM})(60)}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{C_{10} = 0.02747 \text{ kN}}$$

Para determinar la fuerza total se utiliza la ecuación 1.

wt: Peso taladro (Kg) y wbt: Peso base taladro (Kg)

$$F = (wt + wbt)(g)$$

$$F = (5 \text{ kg} + 3 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 78.84 \text{ N}$$

El dispositivo mecánico tiene dos guías, por lo que se puede sacar el valor de cada guía dividiendo la F entre 2.

$$F = \frac{78.84}{2} \text{ N}$$

$$F = 39.24 \text{ N por guía}$$

Representación de los movimientos que tendrá la guía, figura 20 y figura 21.

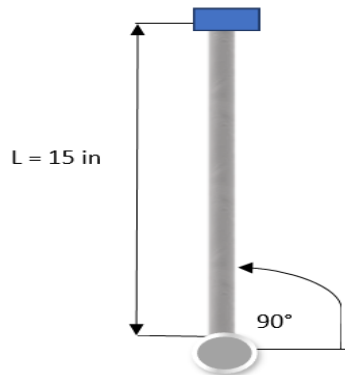


Figura 20. Posición inicial de las guías.

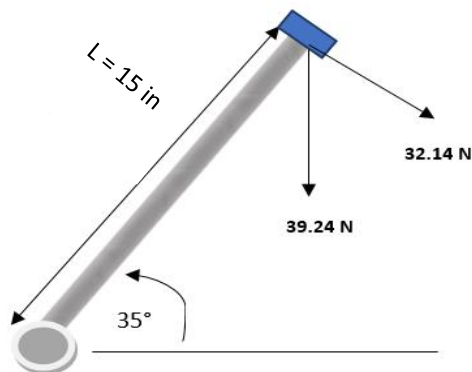


Figura 21. Posición inclinada de las guías.

El movimiento de interés es el de la figura 21, ya que ese movimiento provocaría una falla en el dispositivo. Con ayuda de la ley de senos se representan las fuerzas en la guía (figura 22).

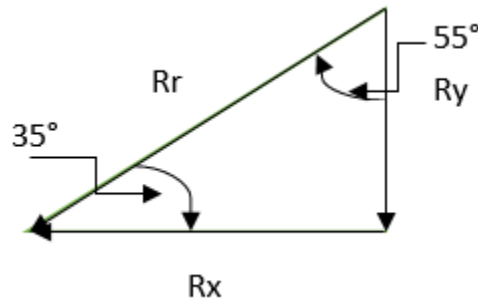


Figura 22. Descomposición de

Para calcular el par torsor que se muestra en la figura 22, se utiliza la ecuación 4.

$$T = (32.14 \text{ N})(0.312 \text{ m})$$

$$\mathbf{T = 10.02 Nm}$$

Para determinar el diámetro se saca ($T_{\text{máx}}$), con la fórmula 13.

$$T_{\text{máx}} = \frac{S_{sy}}{n} \quad (13)$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{1250 \text{ MPa}}{3}$$

$$\mathbf{T_{máx} = 416.667 MPa}$$

Finalmente, el diámetro se determina con el elemento a torsión con la fórmula 14, despejando d para saber el diámetro de las guías.

$$T_{\text{máx}} = \sqrt[3]{\frac{16 T}{\pi d^3}} \quad (14)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(T)}{(\pi)(T_{\text{máx}})}} \quad (15)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(10.02)Nm}{(\pi)(416667000)Pa}}$$

$$\mathbf{d = 0.005 m \approx 0,196 in}$$

Para deslizar el elemento de corte, se utilizan cojinetes lineales teniendo en cuenta el diámetro de las guías.

Datos para cojinetes lineales.

$$d = 0.25 \text{ in}$$

$$F = 39.24 \text{ N} = 0.03924 \text{ kN}$$

$$LRNR60 = 10^6$$

$$n = 10 \text{ RPM}$$

Con ayuda de la ecuación 11, se determinan los esfuerzos que debe de soportarlos baleros lineales.

$$C_{10} = FD \left(\frac{LDnD60}{LRnR60} \right)^{1/3}$$

$$C_{10} = 0.03924 \text{ kN} \left(\frac{5000(10 \text{ RPM})(60)}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C_{10} = 0.0566 \text{ kN}$$

En el catálogo, se debe de seleccionar un balero que soporte una carga de 0.0566 KN y que tenga un diámetro interior de 0.25 in mostrado en la figura 23.



Figura 23. Baleros lineales.

Un elemento importante es el resorte, se obtiene información de sus propiedades físicas y mecánicas de la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los resortes

Material	Limite elástico, porcentaje de Sut, tensión, torsión		Diámetro, d, pulg	E		G	
				Mpsi	Gpa	Mpsi	Gpa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12	82.7
			0.033- 0.063	29	200	11.85	81.7
			0.064- 0.125	28.5	196.5	11.75	81
			>0.125	28	193	11.6	80
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.5	80.7
			0.033- 0.063	28.7	197.9	11.4	80
			0.064- 0.125	28.6	1917.2	11.2	79.3
			>0.125	28.5	14-jul	11.2	78.6

Para su diseño se propone el material de alambre de piano A228 (figura 24).

E= 193 GPa, G = 80 GPa y Lo= 116.75 mm = 6 in

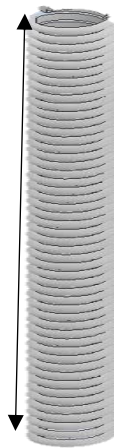


Figura 24. Resorte a compresión.

El resorte soporta el peso que se provoca debido al taladro y los componentes que lo acompañan, por lo que se plantea un análisis de fuerzas con la ecuación 1.

$$F = (W_t + W_{bt} + W_g + W_{be})(g)$$

$$F \approx (5 \text{ Kg} + 3 \text{ Kg} + 8 \text{ Kg} + 5 \text{ Kg})(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 103.005 \text{ N}$$

La fuerza F se cambia a variable de carga para diferenciar de las demás fuerzas.

$$F_{carga} = 103.005 \text{ N}$$

Se hace la suposición de que el alambre tenga un diámetro de 1/8 in de grosor representada con la letra d .

$$d = 1/8 \text{ in} = 3.175 \text{ mm}$$

Se determina la resistencia (S_{sy}) que tiene el alambre con la siguiente formula.

$$S_{sy} = 0.45(A/d^n) \quad (16)$$

Se sustituye con ayuda de la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Propiedades de diferentes tipos de resortes

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi . Pulgm	Diámetro, mm	A, MPa . mmm	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004- 0.256	201	1.10-6.5	2211	2.6
Alambre T y R en aceite	A229	0.187	0.020- 0.500	147	0.5-12.7	1855	1.3
Alambre estirado duro	A227	0.19	0.028- 0.500	140	0.7-12.7	1783	1
Alambre al cromo vanadio	A232	0.168	0.032- 0.437	169	0.8-11.1	2005	3.1

$$S_{sy} = 0.45 Sut$$

$$S_{sy} = (0.45)(2211 \text{ MPa} * \text{mmm})(6.35)^{0.145}$$

$$S_{sy} = 761.025 \text{ MPa}$$

Para determinar el índice del resorte C, se sacan las constantes α y β con las fórmulas (17 y 18) .

$$\alpha = \frac{Ssy}{ns} \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{761.025 \text{ MPa}}{1.2}$$

$$\alpha = 634.1875 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{8(1+\epsilon) F_{\text{máx}}}{\pi(d')^2} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{8(1+0.15)(206.01 \text{ N})}{\pi(6.35 \text{ mm})^2}$$

$$\beta = 14.96 \text{ MPa}$$

Para el índice del resorte se determina con la fórmula 19, empleando los resultados anteriores.

$$C = \frac{2\alpha-\beta}{4\beta} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha-\beta}{4\beta}\right)^2 - \frac{3\alpha}{4\beta}} \quad (19)$$

$$C = \frac{2(634.1875 \text{ MPa})-(14.96 \text{ MPa})}{4(14.96 \text{ MPa})} + \sqrt{\left(\frac{2(634.1875 \text{ MPa})-(14.96 \text{ MPa})}{4(14.96 \text{ MPa})}\right)^2 - \frac{3(634.1875 \text{ MPa})}{4(14.96 \text{ MPa})}}$$

$$C = 10.09$$

Un factor que se puede suponer es N_a , ya que son las aspiras activas en el resorte y por lo general la fabricación es de 10.

$$N_a = 10$$

Para determinar el diámetro medio del resorte se utiliza la siguiente formula 20 despejando la variable D .

$$C = \frac{D}{d} \quad (20)$$

Donde se despeja la variable D .

$$D = dC$$

$$D = (3.175 \text{ mm})(10)$$

$$D = 31.75 \text{ mm}$$

El siguiente paso es determinar el esfuerzo a compresión que tendrá el resorte debido a las fuerzas que carga, se obtiene con la fórmula 21.

$$\tau = K_s \frac{8FD}{(\pi d^3)} \quad (21)$$

$$\tau = 1.13 \left(\frac{8(206.01 \text{ N})(31.75 \text{ mm})}{(\pi(3.175 \text{ mm})^3)} \right)$$

$$\tau = 295.365 \text{ MPa}$$

Al tener un esfuerzo de compresión, el resorte presenta un efecto de curvatura que se determina con la siguiente fórmula 22.

$$K_B = \frac{4C+2}{4C-3} \quad (22)$$

$$K_B = \frac{4(10) + 2}{4(10) - 3}$$

$$K_B = 1.135$$

La deflexión del resorte es considerada como la energía que se necesita para ser deformado y se calcula mediante la fórmula 23.

$$y = \frac{8F(D)^3Na}{(d)^4(G)} \quad (23)$$

$$y = \frac{8(206.01 \text{ N})(31.75 \text{ mm})^3(10)}{(3.175 \text{ mm})^4(80000 \text{ Mpa})}$$

$$y = 32.443 \text{ mm}$$

Posteriormente, Se procede a determinar la razón de la constante del resorte con la siguiente formula 24.

$$k = \frac{F}{y} \quad (24)$$

$$k = \frac{103.005 \text{ N}}{32.44 \text{ mm}}$$

$$k = 3.175 \text{ N/mm}$$

Para determinar las longitudes del resorte se propone un acabado a escuadra y esmerilado mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones de los resortes.

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, Ne	0	1	2	2
Espiras totales, Nt	Na	Na + 1	Na + 2	Na + 2
Longitud libre, Lo	pNa + d	p(Na + 1)	pNa + 3d	pNa + 2
Longitud sólida, Ls	d(Nt + 1)	dNt	d(Nt + 1)	dNt
Paso, p	(Lo-d)/Na	Lo/(Na+1)	(Lo - 3d)/Na	(Lo - 2d)/Na

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 10 + 2$$

$$N_t = 12$$

$$L_o = (N_t)d + y + a \quad (25)$$

$$L_o = (12)(3.175 \text{ mm}) + 32.443 \text{ mm} + (1/4) 32.443 \text{ mm}$$

$$L_o = 78.653 \text{ mm}$$

$$p = \frac{(L_o - 2d)}{N_a} \quad (26)$$

$$p = \frac{(142.15 \text{ mm} - 2(3.175 \text{ mm}))}{10} = 7.230 \text{ mm}$$

$$Ls = d(N_t) \quad (27)$$

$$Ls = (3.175 \text{ mm}) (12)$$

$$Ls = 38.1 \text{ mm}$$

Finalmente, se organizan los datos para tener una mejor representación de los factores que están presentes en el resorte a diseñar (tabla 4 y figura 25).

Tabla 4. Valores de los resortes

Simbología	Valores	Unidades	conversión	Unidades
E=	193	GPa	193000	MPa
G=	80	GPa	80000	Mpa
Fcarga=	103.005	N		
d=	3.175	mm		
C=	10			
N_a =	10			
D=	31.75	mm		
t=	295.365	Mpa		
K_b =	1.135			
Y=	32.443	mm		
k=	3.175	N/mm		
N_t =	12			
L_o =	78.653	mm		
p=	7.230	mm		
L_s =	38.1	mm		

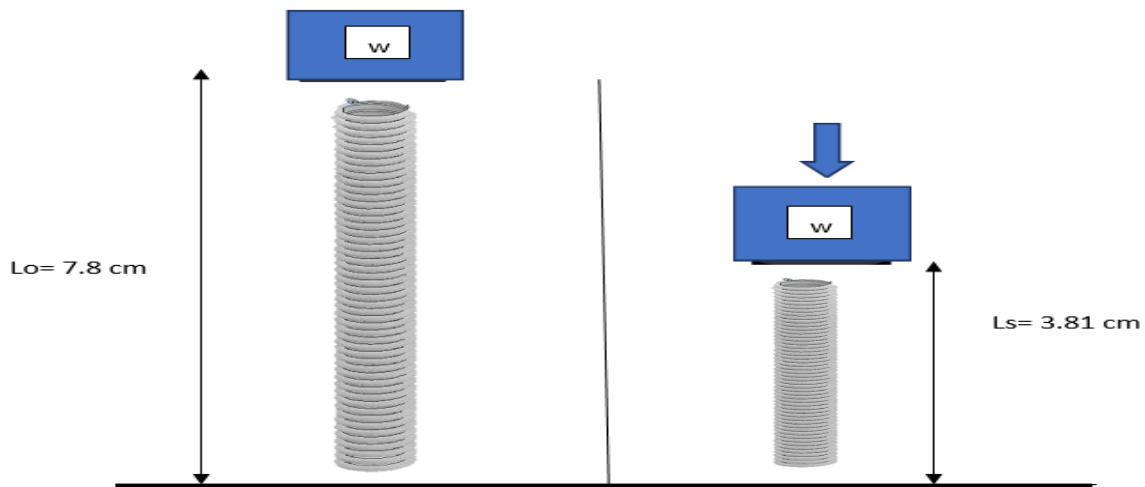


Figura 25. Fuerzas en el resorte

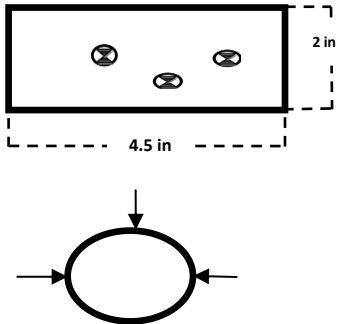
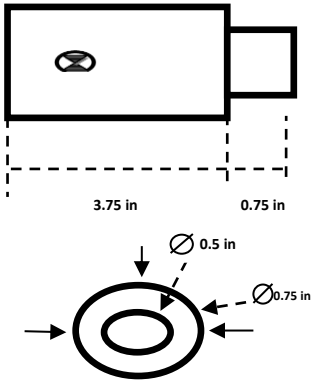
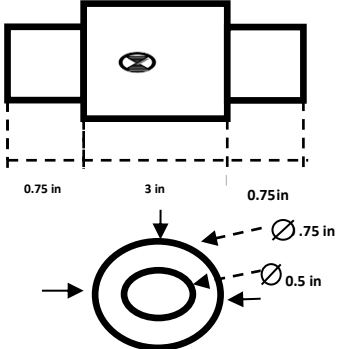
Resultados

Diagramas de procesos de manufactura

Pieza: Eje

Material: Acero 4140

Unidades: in

Fase N°	Esquema explicativo	Máquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torno ➤ Buril de tungsteno ➤ Calibrador vernier 6" 	<p>Desbastar hasta un diámetro de 0.75 in.</p> <p>Utilizar refrigerante.</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torno ➤ Buril de tungsteno ➤ Calibrador vernier 	<p>Desbastar hasta 0.5 in.</p> <p>Utilizar refrigerante</p>
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Torno ➤ Buril de tungsteno ➤ Calibrador vernier 	<p>Desbastar hasta 0.5 in.</p> <p>Utilizar refrigerante</p>

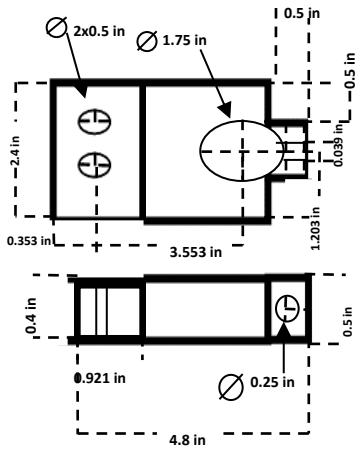
Pieza: Base para taladro

Material: Aluminio

Unidades: in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cortadora sierra cinta ➤ Calibrador vernier 	Cortar con avance lento y lubricante
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cortadora sierra cinta ➤ Calibrador vernier 	Cortar con avance lento y lubricante
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8, 1/4 y 1/2 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Taladrar por el método de picoteo.

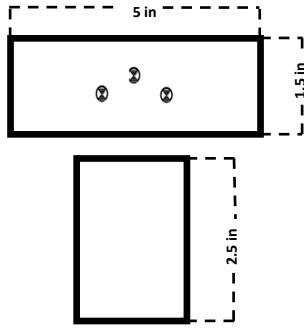
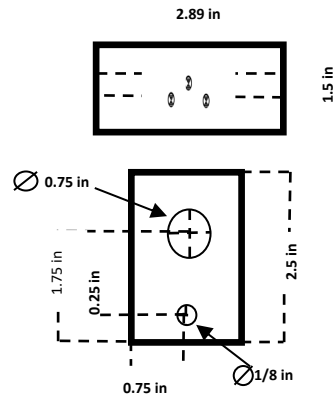
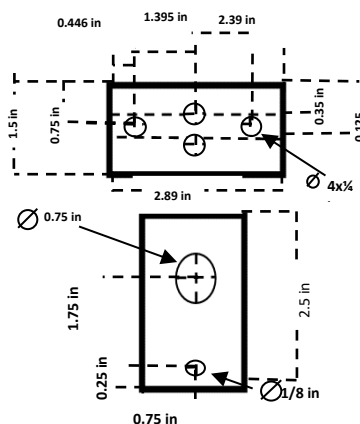
Fase Nº	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
40		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8, 1/4 y 1/2 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Taladrar por el método de picoteo.
50		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8 y 1/4 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Taladrar por el método de picoteo.
60		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Máquina CNC ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	<p>Taladrar por el método de picoteo.</p> <p>No mover la pieza una vez que empieza el proceso.</p>

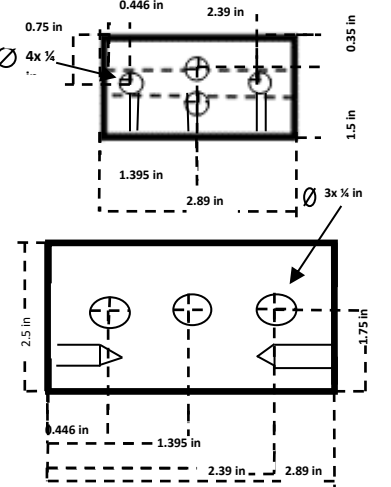
Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
70	 <p>The technical drawing consists of two views: a top view and a side view. The top view shows a rectangular part with a central circular feature. Dimensions include a total width of 4.8 in, a central width of 3.553 in, and a total height of 2.4 in. There are two circular features on the left, each with a diameter of 0.5 in, and a larger circular feature on the right with a diameter of 1.75 in. The side view shows a rectangular part with a total height of 0.5 in and a total width of 4.8 in. It includes a central rectangular feature with a width of 0.921 in and a circular feature with a diameter of 0.25 in. Various other dimensions are provided for the top view, such as 0.353 in, 1.203 in, 0.039 in, and 0.5 in.</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Fresadora vertical➤ Cortador vertical de ½➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	Desbastar a la altura de las ranuras del balero lineal.

Pieza: Caja para eje

Material: Aluminio 6061

Unidades : in

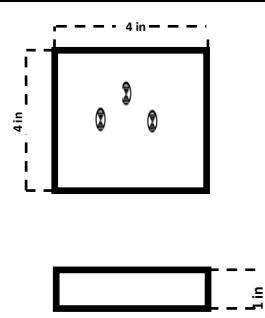
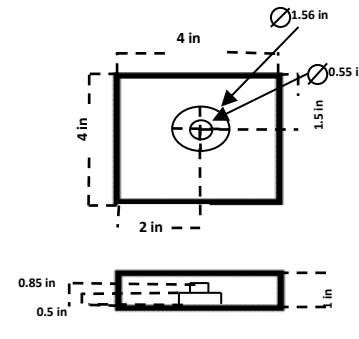
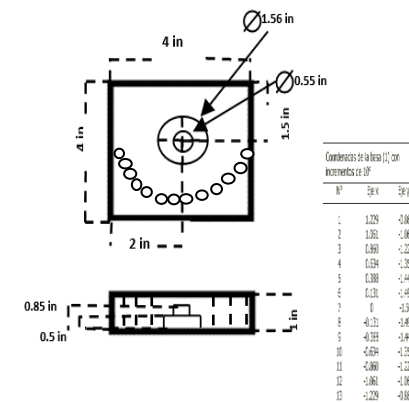
Fase Nº	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cortadora sierra cinta ➤ Calibrador vernier 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor de la sierra cinta
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8, 1/4, 1/2 y 3/4 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Se debe de hacer el barreno pasado, una vez empezado el proceso no mover la pieza.
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8 y 1/4 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Se debe de hacer el barreno pasado, una vez empezado el proceso no mover la pieza.

Fase Nº	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
40		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8 y 1/4 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	<p>Se debe de hacer el barreno pasado, una vez empezado el proceso no mover la pieza.</p>

Pieza: Base (1)

Material: Aluminio 6061

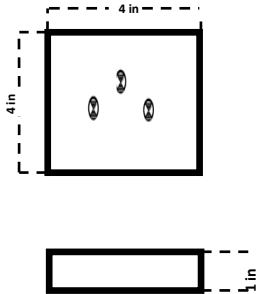
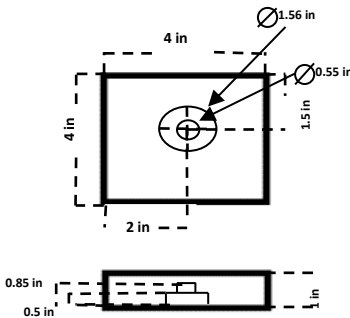
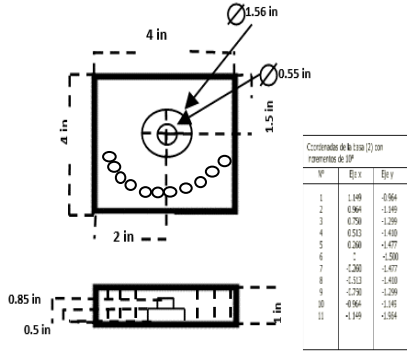
Unidades : in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones																																													
10		<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	Utilizar la máquina CNC con un especialista.																																													
20		<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	La profundidad debe ser exacta debido al ajuste que necesita el balero radial.																																													
30	 <table><tr><th colspan="3">Coordenadas de la base (1), con incrementos de 0.01"</th></tr><tr><th>N°</th><th>X (in)</th><th>Y (in)</th></tr><tr><td>1</td><td>0.125</td><td>-0.000</td></tr><tr><td>2</td><td>0.150</td><td>-0.063</td></tr><tr><td>3</td><td>0.000</td><td>-0.229</td></tr><tr><td>4</td><td>0.024</td><td>-0.389</td></tr><tr><td>5</td><td>0.100</td><td>-0.449</td></tr><tr><td>6</td><td>0.125</td><td>-0.494</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>-0.500</td></tr><tr><td>8</td><td>-0.125</td><td>-0.494</td></tr><tr><td>9</td><td>-0.150</td><td>-0.449</td></tr><tr><td>10</td><td>-0.024</td><td>-0.389</td></tr><tr><td>11</td><td>-0.000</td><td>-0.229</td></tr><tr><td>12</td><td>-0.063</td><td>-0.063</td></tr><tr><td>13</td><td>-0.229</td><td>-0.000</td></tr></table>	Coordenadas de la base (1), con incrementos de 0.01"			N°	X (in)	Y (in)	1	0.125	-0.000	2	0.150	-0.063	3	0.000	-0.229	4	0.024	-0.389	5	0.100	-0.449	6	0.125	-0.494	7	0	-0.500	8	-0.125	-0.494	9	-0.150	-0.449	10	-0.024	-0.389	11	-0.000	-0.229	12	-0.063	-0.063	13	-0.229	-0.000	<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	Los barrenos tienen las coordenadas en la tabla partiendo del centro del diámetro de 1.56 in
Coordenadas de la base (1), con incrementos de 0.01"																																																
N°	X (in)	Y (in)																																														
1	0.125	-0.000																																														
2	0.150	-0.063																																														
3	0.000	-0.229																																														
4	0.024	-0.389																																														
5	0.100	-0.449																																														
6	0.125	-0.494																																														
7	0	-0.500																																														
8	-0.125	-0.494																																														
9	-0.150	-0.449																																														
10	-0.024	-0.389																																														
11	-0.000	-0.229																																														
12	-0.063	-0.063																																														
13	-0.229	-0.000																																														

Pieza: Base (1)

Material: Aluminio 6061

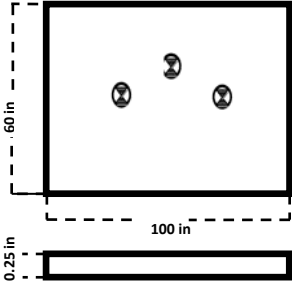
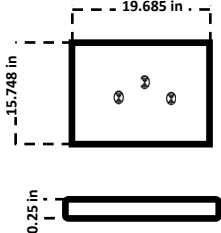
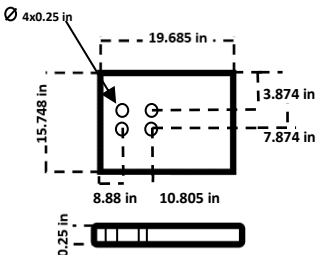
Unidades : in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones																																				
10		<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	Utilizar la máquina CNC con un especialista.																																				
20		<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	La profundidad debe ser exacta debido al ajuste que necesita el balero radial.																																				
30	 <table><caption>Coordenadas de la tira (2) con respecto de ZPP</caption><thead><tr><th>N°</th><th>Rx (x)</th><th>Ry (y)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>-1.149</td><td>-0.964</td></tr><tr><td>2</td><td>-0.964</td><td>-1.149</td></tr><tr><td>3</td><td>-0.759</td><td>-1.299</td></tr><tr><td>4</td><td>-0.553</td><td>-1.450</td></tr><tr><td>5</td><td>-0.346</td><td>-1.607</td></tr><tr><td>6</td><td>-</td><td>-1.761</td></tr><tr><td>7</td><td>-0.260</td><td>-1.607</td></tr><tr><td>8</td><td>-0.113</td><td>-1.450</td></tr><tr><td>9</td><td>-0.064</td><td>-1.299</td></tr><tr><td>10</td><td>-0.064</td><td>-1.145</td></tr><tr><td>11</td><td>-1.149</td><td>-0.964</td></tr></tbody></table>	N°	Rx (x)	Ry (y)	1	-1.149	-0.964	2	-0.964	-1.149	3	-0.759	-1.299	4	-0.553	-1.450	5	-0.346	-1.607	6	-	-1.761	7	-0.260	-1.607	8	-0.113	-1.450	9	-0.064	-1.299	10	-0.064	-1.145	11	-1.149	-0.964	<ul style="list-style-type: none">➤ Taladro de banco➤ Máquina CNC➤ Clamps➤ Perico 8 in➤ Calibrador vernier	Los barrenos tienen las coordenadas en la tabla partiendo del centro del diámetro de 1.56 in
N°	Rx (x)	Ry (y)																																					
1	-1.149	-0.964																																					
2	-0.964	-1.149																																					
3	-0.759	-1.299																																					
4	-0.553	-1.450																																					
5	-0.346	-1.607																																					
6	-	-1.761																																					
7	-0.260	-1.607																																					
8	-0.113	-1.450																																					
9	-0.064	-1.299																																					
10	-0.064	-1.145																																					
11	-1.149	-0.964																																					

Pieza: Base inferior

Material: Acero

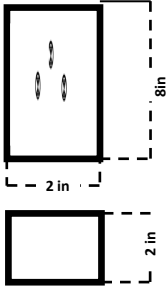
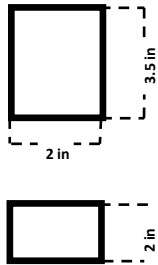
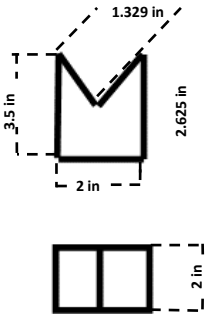
Unidades : in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Medir el espesor del disco y realizar el corte
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Medir el espesor del disco y realizar el corte
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8 y 1/4 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Calibrador vernier 	Se debe de hacer el barreno pasado, una vez empezado el proceso no mover la pieza.

Pieza: Mordaza

Material: Acero

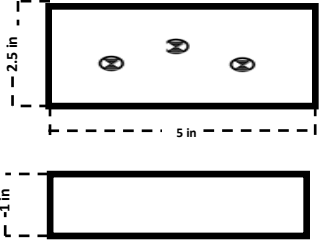
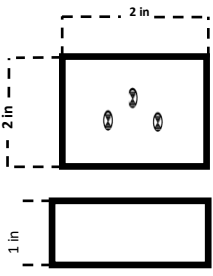
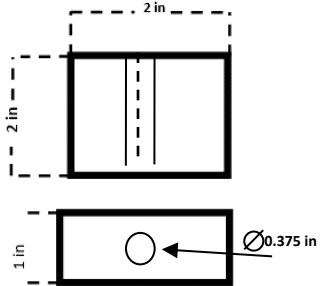
Unidades : in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor del disco de corte
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor del disco de corte
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor del disco de corte

Pieza: Separador de mordazas

Material: Acero

Unidades : in

Fase N°	Esquema explicativo	Maquinas, herramientas de corte Elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor del disco de corte
20		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esmeril con disco de corte ➤ Mordazas ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Se debe de hacer un corte considerando el espesor del disco de corte
30		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taladro de banco ➤ Broca de centros, 1/8, 1/4 y 3/8 ➤ Clamps ➤ Perico 8 in ➤ Flexómetro 	Realizar el barreno de forma ascendente.

4

3

2

1

F

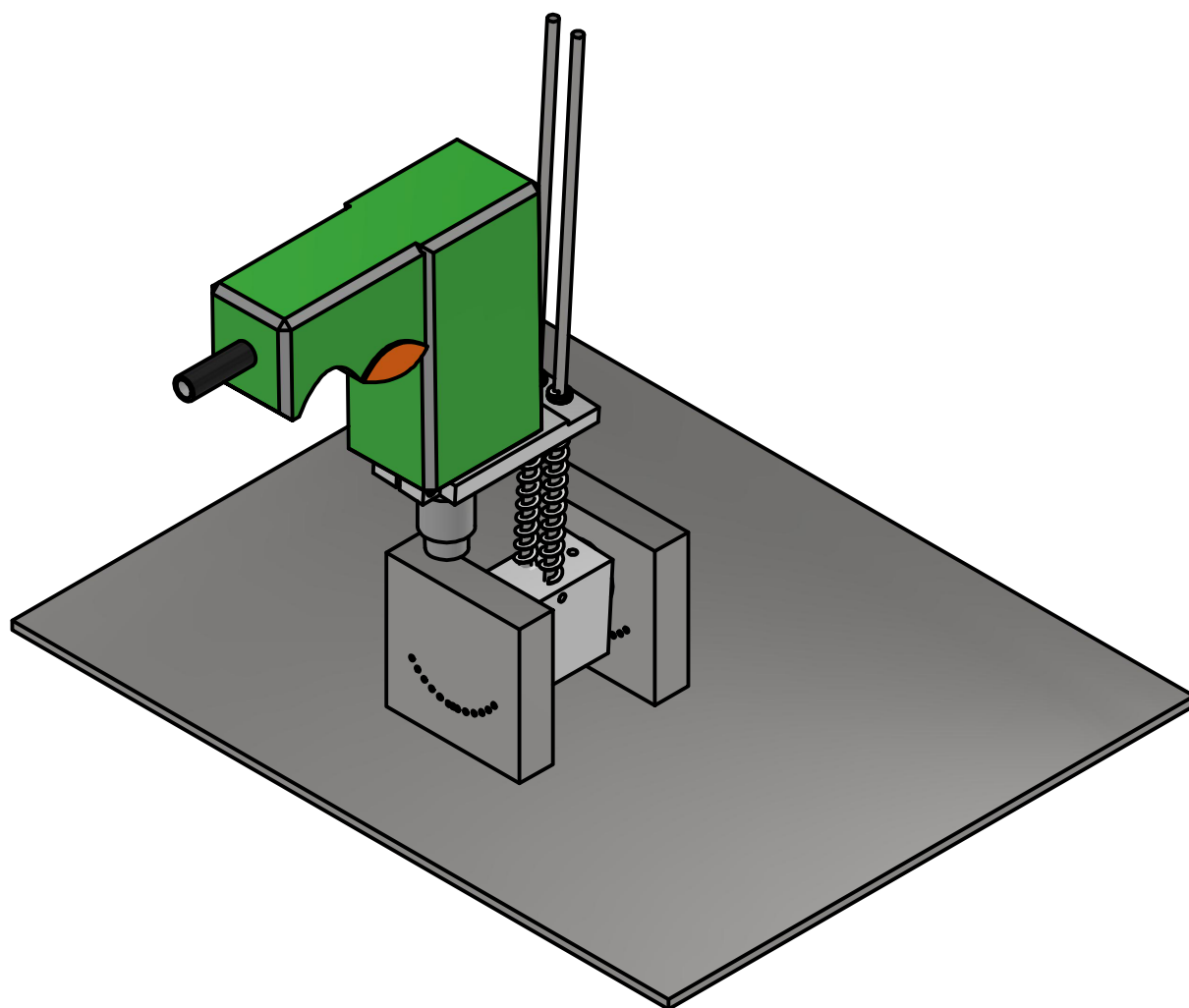
E

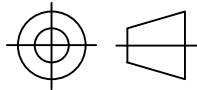

D

C

B

A



Material: Varios	Especificaciones particulares:	Fecha: 27/01/2023	Rev: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:4	Nombre de la pieza: Dispositivo mecánico para tubos de acero	Dibujado por: Ramírez Rivera Raúl	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in			
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco	 Azcapotzalco	
Formato: A4	No. Plano: 1	Hoja: 1/11	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

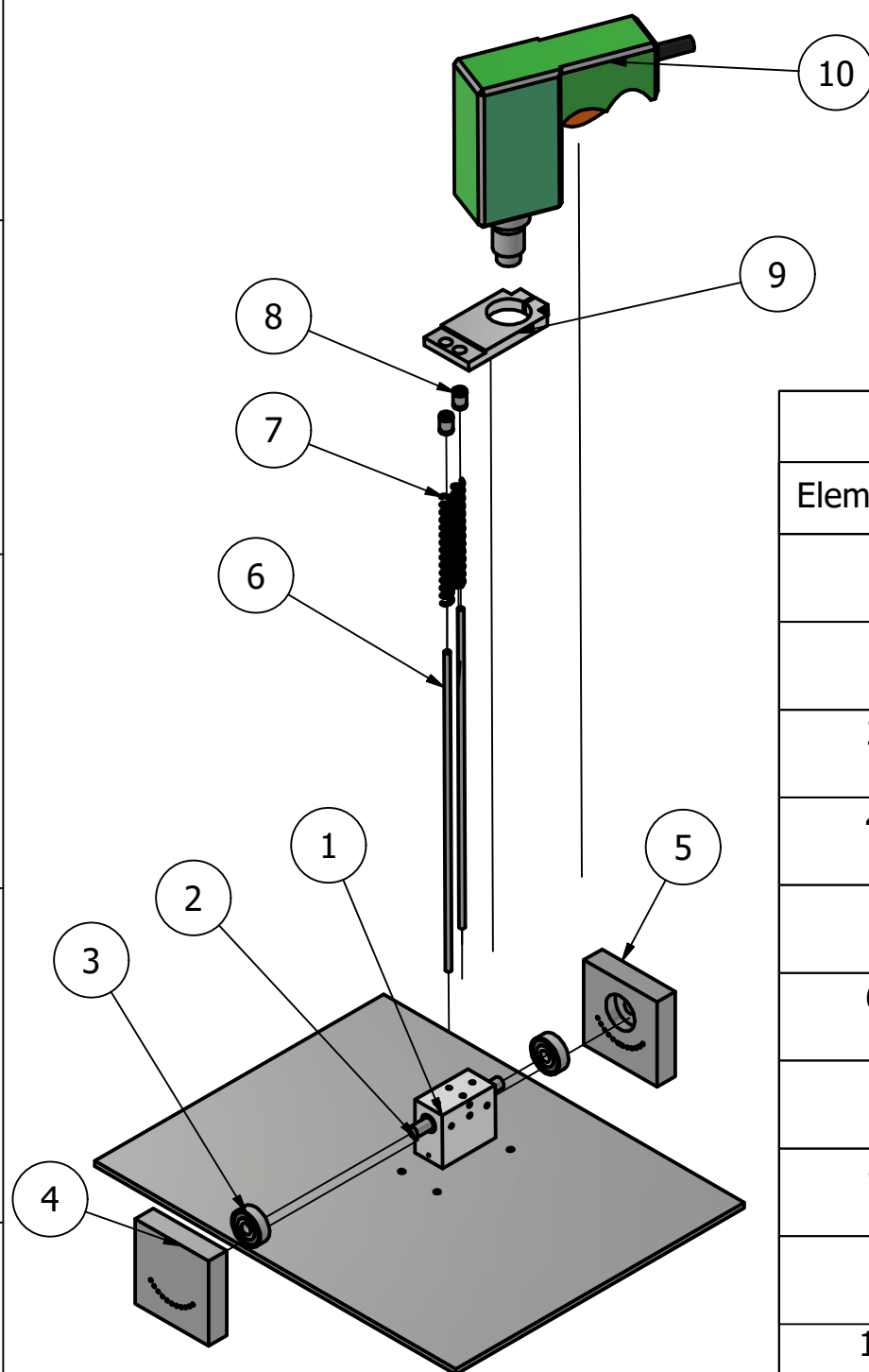
E

D

C

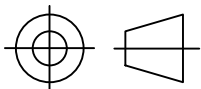

B

A



Lista de materiales

Elemento	Cantidad	Nº pieza
1	1	Caja para eje
2	1	Eje
3	2	Balero radial
4	1	Base 1
5	1	Base 2
6	2	Guías
7	2	Resortes
8	2	Baleros lineales
9	1	Base taladro
10	1	Taladro

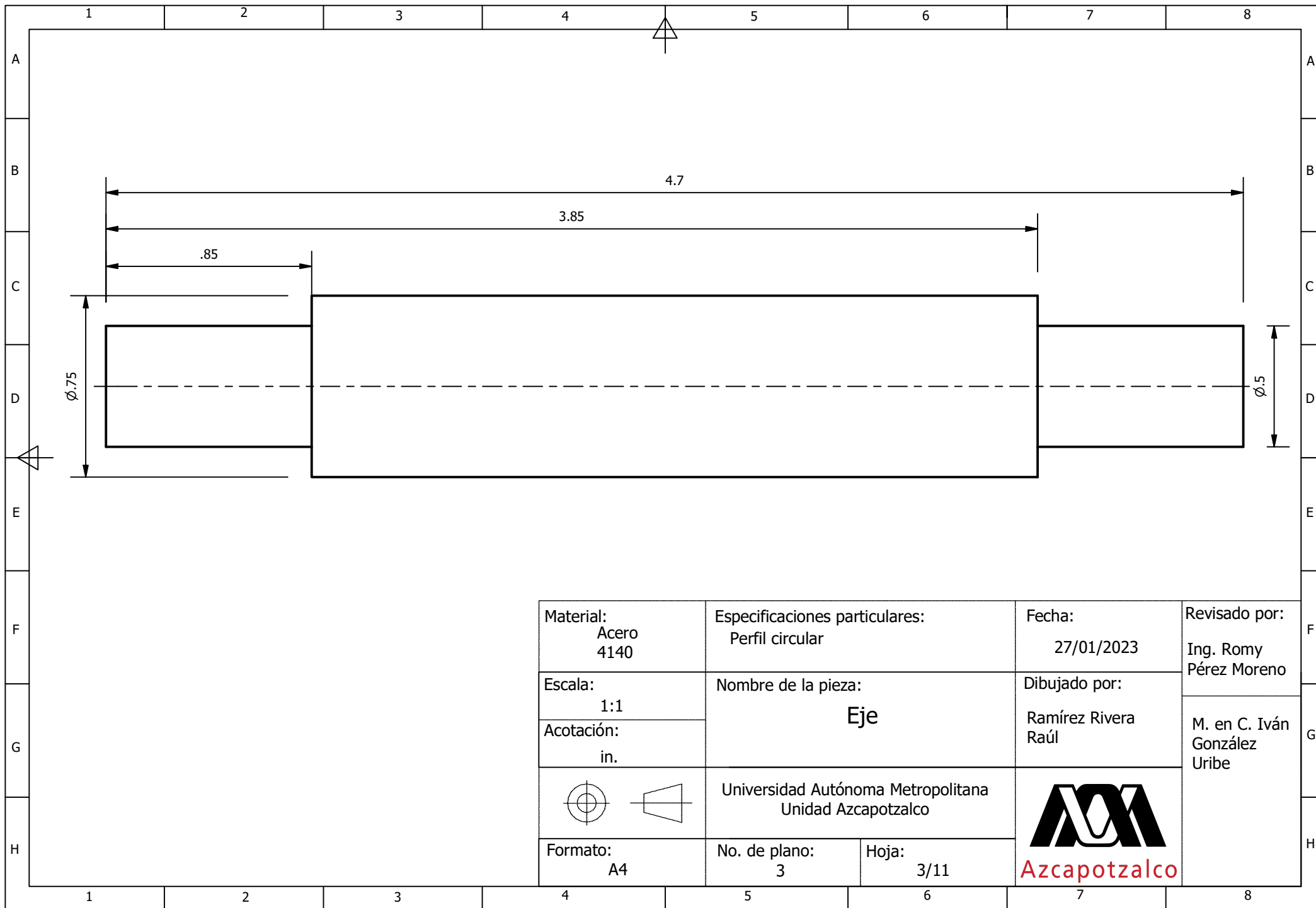
Material: Varios	Especificaciones particulares:	Fecha: 27/01/2023	Rev: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:7	Nombre de la pieza: Explosionado	Dibujado por: Ramírez Rivera Raúl	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in			
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco		
Formato: A4	No. Plano: 2	Hoja: 2/11	

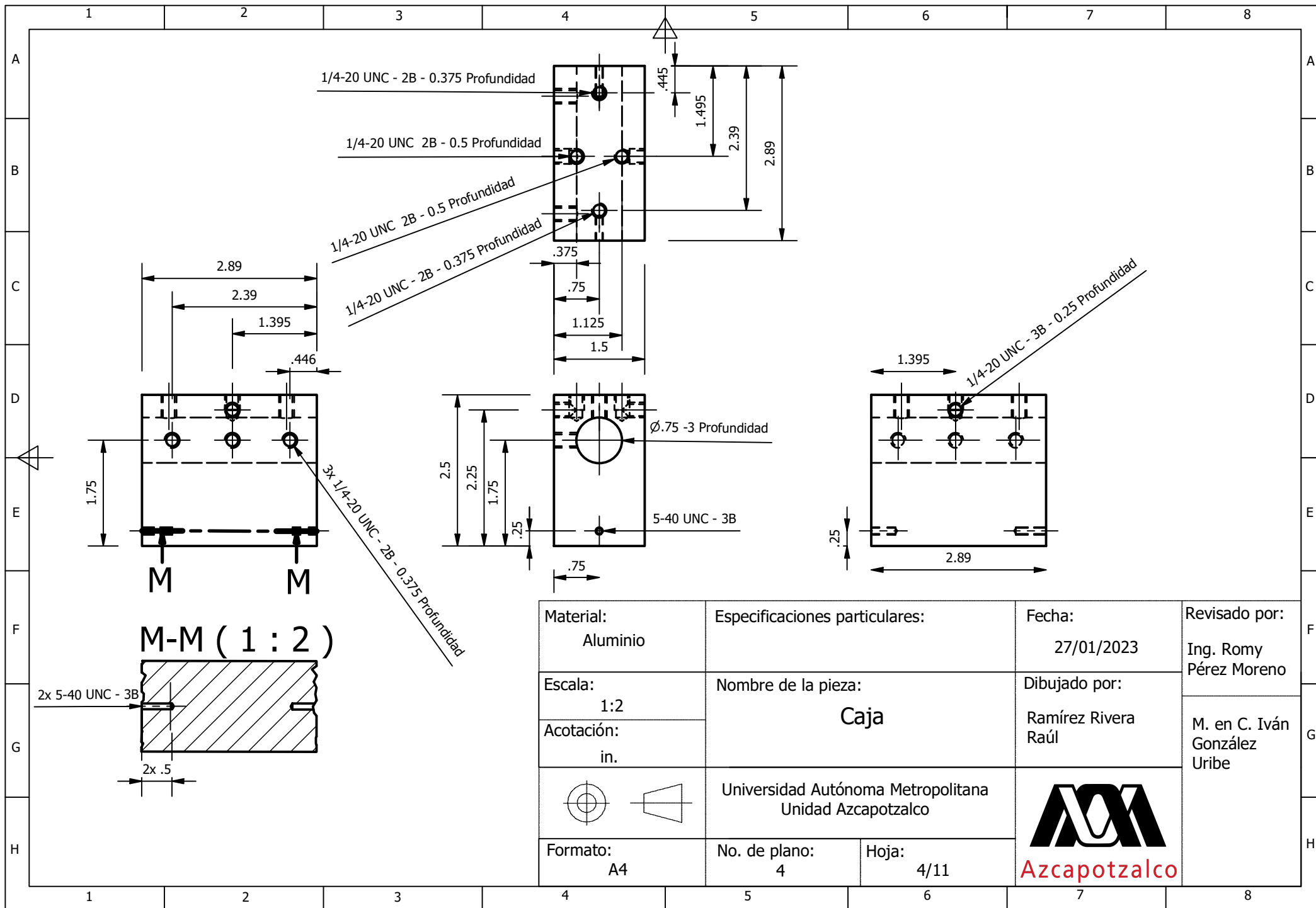
4



3

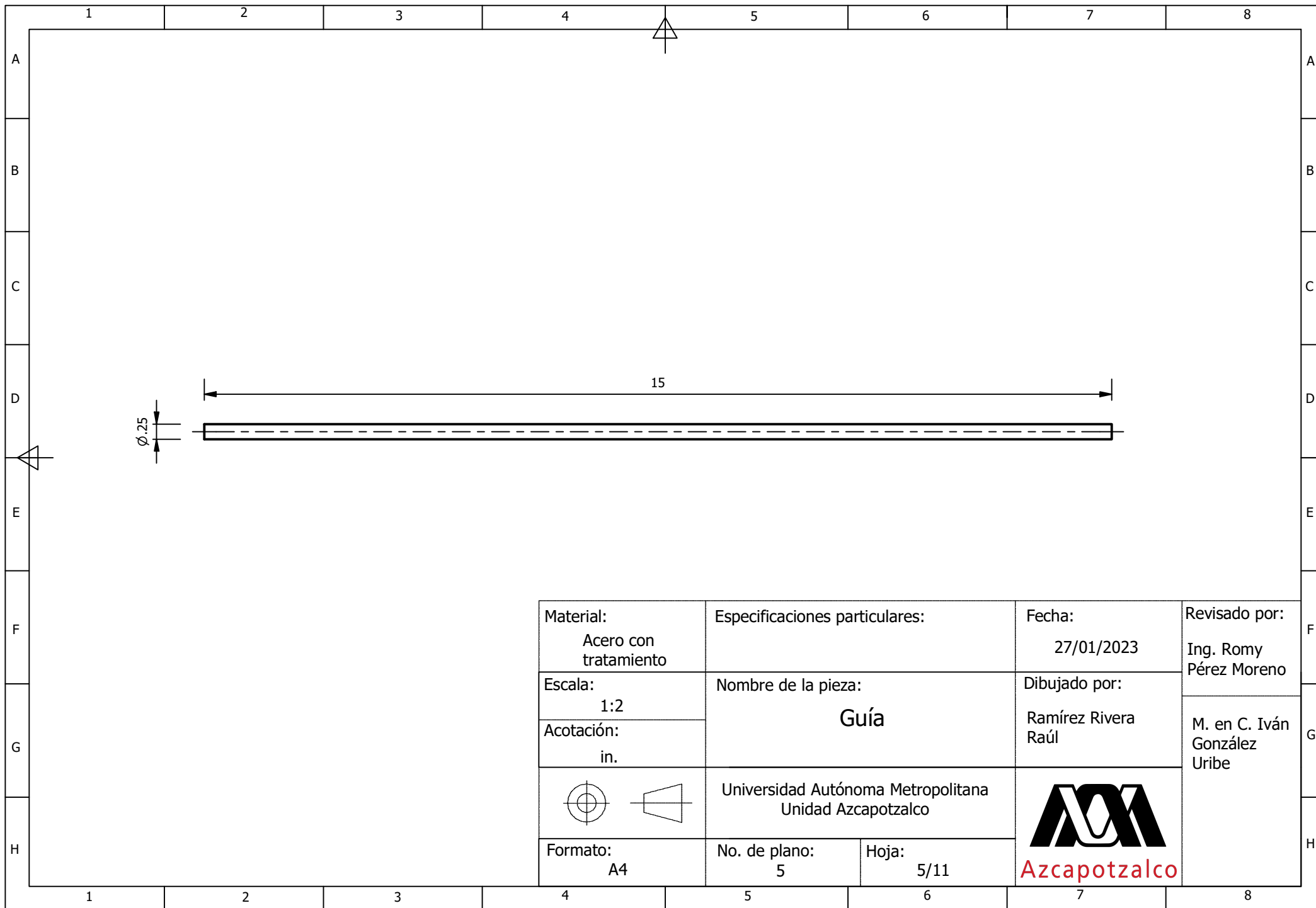
2

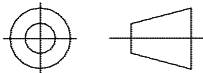

1

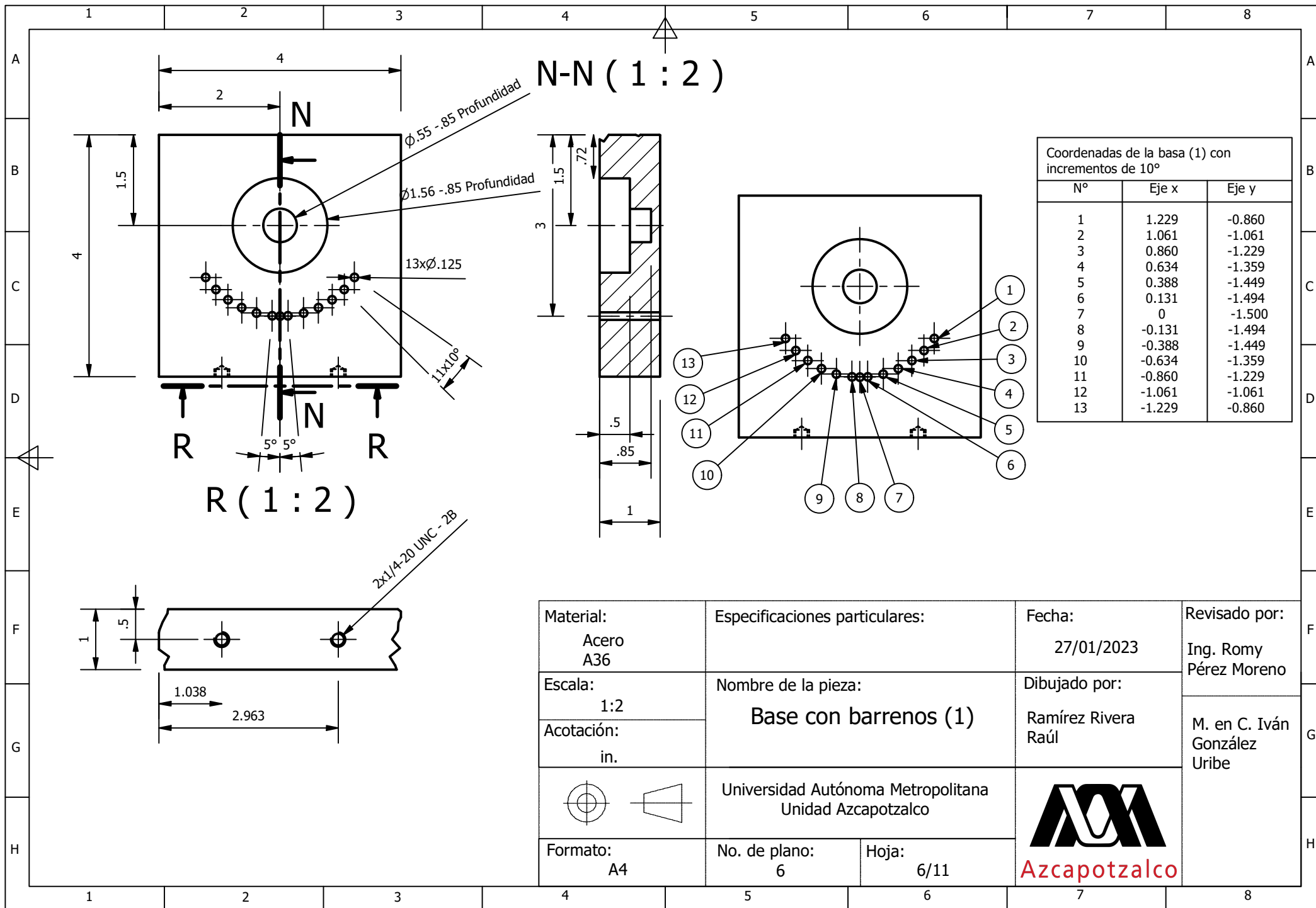




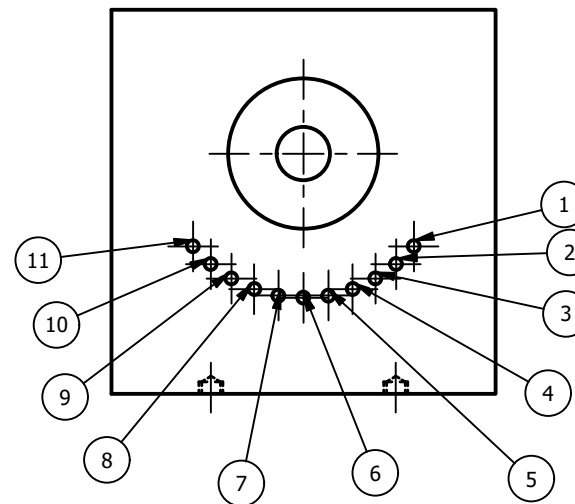
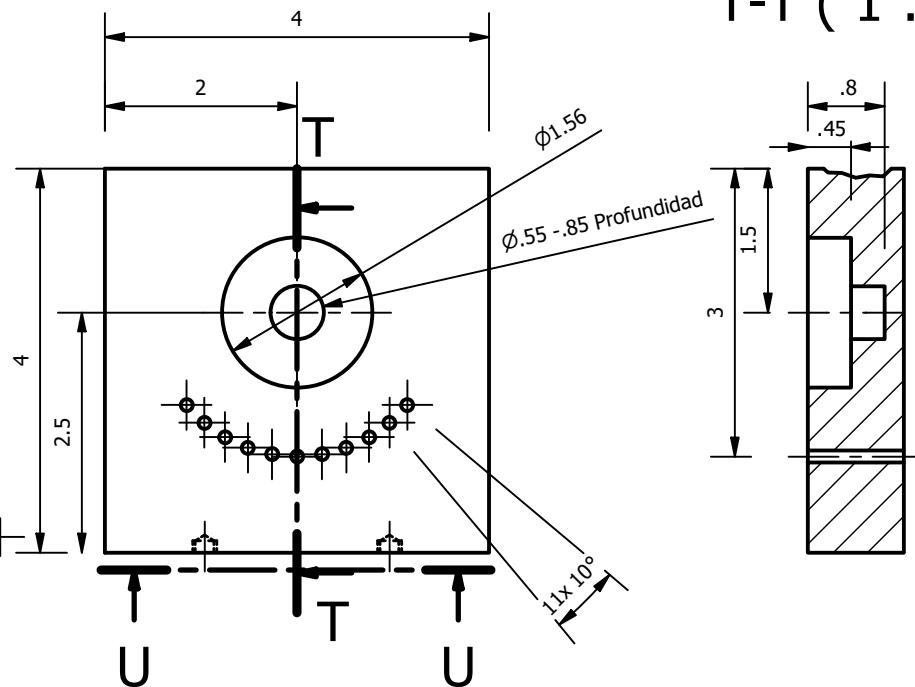
Material: Aluminio	Especificaciones particulares:	Fecha: 27/01/2023	Revisado por: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:2	Nombre de la pieza: Caja	Dibujado por: Ramírez Rivera Raúl	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in.			
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco		 Azcapotzalco
Formato: A4	No. de plano: 4	Hoja: 4/11	



Material: Acero con tratamiento	Especificaciones particulares:		Fecha: 27/01/2023	Revisado por: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:2	Nombre de la pieza: Guía		Dibujado por:	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in.			Ramírez Rivera Raúl	
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco			
Formato: A4	No. de plano: 5	Hoja: 5/11	Azcapotzalco	

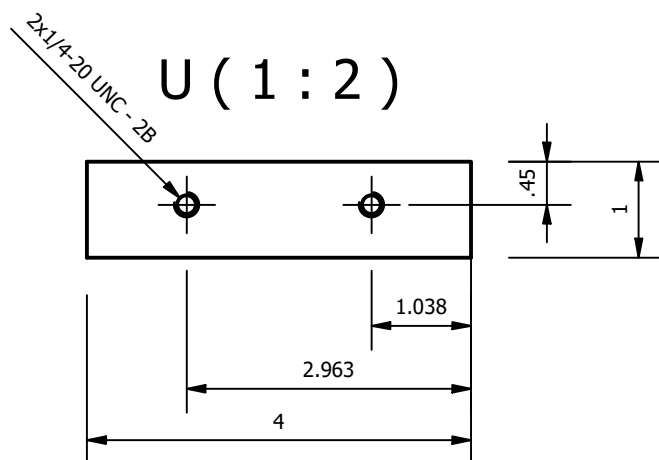


T-T (1 : 2)



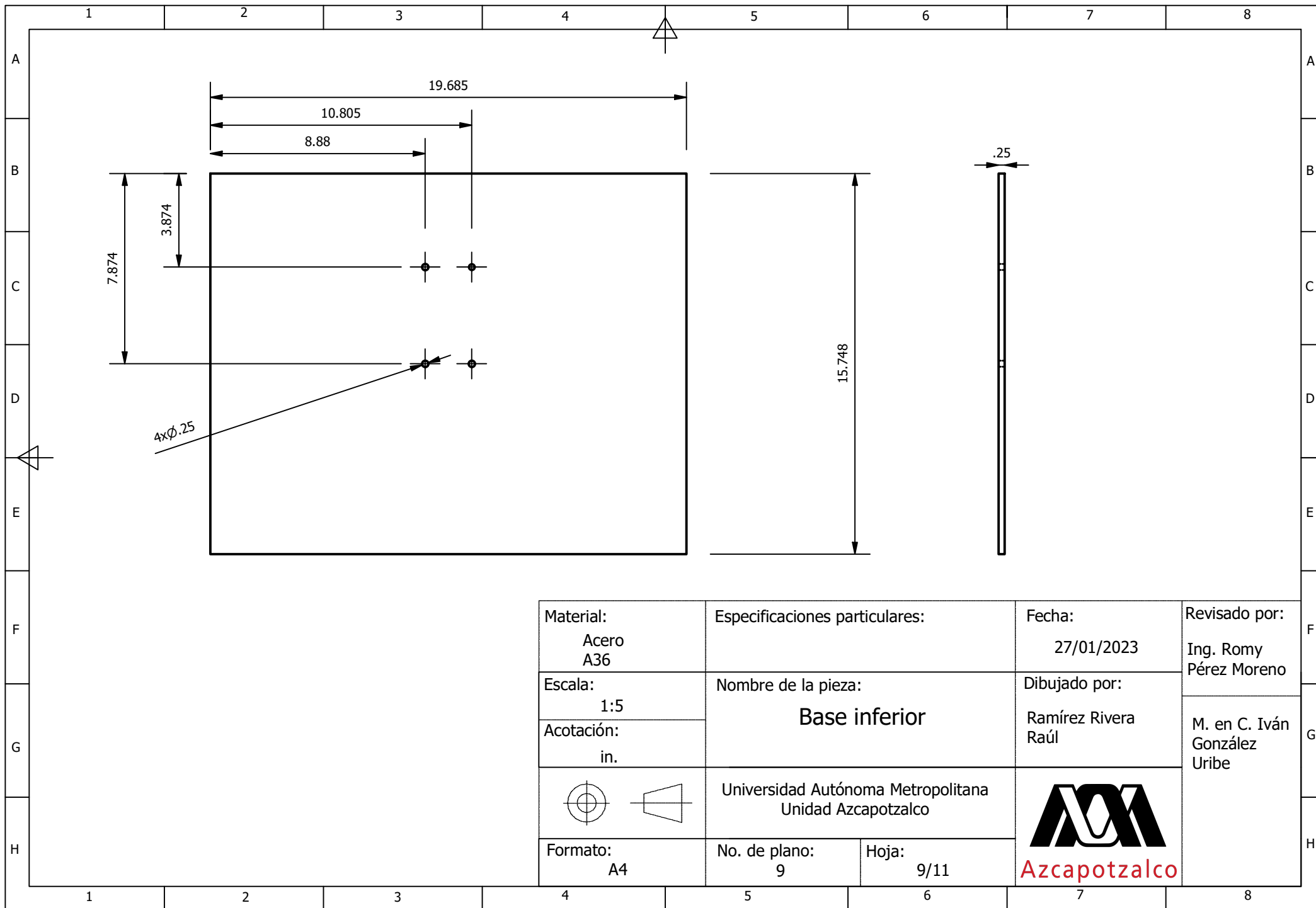
Coordenadas de la basa (2) con incrementos de 10°		
N°	Eje x	Eje y
1	1.149	-0.964
2	0.964	-1.149
3	0.750	-1.299
4	0.513	-1.410
5	0.260	-1.477
6	0	-1.500
7	-0.260	-1.477
8	-0.513	-1.410
9	-0.750	-1.299
10	-0.964	-1.149
11	-1.149	-0.964

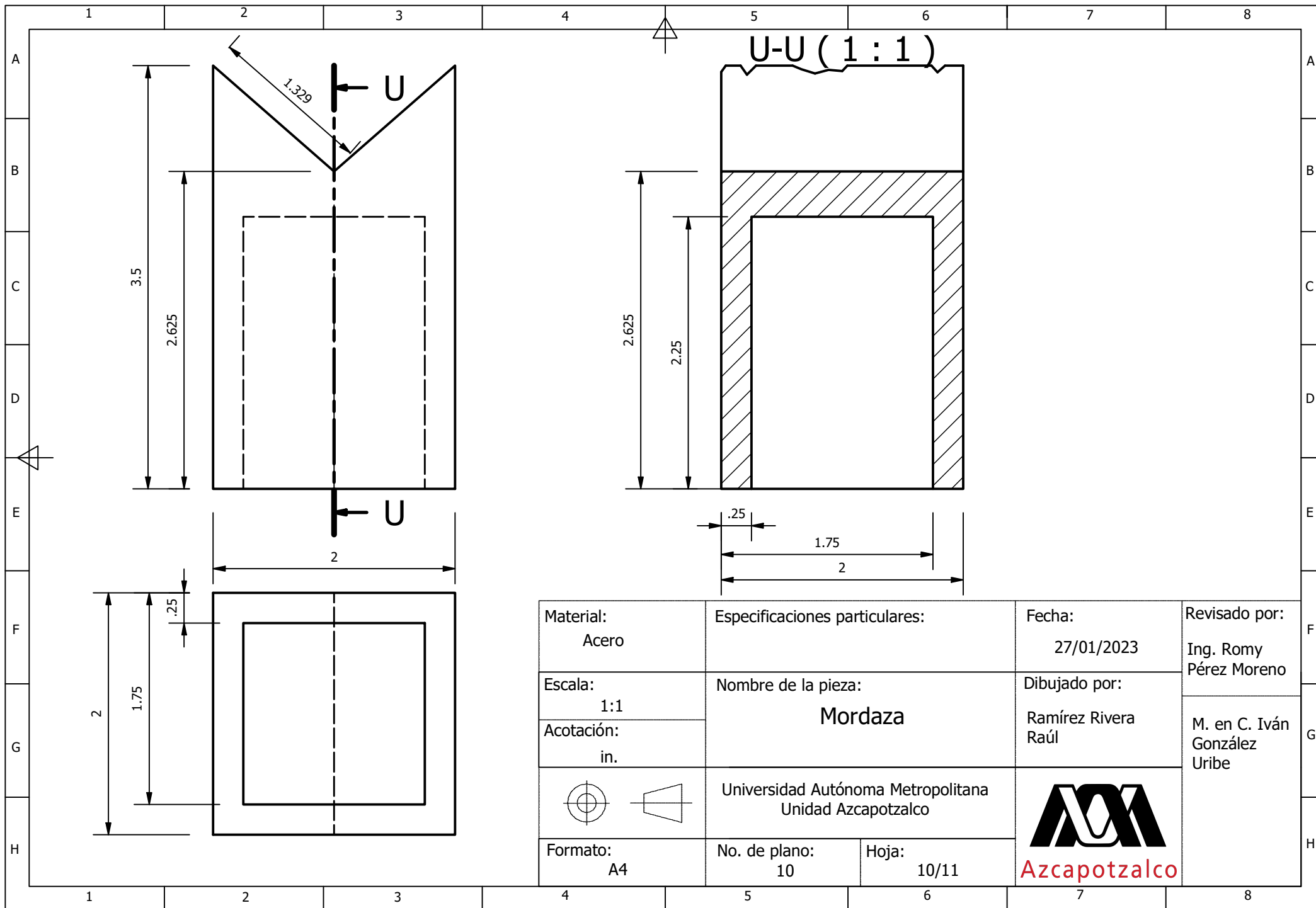
U (1 : 2)

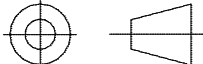



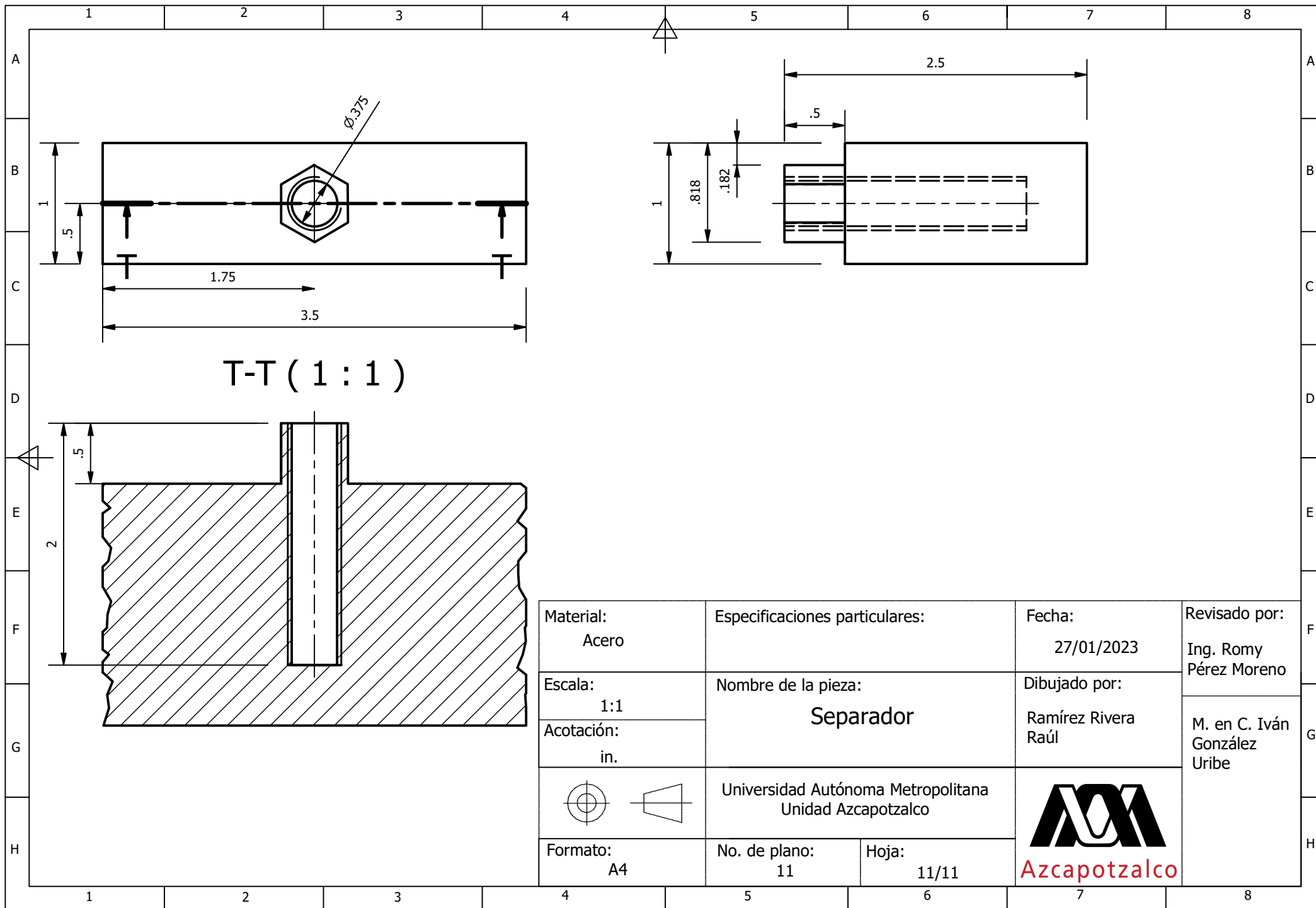
Material: Acero A36	Especificaciones particulares:	Fecha: 27/01/2023	Revisado por: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:2	Nombre de la pieza: Base con barrenos (2)	Dibujado por: Ramírez Rivera Raúl	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in.			
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco		
Formato: A4	No. de plano: 7	Hoja: 7/11	

Azcapotzalco





Material: Acero	Especificaciones particulares:		Fecha: 27/01/2023	Revisado por: Ing. Romy Pérez Moreno
Escala: 1:1	Nombre de la pieza: Mordaza		Dibujado por: Ramírez Rivera Raúl	M. en C. Iván González Uribe
Acotación: in.				
	Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco		 Azcapotzalco	
Formato: A4	No. de plano: 10	Hoja: 10/11		



Análisis y discusión de resultados

Inicialmente las medidas de las piezas que se obtuvieron en los cálculos se cotizaron en el mercado, determinando existencias y obteniendo una aproximación al valor obtenido.

El primer elemento que se modificó fue el eje, obteniendo los siguientes valores en los cálculos.

$$d = 0.011 \approx 0.43 \text{ in}$$

$$D = 0.516 \text{ in}$$

Se observa que las medidas tienen decimales que no fabrican, por lo que se aproxima a la medida más común quedando de la siguiente forma (figura 26).

$$d = 0.5 \text{ in}$$

$$D = 0.75 \text{ in}$$



Figura 26. Eje maquinado

Los baleros que acompañan al eje para resistir las cargas, se obtuvo el siguiente valor.

$$d = 0.5 \text{ in}$$

$$C_{10} = 0.02747 \text{ kN}$$

Lo que indica que la carga requerida está por debajo de cualquier balero, por lo que se tenían amplios baleros para la elección (figura 27).



Figura 17. Balero radial comercial

Otro elemento que se modificó fueron las guías, se obtuvieron los siguientes valores.

$$d = 0.005 \text{ m} \approx 0,196 \text{ in}$$

Una vez obtenido se cotizó la existencia en el mercado, por lo que se tuvo que aproximar a la medida comercial más cercana (figura 28).

$$d = 0.25 \text{ in}$$



Figura 28. Guía maquinada

El elemento que acompaña a las guías son los baleros lineales por lo que se escogió un balero que cumpliera con las características (figura 29).

$$d = 0.25 \text{ in}$$

$$C_{10} = 0.0566 \text{ kN}$$



Figura 29. Balero lineal comercial

Estos materiales son los que se modificaron debido a los fabricantes de baleros, ya que utilizan medidas estándar y se consideró el criterio de escoger la medida superior al diámetro en los cálculos.

Conclusiones

Lo que más destaco de este proyecto es todo lo que se realizó para construir el dispositivo, ya que con llevó a tomar decisiones en diferentes circunstancias.

Una parte fundamental son los cálculos ya que es la base de cualquier construcción, seguido de la realización de planos mecánicos.

Durante el desarrollo de la fabricación del dispositivo mecánico, se complicaron varias piezas por lo que se tuvieron que adaptar. Al tener este tipo de problemas es importante saber cómo solucionarlos, debido a que surgen factores externos y es una parte muy importante para poder llevar un proyecto adelante.

En cuanto a los materiales fue todo un reto, desde cotizar y escoger la mejor opción, son detalles que todo tipo de proyecto debe llevar para adquirir experiencia y conocer los materiales comerciales.

Desde mi perspectiva lo mejor fue la construcción, involucró demasiados aspectos para su desarrollo desde cálculos, planos y construcción

Fue un gran reto en un tiempo determinado y se logró la fabricación del dispositivo mecánico, en lo particular este proyecto fue muy completo en todos los aspectos y considero que fue una gran experiencia.

Referencias bibliográficas

- [1] Barbosa N., Pinzón L., Ochoa J., Ramos J. y José T., 2015,"Análisis de la influencia del fenómeno stickslip en los esfuerzos de los cortadores de una broca PDC, mediante simulación por elementos finitos", Ingeniería de petróleos, 2(9), pp. 98-110.
- [2] Groten A., Eizaguirre Bengoetxea M., y Aizpurua Egaña M., 2016," TIJERA PARA EL CORTE DE TUBOS". España, ES-2614132.
- [3] Micali L., Anesi A., Vecchini G., y Chezzi A., 2016, "Máquina de troceado". Italia, E14193503.
- [4] Patiño Álvarez José, 2018, "Máquina Portátil para el cilindrado periférico de una tubería". España, P201631415.
- [5] Ana Karen G., y Luis Manuel N., 2017, "Definición del proceso de fabricación en serie de una prensa autocentrante lineal", Proyecto tecnológico, Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [6] Robert L. Norton," Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos", 2008, McGraw-Hill , Análisis de carga y esfuerzo, págs. 68-70.
- [7] Jesús Fraile Mora, 2004,"Máquinas eléctricas", McGraw- Hill , Análisis de carga y esfuerzo, págs. 71-72.
- [8] Young Y Freedman, 2002,"Física universitaria", Pearson , Fuerzas en dos y tres dimensiones , págs. 1021-1022.
- [9] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett,2008,"Diseño en ingeniería mecánica de Shigley",McGraw- Hill, págs. 204 - 257.

Entregables comprometidos

- **Reporte final**
- **Dispositivo funcionando**