

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



“Diseño y Fabricación de una Máquina Prensadora de
Briquetas para la Generación de Energía Térmica en la
Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja,
Sacatepéquez”

Trabajo de graduación presentado por César Augusto Pérez
Barrios para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecánica

Guatemala

2020

“Diseño y Fabricación de una Máquina Prensadora de
Briquetas para la Generación de Energía Térmica en la
Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja,
Sacatepéquez”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO


“Diseño y Fabricación de una Máquina Prensadora de
Briquetas para la Generación de Energía Térmica en la
Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja,
Sacatepéquez”

Trabajo de graduación presentado por César Augusto Pérez
Barrios para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Mecánica


Guatemala

2020

Vo. Bo. :

(f) 
Philip Wilson
Asesor de Trabajo de Graduación

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Víctor Hugo Ayerdi Bardales
Director Departamento de Ingeniería Mecánica

(f) 
Ing. Andrés Rodrigo Viau Najarro
Catedrático Departamento de Ingeniería Mecánica

(f) 
Ing. Rony José Herrarte Estevez
Catedrático Departamento de Ingeniería Mecánica

Fecha de aprobación: Guatemala, 11 de diciembre de 2020.

ACTO QUE DEDICO Y AGRADEZCO A

DIOS

Por ser siempre mi luz al final del túnel, por sus bendiciones y nunca hacerme perder la fe y esperanza a lo largo de mi vida.

MIS PADRES

Augusto René Pérez Méndez y Gladis Eugenia Barrios Arreaga por todo su amor, comprensión y apoyo. Simplemente agradecerles por sacrificarse tanto para formarme y educarme, guiándome al logro de una meta más, mi carrera profesional.

MI HERMANA

Fátima Gabriela Eugenia Pérez Barrios por todo su cariño y alentarme a terminar la carrera para poder graduarme.

MI FAMILIA PATERNA Y MATERNA

Quienes considero un refugio que nunca cambiaría por nada del mundo. Por el apoyo y confianza brindada en los momentos más difíciles durante mi vida universitaria ya que significan todo para mí.

TODOS MIS AMIGOS

Por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, por demostrarme que cada caída significa una oportunidad para levantarse, enseñarme a dar lo mejor de mí mismo y darme cuenta de que no pude haber encontrado mejores personas con quien compartir a lo largo de mis años universitarios. Ocupan un lugar muy especial en mi corazón.

PHILIP WILSON

Por dejarme entrar a las instalaciones de su empresa y poder aprender muchos consejos útiles para desarrollar este proyecto de graduación a través de su experiencia.

ALFREDO BARILLAS Y SUS TRABAJADORES

Por permitirme construir la máquina en su taller y por brindarme asesoría para lograr el funcionamiento correcto de la misma a través de un arduo proceso.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Por ser mi casa de estudios y proveerme de todos los valores y conocimientos necesarios para convertirme en un profesional de calidad y así servirle al país de la mejor manera posible.

ÍNDICE

PREFACIO.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	x
RESUMEN.....	xv

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. ANTECEDENTES.....	3
IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PRENSADORA PARA BRIQUETAS.....	26
V. ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	83
VI. MODELO DE NEGOCIO PARA COMERCIALIZACIÓN DE BRIQUETAS.....	99
VII. CONCLUSIONES.....	111
VIII. RECOMENDACIONES.....	112
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	114
X. APÉNDICE.....	117

PREFACIO

Honorable tribunal examinador, tengo el enorme placer de presentar mi trabajo de graduación con el objetivo de obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica. Desde hace 2 años me he sentido muy atraído por escuchar podcasts relacionados con personajes guatemaltecos destacados en diferentes ámbitos del emprendimiento. En diciembre de 2019, escuché una entrevista realizada a Philip Wilson, fundador y director de Ecofiltro, empresa social dedicada a brindar agua potable de manera sostenible principalmente a familias de escasos recursos en Guatemala. Para 2025 se tiene la meta de llegar a un millón de familias del interior de la república utilizando Ecofiltro como fuente principal de agua potable en sus hogares. En dicha entrevista, Philip comenta que le encantaría apoyar a personas que tengan proyectos innovadores relacionados con reducir el consumo de leña en el país no solo por el aumento excesivo de la deforestación sino por las enfermedades respiratorias que involucra el uso de leña como combustible principal dentro del hogar. Fue allí donde se me ocurrió incurrir en dicho tema ya que en esas fechas había visto videos de máquinas para briquetas que me habían aparecido en redes sociales. Utilizando los conceptos aprendidos durante la carrera, busco impactar de manera positiva en la Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez para que sus residuos de aserrín y otros frutos secos se utilicen a favor de ellos mismos con la debida capacitación para convencerlos de los beneficios que conlleva la utilización de briquetas como combustible en vez de leña convencional en sus hogares. Lo que más me llama la atención al respecto de este proyecto es que se podrá ver aplicado en la vida real y dejar las bases establecidas para nuevos modelos de negocio replicables en otras comunidades del interior del país. Pude aprender conceptos muy interesantes y espero sea de su agrado el siguiente trabajo en el que apliqué todo mi esfuerzo y dedicación.

LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1 Comparación tipos de briquetadoras	9
Cuadro No. 2 Cobertura forestal en Guatemala a lo largo del tiempo.....	9
Cuadro No. 3 Lugares poblados, Ciudad Vieja, Sacatepéquez.....	12
Cuadro No. 4 Cálculos iniciales de referencia	47
Cuadro No. 5 Diámetros de eje de transmisión	55
Cuadro No. 6 Resumen de diámetros seleccionados	56
Cuadro No. 7 Dimensiones de tolva	60
Cuadro No. 8 Pruebas preliminares de briquetas.....	86
Cuadro No. 9 Porcentajes de composición de pruebas finales	87
Cuadro No. 10 Pruebas de humedad.....	91
Cuadro No. 11 Pruebas de poder calorífico	94
Cuadro No. 12 Pruebas de tiempo en combustión.....	95
Cuadro No. 13 Pruebas de cantidad de ceniza	96
Cuadro No. 14 Pruebas con leña de pino de Aldea San Lorenzo El Cubo	97
Cuadro No. 15 Comparación briqueta vs leña	98
Cuadro No. 16 Costos briquetadora.....	104
Cuadro No. 17 Precios base de materia prima.....	105
Cuadro No. 18 Costos de materia prima (Q/kg)	105
Cuadro No. 19 Costo electricidad al año (Q/año).....	105
Cuadro No. 20 Costo de electricidad por kilogramo producido (Q/kg)	105
Cuadro No. 21 Costo de mano de obra por kilogramo (Q/kg).....	106
Cuadro No. 22 Costo de mantenimiento anual por kilogramo (Q/kg).....	106
Cuadro No. 23 Costos totales y precio de venta por briqueta.....	106
Cuadro No. 24 Flujo de efectivo proyectado a 5 años.....	107
Cuadro No. 25 Resumen flujo de efectivo.....	108
Cuadro No. 26 Rendimiento briqueta vs leña (% de masa consumida).....	109
Cuadro No. 27 Rendimiento briqueta vs leña (tiempo de combustión).....	110
Cuadro No. 28 Rendimiento briqueta vs leña (precio "Q")	110
Cuadro No. 29 Ahorro proyectado al utilizar briquetas en vez de leña	110

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura No. 1 Briquetas de aserrín.....	5
Figura No. 2 Formas convencionales de las briquetas.....	6
Figura No. 3 Briquetadora de impacto.....	7
Figura No. 4 Briquetadora de aserrín.....	8
Figura No. 5 Briquetadora de rodillos.....	8
Figura No. 6 Leño de Mr. fuego.....	11
Figura No. 7 Ubicación geográfica municipio Ciudad Vieja, departamento de Sacatepéquez.....	12
Figura No. 8 Mapa municipio de Ciudad Vieja , Sacatepéquez	13
Figura No. 9 Mapa satelital Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez	14
Figura No. 10 Mapa Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez.....	15
Figura No. 11 Iglesia de San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez	16
Figura No. 12 Esquema Ecofiltro	18
Figura No. 13 Estructura interna Ecofiltro	18
Figura No. 14 Planta Ecofiltro	19
Figura No. 15 Planta Ecofiltro 2.....	19
Figura No. 16 Ecofiltro en apoyo a comunidades.....	19
Figura No. 17 Factor para cálculo de muestra poblacional	21
Figura No. 18 Muestra poblacional	21
Figura No. 19 Colaboración con Philip Wilson.....	22
Figura No. 20 Visita Municipalidad Ciudad Vieja, Sacatepéquez	22
Figura No. 21 Entrevista a pobladores.....	23
Figura No. 22 Continuación entrevista a pobladores.....	23
Figura No. 23 Continuación entrevista a pobladores.....	23
Figura No. 24 Continuación entrevista a pobladores.....	24
Figura No. 25 Calles Aldea San Lorenzo El Cubo	24
Figura No. 26 Continuación calles Aldea San Lorenzo El Cubo	24

Figura No. 27 Venta de leña en Aldea San Lorenzo El Cubo	25
Figura No. 28 Carpintería San Lorenzo	25
Figura No. 29 Ecuación de ángulo de hélice	28
Figura No. 30 Ecuación de holgura	29
Figura No. 31 Ecuación de espesor de filete.....	29
Figura No. 32 Ecuación de caudal en tornillo sinfín	29
Figura No. 33 Ecuación de flujo de arrastre	30
Figura No. 34 Ecuación de flujo de presión	31
Figura No. 35 Ecuación de flujo de pérdidas.....	31
Figura No. 36 Ecuación de constante total de la cabeza.....	31
Figura No. 37 Ecuación de potencia eléctrica de motor	32
Figura No. 38 Ecuación de pérdidas por instalaciones eléctricas.....	33
Figura No. 39 Ecuación de pérdidas en motores y generadores	34
Figura No. 40 Ecuación de potencia corregida del motor	34
Figura No. 41 Ecuación de potencia de diseño.....	35
Figura No. 42 Intervalos de distancia entre centros.....	37
Figura No. 43 Ecuación de longitud de banda.....	37
Figura No. 44 Ecuación de ángulo de contacto	38
Figura No. 45 Ecuación de número de bandas	38
Figura No. 46 Fuerzas en las poleas	39
Figura No. 47 Ecuación de torque en polea conducida	40
Figura No. 48 Ecuación de sustitución de variable.....	40
Figura No. 49 Ecuación de torque en polea conductora	40
Figura No. 50 Ecuación de fuerza flexionante.....	41
Figura No. 51 Diagrama de cuerpo libre del sistema.....	41
Figura No. 52 Ecuación de fuerza axial.....	42
Figura No. 53 Ecuación de área transversal.....	42
Figura No. 54 Relación de diámetros	43
Figura No. 55 Cargas acumuladas	43
Figura No. 56 Diagrama de corte.....	43

Figura No. 57 Diagrama de momento.....	44
Figura No. 58 Ecuación de carga dinámica básica	45
Figura No. 59 Ecuación de vida nominal SKF	45
Figura No. 60 Ecuación de carga dinámica equivalente.....	46
Figura No. 61 Ecuación de esfuerzo por flexión	49
Figura No. 62 Ecuación de esfuerzo cortante por torsión.....	49
Figura No. 63 Ecuación de esfuerzo axial	50
Figura No. 64 Ecuación de esfuerzo máximo de von Mises.....	50
Figura No. 65 Ecuación de factor de seguridad	51
Figura No. 66 Ecuación de factor de resistencia a la fatiga corregido	52
Figura No. 67 Ecuación de factor de condición superficial.....	52
Figura No. 68 Ecuación de factor de tamaño.....	53
Figura No. 69 Ecuación de diámetros de eje de transmisión con teoría de falla	54
Figura No. 70 Ecuación de factor de concentración de esfuerzos para momento	54
Figura No. 71 Ecuación de factor de concentración de esfuerzos para torsión	54
Figura No. 72 Punto crítico de esfuerzos	56
Figura No. 73 Ecuación de longitud de cuña.....	58
Figura No. 74 Ecuación de profundidad del cuñero en el eje	59
Figura No. 75 Ecuación de profundidad del cuñero en la polea o cubo	59
Figura No. 76 Parámetros garganta de alimentación	60
Figura No. 77 Ecuación de volumen de tolva.....	61
Figura No. 78 Ecuación de área de esfuerzo a tracción.....	62
Figura No. 79 Ecuación de factor de seguridad para pernos	63
Figura No. 80 Ecuación de fuerza de apriete.....	63
Figura No. 81 Motor eléctrico	64
Figura No. 82 Faja de transmisión de potencia.....	65
Figura No. 83 Polea conductora.....	65
Figura No. 84 Polea conducida.....	66
Figura No. 85 Rodamiento de bolas	66
Figura No. 86 Chumacera o soporte de rodamiento	67

Figura No. 87 Base para chumaceras.....	67
Figura No. 88 Tornillo sinfín.....	68
Figura No. 89 Camisa o cilindro.....	68
Figura No. 90 Tolva de alimentación	69
Figura No. 91 Estructura metálica	69
Figura No. 92 Base para motor.....	70
Figura No. 93 Perno ISO4017 - M20x80.....	70
Figura No. 94 Roldanas ISO4032 - M20.....	71
Figura No. 95 Perno ISO4017 - M10x25.....	71
Figura No. 96 Roldanas ISO4032 - M10.....	72
Figura No. 97 Bandeja con angulares	72
Figura No. 98 Vista explotada de briquetadora	73
Figura No. 99 Ensamble briquetadora	73
Figura No. 100 Motor eléctrico TECHTOP	74
Figura No. 101 Instalación eléctrica motor.....	74
Figura No. 102 Faja de transmisión de potencia colocada	75
Figura No. 103 Poleas conductora y conducida.....	75
Figura No. 104 Chumacera real	76
Figura No. 105 Tornillo sinfín maquinado	76
Figura No. 106 Camisa en fabricación	77
Figura No. 107 Prueba holgura camisa / tornillo sinfín.....	77
Figura No. 108 Boquilla de compresión	77
Figura No. 109 Tolva de alimentación en instalación	78
Figura No. 110 Vista superior de tolva de alimentación	78
Figura No. 111 Estructura metálica	78
Figura No. 112 Vista lateral estructura metálica	79
Figura No. 113 Mesa de soporte para chumaceras	79
Figura No. 114 Pernos y roldanas utilizadas	80
Figura No. 115 Briquetadora ensamblada sin bandeja	80
Figura No. 116 Instalación de bandeja con canal de salida	81

Figura No. 117 Diseñador César Pérez utilizando briquetadora.....	81
Figura No. 118 Bandeja terminada	82
Figura No. 119 Briquetadora terminada	82
Figura No. 120 Briquetadora terminada con bandeja	82
Figura No. 121 Proceso de ensayos de briquetas.....	83
Figura No. 122 Balanza utilizada.....	84
Figura No. 123 Materia prima (aserrín + frutos secos).....	84
Figura No. 124 Almidón de yuca.....	84
Figura No. 125 Preparación de la mezcla	85
Figura No. 126 Mezcla en tolva de alimentación	86
Figura No. 127 Pruebas iniciales con desmoronamiento.....	86
Figura No. 128 Mezcla desmoronada	87
Figura No. 129 Ensayos con diferentes proporciones de mezcla	88
Figura No. 130 Briquetas en producción	88
Figura No. 131 Briquetas con excelente adhesión.....	89
Figura No. 132 Diagrama de determinación de humedad de las briquetas	90
Figura No. 133 Ecuación de volumen de la briqueta.....	90
Figura No. 134 Ecuación de densidad	90
Figura No. 135 Ecuación de porcentaje de humedad	90
Figura No. 136 Briqueta compacta	90
Figura No. 137 Muestras compactas.....	90
Figura No. 138 Efecto de la humedad sobre el poder calorífico	93
Figura No. 139 Proceso de combustión de las briquetas realizado en casa.....	95
Figura No. 140 Ceniza restante posterior a la combustión de la briqueta	97
Figura No. 141 Modelo CANVAS business model.....	99
Figura No. 142 Flujo de efectivo en el tiempo	108

RESUMEN

Los residuos sólidos orgánicos, se emplean como materia prima principal en la elaboración de briquetas que son quemadas en una cocina para obtener energía calorífica, siendo una alternativa de reemplazo a los combustibles tradicionales. Las briquetas están conformadas por residuos de madera (aserrín), residuos orgánicos, cal y agua.

Inicialmente, se realizó el diseño y construcción de una máquina prensadora que generara briquetas compactas. El diseño fue elaborado en Autodesk Inventor y la construcción de la estructura se realizó en un taller mecánico. Las briquetas finales resultaron de forma cilíndrica con un orificio en su interior para proporcionarles una mayor rapidez en la combustión a la hora de colocar un fósforo adentro de ellas. En paralelo, se investigaron las estadísticas de consumo y gasto en leña de la comunidad de la Aldea San Lorenzo el Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez para tener un panorama más amplio del grupo objetivo a impactar.

Posteriormente, al elaborar tres tipos de briquetas con diferentes composiciones se analizó cuál es la que genera el mayor poder calorífico, así como la duración de combustión de las mismas. La máquina fue donada a la comunidad de la Aldea San Lorenzo El Cubo, para su utilización y así disminuir el consumo de leña convencional como medio de combustible principal.

Se buscó aprovechar al máximo el aserrín como un recurso de energía renovable y trazar un modelo sencillo de negocio con metodología CANVAS para la misma comunidad en donde se comercialice dicho producto.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de las actividades humanas desde la revolución industrial ha provocado incrementos desproporcionados en el consumo de recursos naturales y energía en poco tiempo. Los consumos masivos y una mayor producción influyen en todos los procesos biológicos terrestres y el aumento desbordado de recursos no renovables causan problemas ambientales que cada vez tienen una solución más difícil de encontrar. Según el censo poblacional de Guatemala en 2018, la leña sigue siendo el combustible más usado para cocinar en el país con un 54.4% de la población. Le sigue el gas propano, con 43.7%, el cual representa un aumento de 5 puntos porcentuales en comparación con el Censo 2002. A la vez, 1.1% de los hogares declaró que para cocinar usa electricidad, porcentaje que mostró una reducción desde el año 2002. El uso de la leña para la cocción de alimentos es habitual en los hogares de las comunidades indígenas ya que la cuentan como fuente para suplir la necesidad de generar energía calórica, lo cual con el transcurrir del tiempo ha creado problemas ambientales por la disminución de la capa boscosa, emisiones nocivas al ambiente y aumento de las enfermedades respiratorias. Esto se debe a los ineficientes procesos de combustión, ya que éstas liberan compuestos tóxicos como, monóxido de carbono, dióxidos de nitrógeno y dióxido de azufre que afectan especialmente a niños y población adulta de las zonas rurales.

Es importante destacar que en la comunidad de la Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez tienen aserraderos y carpinterías cuyo aserrín se le puede obtener mucho más provecho que solo su venta. El uso de briquetas ecológicas representan un alternativa viable, significativa y ambientalmente sostenible para la generación de energía calorífica, contribuyendo a la mejora de los ecosistemas, a la preservación y conservación de la vegetación boscosa, a la disminución de las enfermedades producidas por el humo y gases de combustión incompleta, a la disminución de las emisiones generadas a la atmosfera y aportando a las estrategias en contra del cambio climático mediante la producción limpia de energía.

II. OBJETIVOS

A. General

1. Efectuar el diseño de una máquina prensadora para la elaboración de briquetas elaboradas de desechos orgánicos y aserrín como materia principal.

B. Específicos

1. Investigar las estadísticas de consumo y gasto en leña de la comunidad de San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez.
2. Elaborar los planos de la máquina prensadora para fijar las bases de su posterior construcción.
3. Construir una máquina prensadora para la elaboración de briquetas.
4. Comparar la durabilidad y poder calorífico de 3 composiciones diferentes de briquetas para determinar la mezcla ideal.
5. Plantear un modelo de negocio para comercializar las briquetas dentro de la Aldea San Lorenzo El Cubo.

III. ANTECEDENTES

A. MARCO TEÓRICO

1. Biomasa

La biomasa es un tipo de combustible con muy pocos efectos nocivos para el medio ambiente por lo que el aprovechamiento de esta para la generación de energía térmica es una oportunidad que no se puede dejar pasar. Para poder generar energía procedente de la biomasa, la materia orgánica debe ser quemada de alguna manera. La quema del material libera dióxido de carbono y otros componentes pero que en su mayoría no lastiman al ambiente al cual son liberados. De hecho, el dióxido de carbono liberado suele regresar al ambiente durante su ciclo de vida por lo que se podría decir que se tiene un desecho “amigable” con el medio. (Martín, 2013)

El término biomasa se le adjudica por el hecho de que proviene de la materia viva de origen animal o vegetal. Es una fuente de energía mucho más limpia y con un costo mucho menor con todas las posibilidades de sustituir a combustibles fósiles. La energía proveniente de la biomasa es renovable ya que todo su contenido energético proviene del sol almacenado durante la fotosíntesis o que en algún momento atravesó el animal a través de la cadena alimenticia de la naturaleza. (Martín, 2013)

La diferencia principal es que el dióxido de carbono ya pertenecía a las plantas durante su crecimiento, mientras que el dióxido de carbono de los combustibles fósiles estaba atrapado por muchos años y al expandirse, se genera un desequilibrio atmosférico. (Martín, 2013)

Existen diferentes tipos de biomasa según su procedencia entre los cuales se encuentran:

- Natural: No ha tenido ningún proceso en donde se vea involucrado el humano y proviene directamente de la naturaleza como las ramas de los árboles. La situación principal con este tipo de biomasa es el hecho de que se explota de manera desmedida, promoviendo la tala de bosques a escala mundial. (De Lucas, 2017)
- Residual: Este tipo de biomasa ya es producida por actividades humanas como agrícolas, ganaderas, etc. (De Lucas, 2017)
- Cultivos energéticos: Existen locaciones especiales que se dedican a la producción exclusiva de productos como la caña de azúcar o los cereales para su posterior aprovechamiento como combustible para energía térmica o eléctrica según el propósito. (De Lucas, 2017)

La biomasa se compone de tres partes principales que son el agua, orgánica e inorgánica. Durante la combustión, la parte orgánica es la que se quema y la que queda como cenizas o algún tipo de residuo es la inorgánica. Los elementos que se encuentran contenidos dentro de la biomasa son principalmente hidrógeno, oxígeno, carbono, azufre, nitrógeno, entre otros. (De Lucas, 2017)

Se consideran residuos de madera a todos aquellos desechos que se han producido al final de que la madera haya sido tratada por algún tipo de procedimiento (cortes, aserrados, etc.). Estos residuos se reciclan de diferentes maneras para diferentes propósitos como por ejemplo maderas compuestas que provienen de distintos tipos de madera y fibras para producir una nueva tabla, compost para abono y energía térmica al entrar en combustión que como se menciona a lo largo de todo el trabajo de investigación, se tiene una alternativa mucho menos dañina para el ambiente que los combustibles fósiles. Es importante mencionar que el uso de biomasa involucra un rendimiento energético menor que un combustible fósil tradicional por lo que se necesita una mayor cantidad para igualar el poder calorífico de estos. (IDAE, 2017)

Un ejemplo representativo son las briquetas de aserrín que se definen como bloques compactos de residuos de madera y material orgánico (cáscaras de café, soya, cascarilla de arroz, bagazo de caña, papel, algodón, carbón, etc.) que al ser mezclados con agua o algún aglutinante, se secan y pueden utilizarse como sustituto de leña para producir energía térmica a la hora de entrar en combustión. (IDAE, 2017)

2. Concepto de briquetas y sus ventajas

Las briquetas se producen al comprimir material combustible con el aglutinante como se mencionó anteriormente lo cual permite tener un producto terminado mucho más denso, compacto y fuerte que el carbón convencional. Al estar comprimidas, permiten que el material se queme de una manera más uniforme y lenta para aprovechar al máximo las propiedades de los componentes de estas. Se reduce adicionalmente la cantidad de cenizas finales al consumirse toda la briqueta, así como que se logra obtener un poder calorífico mucho más elevado que teniendo los residuos por separado y quemarlos. Los gases que se producen por la quema de las briquetas no son en su mayoría nocivos para el medio ambiente. El aserrín es una materia prima de fácil acceso lo cual permite tener mejores oportunidades de utilizarlas. El tamaño y forma permiten almacenarlas y transformarlas fácilmente en comparación a la movilización de materia en sacos. Al estar fabricadas con residuos de diferentes orígenes, la materia prima tiene un costo bajo, así como su precio de adquisición en caso no se quieran elaborar. Finalmente, la utilización de briquetas sustituye el consumo de combustibles fósiles y de leña proveniente de lugares no regulados. Por lo general, tienen forma cilíndrica, rectangular o hexagonal con diámetros de 5cm y longitudes de hasta 80cm. El tener un agujero en el centro facilita su combustión. (Jara, 2009)

Figura No. 1 Briquetas de aserrín



(De Lucas, 2017)

3. Propiedades y características de las briquetas

Las briquetas tienen ciertos rasgos a tomar en cuenta como:

- **Poder calorífico:** Se define como la cantidad de energía que se entrega de una unidad de combustible al quemarse durante la combustión. En dicha reacción se producen tanto los productos sólidos (cenizas) como gaseosos (humo). Esta propiedad depende de muchos factores como el tipo de madera del cual proviene el aserrín, los residuos orgánicos que componen la briketa, contenido de agua, etc. (De Lucas, 2017)
- **Contenido de humedad:** Se refiere a la relación entre la masa total de agua y la masa seca de la briketa. Entre mayor humedad tenga la briketa, menor será su poder calorífico. Es importante mencionar que la mezcla debe tener una humedad menor al 12% a la hora de comprimirla ya que de lo contrario la briketa no se quedará compactada. (De Lucas, 2017)
- **Cantidad de cenizas:** Se refiere a la cantidad de materia inorgánica que no pudo reaccionar a la combustión que por lo general no sobrepasa el 5% de la masa total de la muestra, pero depende de materiales contaminantes o impurezas como la tierra, arena, etc., que mermarán la energía térmica final generada. (De Lucas, 2017)
- **Densidad:** Se define como la cantidad de masa presente en un metro cúbico de muestra (relación masa/volumen). Se busca obtener briquetas de alta densidad con el objetivo de tener un transporte, almacenaje y manipulación del producto más fácil. La densidad promedio varía de 700-1400 kg/m³ aproximadamente. (De Lucas, 2017)
- **Aglutinante:** Es la sustancia que permite la cohesión entre partículas de la briketa y evita la deformación. Puede ser almidón de yuca, maíz, papa, aceite vegetal, cal, azúcar disuelta en agua caliente, agua caliente o la lignina de la madera al calentar la materia prima a 150°C aproximadamente. (De Lucas, 2017)

Figura No. 2 Formas convencionales de las briquetas

(De Lucas, 2017)



4. Proceso de obtención de briquetas

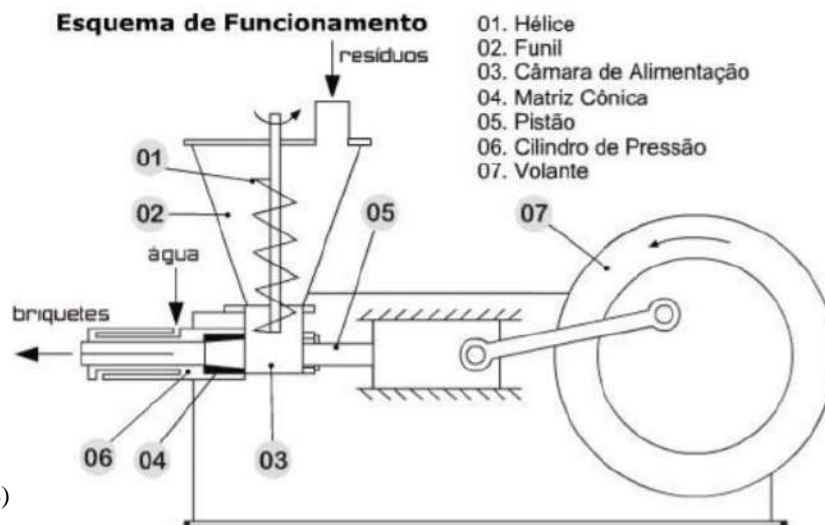
Las briquetas de aserrín pueden producirse industrial o manualmente. En general, lo que corresponde al briquetado industrial se tienen los siguientes pasos:

- La materia prima se coloca en la tolva de ingreso.
- El material se transporta a una cámara de precompresión a través de un tornillo sin fin.
- Después, en la cámara de precompresión se presiona hasta una densidad deseada y luego se lleva al molde para terminar de compresionar el material.
- Las briquetas listas se expulsan a través de un canal o tubo. (Martín, 2013)

Entre las briquetadoras más conocidas se encuentran:

- Pistón o impacto: Este tipo de máquinas compactan el material agregado a través de golpes generados periódicamente sobre la misma con un pistón accionado de forma hidráulica. Se pueden crear briquetas de 1000 a 1200 kg/m³ de densidad. (Martín, 2013)

Figura No. 3 Briquetadora de impacto



(Martín, 2014)

- Briquetadora de tornillo: Su accionamiento se da a través de la extrusión del material. Como se mencionó anteriormente, la materia prima se vierte por la tolva, un tornillo sin fin la transporta, se comprime en una placa o molde de menor diámetro con la forma final de la briqueta deseada y se libera para cortarla de la longitud que corresponda. De dicho canal, se obtendrá la briqueta densificada y lista para secado si es que no pasó por una resistencia térmica para acelerar el proceso. Se llegan a obtener densidades desde 1300 a 1400 kg/m³. (Martín, 2013)

Figura No. 4 Briquetadora de tornillo



(Martín, 2014)

- Briquetadora de rodillos: Similar a la briquetadora de tornillo, este tipo de máquina comprime todo el material a través de dos rodillos con orificios donde se almacena la materia prima y al rotar en sentido contrario, se llega al producto terminado. Luego, se libera el material a través de diferentes extrusores. Una ventaja es que manejan mucho mayores cantidades de material que las briquetadoras de tornillo. (Martín, 2013)

Figura No. 5 Briquetadora de rodillos



(Martín, 2014)

A continuación, se presentan los datos técnicos de capacidad productiva, diámetro final de briqueta, motores y pesos de cada máquina previamente descritas.

Cuadro No. 1 Comparación tipos de briquetadoras

TIPO DE MÁQUINA	Máquina briquetadora de tornillo de 1 extrusor.	Máquinas briquetadora de rodillo.	Máquinas briquetadora de pistón.
Capacidad Productiva	100 – 300 kg/h.	50 – 300 kg/h.	200 – 1500 kg/h (dependiendo del tamaño)
Diámetro producto final	30 – 80 mm.	60 – 70 mm.	50 – 90 mm.
Motor	11-15 kw.	7.5 – 12 kw	15 – 75 kw.
Peso	650 kg. aprox	1200 – 1800 kg.	1500 – 8000 kg.

(Archila, 2015)

5. Importancia de las briquetas

Las briquetas de aserrín son amigables con el medio ambiente y son ideales para consumirse en industrias, comercios y sobre todo hogares de escasos recursos en donde no se tenga el acceso a estufa de gas o eléctrica. Su uso desemboca en un impacto favorable económica y ambientalmente hablando, totalmente adaptable a cualquier fuente de generación de energía al no producir desechos peligrosos ni chispas que dañen la maquinaria en una industria como si lo hacen otros combustibles fósiles en las calderas. (Jara, 2009)

En los hogares, también para calefacción se utiliza mucho ya que no produce humo o gases nocivos para la salud de los humanos. Dependiendo de la mezcla que la compone, se puede obtener un poder calorífico del doble de valor que una leña convencional. En una presentación estándar de 2kg de material ya compactado, el valor es mucho menor al de la leña convencional por lo que conviene más el uso de la briqueta. Adicionalmente, la deforestación en el país ha aumentado en un 59% en los últimos 20 años. (Jara, 2009)

Cuadro No. 2 Cobertura forestal en Guatemala a lo largo del tiempo

Cuadro 3. Cambios en la cobertura forestal de Guatemala en los últimos años y proyección al futuro. Todos los valores en hectáreas por año.

Cambios en cobertura forestal	1991-2001	2001-2006	2006-2010	2010-2020 Proyección
Deforestación	93,127	101,869	132,137	162,210
Reforestación y regeneración	19,979	53,821	93,540	160,168
Pérdida neta en cobertura forestal	73,148	48,048	38,597	2,043

6. Evolución de la industria de briquetas en el mundo

Generalmente, la leña utilizada como fuente de energía principal, es comercializada por la economía informal o adueñada de bosques y otras fuentes de madera naturales. Con ello, se dificulta contabilizar formalmente la cantidad de leña “formal” o “legal” que se consume en el mundo. Cada vez más países se han ido haciendo fuertes en la producción de briquetas al darse cuenta de todos los beneficios que conlleva utilizarlas e incluso exportarlas a las localidades en donde todavía no se tiene conocimiento o acceso a ellas. Alrededor de 2005, cuando se firmó el Protocolo de Kyoto, se inició a mayor escala la producción de briquetas sobre todo en Europa, Norte y Sudamérica que son zonas con algo consumo maderero en el mundo. Con ello, se buscó y se sigue haciendo el esfuerzo para reducir las emisiones de dióxido de carbono de estos países tan industrializados en pro del medio ambiente. (SINIA, 2017)

7. Briquetas en Guatemala

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Guatemala viene perdiendo su superficie forestal alrededor de 1% anual desde 1992. Adicionalmente, según el censo poblacional de Guatemala en 2018, la leña sigue siendo el combustible más usado para cocinar en el país con un 54.4% de la población. El consumo de leña desmedido no solo influye en la deforestación sino también en el aumento de afecciones respiratorias causadas por el humo de la combustión de dicha leña. Ante esta coyuntura, surgió la Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de la Leña, originada gracias al Sistema Nacional de Información Estadística Forestal de Guatemala. El propósito de esta estrategia es el de producir y comercializar leña de forma regulada con la promoción de tecnologías de uso eficiente del recurso como la propuesta de las estufas eficientes. Dicha propuesta busca llegar al menos 10,000 hogares que adopten un sistema de uso eficiente de leña para así reducir por lo menos un 25% el déficit de leña a nivel país para el año 2024. (SIFGUA, 2008)

Actualmente, en Guatemala existen ya varias empresas que se dedican a la producción y comercialización de “leños ecológicos” como Ecoleña de arveja, Ecocarbón, Central Biomasa GT, entre otros, pero el más conocido es “Mr. Fuego”. Esta briqueta fue inventada por el joven Ken Lous ante la necesidad de un combustible que produjera poco humo debido a sus alergias y que fuera amigable con el ambiente. Estos leños están compuestos de aserrín, viruta, parafina de soya, grasas vegetales, entre otros componentes. El leño pesa alrededor de 2lb y llega a arder hasta 2 horas según el fabricante. (WIPO, 2014)

Figura No. 6 Leño de Mr. fuego



(WIPO, 2014)

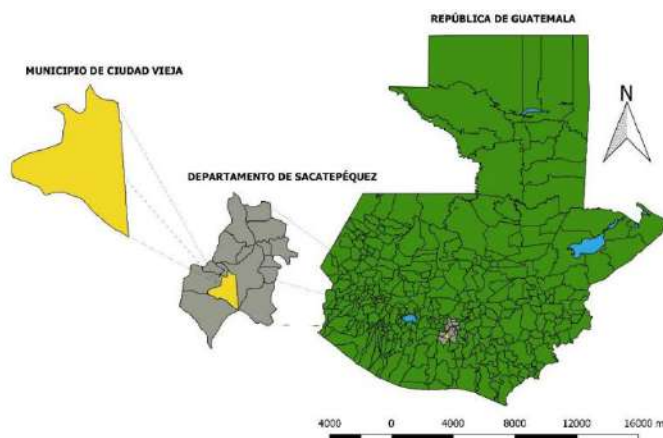
B. CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD A BENEFICIAR

1. Ubicación geográfica

Ciudad Vieja, municipio del departamento de Sacatepéquez, se ubica a 5km de la cabecera departamental y a 48km de la ciudad capital. Está localizada dentro de la cuenca hidrográfica del río Achiguate y en la subcuenca del Guacalate que vierte sus aguas al Pacífico con una elevación de 1518 msnm. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

El municipio de Ciudad Vieja colinda al norte con: San Antonio Aguas Calientes, al sur con San Juan Alotenango, al este con La Antigua Guatemala y al oeste con San Miguel Dueñas. La extensión territorial es de 51km². (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Figura No. 7 Ubicación geográfica municipio Ciudad Vieja, departamento de Sacatepéquez



(Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Se integra por la cabecera municipal que está dividida en 6 zonas, 1 aldea, 1 caserío, 1 colonia, 3 condominios, 9 lotificaciones en el casco urbano, 13 lotificaciones en la periferia del casco urbano y 2 fincas. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Cuadro No. 3 Lugares poblados, Ciudad Vieja, Sacatepéquez

Nombre	Categoría
Zona 01	casco urbano
Zona 02	casco urbano
Zona 03	casco urbano
Zona 04	casco urbano
Zona 05	casco urbano
Zona 06	casco urbano
Aldea San Lorenzo El Cubo	aldea
Caserío Bosarreyes	caserío
Villas de San Francisco	Lotificación en la periferia
Villas del Hermano Pedro	Lotificación en la periferia
Alameda Don Vicente	Lotificación en la periferia
Residencial La Joya	Lotificación en la periferia
Residenciales Las Flores	Lotificación en la periferia
Villas de Santiago	Lotificación en la periferia
Joya Grande	Lotificación en la periferia
San José Miralvalle	Lotificación en la periferia
Lotificación Los Girasoles	Lotificación en casco urbano
Colonia San José	Lotificación en casco urbano
San Agustín	Lotificación en casco urbano
Los Jocotales	Lotificación en casco urbano
Los Chulupitos	Lotificación en casco urbano
Los Jocotales	Lotificación en casco urbano
Cortijo de las Flores	Lotificación en la periferia
Villa Alcántara I	Lotificación en la periferia
Villa Alcántara II	Lotificación en la periferia
Santa Ana	Lotificación en casco urbano
Vista al Valle	Lotificación en casco urbano
La Cañada	Lotificación en casco urbano
San Jerónimo	Lotificación en la periferia
Villas de San Miguel	Lotificación en la periferia
El Potrero	Finca
Santa Inés de Medina	Finca

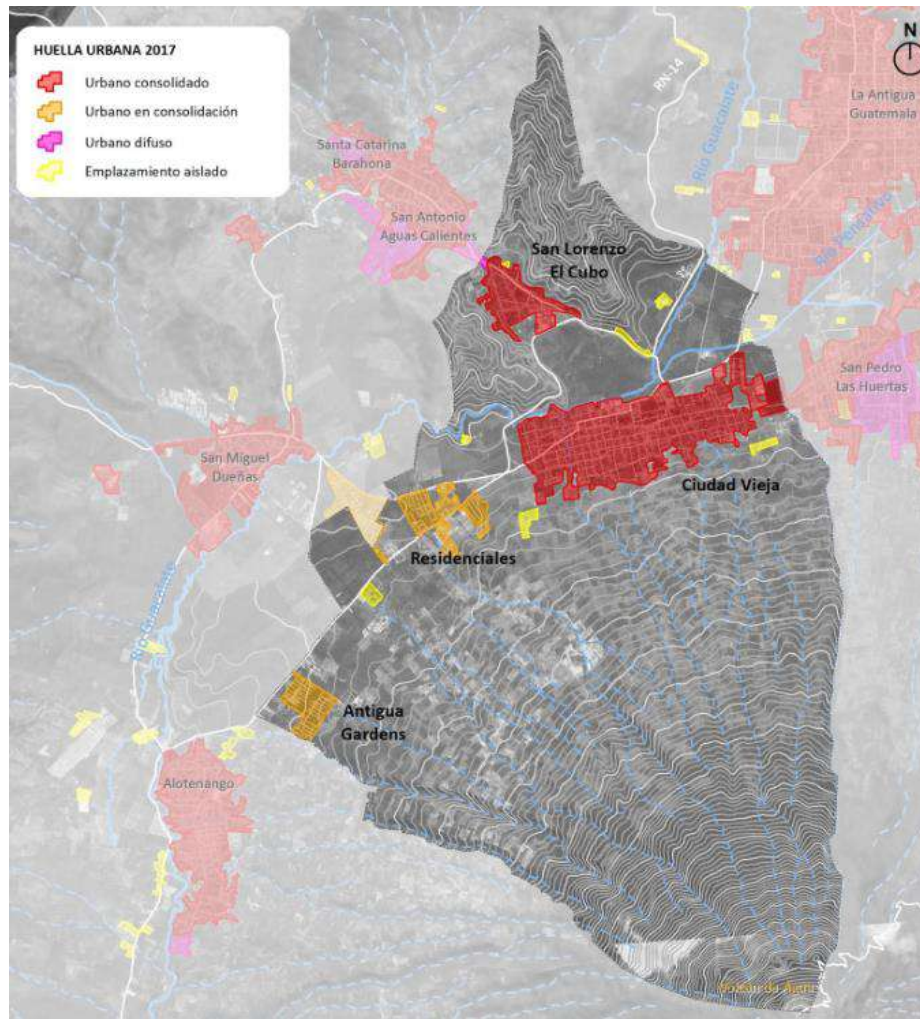
(Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

2. Demografía

Según el Censo Poblacional 2018, el municipio de Ciudad Vieja cuenta con 33,405 personas de las cuales 49.42% son hombres y 50.58% son mujeres. La tasa de crecimiento poblacional es de alrededor de un 2.79% anual. La densidad poblacional es en promedio de 503 habitantes por km².

La Aldea San Lorenzo El Cubo es una sección del municipio de Ciudad Vieja como se aprecia en la siguiente figura.

Figura No. 8 Mapa municipio de Ciudad Vieja , Sacatepéquez



(Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

La Aldea San Lorenzo El Cubo cuenta con un área superficial de aproximadamente 663,353.94 m² y se localiza al norte del municipio, a 2.2 km aproximadamente (menos de 15min en vehículo propio) de la Municipalidad de Ciudad Vieja. La conexión con la cabecera municipal se realiza por medio del libramiento RN-14. Sin embargo, la presencia del Río Guacalate y las lotificaciones agrícolas crean una barrera de separación que disminuye la probabilidad de vínculo directo entre estas dos zonas. No existen equipamientos públicos (salud y educación) que satisfagan la demanda de su población, por lo que se aprecia la dependencia respecto al centro (cabecera municipal). Aunado a esto, los servicios de agua, electricidad y aguas residuales poseen una cobertura del 100%, no obstante, en cuanto a la recolección de residuos posee tres botaderos de basura clandestinos a cielo abierto que afectan la población y la ponen en riesgo de infecciones por la contaminación presente. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Las viviendas están ubicadas de una manera concentrada en la aldea siendo en su mayoría casas formales de block, techos de estructura de madera, teja y otras con terrazas tipo española y convencional. Se encuentran también viviendas de hasta dos niveles de construcción. En algunos sectores, los más alejados del casco urbano existen viviendas con techo de lámina. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018) Hay alrededor de 439 hogares en dicha aldea con una población total de 2927 personas según el Censo Poblacional 2018.

Figura No. 9 Mapa satelital Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez



(Google Maps, 2020)

Figura No. 10 Mapa Aldea San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez



(Google Maps, 2020)

Estando en la situación de no disponer de un ordenamiento territorial y la tradición cultural de permanencia en el lugar de origen, los centros de población principales (la cabecera municipal y San Lorenzo El Cubo) han crecido de manera desordenada y no planificada. Así pues, las propiedades de los pobladores han sufrido una subdivisión que ha disparado la densidad poblacional y no tanto la extensión de la superficie urbana, dando lugar a calles angostas y de escasa accesibilidad dentro de los propios predios. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Los habitantes de la Aldea San Lorenzo El Cubo están organizados en un comité de vecinos que es el ente que se preocupa por mejorar la calidad de vida de sus habitantes, impulsando proyectos de infraestructura y gestionándolos ante la Municipalidad de Ciudad Vieja para recibir el apoyo de la misma.

Figura No. 11 Iglesia de San Lorenzo El Cubo, Ciudad Vieja, Sacatepéquez



(Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

3. Aspectos económicos

La producción económica principal del municipio y la aldea incluye: café, maíz, caña de azúcar, frijol y verduras. Producción artesanal: tejidos de algodón, instrumentos musicales y muebles de madera (carpintería y aserraderos). Al ser un sector con alta producción cafetalera, se puede aprovechar la cascarilla de café para mezclarla entre los componentes de las briquetas. (Ayuntamiento Ciudad Vieja, 2018)

Adicionalmente, la Aldea San Lorenzo El Cubo cuenta con la única planta de producción del conocido Ecofiltro en Guatemala. El Ecofiltro es un producto cerámico que potabiliza el agua funcionando por gravedad creado por el químico farmacéutico guatemalteco José Fernando Mazariegos. La planta de la aldea fue fundada por otro guatemalteco emprendedor llamado Philip Wilson, actual asesor de este proyecto de graduación. Philip fundó una empresa social dedicada a brindar agua potable de manera sostenible, así como Fundador y Director de Solución web, empresa líder en servicios web y social media. La meta que Philip Wilson enfrenta es de poder llegar a 1 millón de familias guatemaltecas en área rural con agua potable para el 2025. A la fecha ha llegado a más de 200,000 familias en áreas rurales del país. (Ecofiltro, 2020)

El filtro cuenta con tres componentes principales que purifican el agua los cuales son:

- Arcilla: Este material crea canales microscópicos dentro de las paredes interiores de la unidad de filtración y atrapa todos los contaminantes que existan en el agua, incluyendo sólidos, bacterias, parásitos, etc. (Ecofiltro, 2020)
- Aserrín: Se convierte en carbón activado durante el proceso, eliminando malos olores, sabores y turbiedades del agua sin importar cuál sea su proveniencia. (Ecofiltro, 2020)
- Plata: Se impregna en la superficie del filtro cerámico después de que este se cose en el horno. Es un bactericida utilizado en todo el mundo para purificar el agua y no tiene ningún efecto secundario. Esta funciona como una segunda capa protectora para neutralizar a los contaminantes. (Ecofiltro, 2020)

Figura No. 12 Esquema Ecofiltro



(Ecofiltro, 2020)

Figura No. 13 Estructura interna Ecofiltro



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 14 Planta Ecofiltro



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 15 Planta Ecofiltro 2



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 16 Ecofiltro en apoyo a comunidades



(Ecofiltro, 2020)

4. Aspectos sociales y culturales

La población está compuesta de la siguiente manera: el mayor porcentaje lo compone la raza indígena que es aproximadamente de un 95% y el 5% restante lo constituye la raza ladina. La población dentro de la aldea se conoce entre ella misma ya que es de menos de 1km² de área superficial. Se utiliza mucho las camisetas de algodón, uso de delantal para quehaceres del hogar y sombrero para los hombres en el trabajo. Para los velorios se lleva flores y frijol. Se juega con cartas y perinolas hasta que se acaba el velorio. Los domingos se acostumbra salir a la plaza a tomar atole y comer tostadas para después ir a misa ya que el pueblo es bastante religioso. No existen costumbres características de la aldea pero son las experiencias sociales y lo que acarrear de sus antecesores lo que define a la sociedad y sus relaciones. (Censo Poblacional, 2018).

5. Consumo de leña

Según el Censo Poblacional 2018, de los 385 hogares censados, alrededor de 335 hogares utilizan leña como combustible principal en sus casas. Esto corresponde a casi un 87% de la población utilizando el recurso. Es probable que esto se deba a que tienen un aserradero en el centro del pueblo y sea de fácil acceso dicho material o incluso haya contrabando de la misma. También por la situación de que un sistema de gas o eléctrico, ya sea para consumo alimenticio o calefacción en el hogar, es mucho más caro que la leña a largo plazo. (INAB, 2012) Actualmente, en la Aldea San Lorenzo El Cubo, viven aproximadamente 2927 personas con alrededor de 439 hogares. (Municipalidad de Ciudad Vieja, 2020). En la investigación de campo realizada en la Aldea, se tomó una muestra de 96 hogares para determinar la cantidad de leña consumida. El tamaño de la muestra surge de utilizar el método de muestreo probabilístico simple al ser esencial en los diseños de investigación en donde se pretende hacer estimaciones de variables en la población y analizarlas con pruebas estadísticas. Qué tan precisos son los resultados depende del error de muestro estándar que decidamos seleccionar. Para esta investigación, se utilizó un error de 4.5%. (Soto, 2013)

A continuación, se presentan las ecuaciones para calcular el tamaño de la muestra necesaria a evaluar según la población de 439 hogares previamente mencionada. (Soto, 2013)

Figura No. 17 Factor para cálculo de muestra poblacional

$$n_0 = \frac{pq}{e^2}$$

Figura No. 18 Muestra poblacional

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Donde:

N = tamaño de la población

n = tamaño de la muestra

p = proporción de la población que posee las características de estudio (Cuando no es conocido, se considera p=0.5)

q = (1-p)

e = error estándar

Utilizando p=0.5, el error de 4.5% y N=439, se obtiene una muestra de n=96.33 hogares.

Los resultados arrojaron que en promedio hay 6 personas por hogar, es decir que se recabaron los datos de 576 personas que representan alrededor de 1/5 de la población total de la aldea. En la corta encuesta se consultó cuántas personas vivían en la casa, si consumían leña o gas para cocinar y calentar su hogar, cuanto leña consumían al día aproximadamente, el precio de la leña para los que si consumían y si conocían qué eran las briquetas. Como era de esperarse, un 89% de la población respondió que utiliza leña para cocinar y como medio de calefacción. Del 89% que si consume leña, se consiguió averiguar que en promedio utilizan 7 leños por tiempo de comida, es decir 21 leños al día aunque depende también qué tan húmedo venga puede ser hasta más, respondieron.

Finalmente, el precio de la leña prácticamente no varió en la aldea y se mantuvo en Q1.50 por leño. Esto quiere decir que una familia consume alrededor de Q31.50 al día en leña. La leña ellos la consiguen a través de vendedores deambulantes en el área. Se destaca que de la población encuestada, ninguna persona conocía qué eran las briquetas ni para qué se utilizaban. A continuación se muestra una serie de fotografías de las visitas realizadas a la aldea para realizar la investigación con apoyo de Philip Wilson.

Figura No. 19 Colaboración con Philip Wilson



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 20 Visita Municipalidad Ciudad Vieja, Sacatepéquez



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 21 Entrevista a pobladores



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 22 Continuación entrevista a pobladores



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 23 Continuación entrevista a pobladores



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 24 Continuación entrevista a pobladores



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 25 Calles Aldea San Lorenzo El Cubo



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 26 Continuación calles Aldea San Lorenzo El Cubo



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 27 Venta de leña en Aldea San Lorenzo El Cubo



(Fuente: Elaboración propia)

Figura No. 28 Carpintería San Lorenzo



(Fuente: Elaboración propia)

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PRENSADORA PARA BRIQUETAS

A. Diseño de briquetadora

Evaluando las características de los diferentes tipos de briquetadoras existentes en el mercado, se seleccionó la briquetadora de tornillo sinfín para este trabajo debido a que comparado con una briquetadora manual de moldes o una de pistón, la de tornillo sinfín es superior en cuanto a capacidad de producción, continuidad en el trabajo, limpieza y mantenimiento. Todos los cálculos realizados están basados en el libro de *Diseño en Ingeniería Mecánica* de Shigley, *Diseño de Elementos de Máquinas* de Mott, *Transformación de Plásticos* de Savgorodny y manuales de diseño estandarizados para diferentes componentes.

1. Componentes principales de la máquina

Una máquina briquetadora de tornillo sinfín está compuesta por los siguientes componentes:

- a. Tornillo sinfín
- b. Motor eléctrico
- c. Faja de transmisión
- d. Poleas de transmisión
- e. Rodamientos
- f. Chumaceras o soportes de rodamientos
- g. Eje de transmisión
- h. Camisa o cilindro
- i. Tolva de alimentación
- j. Estructura de soporte
- k. Pernos y roldanas de sujeción
- l. Bandeja de recepción de briquetas

2. Principio de funcionamiento de la máquina

El funcionamiento de la máquina briquetadora de tornillo sinfín inicia con la colocación de la materia prima en la tolva de alimentación, el tornillo transporta el material desde la zona de alimentación hasta la zona de compactación, en donde se compacta en una reducción de sección que aumenta la presión y logra expulsar las briquetas listas para su corte, secado y uso posterior. Es importante mencionar que el aglutinante de la mezcla debe estar a 100°C para conseguir el reblandecimiento de la lignina de aserrín y pueda fluir más fácilmente a través de la máquina. (Savgorodny)

3. Diseño del tornillo sinfín

El tornillo sinfín consiste de un cilindro largo rodeado de un filete helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes de la máquina, ya que es el responsable de transportar, mezclar y compactar a la salida la materia prima. La calidad de las briquetas finales y la seguridad del proceso dependen en gran parte del diseño del tornillo. Dentro del diseño del tornillo, existen diferentes aspectos a tomar en cuenta como su longitud, diámetro, ángulo de filete y paso de rosca.

a. Diámetro

Para la selección del diámetro del tornillo, se tomó como base el tamaño promedio de una leña de pino vendida en la Aldea San Lorenzo El Cubo, por lo que el diámetro seleccionado como base para todos los cálculos es de **D=0.0381m o 1.5pulg.**

b. Relación longitud/diámetro

Las relaciones convencionales para briquetadoras de tornillo sinfín varían desde 7/1 hasta 15/1 (MAXTON, 2018). Para el diseño, se seleccionó una relación de 10, por lo tanto, la longitud del tornillo **L=0.381m**.

c. Paso de la rosca

Se refiere a la distancia que avanza el material por cada vuelta que gira el tornillo, el paso afectará a la capacidad productiva de la briquetadora. En general, la dimensión para el paso de los transportadores de tornillo suele estar comprendida entre 0,5 y 1 veces la medida del diámetro del mismo, siendo mayor cuanto más ligera sea la carga que se vaya a transportar (Mott, 2006). Para este caso, se utilizó una relación de 0.5 veces el diámetro del tornillo, por lo tanto, **t=0.01905m**.

d. Ángulo del filete o hélice

El transporte de la materia prima desde la zona de alimentación hasta la salida depende del ángulo del filete en el tornillo, entre mayor sea el ángulo, la capacidad de transporte se reduce. La ecuación para el cálculo del ángulo se presenta a continuación.

Figura No. 29 Ecuación de ángulo de hélice

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{t}{\pi (D - h)}\right)$$

Donde:

D = Diámetro del tornillo [m]

h = Profundidad del canal [m]

t = Paso de la rosca [m]

φ = Ángulo de la hélice [°]

Con una profundidad del canal de h= 0.01m, D= 0.0381m y t=0.01905m, se obtiene un φ = **12.18°**.

e. Holgura

Se refiere a la distancia entre el diámetro exterior del tornillo y el diámetro interior del cilindro. Se debe buscar la holgura mínima sin que se permita rozamiento entre las hélices y las paredes internas del tubo y según Mott, la relación debe ser:

Figura No. 30 Ecuación de holgura

$$H = 0.003 * D$$

Por lo que se obtiene una holgura de **H= 1.14 * 10⁻⁴ m.**

f. Espesor del filete

Para el espesor del filete, se utiliza la siguiente expresión:

Figura No. 31 Ecuación de espesor de filete

$$e = 0,12 * Dm$$

Reemplazando los valores se obtiene un **e=0.004572 m.**

g. Capacidad productiva del tornillo

La producción expresada como flujo volumétrico (Q), es el resultado de tres tipos de flujos. El flujo de arrastre (α), que es el mayor de los tres producido por el arrastre del material cuando el tornillo gira. El flujo de presión (β), es aquel que se opone al flujo del sistema, es decir es el flujo de retorno. El flujo de filtración (γ), es aquel que reduce la producción debido a las pérdidas del material que se produce en la holgura ente el cilindro y el tornillo. (Savgorodny) Dicho flujo volumétrico se puede calcular de la siguiente manera:

Figura No. 32 Ecuación de caudal en tornillo sinfin

$$Q = \left(\frac{\alpha * K}{K + \gamma + \beta} \right) n$$

Donde:

α = flujo de arrastre [m³]

β = flujo de presión [m³]

γ = flujo de filtración [m³]

K= forma geométrica de la boquilla [m³]

n= revoluciones por minuto [rpm]

Cada factor de los tres tipos de flujo se debe calcular por aparte y a continuación se exponen las ecuaciones correspondientes.

1) Flujo de arrastre

Figura No. 33 Ecuación de flujo de arrastre

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \cos(\varphi^2)}{2}$$

Donde:

D= diámetro del tornillo [m]

h= profundidad del canal [m]

m= número de canales del filete

t= paso de la rosca [m]

e= espesor del filete [m]

φ = ángulo de la hélice [°]

Con m= 1 y reemplazando los valores, se obtiene un $\alpha = 8.28 * 10^{-6} \text{ m}^3$.

2) Flujo de presión

Figura No. 34 Ecuación de flujo de presión

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L}$$

Donde:

L= longitud del tornillo [m]

Reemplazando los valores, se obtiene un $\beta = 6.53 * 10^{-10} \text{ m}^3$.

3) Flujo de pérdidas

Figura No. 35 Ecuación de flujo de pérdidas

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * H^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L}$$

Reemplazando los valores, se obtiene un $\gamma = 2.65 * 10^{-13} \text{ m}^3$.

4) Constante total de la cabeza o coeficiente de forma geométrica de boquilla

Para una boquilla con canal cónico presente en la zona de compresión de la máquina, se tiene la siguiente expresión:

Figura No. 36 Ecuación de constante total de la cabeza

$$K = \frac{3 * \pi * d1^3 d2^3}{128 * l * (d1^2 + d1 * d2 + d2^2)}$$

Donde:

d_1 = diámetro ingreso del material [m]

d_2 = diámetro salida del material [m]

l = longitud de la boquilla [m]

El diámetro de ingreso $d_1=0.0381\text{m}$ y el diámetro de salida $d_2=0.0318\text{m}$ con una longitud de boquilla de $l=0.06\text{m}$ producen un valor de **$K= 5.92 * 10^{-7} \text{ m}^3$** .

La velocidad de giro de las máquinas briquetadoras es progresivamente mayor entre más diámetro posea la briqueta final deseada. Para briquetadoras con diámetros finales menores a 2 pulgadas, se recomienda una velocidad de giro **$n=220\text{rpm}$** . (MAXTON, 2018)

Una vez calculados los coeficientes necesarios, se calcula el valor del flujo volumétrico (Q) con la ecuación presentada anteriormente obteniendo un **$Q=0.001819 \text{ m}^3/\text{min}$** .

Teniendo la densidad de la mezcla de aserrín $\rho= 215 \text{ kg/m}^3$ y realizando la conversión de unidades, se obtiene un **$Q= 23.47 \text{ kg/h}$** .

4. Potencia del motor

El motor es elemento encargado de suministrar la energía necesaria para la rotación del tornillo y posteriormente transportar, mezclar y compactar el material de las briquetas. Existe variedad de motores como corriente continua con variador de frecuencia o motores de corriente alterna que mantengan constante el torque y la rotación. La potencia del motor se transmite al tornillo por medio de fajas, sprockets con cadenas, motorreductores, etc.

Para el cálculo de potencia se utiliza la siguiente expresión:

Figura No. 37 Ecuación de potencia eléctrica de motor

$$P_o = P * Q$$

Donde:

P_o = potencia eléctrica [KW]

P = presión de la máquina [MPa]

Q = flujo volumétrico [m³/s]

Para las briquetadoras existe un rango de presiones de briquetado que va desde los 20MPa hasta los 60MPa. Para el cálculo de la potencia de diseño se utilizará una presión promedio de **$P=35\text{MPa}$** . (MAXTON, 2018)

Reemplazando los valores se obtiene una potencia eléctrica de **$P_o= 1.06 \text{ kW}$** .

Sin embargo, siempre existe un pequeño porcentaje de pérdidas por instalaciones eléctricas y arranque del motor por lo que se debe corregir esta potencia eléctrica con unos factores adicionales.

a. Pérdidas por instalaciones eléctricas

Se refieren a la pérdida de potencia que tiene el motor originada entre la potencia que recibe la línea de origen de corriente y la que entrega al final. Para determinar dichas pérdidas se puede utilizar la siguiente expresión:

Figura No. 38 Ecuación de pérdidas por instalaciones eléctricas

$$Z_e = 0,015 * P_o$$

Reemplazando los valores, se obtiene un **$Z_e= 15.92 \text{ W}$** .

b. Pérdidas en motores y generadores

Estas pérdidas se generan por un incorrecto pre encendido o entre los mismos componentes del motor seleccionado y que no llegue a entregar totalmente la potencia que promete. Dichas pérdidas se representan de la siguiente manera:

Figura No. 39 Ecuación de pérdidas en motores y generadores

$$Z_m = 0,05 * P_o$$

Reemplazando los valores, se obtiene un **Z_m = 53.06 W**.

La potencia corregida del motor es igual entonces a la sumatoria de la potencia eléctrica junto con los valores de potencia de corrección por pérdidas.

Figura No. 40 Ecuación de potencia corregida del motor

$$P_c = P_o + Z_e + Z_m$$

Reemplazando los valores, se obtiene una potencia corregida de **P_c = 1.13 kW o 1.52HP**. Por lo tanto, se seleccionará el motor siguiente más grande encontrado en potencia para cubrir dichas pérdidas y tener certeza de que no hará falta potencia para que la máquina trabaje. Con lo anteriormente expuesto, se seleccionó un motor con **P_m = 1.5 kW o 2 HP**. La instalación eléctrica del motor será cableada en 220V monofásico para garantizar que se pueda conectar en casi cualquier taller o ubicación a donde se traslade la máquina en el futuro ya que dicho voltaje es el más común en Guatemala. El motor seleccionado es uno marca TECHTOP ML90L-4 de carcasa de aluminio con una velocidad de giro de **n = 1750 rpm** ya que es de disponibilidad alta en el país en el distribuidor industrial Servica S.A. y su costo no es tan elevado comparado con otras marcas del mercado. Las especificaciones del motor se pueden apreciar en el anexo B-1.

5. Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia, como su nombre lo indica, tiene la función principal de trasladar la potencia del motor hacia el eje de transmisión y entregar la potencia con una velocidad menor. En este caso, se debe transmitir 2 HP de potencia de 1750rpm a 220rpm. Se busca que el sistema no tenga costos muy elevados como en el caso de un motorreductor y que su mantenimiento sea sencillo y rápido. Por lo tanto, la opción que mejor se adapta es la utilización de **poleas y faja de transmisión en V**. Adicionalmente, es un sistema con alta disponibilidad en el mercado y con gran flexibilidad a la hora de querer reducir o aumentar velocidades, solo se debe cambiar la polea conducida y la faja correspondiente.

a. Potencia de diseño

La potencia de diseño se obtiene multiplicando la potencia final seleccionada por un factor de servicio; dicha potencia es considerada en la selección del número y tipo de faja a utilizar. La potencia de diseño será un poco más alta que la potencia seleccionada, esto garantizará que el sistema de transmisión tenga cierta tolerancia en cuanto a sus capacidades y no se deteriore rápidamente. La expresión para calcular la potencia de diseño se presenta a continuación:

Figura No. 41 Ecuación de potencia de diseño

$$P_D = P_f * f_s$$

Donde:

P_D = potencia de diseño [HP]

P_f = potencia final seleccionada [HP]

f_s = factor de servicio

El factor de servicio se determina según el tipo de motor a utilizar, la máquina que utilice el sistema de transmisión y las horas de servicio por día. La selección se realizó con base en la tabla de factores de servicio del catálogo Martin de Poleas y Bandas presente en el anexo B-2. Considerando un servicio normal de 6 a 16 horas al día de uso, el tipo de máquina a diseñar y el motor seleccionado, el factor de servicio es igual a $f_s = 1.3$. Reemplazando los valores, se obtiene una potencia de diseño de $P_D = 2.60 \text{ HP}$.

b. Selección de banda

Teniendo la potencia de diseño y la velocidad de giro del motor, se seleccionó una banda de alta capacidad tipo 3V, dicha selección se realizó con ayuda de la gráfica del anexo B-3.

c. Relación de velocidades

Teniendo las velocidades de 1750rpm y 220 rpm se puede obtener la relación de velocidades resultando en **7.95**.

d. Poleas de transmisión

1) Diámetro de polea conductora

La polea conductora es la que va acoplada al eje del motor eléctrico. Para determinar su diámetro se tomó referencia de la tabla con los diámetros mínimos recomendados para motores eléctricos del catálogo Martin presente en el anexo B-4. Dicho diámetro seleccionado es de **D1= 0.0635m o 2.5pulg.**

2) Diámetro de polea conducida

La polea conducida es la que se acopla al eje de transmisión y para determinar su valor solo se debe multiplicar la relación de velocidades por el diámetro de la polea 1, obteniendo un valor de **D2= 0.5051m o 20pulg.**

En Guatemala, las poleas de transmisión se fabrican normalmente de hierro fundido o aluminio 6061 de alta resistencia. Debido a que las poleas de aluminio son de un costo menor, de este material serán fabricadas a la hora de la construcción de la máquina.

e. Características de la banda

1) Distancia entre centros

Para calcular la distancia entre centros (C) se puede guiar con los siguientes intervalos:

Figura No. 42 Intervalos de distancia entre centros

$$\frac{D_2 + 3 * D_1}{2} < C < 3 * (D_2 + D_1)$$

Esto significa que la distancia entre centros puede estar entre 0.349m (13.75pulg) hasta 1.715m (67.5pulg). Por lo tanto, se seleccionó una distancia intermedia igual a **C= 0.508m (20pulg).**

2) Longitud de banda

Para calcular la longitud de banda se puede utilizar la siguiente expresión:

Figura No. 43 Ecuación de longitud de banda

$$L = 2 * C + 1,57 * (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 * C}$$

Reemplazando los valores, se obtiene una longitud de banda igual a **L= 2.005m o 78.74pulg.** Esto nos indica que en los catálogos de la industria debemos seleccionar una banda de alta capacidad **3V780** y de no encontrarse, una banda convencional **A-69**.

3) Ángulo de contacto

El ángulo de contacto se calcula con la siguiente expresión:

Figura No. 44 Ecuación de ángulo de contacto

$$\theta = 180^\circ - 2 * \sin^{-1} \frac{(D_2 - D_1)}{2 * C}$$

Reemplazando los valores se obtiene un ángulo de contacto igual a **$\theta = 128.47^\circ$** .

4) Número de bandas

Para calcular el número de bandas necesarias se necesita utilizar la siguiente expresión:

Figura No. 45 Ecuación de número de bandas

$$N_b = \frac{P_D}{C_\theta * C_L * P_n}$$

Donde:

P_n = potencia nominal por banda [HP]

C_θ = factor de corrección por ángulo de contacto

C_L = factor de corrección por longitud de banda

Para la potencia nominal por banda, se utilizó el gráfico presente en el anexo B-5. El valor es igual a $P_n = 1.9$ HP.

Para el factor de corrección por ángulo de contacto, se utilizó el anexo B-6. El valor es igual a $C_\theta = 0.87$.

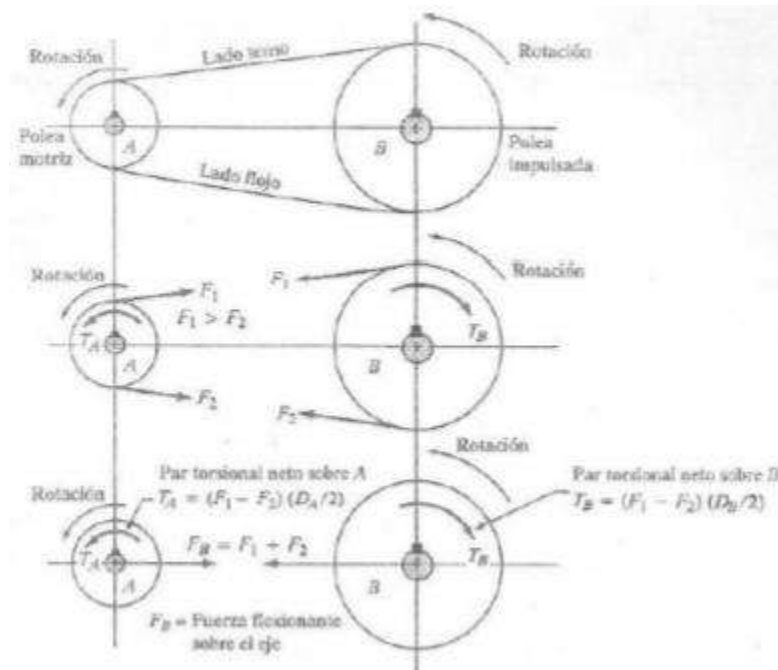
Para el factor de corrección por longitud de banda, se utilizó el anexo B-7. El valor es igual a $C_L = 1.19$.

Reemplazando los valores, se obtiene que se necesita una cantidad de $N_b = 1.31$ bandas. Esto nos indica que 1 banda es necesaria para la máquina y su correcto funcionamiento. Al saber que sólo se requiere 1 banda, se solicitará **fabricar las poleas únicamente con 1 ranura.**

6. Fuerzas en las poleas

En el diagrama de cuerpo libre siguiente, se presentan las fuerzas generadas por efecto de las poleas durante la transmisión de potencia al utilizar la máquina briquetadora. (Mott, 2006)

Figura No. 46 Fuerzas en las poleas



Según Mott, las expresiones necesarias para calcular dichas fuerzas son las siguientes:

Figura No. 47 Ecuación de torque en polea conducida

$$T_a = \frac{9550 * P_m}{v_m} = (F_1 - F_2) * \left(\frac{D_1}{2}\right)$$

Donde:

P_m = potencia final seleccionada del motor [kW]

v_m = velocidad del motor [rpm]

T_a = torque en polea conductora [N.m]

Reemplazando los valores, se obtiene un $T_a = 8.139 \text{ N.m}$. Si se realiza una técnica de sustitución de $(F_1 - F_2) = F$ y despejando F, se obtendría la siguiente expresión:

Figura No. 48 Ecuación de sustitución de variable

$$F = \frac{T_a}{\frac{D_1}{2}}$$

Sustituyendo el valor de T_a se obtendría un valor de diferencia de fuerzas $F = 256.34$. Con esta sustitución es posible ahora encontrar el torque en la polea conducida (T_b) al aplicar la siguiente expresión:

Figura No. 49 Ecuación de torque en polea conductora

$$T_b = (F_1 - F_2) * \left(\frac{D_2}{2}\right)$$

Reemplazando los valores, se obtiene un torque en la polea conducida de $T_b = 64.74 \text{ N.m}$.

Al estar en funcionamiento la briquetadora, se produce una fuerza de flexión F_B que actúa en una sola línea de acción entre los centros de las 2 poleas como se indica en el diagrama de poleas anteriormente expuesto, dicha fuerza se puede calcular con la ecuación siguiente:

Figura No. 50 Ecuación de fuerza flexionante

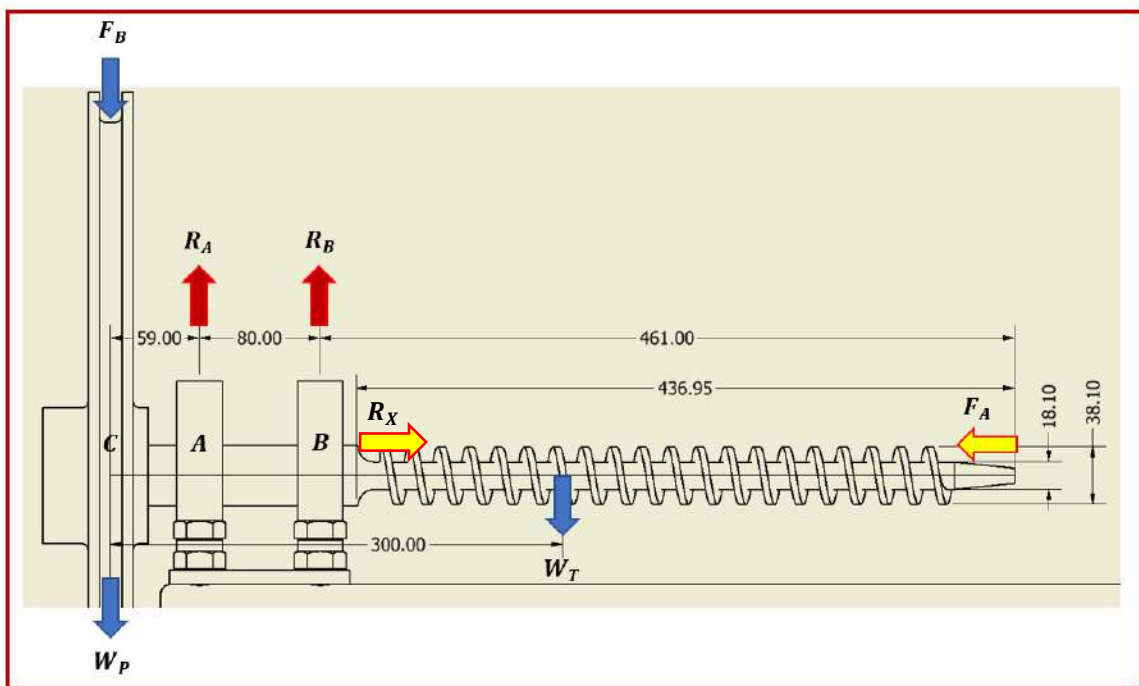
$$F_B = \frac{1.5 * T_b}{0.5 * D2}$$

Reemplazando los valores, se obtiene un valor de la fuerza flexionante de $F_B = 384.51 \text{ N}$.

7. Análisis de fuerzas

Para analizar el eje de transmisión, es necesario dibujar un diagrama de cuerpo libre colocando todas las fuerzas presentes en el sistema. El DCL se presenta a continuación:

Figura No. 51 Diagrama de cuerpo libre del sistema



Como se puede apreciar, en los puntos A y B se encuentran asentados los rodamientos y en el punto C es donde se encuentra la polea conducida. En los puntos A y B actúan las reacciones de las chumaceras. Sobre el punto C actúan la fuerza flexionante y el peso de la polea. Adicionalmente, actúa sobre las hélices del tornillo la fuerza axial de arrastre debido al paso del material mientras la briquetadora se encuentra en funcionamiento

La masa del tornillo es de $m_t = 10\text{kg}$ y la masa de la polea es de $m_p = 19\text{kg}$, que, al trasladarlo a pesos, representan $W_t = 98.1\text{ N}$ y $W_p = 186.39\text{ N}$

La fuerza axial F_a se puede calcular de la manera siguiente:

Figura No. 52 Ecuación de fuerza axial

$$F_a = A * P$$

Donde:

A= sección transversal de tornillo [m²]

P = presión [MPa]

El área de sección transversal del tornillo se calcula con la siguiente ecuación:

Figura No. 53 Ecuación de área transversal

$$A = \frac{\pi D^2}{4} (1 - u^2)$$

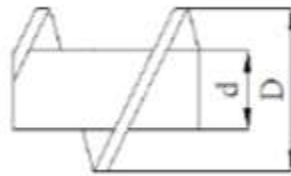
Donde:

D= diámetro exterior del cilindro [m].

u= relación de diámetros del tornillo.

La relación de diámetros de tornillo (d/D) se refiere a la proporción entre el diámetro sin las hélices ($d= 0.0181\text{m}$) y el diámetro completo del tornillo ($D= 0.0381\text{m}$) como lo indica la siguiente figura:

Figura No. 54 Relación de diámetros



Reemplazando los valores se obtiene que el área de sección transversal es de $A= 8.83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ y $F_a = 30.90 \text{ kN}$.

Teniendo las fuerzas presentes, es posible averiguar las reacciones y momentos generados en el sistema como se presentan en los siguientes diagramas. Debido a que todas las fuerzas se desarrollan en el eje Y, se presentan los diagramas de corte y momento en los ejes X-Y. La fuerza axial F_a será de utilidad para la selección de los rodamientos.

Figura No. 55 Cargas acumuladas

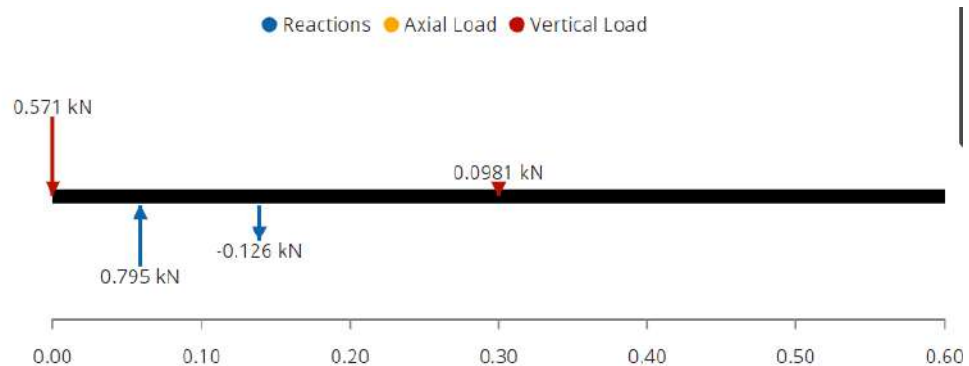


Figura No. 56 Diagrama de corte

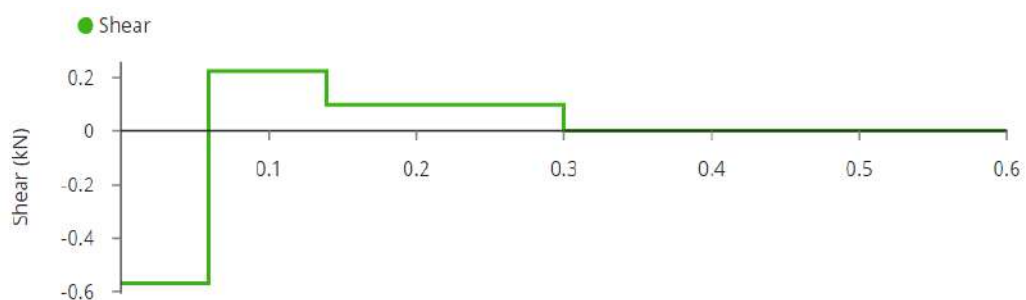
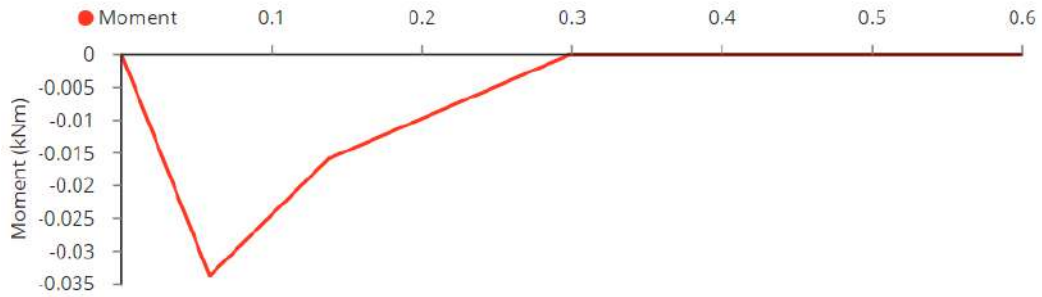


Figura No. 57 Diagrama de momento



Las reacciones obtenidas fueron $R_A = 0.795 \text{ kN}$ y $R_B = -0.126 \text{ kN}$. Los momentos en puntos críticos fueron de $M_A = 33.7 \text{ N.m}$ y $M_B = 15.8 \text{ N.m}$.

8. Selección de rodamientos

Existe una infinidad de rodamientos con diferentes tipos, tamaños, configuraciones, lubricación, etc. según la aplicación y la necesidad que se tenga. Al observar que se tienen cargas tanto radiales como axiales en el diagrama, se seleccionaron rodamientos de bolas con capacidad de carga en ambos sentidos. Ya para una máquina de envergadura industrial, es posible seleccionar rodamientos de rodillos, pero su costo es más alto que el de bolas y se busca ser conservador en la cuestión de costos para lograr una mejor relación costo-beneficio a largo plazo.

La selección de un rodamiento adecuado depende de la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas aplicadas sobre dicho rodamiento. El rodamiento crítico a tomar en cuenta es el que se encuentra en el punto B del DCL expuesto con anterioridad ya que es el que recibe la carga axial generada por el transporte de material a través del tornillo. Para el cálculo de los rodamientos, se utilizó como base el Catálogo de Rodamientos de SKF.

Al analizar el rodamiento bajo una sollicitación dinámica, se calculará la capacidad de carga dinámica básica (C') para seleccionar el rodamiento adecuado a través de la expresión siguiente.

Figura No. 58 Ecuación de carga dinámica básica

$$C' = Pd * \left(\frac{Lm}{a1 * askf}\right)^{1/p}$$

Donde:

Pd = carga dinámica equivalente de diseño [kN]

Lm = vida nominal SKF [millones de revoluciones]

$a1$ = factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

$askf$ = factor de modificación de la vida útil

p = exponente de la ecuación de la vida (3 para rodamientos de bolas)

Inicialmente, se debe calcular la vida nominal o duración del rodamiento por medio de la siguiente ecuación:

Figura No. 59 Ecuación de vida nominal SKF

$$Lm = h * n * 60min/h$$

Donde:

h = duración en horas del rodamiento [horas]

n = velocidad de giro del eje [rpm]

Para obtener la vida nominal del rodamiento, se utilizó la tabla del anexo B-8. Teniendo máquinas para 8 horas de trabajo diario no siempre utilizadas al máximo, se obtuvo un **$h=10,000$ horas**, con una **$n=220$ rpm**, se obtiene una vida de **$Lm =132$ millones de revoluciones**.

La carga dinámica equivalente del rodamiento se define como una carga hipotética, constante en magnitud y sentido, que actúa radialmente sobre los rodamientos radiales y axialmente en forma centrada sobre los rodamientos axiales. Esta carga hipotética, al ser aplicada, tendría la misma influencia en la vida del rodamiento que las cargas reales a las que está sometido el rodamiento. Para el cálculo de la carga dinámica equivalente de diseño, se deben aplicar factores de carga que se determinan con base en el anexo B-9.

Para la primera iteración, se utilizarán los factores más castigadores como $X=1$ y $Y=1$, ya que, si el rodamiento seleccionado soporta la carga dinámica equivalente, entonces soportará su verdadera carga cuando ya se tengan las propiedades del mismo.

Figura No. 60 Ecuación de carga dinámica equivalente

$$Pd = XF_r + YF_a$$

Donde:

F_r = carga radial sobre el rodamiento (kN)

F_a = carga axial sobre el rodamiento (kN)

X = factor de carga radial del rodamiento

Y = factor de carga axial del rodamiento

La carga radial sobre el rodamiento se refiere a la misma reacción que sufre el rodamiento B $F_r = 126$ N. Al reemplazar los valores iniciales en la fórmula, se obtiene una **$Pd = 31.02$ kN.**

Para el factor aI , es necesario buscar en el anexo B-10 y con un 95% de confiabilidad, **$aI = 0.64$.**

Para el factor $askf$, se necesita buscar en el anexo B-11 pero como no se tienen los parámetros de carga límite de fatiga ni el nivel de contaminación, se asumirá el factor más castigador, en este caso **$askf = 50$.**

Con todos los datos, se obtiene una carga dinámica básica en la primera iteración de **$C_1 = 49.75$ kN.** Con dicha carga dinámica básica, ya se puede seleccionar un rodamiento que resista una mayor carga y aplicarle los factores correspondientes para determinar la carga dinámica verdadera a la que se verá sometido.

Analizando el catálogo SKF, se ha seleccionado el **rodamiento rígido de 1 hilera de bolas de 40mm con designación 6408**. Se seleccionó un diámetro de 40mm en el rodamiento ya que es el diámetro en el mercado más cercano al diámetro del tornillo sinfín de manera que se pueda tener un eje de transmisión maquinado en una vez con una barra de acero sólida. En el diseño del eje de transmisión se constatará si el diámetro seleccionado soporta las cargas y esfuerzos presentes. Si no lo hace, se cambiarán los rodamientos por unos más grandes y se realizarán de nuevo los cálculos para determinar la verdadera carga dinámica a la que se verá sometido el nuevo rodamiento crítico en el punto B. A continuación, se presentan las propiedades más importantes del mismo. El resto de las mismas se pueden apreciar en los anexos B-12 y B-13.

Cuadro No. 4 Cálculos iniciales de referencia

Diámetro interno	d	0.04	m
Diámetro externo	D	0.11	m
Capacidad de carga dinámica básica	C	63.7	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	36.5	kN
Carga límite de fatiga	P_u	1.53	kN
Factor f_0	f_0	12	

Los tres parámetros que cambian con respecto al primer cálculo son los valores de los factores X , Y y $askf$. Esta vez, utilizando los factores correctos con el anexo B-9, se tendrá $X= 0.56$ y $Y= 0.7$. Así se obtiene la nueva carga equivalente de $Pd_2= 21.69$ kN.

En lo que corresponde al factor $askf$, se necesita determinar viscosidad nominal " ν_1 " (anexo B-14), grado de viscosidad media " ν " (anexo B-15) y el nivel de contaminación " n_c " (anexo B-16).

La viscosidad nominal resultó en $\nu_1 = 45\text{mm}^2/\text{s}$, con una **lubricación de ISO VG 680 a 40°C**, el grado de viscosidad media es de $\nu = 680\text{mm}^2/\text{s}$ y con condiciones seleccionadas de **“gran limpieza”**, el nivel de contaminación es de $n_c = 0.8$.

Con una relación de viscosidades $k = \nu/\nu_1 = 15.11$ y la relación entre la carga límite de fatiga con la carga equivalente que actúa sobre el rodamiento, $P_U/P = 0.071$, se puede regresar al diagrama del anexo B-11 para obtener un factor **$askf_2 = 20$** .

Ya teniendo todos los factores, se puede calcular la verdadera carga dinámica real a la que se verá sometido el rodamiento, y esta equivale a **$C_2 = 47.23 \text{ kN}$** . Se llega a apreciar que **$C_2 = 47.23 \text{ kN} < C_1 = 49.75 \text{ kN}$** . Esto nos representa que en realidad cuando ya se aplican los factores de corrección para un rodamiento específico seleccionado, la carga dinámica real a la que deberá resistir será menor a la de diseño y a la vez será menor a la capacidad de carga dinámica intrínseca del rodamiento, en este caso, **$C = 63.7 \text{ kN}$**

9. Selección de soportes de rodamientos

Para la selección de los soportes de rodamientos o chumaceras, se utilizó el Catálogo de Soportes Autolineantes en Fundición / Chapa de Acero de NTN. Con base en las dimensiones del rodamiento SKF 6408, el soporte de rodamiento seleccionado es el **EXP308**. (Anexos B-17 y 18).

10. Diseño del eje de transmisión

La teoría de falla por energía de distorsión es un método satisfactorio para combinar los esfuerzos múltiples (diferentes planos de acción) sobre un elemento de esfuerzo en un esfuerzo equivalente de von Mises. En este caso, se tiene un eje con esfuerzos por flexión " σ_x ", esfuerzos cortantes por torsión " τ_{xy} ", y esfuerzos axiales " σ_y ". (Shigley, 2011)

Como se mencionó en la sección 8, la base preliminar de diseño será un diámetro **$d = 0.04 \text{ m}$** . Posteriormente, se calcularán los diámetros mínimos necesarios con el análisis de resistencia a la fatiga al haber seleccionado un tipo de material. Si estos diámetros mínimos de diseño resultan ser menores que 0.04 m , se estará cubierto con el diámetro de 0.04 m . Si los diámetros son mayores, se realizará una segunda iteración con un nuevo diámetro estándar que se pueda encontrar en el mercado y se analizarán de nuevo los esfuerzos presentes, así como los nuevos rodamientos a seleccionar.

Para la selección del material del eje se deben calcular los esfuerzos por flexión, torsión y axial en donde se presenta el momento máximo flexionante, presente en el punto A del diagrama de cuerpo libre.

Los esfuerzos por flexión “ σ_x ” y por torsión “ τ_{xy} ”, pueden estar presentes tanto medios como alternantes. La expresión que define el esfuerzo por flexión se define así:

Figura No. 61 Ecuación de esfuerzo por flexión

$$\sigma_x = \left(\frac{32K_f (M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)$$

Donde:

k_f = factor de concentración de esfuerzos por fatiga para el momento

M_m = Momento medio [N.m]

M_a = Momento alternante [N.m]

d = diámetro de eje de transmisión [m]

La expresión que define el esfuerzo por torsión es la siguiente:

Figura No. 62 Ecuación de esfuerzo cortante por torsión

$$\tau_{xy} = \left(\frac{16K_{fs} (T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)$$

Donde:

k_{fs} = factor de concentración de esfuerzos por fatiga para la torsión

T_m = par de torsión medio [N.m]

T_a = par de torsión alternante [N.m]

d = diámetro de eje de transmisión [m]

En el caso de un eje giratorio con **flexión y torsión constantes**, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante. Por lo tanto, **Mm y Ta = 0**. Adicionalmente, los factores de concentración de esfuerzos por fatiga para el momento y torsión dependen del tipo de material seleccionado, pero como justamente se busca el material de diseño, dichos factores serán tomados como k_f y $k_{fS} = 1$ ya que definitivamente se seleccionará un material dúctil lo que permite tener capacidad de fluir localmente ante discontinuidades encontradas.

Con un momento flexionante alternante (obtenido de DCL) $M_a = 33.7$ N.m y un par de torsión medio (torque en polea conducida) $T_m = 64.74$ N.m se obtiene un esfuerzo por **flexión** $\sigma_x = 5.36$ MPa y por **torsión** $\tau_{xy} = 5.15$ MPa.

Para el esfuerzo axial, se necesita utilizar la siguiente ecuación:

Figura No. 63 Ecuación de esfuerzo axial

$$\sigma_y = \frac{F_a}{A}$$

Donde:

F_a = Fuerza axial sobre el eje [N]

A = Área de sección transversal del eje [m²]

Con una fuerza axial $F_a = 30.90$ kN y un área de $A = 0.00126$ m², se obtiene un $\sigma_y = 24.59$ MPa.

Para calcular el esfuerzo máximo en ese punto, se aplicará el criterio de máxima tensión de von Mises mediante la siguiente expresión:

Figura No. 64 Ecuación de esfuerzo máximo de von Mises

$$\sigma'_{max} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Reemplazando los valores, se obtiene un esfuerzo máximo de von Mises equivalente a $\sigma'_{max} = 24.11$ MPa.

Para verificar la fluencia, este esfuerzo máximo de von Mises se compara con la resistencia a la fluencia. Mediante la teoría de falla por energía de distorsión se encuentra la resistencia a la fluencia del material mediante la siguiente ecuación:

Figura No. 65 Ecuación de factor de seguridad

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}}$$

Donde:

n_y = factor de seguridad

S_y = Resistencia a la fluencia del material seleccionado [MPa]

Considerando un factor de seguridad $n_y = 4.5$, comprendiendo que se tiene confianza en los elementos y sus propiedades, pero buscando dar seguridad a los componentes críticos del sistema (anexo B-24), se obtiene una resistencia a la fluencia deseada de $S_y = 108.47 \text{ MPa}$. Se seleccionó el acero AISI 1020 extruido en frío tentativamente con resistencia a la fluencia de $S_y = 352 \text{ MPa}$ y resistencia última a la tensión de $S_{ut} = 420 \text{ MPa}$. Este acero es utilizado especialmente para fabricación de todo tipo de ejes, es accesible en el mercado y su costo no es tan elevado. El resto de sus propiedades se puede apreciar en los anexos B-19 y B-20. Después de calcular los esfuerzos en el tornillo sinfín, se seleccionará el material con las propiedades mecánicas más altas para tanto el eje de transmisión y el tornillo ya que serán maquinados como sólo 1 pieza. Adicionalmente, si en el análisis del tornillo se necesita un mejor acero, ese mismo nuevo acero le brindará al eje de transmisión un factor de seguridad extra para garantizar que definitivamente no falle. El sobredimensionamiento se justifica por varias causas como, por ejemplo: previsiones de corrosión o desgaste, posibles errores en propiedades de materiales a utilizar, tolerancias de fabricación, tolerancias por incertidumbre a las cargas o solicitaciones a las que se someterán los elementos, etc.

a. Análisis de resistencia a la fatiga

Ya teniendo definido un material, se deben calcular las dimensiones del mismo y verificar cuál es el diámetro mínimo que resiste las cargas por fatiga. Según Shigley, el límite de resistencia a la fatiga $S_e' = 0.5 * S_{ut}$ para cuando se tienen materiales con un valor de resistencia última a la tensión menor a 1400 MPa. Esto quiere decir que se tendrá un límite de resistencia a la fatiga igual a **$S_e' = 210 \text{ MPa}$** .

Ahora se debe calcular el límite de resistencia a la fatiga corregida con una serie de factores adicionales.

Figura No. 66 Ecuación de factor de resistencia a la fatiga corregido

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e'$$

Donde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial

k_b = factor de modificación del tamaño

k_c = factor de modificación de la carga

k_d = factor de modificación de la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

1) Factor de condición superficial

Este factor depende del acabado final que tenga la pieza ya sea maquinada, esmerilada, laminada o forjada. La siguiente ecuación describe cómo calcularlo:

Figura No. 67 Ecuación de Factor de condición superficial

$$k_a = a * S_u^b$$

Con un eje maquinado, los valores correspondientes son $a = 4.51$ y $b = -0.265$ (anexo B-21). Reemplazando los valores, se obtiene un valor de **$k_a = 0.91$** .

2) Factor de tamaño

Shigley establece que si el factor cumple esta condición: $0.11 \text{ pulg} < d < 2 \text{ pulg}$, entonces la expresión para calcular el factor es de:

Figura No. 68 Ecuación de factor de tamaño

$$k_b = 0.879d^{-0.107}$$

Reemplazando los valores, se obtiene un valor de **$k_b = 1.24$** .

3) Factor de carga

Cuando se realizan los ensayos de fatiga con carga de flexión rotatoria ($k_c = 1$), axial ($k_c = 0.85$) y de torsión ($k_c = 0.59$), los límites de resistencia a la fatiga difieren con Sut y los factores van cambiando. Como no se tiene claro cuál es el ensayo utilizado, **$k_c = 1$** .

4) Factor de temperatura

El factor de temperatura escogido según el anexo B-22, asumiendo una temperatura del eje de 50°C , **$k_d = 1.01$** .

5) Factor de confiabilidad

El factor de confiabilidad seleccionado con ayuda del anexo B-23, con una confiabilidad del 99% es de **$k_e = 0.814$** .

Reemplazando todos los factores, se obtiene una resistencia a la fatiga corregida de **$S_e = 194.87 \text{ MPa}$** .

6) Diámetros del eje de transmisión

Aplicando la teoría de falla de Goodman, se determinarán a continuación los diámetros del eje ya habiendo analizado sus esfuerzos, así como su resistencia a la fatiga.

Figura No. 69 Ecuación de diámetros de eje de transmisión con teoría de falla

$$d = \left(\frac{16N}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_u} \left[4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

El factor de concentración de esfuerzos por fatiga para el momento se define como:

Figura No. 70 Ecuación de factor de concentración de esfuerzos para momento

$$k_f = 1 + q (k_t - 1)$$

Donde:

k_t = factor de concentración de esfuerzos para el momento (anexo B-25)

q = sensibilidad a la muesca (anexo B-26)

El factor de concentración de esfuerzos por fatiga para la torsión se define como:

Figura No. 71 Ecuación de factor de concentración de esfuerzos para torsión

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante} (k_t - 1)$$

Donde:

k_{ts} = factor de concentración de esfuerzos para la torsión (anexo B-25)

$q_{cortante}$ = sensibilidad a la muesca (anexo B-27)

Para el diseño del eje de transmisión no es necesario evaluar los esfuerzos en todos los puntos de un eje. Por lo general, estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzo. Por comparación directa de diferentes puntos a lo largo del eje, pueden identificarse unas cuantas ubicaciones críticas sobre las cuales puede basarse el diseño. Para este diseño, se analizarán los puntos A, B, C y el punto de la concentración de esfuerzo en la reducción de sección entre el eje de transmisión y el tornillo sinfín.

A continuación, se presentan los diámetros calculados con los diferentes parámetros utilizados.

Cuadro No. 5 Diámetros de eje de transmisión

	Punto A	Punto B	Punto C
Factor de concentración de esfuerzos por fatiga para el momento	2.36	2.36	1.96
Sensibilidad a la muesca (q)	0.80	0.80	0.80
Factor de concentración de esfuerzo para el momento (kt)	2.70	2.70	2.20
Factor de concentración de esfuerzos por fatiga para la torsión	2.08	2.08	2.80
Sensibilidad a la muesca cortante (qcortante)	0.90	0.90	0.90
Factor de concentración de esfuerzo para la torsión (kts)	2.20	2.20	3.00
Torque polea conducida (Tp2) [N.m]	64.74	64.74	64.74
Momento alternante (Ma) [N.m]	33.70	15.80	0.00
Factor de seguridad (N)	4.5	4.5	4.5
Diámetro (d) [m]	0.0316	0.0278	0.0258

El resumen de los diámetros calculados es el siguiente:

Cuadro No. 6 Resumen de diámetros seleccionados

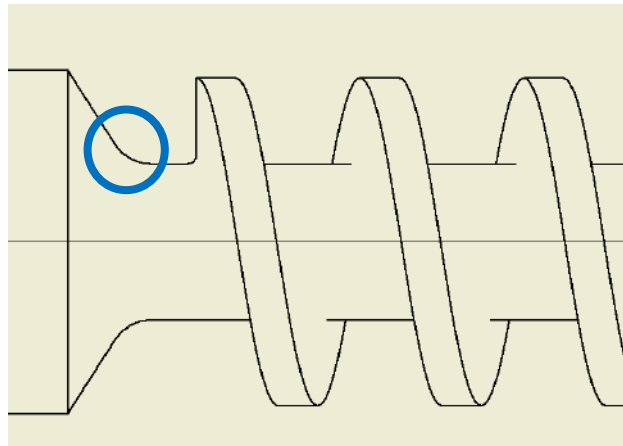
Ubicación	No. de diámetro	Diámetro de diseño (m)	Diámetro seleccionado (m)
Polea	d1	0.0258	0.040
Rodamiento A	d2	0.0316	0.040
Rodamiento B	d3	0.0278	0.040

Como se puede apreciar, los diámetros mínimos de diseño a la fatiga son más pequeños que los diámetros seleccionados desde el inicio por lo que se tiene la certeza de que el eje no fallará teniendo un diámetro de **d= 0.04m**.

11. Análisis de esfuerzos en el tornillo

Uno de los puntos más críticos del eje junto con el tornillo es la transición de eje sólido a inicio de tornillo sinfín que genera una concentración de esfuerzos elevada. A continuación, se muestra el punto crítico mencionado.

Figura No. 72 Punto crítico de esfuerzos



Se calcularán los esfuerzos cortantes y axiales en este punto. Inicialmente, se debe tener el diámetro del tornillo donde se une con el eje y es de $d = 0.0181\text{m}$, el diámetro del eje al que se une es de $d = 0.04\text{m}$. Reemplazando los valores en la ecuación de esfuerzo cortante explicada en la sección 10, se obtiene un $\tau_{xy} = 55.60\text{MPa}$. Aplicando las relaciones $D/d = 2.21$ y con un radio de filete de $r = 0.005\text{m}$, la relación $r/d = 0.28$ se puede calcular el factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo por torsión con ayuda del anexo B-28 el cual resulta en $k_{ts} = 1.1$. Al multiplicar dicho valor por el valor del esfuerzo cortante, se obtiene un $\tau_{xym\acute{a}x} = \mathbf{61.16\text{ MPa}}$.

Procediendo con los esfuerzos axiales, se tiene que calcular sobre el área transversal solamente del diámetro menor de unión, es decir, el $d = 0.0181\text{m}$. El área correspondiente es de $A = 0.000257\text{ m}^2$. El esfuerzo axial entonces calculado es igual a $\sigma = 120.08\text{ MPa}$. Aplicando las relaciones de D/d y r/d con ayuda del anexo B-29, se obtiene el valor del factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo por fuerza axial resultando en $k_{ts} = 1.5$. Al multiplicar dicho valor por el valor del esfuerzo axial, se obtiene un $\sigma_{m\acute{a}x} = \mathbf{180.12\text{ MPa}}$.

Al utilizar el criterio de máxima tensión de von Mises, se puede calcular cuál sería el esfuerzo máximo en este punto el cual es equivalente a $\sigma'_{m\acute{a}x} = \mathbf{208.97\text{ MPa}}$. Aplicando la teoría de falla por energía de distorsión se puede encontrar la resistencia a la fluencia del material para el tornillo y por consiguiente de todo el conjunto eje-tornillo. Con un factor de seguridad $n_y = 4.5$, se obtiene un $S_y = \mathbf{940.36\text{ MPa}}$.

El tornillo sinfín estará sometido a altas temperaturas, corrosión debido a la aparición de lignina y vapor de agua y fricción entre aserrín y cilindro. Es por ello que, analizando la tabla de propiedades de aceros, se utilizará finalmente el acero **AISI 4140** con resistencia a la fluencia de $S_y = \mathbf{1050\text{ MPa}}$ y resistencia última a la tensión de $S_{ut} = \mathbf{1160\text{ MPa}}$. para todo el **conjunto eje-tornillo** por facilidad de maquinado, el resto de sus propiedades se puede apreciar en los anexos B-19 y B-20.

El material seleccionado es un acero con aleación de cromo y molibdeno con excelente resistencia a la fatiga, impacto, abrasión y puede llegar a resistir temperaturas de hasta 540°C. Adicionalmente, se utiliza regularmente para construcción de ejes, tornillos de alta resistencia, levas, entre otros. Tiene una alta demanda en el mercado, su costo no es tan elevado.

12. Diseño de la cuña de la polea conducida

El eje de transmisión de potencia tiene un torque en la polea conducida de $T = 64.74$ N.m y el diámetro donde dicha polea va asentada es de $d = 0.04$ m. Según el libro de Mott, las cuñas se fabrican normalmente con un acero AISI CD 1020 con una resistencia a la fluencia de $S_y = 352$ MPa. La ecuación siguiente provee cuál debe ser el largo de la cuña con base en otros parámetros a describir:

Figura No. 73 Ecuación de longitud de cuña

$$L = \frac{4 * T * N}{d * w * S_y}$$

Donde:

W = ancho de la cuña

N = factor de seguridad (3 para cuñas según Mott)

En el anexo B-30 se puede determinar cuál es el ancho de la cuña según el tamaño nominal del eje por lo que se ha seleccionado una cuña cuadrada con $w = 0.0079$ m y una altura $H = 0.0079$ m. Reemplazando los valores se obtiene $L = 0.04$ m.

La profundidad del cuñero en el eje “S” y en la masa de la “t” polea se calculan con las siguientes expresiones, tomando en cuenta que el valor C es una constante igual a $C = 1.27 \cdot 10^{-4}$:

Figura No. 74 Ecuación de profundidad del cuñero en el eje

$$S = \frac{d - H + \sqrt{d^2 - W^2}}{2}$$

Figura No. 75 Ecuación de profundidad del cuñero en la polea o cubo

$$t = \frac{d + H + \sqrt{d^2 - W^2}}{2} + C$$

Reemplazando los valores, se obtiene que **S = 0.00356 m** y **t = 0.00437 m**.

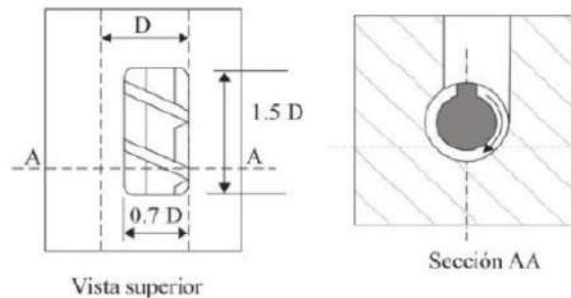
13. Camisa o cilindro

El diámetro interno del cilindro es de 0.0381m o 1.5 pulg como se encuentra normalmente en el mercado guatemalteco estándar. La pared exterior del cilindro debe ser lo suficientemente gruesa para soportar las presiones internas de hasta 35MPa de diseño, así como la fricción entre el aserrín con sus paredes internas y la temperatura generada por dicho roce. El recubrimiento de zinc que posee la tubería le protege contra la oxidación y corrosión. Por lo tanto, se seleccionó el **tubo galvanizado liso cédula 40 de Hierros AG con espesor de pared igual a 0.0036m o 0.142 pulg**. La misma cédula se mantendrá tanto para el cono de compresión como el tubo de salida de 0.0318m o 1.25pulg. Los detalles del tubo se pueden apreciar en el anexo B-31.

14. Dimensionamiento de la tolva

Esta parte de la máquina briquetadora está destinada al depósito y canalización de la materia que se le agregue al proceso. Son de paredes inclinadas para permitir el deslizamiento del material. La tolva se coloca en la entrada para alimentación del tornillo sinfín y se va llenando mediante la materia se empieza a reducir. Para un diseño como tal de una tolva no existen especificaciones como tal por lo que se decidió utilizar las recomendaciones del libro de Mott en lo que respecta a la garganta de alimentación teórica que debería tener el tubo según su diámetro. La garganta tiene aproximadamente una longitud de 1.5 veces y de ancho 0.7 veces el diámetro del cilindro como se muestra en la siguiente figura:

Figura No. 76 Parámetros garganta de alimentación



Las dimensiones seleccionadas de base superior de la tolva y su altura se realizaron de manera de tener una proporción adecuada entre todas las partes de la briquetadora y se mantuviera una armonía de tamaños. De ser necesario, se puede incrementar el tamaño de la misma para que la persona no tenga que estar llenando de material tan continuamente. A continuación, se presentan las dimensiones seleccionadas:

Cuadro No. 7 Dimensiones de tolva

Área base menor	A1	0.00152	m ²
Lado a1	a1	0.02667	m
Lado b1	b1	0.05715	m
Área base mayor	A2	0.0225	m ²
Lado a2	a2	0.15	m
Lado b2	b2	0.15	m
Altura	h	0.15	m

Con las dimensiones establecidas, se puede calcular el volumen de la tolva con la siguiente expresión:

Figura No. 77 Ecuación de volumen de tolva

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

Reemplazando los datos, se obtiene un **volumen V = 0.00149m³ o 1.49 L**. Si se multiplica por la densidad de la mezcla, se obtendría que la tolva tiene **capacidad para almacenar 0.32kg de masa**. La lámina de acero Ternium seleccionada para la fabricación de la tolva será una **A36 laminada en caliente calibre 4.763mm o 3/16 pulg**. Las propiedades de la lámina se pueden apreciar en el anexo B-32 y 33.

15. Estructura metálica

La estructura metálica es el elemento constituido por soportes de acero donde se apoyan los otros elementos como el tubo, rodamientos, motor, etc. El fin principal de la misma es soportar el peso de los elementos sobre ella. Se buscó que la estructura tuviera soportes en todos los puntos importantes y se le agregaron 2 mesas de hierro forjado (3/8pulg), 1 como base de los cojinetes y la otra como base para colocar el motor. Adicionalmente, se pensó en la estatura promedio del guatemalteco y que las dimensiones de la misma deben ser adecuadas y que garanticen la comodidad del operador. **Las dimensiones de la estructura son 1.29m (b) x 0.40m (l) x 0.90m (h)**. Ya incluyendo las dimensiones de los componentes, se llega hasta una altura de 1.14m, lo cual sigue siendo cómodo para operar y verter la materia. El perfil seleccionado para la máquina es un **acero estructural A36 con denominación DIN 40x40x2.9 mm**. Si se desea conocer más acerca de sus propiedades, dirigirse al anexo B-34.

16. Diseño de pernos para la sujeción de juntas

A lo largo de muchos años, los pernos han sido los elementos más utilizados en la construcción de máquinas cuando se buscan uniones no permanentes. Debido a que la tracción inicial es desconocida, se debe calcular de la forma siguiente.

Figura No. 78 Ecuación de área de esfuerzo a tracción

$$A_s = \left(\frac{152,4 F_e}{S_y} \right)^{2/3}$$

Donde:

A_s = área de esfuerzo a tracción

F_e = fuerza externa

S_y = resistencia a la fluencia del tornillo

Se asumirá que se tendrán 8 pernos distribuidos a lo largo de la placa base de los cojinetes, (4 para sujetar las 2 chumaceras) y 4 para sujetar dicha base a la estructura. Dividiendo la fuerza axial $F_a = 30.90$ kN dentro de estos 8 pernos, se obtiene una $F_e = 3.86$ kN por perno.

Con ayuda del anexo B-35, se selecciona el grado del acero del perno necesario. Se decidió utilizar un perno de acero medio carbono de alta resistencia **SAE grado 8.8**, si se calcula el área transversal del mismo será de $A_T = 0.0002$ m². Con este valor de referencia se selecciona con ayuda del anexo B-36 el perno con rosca gruesa de diámetro mayor ya que su área de esfuerzo debe estar por encima del área calculada. El perno seleccionado es uno de **20mm de diámetro**.

Ya teniendo el diámetro de los pernos se debe calcular el factor de seguridad para verificar que no exista separación de las partes mediante la siguiente expresión:

Figura No. 79 Ecuación de factor de seguridad para pernos

$$N_{sep} = \frac{F_i}{F_e * \left(1 - \frac{k_b}{k_m + k_b}\right)}$$

Donde:

N_{sep} = factor de seguridad contra separación de juntas

F_i = fuerza de apriete

k_b = constante elástica del perno

k_m = constante elástica de la junta

La fuerza de apriete se calcula con la siguiente expresión:

Figura No. 80 Ecuación de fuerza de apriete

$$F_i = S_i * A_T$$

Donde:

S_i = esfuerzo de apriete $S_i = 0.75 S_p$, que se refiere al 75% del valor de resistencia de prueba mínima. Según el anexo B-35, $S_p = 600$ MPa por lo que $S_i = 450$ MPa. Los factores k_b y k_m dependen principalmente de las áreas de material a sujetar, la elasticidad del acero y la longitud del perno seleccionada $L=0.08$ m, por lo que $k_b = 5.21 * 10^7$ N/m y $k_m = 8.95 * 10^{11}$ N/m. Con estos valores ya se puede calcular el factor de seguridad que resulta ser de $N_{sep} = 3.57$. Se puede apreciar que el factor de seguridad es alto y garantiza que las juntas no se separarán.

Finalmente, se utilizarán 8 pernos ISO 4017 - M20X80 para todas las juntas con 8 roldanas ISO4032 - M20 en la base de las chumaceras y 4 pernos ISO4017 - M10X25 con 4 roldanas ISO4032 - M10 para la sujeción del motor a la mesa del motor.

17. Bandeja de recepción de briquetas

Se decidió colocar una bandeja receptora de 0.40m x 0.55m con 2 angulares soldados (soldadura E70) en el punto donde convergen de 63.5x63.5x6.35mm (2pulg x 2pulg x ¼ pulg) (anexo B-37) como receptáculo de las briquetas a la hora de que, al ir saliendo, tuvieran un canal por donde pasar, no se quebraran por su propio peso y el corte de las mismas con la guía deseada de 30cm fuera más uniforme, aunque si el usuario desea cortar briquetas más pequeñas no hay ningún inconveniente.

Todos los elementos diseñados en el capítulo II (Diseño y Construcción de Máquina Prensadora para Briquetas) se manejaron con una tolerancia permisible de 0.05mm para su posterior fabricación, a menos que se indique lo contrario como en el caso de la holgura entre el tornillo sinfín y la cara interna del cilindro.

Cabe mencionar que, a la fecha de presentación del proyecto en la universidad (11 de diciembre de 2020), la máquina se encuentra pendiente de instalarle las guardas de seguridad del sistema de transmisión de potencia para evitar accidentes a la hora de querer acercarse a la faja que conecta a ambas poleas. Así mismo, se encuentra en proceso de instalación un freno de emergencia que quedará preparado previo a la entrega final de la máquina en la Aldea San Lorenzo El Cubo.

18. Componentes en inventor

A continuación, se presentan imágenes de los diferentes componentes diseñados en Autodesk Inventor. En los planos del anexo C se encuentran todos sus detalles.

Figura No. 81 Motor eléctrico



Figura No. 82 Faja de transmisión de potencia



Figura No. 83 Polea conductora

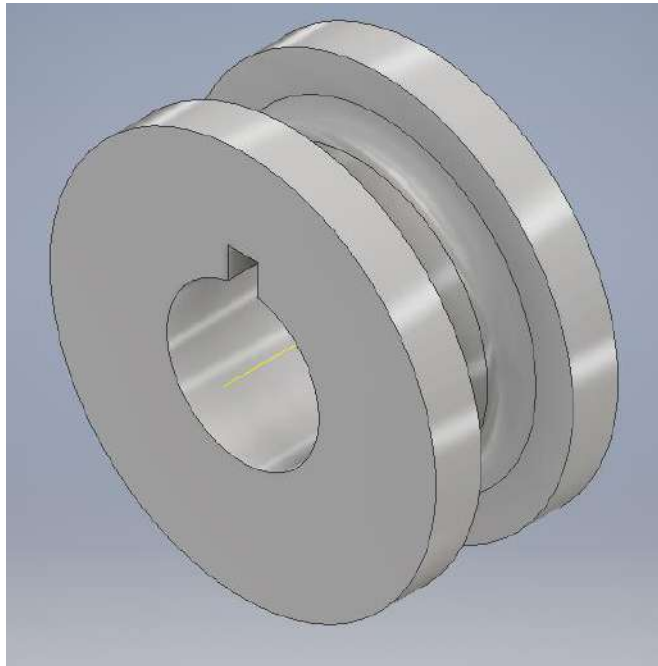


Figura No. 84 Polea conducida



Figura No. 85 Rodamiento de bolas

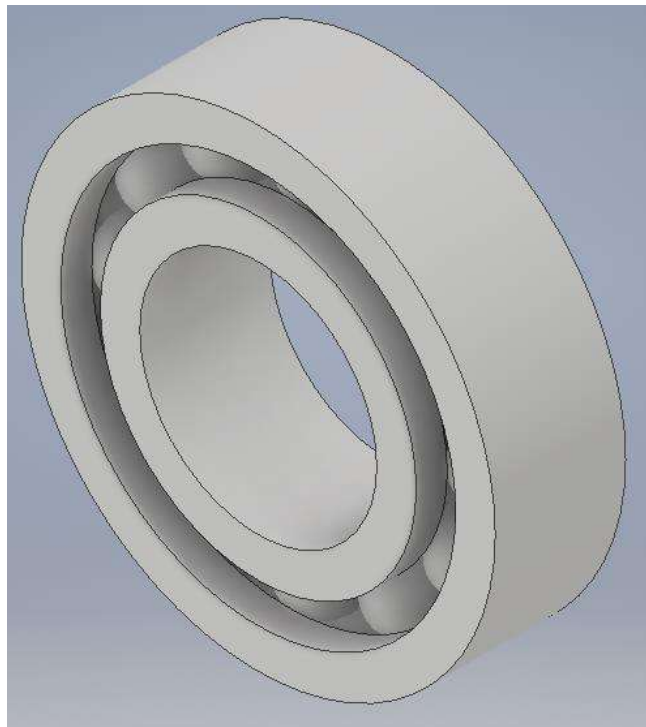


Figura No. 86 Chumacera o soporte de rodamiento

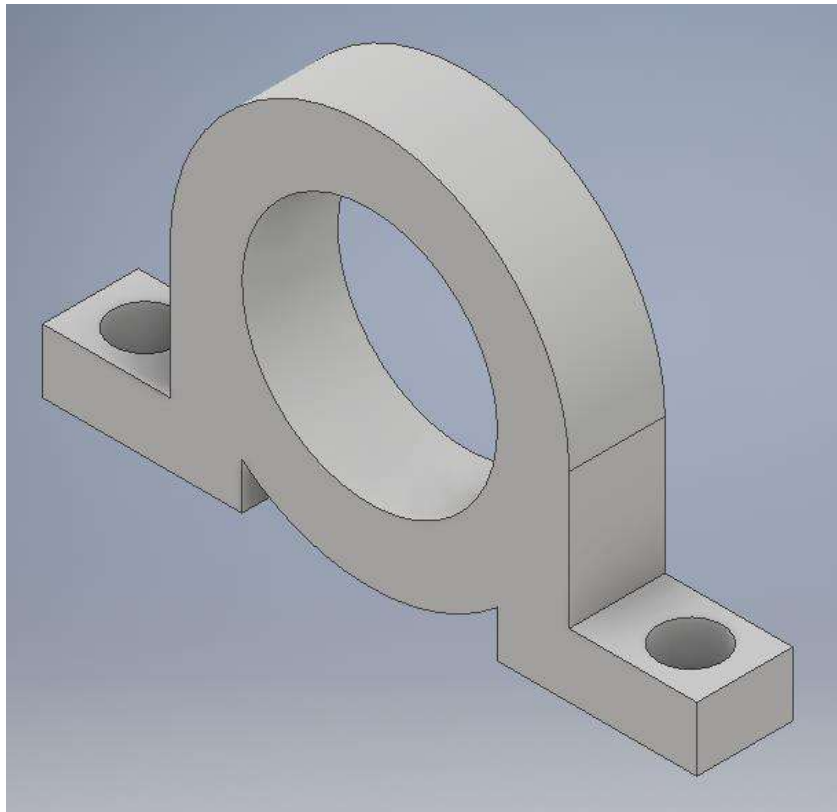


Figura No. 87 Base para chumaceras

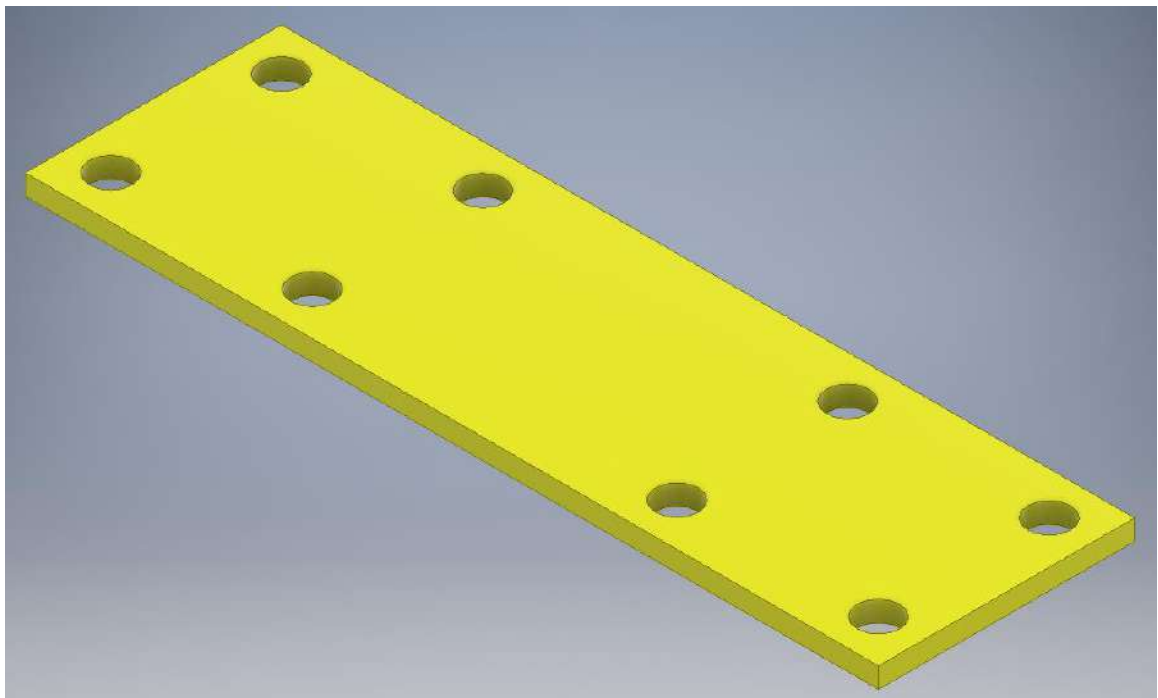


Figura No. 88 Tornillo sin fin



Figura No. 89 Camisa o cilindro



Figura No. 90 Tolva de alimentación

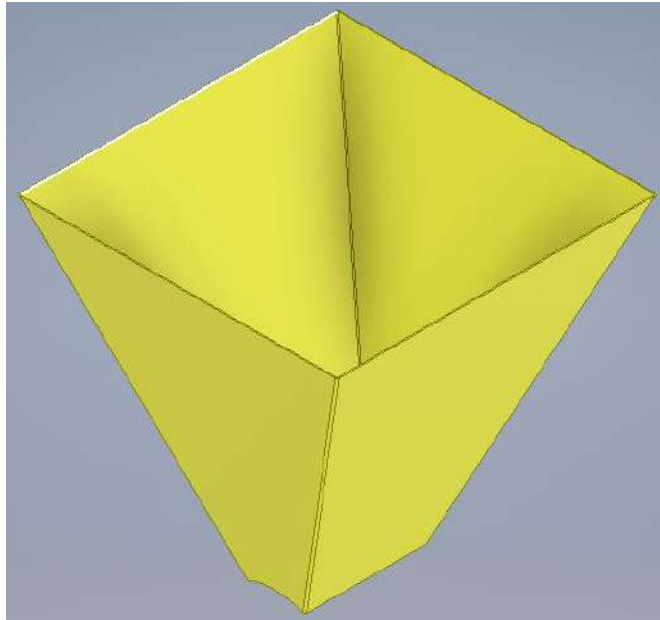


Figura No. 91 Estructura metálica

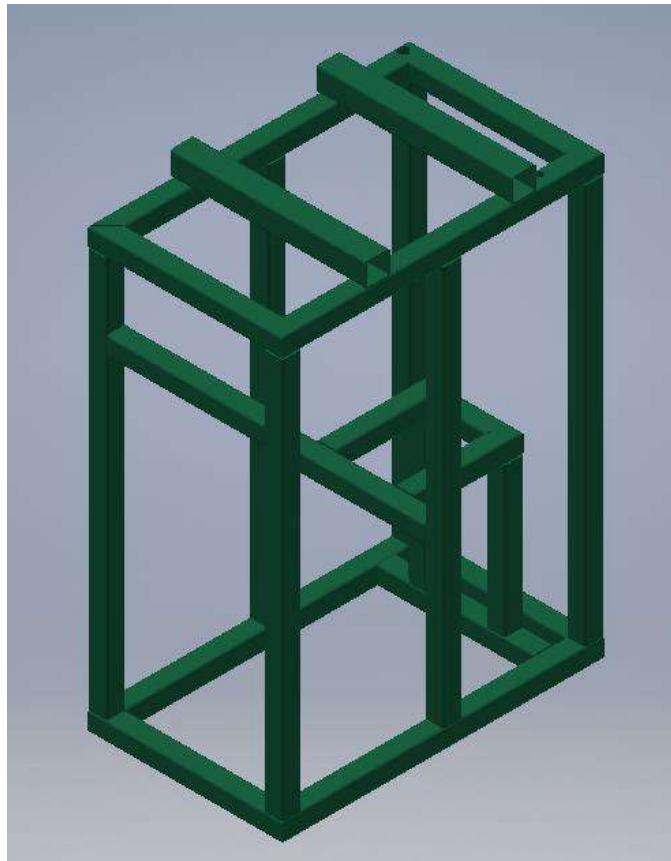


Figura No. 92 Base para motor

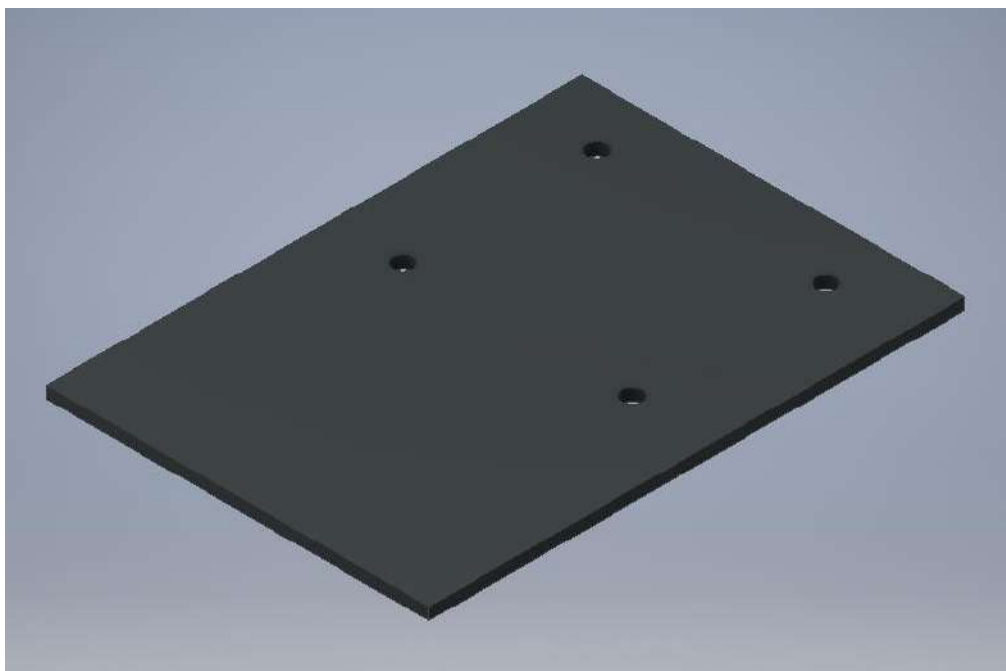


Figura No. 93 Perno ISO4017 - M20x80

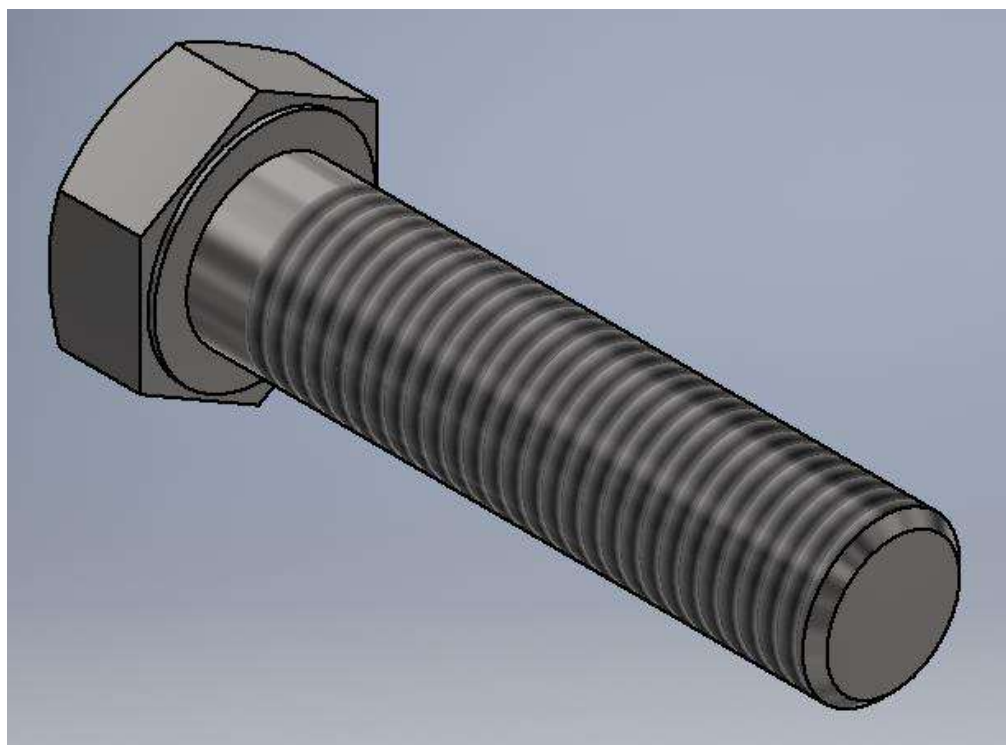


Figura No. 94 Roldanas ISO4032 - M20

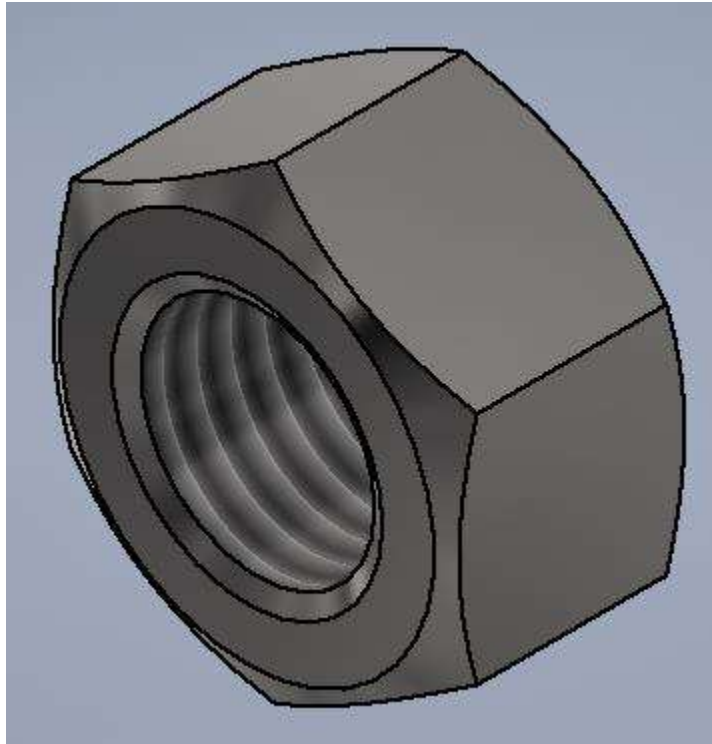


Figura No. 95 Perno ISO4017 - M10x25

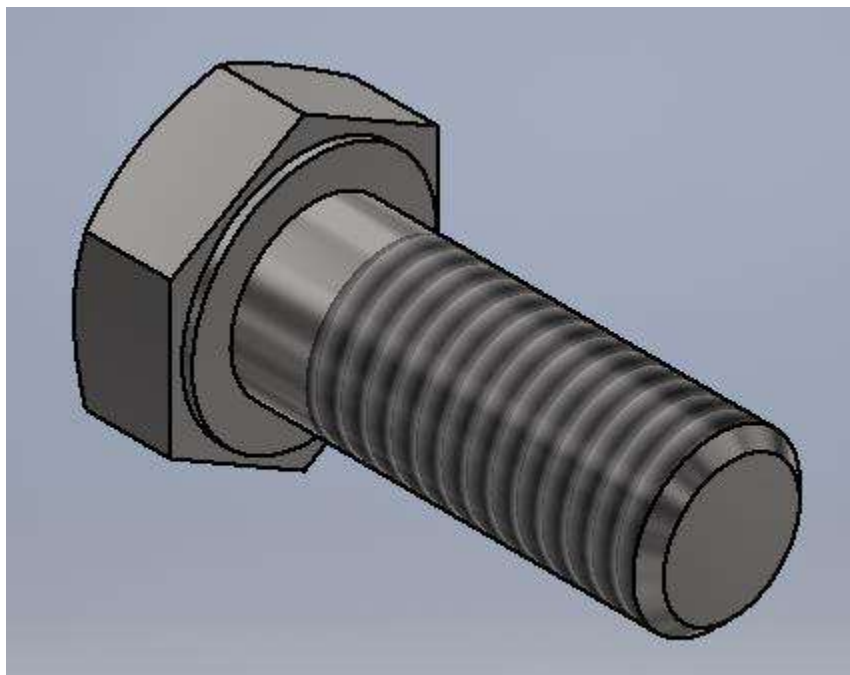


Figura No. 96 Roldanas ISO4032 - M10

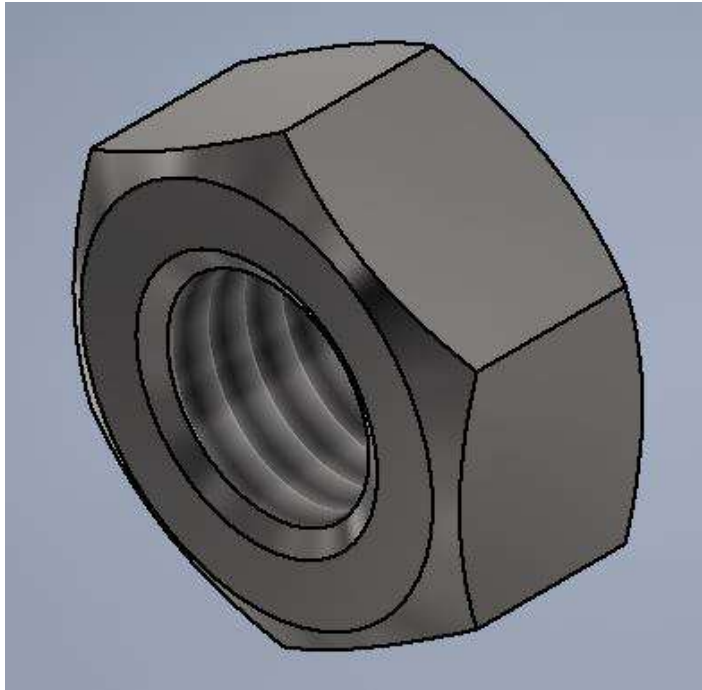


Figura No. 97 Bandeja con angulares

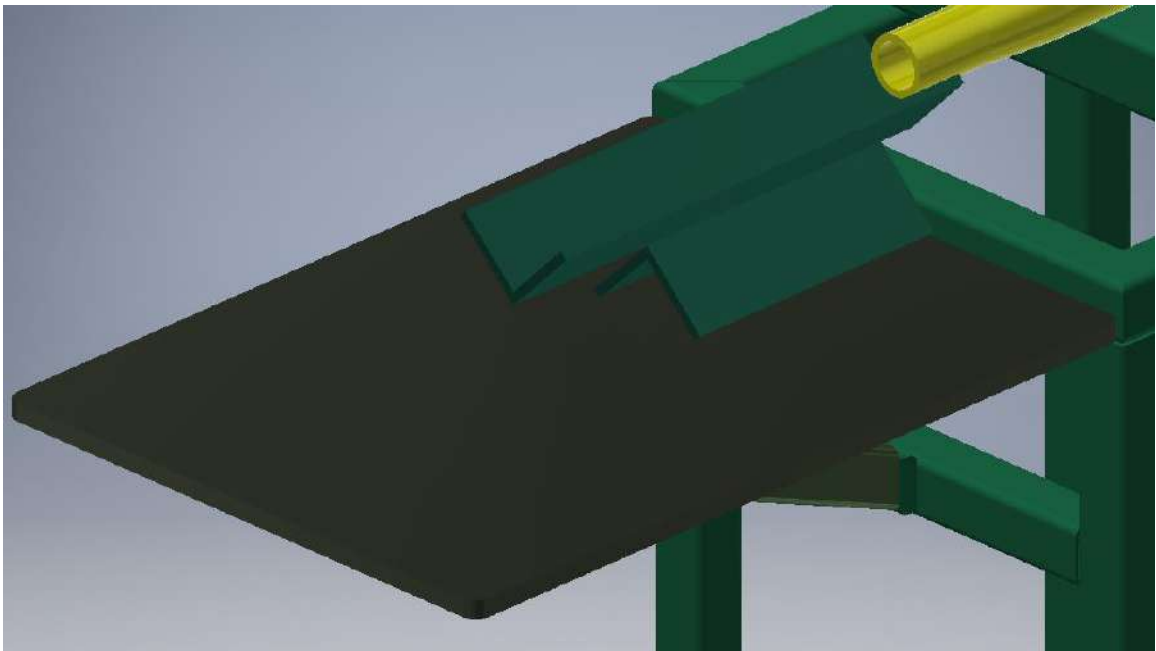


Figura No. 98 Vista explotada de briquetadora

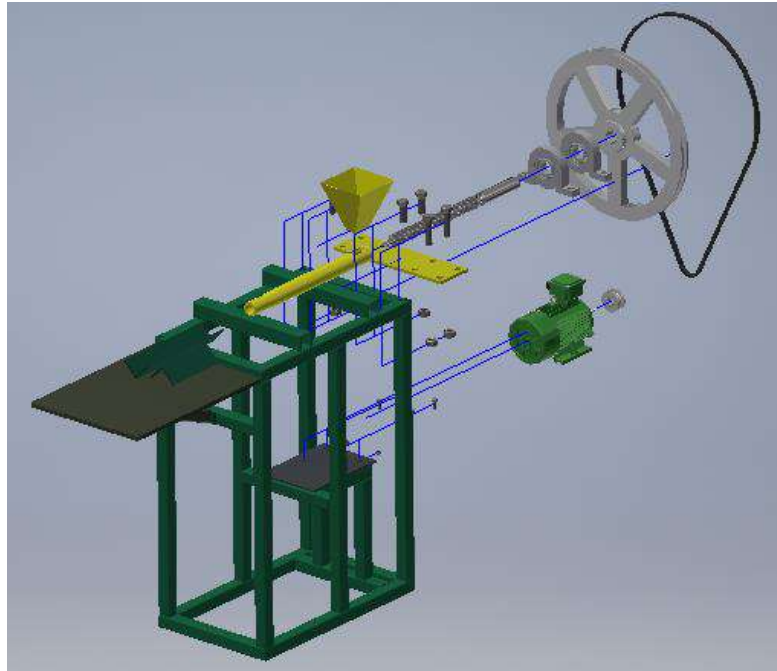
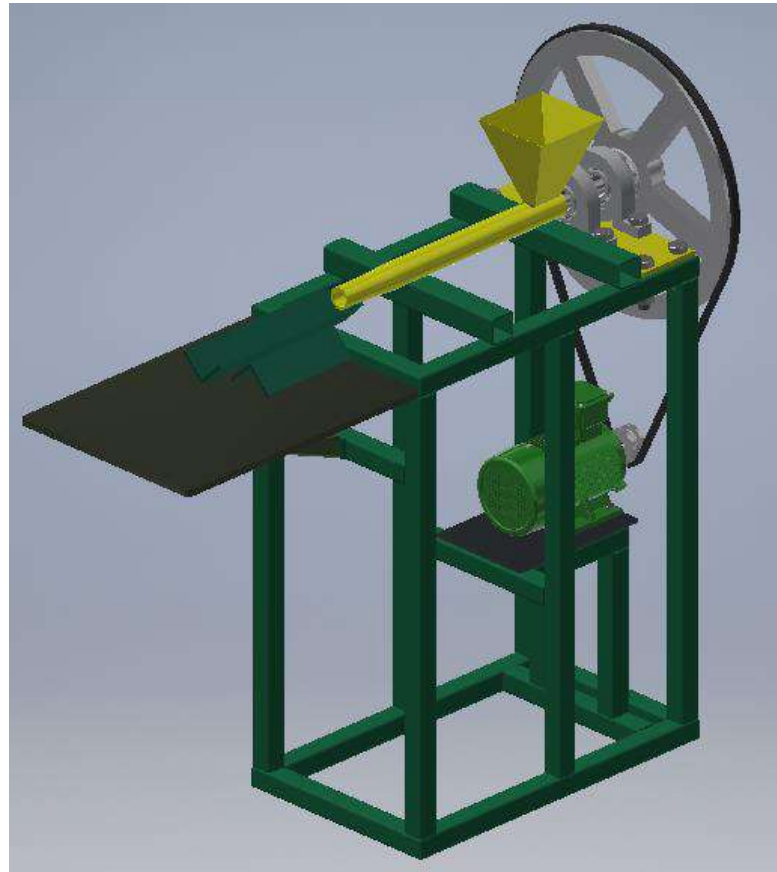


Figura No. 99 Ensamble briquetadora



B. Construcción

A continuación, se presentan las imágenes de los componentes tanto comprados como fabricados, así como del proceso constructivo de la máquina briquetadora hasta llegar al producto final.

Figura No. 100 Motor eléctrico TECHTOP



Figura No. 101 Instalación eléctrica motor



Figura No. 102 Faja de transmisión de potencia colocada



Figura No. 103 Poleas conductora y conducida



Figura No. 104 Chumacera real



Figura No. 105 Tornillo sinfin maquinado



Figura No. 106 Camisa en fabricación



Figura No. 107 Prueba holgura camisa / tornillo sinfín



Figura No. 108 Boquilla de compresión



Figura No. 109 Tolva de alimentación en instalación



Figura No. 110 Vista superior de tolva de alimentación



Figura No. 111 Estructura metálica



Figura No. 112 Vista lateral estructura eetálica



Figura No. 113 Mesa de soporte para chumaceras



Figura No. 114 Pernos y roldanas utilizadas



Figura No. 115 Briquetadora ensamblada sin bandeja



Figura No. 116 Instalación de bandeja con canal de salida



Figura No. 117 Diseñador César Pérez utilizando briquetadora



Figura No. 118 Bandeja terminada



Figura No. 119 Briquetadora terminada



Figura No. 120 Briquetadora terminada con bandeja



V. ANÁLISIS DE MUESTRAS

A. MUESTRAS

En este capítulo se busca evaluar diferentes tipos de composiciones de briquetas de aserrín, cáscara de frutos secos, aglutinante con agua para determinar cuál es la mejor composición en lo que corresponde a tiempo en combustión y poder calorífico.

1. Composición de briquetas

El aglutinante seleccionado para la elaboración de las briquetas es el de almidón de yuca ya que de diferentes tubérculos (yuca, papa, camote), el almidón contiene un 83% de amilopectina que es una molécula presente en el almidón que le proporciona mucha mayor adhesión. (Valiente, 2017) Como se mencionó en el capítulo anterior, el aglutinante debe estar a 100°C para contribuir en el reblandecimiento de la lignina del aserrín y se produzca una mezcla con más fluidez.

Figura No. 121 Proceso de ensayos de briquetas

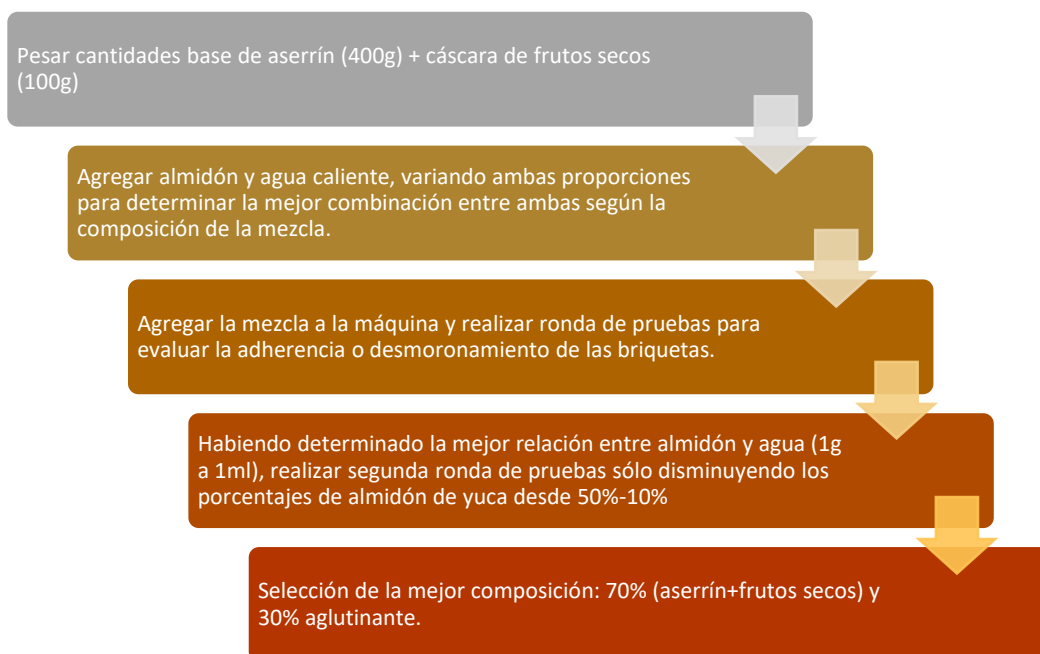


Figura No. 122 Balanza utilizada



Figura No. 123 Materia prima (aserrín + frutos secos)



Figura No. 124 Almidón de yuca



Las briquetas elaboradas tienen una dimensión de 11.8" (30cm) de largo por 1¼" (3,175cm) de diámetro. Adicionalmente, las briquetas tienen un agujero de 0.39" (1cm) para colocar un fósforo e iniciar la combustión más fácilmente. Dichas dimensiones se seleccionaron por cuestiones de comodidad a la hora del transporte, la semejanza con los tamaños promedio de leños de pino en la Aldea San Lorenzo El Cubo y por su posterior uso en las estufas o chimeneas de manera sencilla.

Para lograr la composición óptima en lo que corresponde a la adhesión se realizaron varios ensayos variando la cantidad de aglutinante y biomasa. Se tomaron como base 400±0.05g de aserrín, 100±0.05g de cáscara de frutos secos con la variación de almidón de yuca y agua. De las diferentes mezclas elaboradas, se observó que cuando no se tiene suficiente almidón, la briqueta se desmorona, mientras que el agua también es un factor muy importante a considerar ya que demasiada también hará que no exista adhesión suficiente en la briqueta. Se realizaron 16 pruebas preliminares para determinar las que mejor se adherían con las proporciones de los componentes descritos en el siguiente cuadro.

Figura No. 125 Preparación de la mezcla



Figura No. 126 Mezcla en tolva de alimentación



Cuadro No. 8 Pruebas preliminares de briquetas

No.	A serrín (g) ± 0.02g	Cáscara de frutos secos (g) ± 0.02g	Almidón de yuca (g) ± 0.02g	Agua (ml) ± 0.02ml	Observaciones
1	400.00	100.00	50.00	300.00	Se desmorona
2	400.00	100.00	100.00	300.00	Se desmorona
3	400.00	100.00	150.00	300.00	Se desmorona
4	400.00	100.00	200.00	300.00	Mediana adhesión
5	400.00	100.00	250.00	300.00	Buena adhesión
6	400.00	100.00	300.00	300.00	Buena adhesión
7	400.00	100.00	50.00	50.00	Se desmorona
8	400.00	100.00	100.00	100.00	Se desmorona
9	400.00	100.00	150.00	150.00	Se desmorona
10	400.00	100.00	200.00	200.00	Buena adhesión
11	400.00	100.00	250.00	250.00	Buena adhesión
12	400.00	100.00	100.00	250.00	Se desmorona
13	400.00	100.00	150.00	200.00	Se desmorona
14	400.00	100.00	200.00	150.00	Buena adhesión
15	400.00	100.00	250.00	100.00	Mediana adhesión
16	400.00	100.00	300.00	50.00	Se desmorona

Figura No. 127 Pruebas iniciales con desmoronamiento



Se identificó que el almidón de yuca se disolvía mejor en agua cuando la proporción entre gramos de almidón y mililitros de agua era la misma (1:1). Ya teniendo las primeras 16 pruebas, se realizaron otras 9 más, pero solo variando los porcentajes de almidón con respecto a la base de biomasa de 500g (aserrín + cáscara de frutos secos). Los porcentajes y masas de las pruebas se detallan a continuación:

Cuadro No. 9 Porcentajes de composición de pruebas finales

No.	Aserrín (400g) + cáscara de frutos secos (100g) ± 0.02g	Almidón de yuca (g) ± 0.02g	Total masa seca (g) ± 0.02g	Porcentaje aserrín + cáscara de frutos secos (%)	Porcentaje almidón de yuca (%)	Agua (ml) ± 0.02ml	Observaciones
1	500.00	500.00	1000.00	50%	50%	500.00	Buena adhesión
2	500.00	410.00	910.00	55%	45%	410.00	Buena adhesión
3	500.00	340.00	840.00	60%	40%	340.00	Buena adhesión
4	500.00	270.00	770.00	65%	35%	270.00	Buena adhesión
5	500.00	210.00	710.00	70%	30%	210.00	Buena adhesión
6	500.00	170.00	670.00	75%	25%	170.00	Mediana adhesión
7	500.00	125.00	625.00	80%	20%	125.00	Poca adhesión
8	500.00	85.00	585.00	85%	15%	85.00	Se desmorona
9	500.00	55.00	555.00	90%	10%	55.00	Se desmorona

Al analizar las pruebas, se pudo observar que a partir de un 20% de almidón la adhesión se reduce al punto de empezar a desmoronarse la mezcla ya que no se tiene suficiente almidón para mantener fija la briqueta. La relación desde 50-75% (aserrín + cáscara de frutos secos) con 50-25% (almidón) respectivamente con 200-500ml de agua aproximadamente fueron las mezclas con mejor adhesión. Se busca que se tenga la mayor cantidad de biomasa en la briqueta para que obtener un mayor tiempo de combustión y aprovecharla más por lo que se determinó que la composición óptima en cuanto a adhesión después de producir las briquetas es la de 400±0.05g de aserrín, 100±0.05g de cáscara de frutos secos, 170g de almidón y 170ml de agua, es decir un 70% (aserrín + cáscara de frutos secos), 30% (almidón), con la misma cantidad en ml de agua que gramos de almidón.

Figura No. 128 Mezcla desmoronada



Figura No. 129 Ensayos con diferentes proporciones de mezcla



Figura No. 130 Briquetas en producción



Es importante destacar que, dependiendo de los tipos de cascarilla de fruto seco, si se utilizan o no, el tipo de aglutinante, el tipo de aserrín, se tendrán composiciones diferentes de las briquetas por lo que no se puede garantizar que en la Aldea San Lorenzo El Cubo, se vaya a manejar la misma mezcla propuesta todo el tiempo con las mismas características que las muestras realizadas. La clave es que se deben mantener las proporciones de 70% biomasa – 30% aglutinante para tener buena adherencia con la mayor cantidad de biomasa posible.

Figura No. 131 Briquetas con excelente adhesión

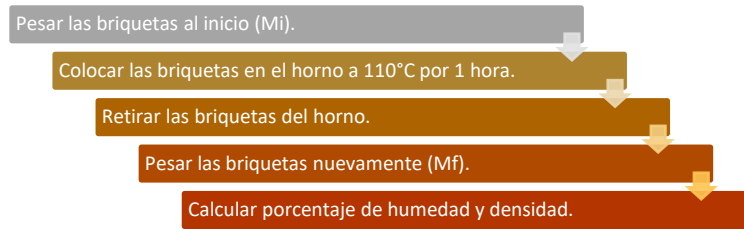


La briqueta se deja secando en una ubicación en donde no se manipule hasta que pierda humedad alrededor de 1 día y se podrá utilizar como combustible para las estufas sin problemas. De lo contrario, se pueden poner las briquetas a hornear a 110°C (230°F) por alrededor de 1 hora para reducir la mayor cantidad de humedad posible.

2. Determinación de porcentaje de humedad y densidad de briquetas

Para la determinación de humedad se pesaron 15 briquetas recién producidas por la máquina con dimensiones de 11.8" (30cm) de largo por 1¼" (3,175cm) de diámetro con agujero de 0.39" (1cm). Las proporciones de las mezclas fueron 60%-40%, 65%-35%, 70%-30% de aserrín+frutos secos con aglutinante respectivamente (5 briquetas por proporción). Como se constató anteriormente, estas 3 proporciones presentan buena adherencia. Se realizaron pruebas en donde se evaluó que más de 1 hora dentro del horno a 110°C, no afectaba significativamente en el peso de las briquetas secas por lo que se determinó que ese tiempo era suficiente. Después del tiempo de secado, se pesaron las briquetas nuevamente para obtener la masa seca. Teniendo la masa seca ya se pudo proceder a la obtención del porcentaje de humedad y densidades.

Figura No. 132 Diagrama de determinación de humedad de las briquetas



Para el cálculo del porcentaje de humedad, volumen (cm³) y densidad (g/cm³) se utilizaron las siguientes expresiones:

Figura No. 133 Ecuación de volumen de la briquea

$$Volumen = \pi * h * (R_1^2 - R_2^2)$$

Figura No. 134 Ecuación de densidad

$$Densidad = \frac{Mf}{Volumen}$$

Figura No. 135 Ecuación de porcentaje de humedad

$$\% Humedad = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100\%$$

Donde:

Mi = Masa inicial de la briquea previo al secado

Mf = Masa final de la briquea después del secado

h = Altura de la briquea

R1 = Radio Exterior de la briquea

R2 = Radio Interior de la briquea

Figura No. 136 Briquea compacta



Figura No. 137 Muestras compactas



A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de las pruebas realizadas:

Cuadro No. 10 Pruebas de humedad

Composición	No.	Masa briqueta antes de secado "Mi" (g)	Masa briqueta después de secado "Mf" (g)	% de humedad	Promedio % de humedad	Volumen de briqueta (cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Promedio densidad (g/cm ³)
60%-40%	1	165.02	118.40	28.25%	28.31%	213.96	0.5534	0.5529
	2	165.00	118.00	28.48%			0.5515	
	3	165.02	118.36	28.28%			0.5532	
	4	165.02	118.36	28.28%			0.5532	
	5	165.02	118.36	28.28%			0.5532	
65%-35%	6	165.02	123.20	25.34%	25.44%		0.5758	0.5750
	7	164.98	123.00	25.45%			0.5749	
	8	164.96	122.90	25.50%			0.5744	
	9	164.98	123.00	25.45%			0.5749	
	10	164.98	123.00	25.45%			0.5749	
70%-30%	11	165.00	127.98	22.44%	22.44%		0.5982	0.5982
	12	165.10	128.00	22.47%			0.5982	
	13	165.00	127.98	22.44%			0.5982	
	14	165.00	127.98	22.44%			0.5982	
	15	165.02	128.00	22.43%			0.5982	

Analizando el cuadro anterior, se puede observar que cuando se varía en un 5% la proporción entre biomasa (aserrín+frutos secos), se ve afectado el porcentaje de humedad en un 3% aproximadamente. A mayor cantidad de biomasa, el peso de agua perdido es menor ya que tiene menos agua en total la mezcla. En lo que corresponde a la densidad, se obtuvo en promedio de 0.55 a 0.60 g/cm³ y se obtiene otra conclusión respecto a que entre mayor sea el porcentaje de humedad en la mezcla, la densidad se irá disminuyendo y viceversa. La mezcla con proporciones 70%-30% es la ideal hasta el momento en cuanto a cantidad de biomasa, porcentaje de humedad y mayor densidad.

3. Poder calorífico de briquetas

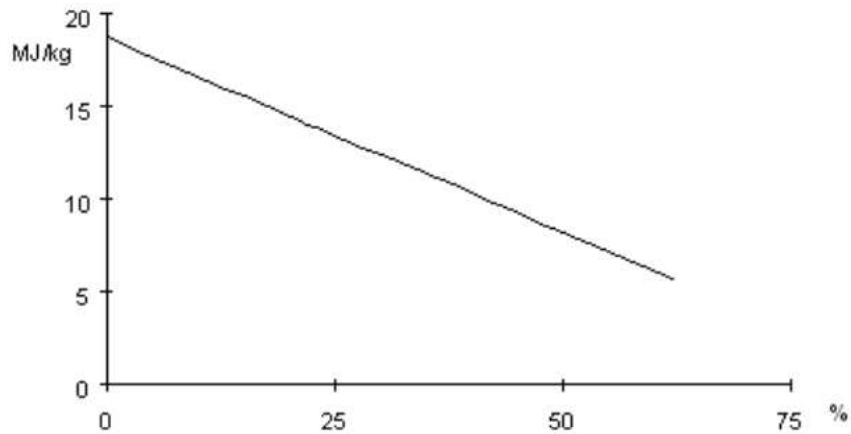
El poder calorífico se refiere a la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es posible hacer una evaluación de acuerdo a tres criterios: energía/masa de combustible (kJ/kg), energía/volumen de combustible (kJ/m³) y energía/mol de combustible (kJ/mol). Aunque el poder calorífico de un combustible siempre es el mismo, pueden existir diferencias minúsculas dependiendo de si se mide su poder calorífico superior (PCS) o su poder calorífico inferior (PCI). (FAO, 2011)

El poder calorífico superior establece la cantidad de calor que se produce durante la combustión de 1 kg de combustible una vez que el vapor del agua está condensado. Es decir, se tiene en cuenta el calor desprendido por el agua durante su cambio de fase. Por el contrario, el poder calorífico inferior también hace referencia al calor generado durante la combustión de 1 kg de combustible, pero sin tener en cuenta el calor del cambio de fase. (FAO, 2011)

Por lo tanto, el poder calorífico superior hace referencia al calor total que se genera durante la combustión y el inferior al calor verdaderamente aprovechable. Esto se puede ver claramente en motores o calderas que expulsan el agua en forma de vapor, expulsado parte del PCS. El contenido de humedad de la madera tiene una relación directa con su poder calorífico, ya que las partículas de agua alojadas en la misma deben evaporarse antes de que la madera se quemara.

Este proceso retrasa la liberación de la energía, sobre todo si lo que buscamos es energía calorífica útil, es decir, aquella que calienta nuestra casa. A mayor cantidad de humedad en la mezcla, menor será la energía total disponible para liberar. Estos parámetros se expresan generalmente en megajules (MJ/kg) o kilojules por kg (kJ/kg). (FAO, 2011)

Figura No. 138 Efecto de la humedad sobre el poder calorífico



El análisis del poder calorífico fue realizado en el laboratorio técnico en la zona 11 del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala por el método ASTM D-240 utilizando una bomba calorimétrica adiabática. El proceso en ella se realizó con la quema del combustible en condiciones adiabáticas normalizadas. Se introduce la muestra a analizar y la cantidad de oxígeno necesario para la combustión, que se inicia mediante ignición por medio de un conductor eléctrico en cortocircuito.

La energía liberada se determina teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas del agua del calorímetro, la masa del combustible, la masa de la bomba calorimétrica, y aplicando factores de corrección. En las pruebas realizadas, se obtuvo un resultado promedio de 14.49 MJ/kg para la mezcla de 70%-30%. En el siguiente cuadro, se representan los valores obtenidos para las 15 muestras de briquetas.

Cuadro No. 11 Pruebas de poder calorífico

Composición	No.	Poder calorífico (MJ/kg)	Energía máxima generada (MJ)	Energía máxima generada (kWh)
60%-40%	1	13.74	1.63	0.452
	2	13.74	1.62	0.451
	3	13.74	1.63	0.452
	4	13.74	1.63	0.452
	5	13.74	1.63	0.452
65%-35%	6	14.11	1.74	0.483
	7	14.11	1.74	0.482
	8	14.11	1.73	0.482
	9	14.11	1.74	0.482
	10	14.11	1.74	0.482
70%-30%	11	14.49	1.85	0.516
	12	14.49	1.85	0.516
	13	14.49	1.85	0.516
	14	14.49	1.85	0.516
	15	14.49	1.85	0.516

Como se puede apreciar, se comprueba que, a menor humedad en la mezcla, el poder calorífico aumenta y de nuevo se comprueba que la mezcla del 70%-30% es la ideal en lo que corresponde a la cantidad de energía liberada en forma de calor por parte de la briqueta con un promedio de 0.516 kWh.

4. Tiempo en combustión

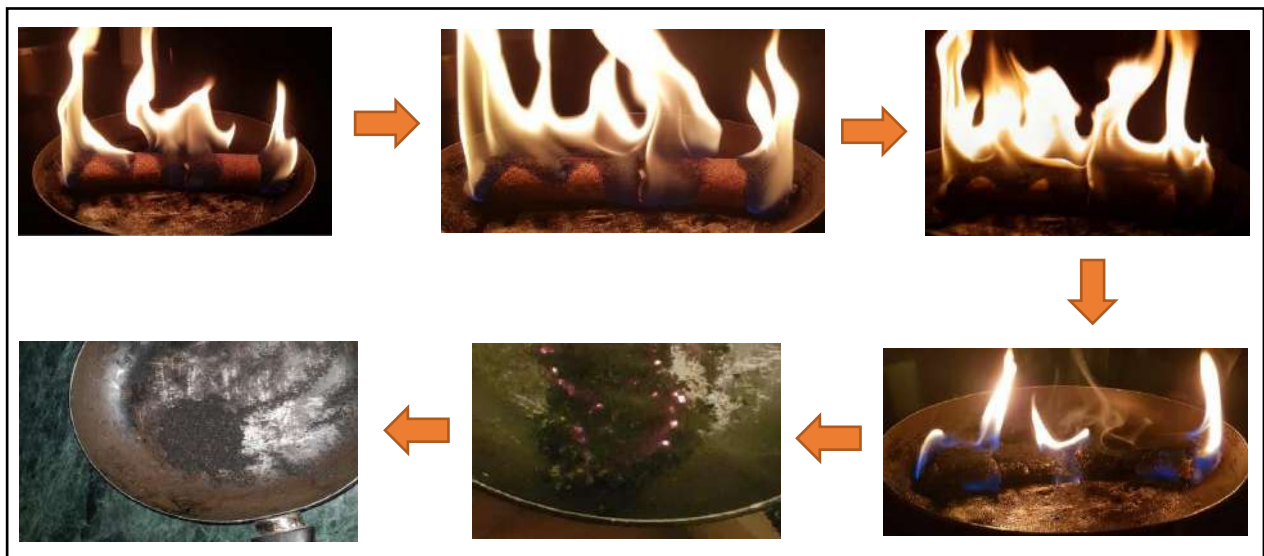
Para analizar el tiempo de combustión, se colocaron las 15 briquetas por separado a quemar para determinar en cuánto tiempo se convertían en cenizas por completo. Se determinó que cuando se reduce en un 5% de biomasa y aumenta en la misma proporción el aglutinante, el tiempo de combustión se reduce en aproximadamente 7min. Se aprecia en el cuadro siguiente que cuando se tiene un mayor porcentaje de biomasa (70%-30%) el tiempo de combustión es mayor ya que hay más materia aprovechable mientras que con la proporción (60%-40%), el tiempo de combustión se reduce hasta casi 15 minutos en comparación con la (70%-30%).

Esto nos indica la importancia de lograr la mayor cantidad de biomasa posible en la briqueta con la mejor adherencia alcanzable para tener más tiempo el leño en combustión y aprovecharlo para cocinar alimentos o como calefacción en el hogar.

Cuadro No. 12 Pruebas de tiempo en combustión

Composición	No.	Tiempo en combustión (min)	Promedio de tiempo en combustión (min)
60%-40%	1	20.10	19.94
	2	19.10	
	3	20.30	
	4	20.50	
	5	19.70	
65%-35%	6	26.80	26.78
	7	26.20	
	8	26.30	
	9	27.00	
	10	27.60	
70%-30%	11	34.90	34.02
	12	33.70	
	13	33.20	
	14	34.50	
	15	33.80	

Figura No. 139 Proceso de combustión de las briquetas realizado en casa



5. Cantidad de ceniza

En lo que corresponde a la cantidad de ceniza, se pesaron las cenizas restantes que dejaron las briquetas calcinadas para determinar el porcentaje restante de materia. Al analizar el cuadro siguiente se determina que entre mayor porcentaje de biomasa se encuentre contenido en la briketa, quedará un poco más de ceniza restante. De hecho, se mantiene aproximadamente la misma proporción entre 5% de biomasa adicional y 5% de cenizas adicionales restantes. Se observa también que la briketa de 60%-40% es donde que menos cenizas quedan, pero porque tiene menos biomasa y la de 70%-30% es la que más cenizas residuales presenta con un 69.84% de materia consumida por el fuego que se convirtió en emisiones de CO₂. El tener menos cantidad de materia consumida por el fuego es mucho mejor ya que el impacto sobre el medio ambiente disminuye.

Cuadro No. 13 Pruebas de cantidad de ceniza

Composición	No.	Masa briketa seca (g)	Masa briketa restante "cenizas" (g)	Porcentaje de masa restante "cenizas" (%)	Promedio de porcentaje de "cenizas" (%)	Porcentaje de masa consumida (%)	Promedio de porcentaje de masa consumida (%)
60%-40%	1	118.40	24.01	20.28%	19.96%	79.72%	80.04%
	2	118.00	22.96	19.45%		80.55%	
	3	118.36	23.67	20.00%		80.00%	
	4	118.36	23.81	20.12%		79.88%	
	5	118.36	23.64	19.97%		80.03%	
65%-35%	6	123.20	30.12	24.45%	25.24%	75.55%	74.76%
	7	123.00	31.13	25.31%		74.69%	
	8	122.90	31.28	25.45%		74.55%	
	9	123.00	31.39	25.52%		74.48%	
	10	123.00	31.34	25.48%		74.52%	
70%-30%	11	127.98	39.34	30.74%	30.16%	69.26%	69.84%
	12	128.00	38.22	29.86%		70.14%	
	13	127.98	38.13	29.79%		70.21%	
	14	127.98	39.00	30.47%		69.53%	
	15	128.00	38.32	29.94%		70.06%	

Figura No. 140 Ceniza restante posterior a la combustión de la briqueta



5. Comparación briquetas vs. leña de pino

En lo que corresponde a la leña, se realizó el mismo procedimiento que con las briquetas para la obtención del tiempo de combustión y porcentaje de cenizas de 5 muestras muy similares de 30cm de largo x 4cm de diámetro provenientes de la Aldea San Lorenzo El Cubo. Este tipo de maderas contienen mucha resina, por lo que generan una llama viva que desprende mucho calor, es por ello que son muy adecuadas para encender el fuego y calentar rápidamente. Se aprecia un tiempo promedio de combustión de 20.25min con un 80.47% de masa consumida por el fuego.

Cuadro No. 14 Pruebas con leña de pino de Aldea San Lorenzo El Cubo

Composición	No.	Tiempo en combustión (min)	Promedio de tiempo en combustión (min)	Masa (g)	Masa cenizas (g)	Porcentaje de masa restante "cenizas" (%)	Promedio de porcentaje de "cenizas" (%)	Porcentaje de masa consumida (%)	Promedio de porcentaje de masa consumida (%)
Leña de pino	1	21.40	20.25	139.16	26.66	19.16%	19.53%	80.84%	80.47%
	2	19.44		137.90	26.90	19.51%		80.49%	
	3	19.90		137.00	27.57	20.12%		79.88%	
	4	20.50		138.52	26.91	19.42%		80.58%	
	5	20.00		139.60	27.14	19.44%		80.56%	

Analizando los diferentes parámetros de adherencia, humedad, densidad, poder calorífico, tiempo de combustión y cantidad de cenizas, la briqueta con 70%-30% es la mejor selección posible en cuanto a proporciones de biomasa seca y aglutinante con la mayor obtención de energía en forma de calor. Por las razones antes expuestas, se seleccionaron las muestras de 70-30% como base de comparación con leña de pino encontrada en la Aldea San Lorenzo El Cubo. El poder calorífico promedio de la madera de pino es de 12.09 MJ/kg por lo que se tomó dicho valor como base para los cálculos. Es importante destacar, que la leña fue previamente secada en el horno a 110°C por 1 hora para reducir su humedad ya que las partículas de agua alojadas en la misma deben evaporarse antes de que la madera se quemara. Se busca tener la mejor comparación posible por lo que si la leña estuviera muy húmeda, se retrasaría la liberación de la energía, se reduciría el poder calorífico y se producirían pocas llamas con mucho humo denso por la generación de alquitranes. La combustión de leña húmeda puede llegar a perder más del 60 % de la energía contenida en la leña. (FAO, 2011). A continuación, se presenta el cuadro comparativo de las propiedades de las briquetas y la leña, el análisis económico se presentará en el siguiente capítulo.

Cuadro No. 15 Comparación briqueta vs leña

	Briqueta	Leña
Dimensiones (D x h)	30cm x 3.175cm	30cm x 4cm
Masa promedio (g)	128.00	138.44
Poder calorífico (MJ/kg)	14.49	12.09
Energía máx. generada (kWh)	0.516	0.465
Tiempo de combustión (min)	34.02	20.25
Promedio de porcentaje de masa consumida (%)	69.84%	80.47%

Con base en los resultados del cuadro anterior, salen a relucir claramente las ventajas de las briquetas de aserrín con frutos secos contra la leña. No sólo tienen una masa menor con mayor poder calorífico, lo cual genera más energía por unidad de masa, sino que también tiene una duración de hasta 14 minutos más que la leña utilizada en la Aldea San Lorenzo El Cubo, es decir, 1.68 veces más. Finalmente, las emisiones de CO₂ también son alrededor de un 10.63% menores en las briquetas lo cual vuelve a las briquetas menos nocivas para el medio ambiente. Definitivamente, se constata que las bondades de las briquetas son mucho mayores que las de la leña.

VI. MODELO DE NEGOCIO PARA COMERCIALIZACIÓN DE BRIQUETAS

A. MODELO CANVAS

El modelo de negocio tipo CANVAS de Alexander Osterwalder busca representar de una manera simple todos los aspectos más importantes de la empresa y de su entorno, estableciendo las relaciones existentes entre los agentes que intervienen en el negocio de la empresa. El modelo está dividido en módulos, la parte central está formada por la propuesta de valor de la empresa. La parte derecha está formada por los segmentos de cliente, los canales, las relaciones con clientes y las fuentes de ingresos. La parte izquierda en cambio está formada por los socios clave, las actividades clave, los recursos clave y la estructura de costes de la empresa. (Osterwalder, 2011)

Figura No. 141 Modelo CANVAS business model



(Osterwalder, 2011)

Con la guía será posible establecer el camino que seguirá la empresa para la creación de valor. Igualmente, como la creación de valor para la empresa es de suma importancia, se puede establecer el valor agregado para la comunidad beneficiada con la máquina. (Osterwalder, 2011)

1. Segmento de clientes

Este módulo define los grupos de clientes que tendrá la empresa, decidiendo tener un segmento o varios a los cuales satisfacer. Responde a las preguntas: ¿Para quién se crea valor? y ¿Cuáles son los clientes más importantes? (Osterwalder, 2011) En este caso, los clientes son los mismos pobladores de la Aldea San Lorenzo El Cubo quienes deseen adquirir las briquetas. De esta manera encontrar un ahorro significativo al cambiar de combustible en vez de la leña convencional.

2. Propuesta de valor

Este módulo define lo que genera la diferencia ante otros productos similares y la razón principal por la cual el cliente adquiere las briquetas en este caso. Responde a preguntas: ¿Qué valor se proporciona para los clientes?, ¿Qué necesidades de los clientes se satisfacen? Las propuestas de valor pueden ser de los siguientes tipos: Novedad, mejora, personalización, precio, entre otras. (Osterwalder, 2011) La propuesta de valor se desglosa en los siguientes puntos:

- Producto ecológico y renovable que conlleva a menor impacto medioambiental
- Las emisiones de gas son menores que la leña convencional
- Mayor poder calorífico que la leña convencional
- Combustión más duradera que la leña convencional
- Precio menor que la leña convencional al tener los recursos in situ

3. Canales

Este módulo se refiere a la comunicación, distribución y venta de la propuesta de valor, y la manera de contactar al cliente. Se responden preguntas de tipo: ¿Cómo se establece el contacto con los clientes?, ¿Qué canales prefieren los segmentos de mercado?, ¿Qué canales obtienen mejores resultados? (Osterwalder, 2011)

Inicialmente, se tendrá una reunión con el comité de vecinos de la Aldea San Lorenzo El Cubo para capacitarlos acerca de la importancia de las briquetas y las razones por las cuales deberían de utilizarlas en vez de la leña convencional. Posteriormente, se donará la máquina a la Carpintería San Lorenzo para que se produzcan, distribuyan y vendan las briquetas a la comunidad. A los carpinteros de dicha carpintería se les dará una capacitación sobre cómo usar la máquina diseñada. Se debe llegar a un contrato de manera que el comité de vecinos junto con la carpintería establezca un precio en común en donde éste no sea alterado con el tiempo a menos que haya un consenso por cuestiones de falta de insumos o aumento en la demanda. Adicionalmente, se puede llamar para que entreguen a domicilio las briquetas con un recargo del 10% del valor total de la venta.

A través de la colaboración de la Municipalidad de Ciudad Vieja, se emitirá un comunicado en donde se les notifique a los pobladores acerca de la venta de briquetas en la Carpintería San Lorenzo y el método de adquisición previamente mencionado. Se buscará que también el comité de vecinos divulgue la noticia “de boca en boca” para llegar a sus familiares y amigos.

En este caso, los canales de comunicación serán la tienda física de las briquetas (en este caso la carpintería), la red de distribución al municipio, la venta por vía telefónica para reservarlas y mensajería instantánea con el mismo propósito.

4. Relaciones con clientes

Este módulo se refiere a la descripción de los tipos de relación que puede haber con los clientes. (Osterwalder, 2011) Las relaciones con los clientes se harán mucho más fuertes a través de iniciativas y acciones concretas relacionadas a atesorar su fidelidad como descuentos, ofertas especiales, programas de afiliación, así como el fomento de redes sociales para llegar a una mayor cantidad de personas.

5. Fuentes de ingresos

Este módulo se refiere al flujo de efectivo que generará la venta de las briquetas a largo plazo (año con año). (Osterwalder, 2011). Se podrán permitir las formas de pago en efectivo o transferencia electrónica.

6. Recursos clave

Este módulo se refiere a todos los insumos de importancia vital para que el modelo de negocio funcione y se cumpla la propuesta de valor. Los recursos clave pueden ser de tipo económico, físico, intelectual o humano. No necesariamente siempre pertenecen a la empresa que desarrolla el modelo de negocio. (Osterwalder, 2011) En este caso, los recursos clave son la máquina briquetadora, la materia prima (aserrín, agua, cascarilla de café, arroz, residuos de papel, etc.), las herramientas y contenedores para verter el material en la tolva y para cortar las briquetas en su salida de la máquina, la tienda física (la carpintería que será el centro de venta y distribución de briquetas en la aldea), el personal de la empresa capacitado para utilizar la briquetadora y distribuirlo según las rutas solicitadas, los vehículos para distribuir el producto y finalmente el teléfono para llamar y comprar el producto ya sea a domicilio o solo reservarlo.

7. Actividades clave

Este módulo se refiere a todas las acciones importantes a realizar dentro de la empresa para cumplir con el propósito principal de la misma y cumplir con la propuesta de valor. (Osterwalder, 2011) En este caso, las actividades clave son la fabricación de la mezcla de materia prima con los parámetros previamente establecidos en el capítulo II, la producción en masa de las briquetas con calidad garantizada cumpliendo con las expectativas de los clientes, la atención al cliente que representa un valor agregado a la venta del producto físico. Finalmente, las relaciones comerciales con los clientes y distribuidores que permitan lograr una expansión del mercado.

8. Asociaciones clave

Este módulo se refiere a todos los proveedores y socios que ayudan al financiamiento del modelo de negocio. Siguiendo el orden en el procedimiento de producción, se encontrarían inicialmente las empresas madereras y de limpieza forestal que le proporcionen la madera a la carpintería en donde después se genere el residuo maderero o aserrín para transformarlo en briquetas. Si se quiere contratar una línea de distribución ajena a los pickups de carpintería también es posible alcanzarlo.

También convendría tener contacto con otras empresas de pellets, briquetas, estufas ecológicas o Ecofiltro que promuevan el producto y viceversa. La alianza con Ecofiltro se antoja de vital importancia en dado caso la carpintería no se de abasto para surtir la demanda de briquetas en la aldea y el municipio por lo que podrían tener algún trato para que Ecofiltro les suministre aún más materia prima. Además, debe haber asociaciones con la Municipalidad de Ciudad Vieja para promover la utilización de briquetas en la comunidad, también con el comité de vecinos de la Aldea San Lorenzo El Cubo para dispersar entre sus familiares y amigos los beneficios de las briquetas y finalmente la relación cliente-proveedor para que le sea mucho más fácil a la carpintería tener acceso a productos que ellos no tienen especialidad como la producción del almidón de yuca.

9. Estructura de costos, proyecciones e impacto de utilización de briquetas

Este módulo se refiere a todos los costos involucrados en la puesta en marcha del modelo de negocio. Se resalta que los costos de la briquetadora y el maquinado de sus componentes tienen un descuento ya que se tiene relación cercana con el dueño del taller donde se fabricó la máquina.

Cuadro No. 16 Costos briquetadora

ITEM	CANTIDAD	NOMBRE	COSTO (Q)
1	1	Tornillo sinfín	Q250.00
2	1	Base cojinetes	Q40.00
3	2	Chumacera de cojinete	Q150.00
4	2	Cojinete para chumacera	Q150.00
5	1	Soporte bandeja	Q20.00
6	1	Polea conducida	Q1,000.00
7	1	Tubo	Q200.00
8	1	Tolva	Q100.00
9	1	Estructura metálica 40x40x2.9mm	Q1,000.00
10	1	Mesa motor	Q65.00
11	1	Bandeja	Q100.00
12	1	Angular 2	Q15.00
13	1	Angular	Q20.00
14	8	Pernos ISO 4017 - M20 x 80	Q20.00
15	8	Roldanas ISO 4032 - M20	Q5.00
16	1	Motor eléctrico 2HP	Q1,900.00
17	1	Polea conductora	Q300.00
18	1	Tubo cuadrado de hierro DIN 59 410 - 40x40x2.9mm	Q10.00
19	4	Pernos ISO 4017 - M10 x 25	Q10.00
20	4	Roldanas ISO 4032 - M10	Q5.00
21	1	Faja 3V	Q45.00
22	1	Mano de obra por fabricación	Q1,700.00
COSTO BRIQUETADORA			Q7,105.00

A continuación, se presentarán los cálculos realizados para obtener el período en el que se recuperaría la inversión realizada, tomando en cuenta otros factores como mano de obra, costos energéticos, materia prima, etc.

Inicialmente, se tomó como base los precios tanto del aserrín como del almidón de yuca instantáneo. Dichos precios se mencionan en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 17 Precios base de materia prima

Aserrín	1 costal (40lb = 18.18kg)	Q14.00
Almidón de yuca	1 lb = 2.2kg	Q5.00

Después se calcularon los costos por kilogramo sólo de materia prima para producir las briquetas. Se utilizó la proporción 70% aserrín + 30% aglutinante. Los costos se presentan a continuación:

Cuadro No. 18 Costos de materia prima (Q/kg)

Costos de materia prima por kg	Costo materia prima (Q/kg)
70% Aserrín	Q0.77
30% Yuca	Q2.27
TOTAL	Q3.04

Luego se calcularon los costos de electricidad anuales por kilogramo asociados a la producción de las briquetas. Se partió con el supuesto que se trabajarán 8 horas por 21 días del mes a un 75% de la capacidad de producción máxima (23.47 kg/h) en el 1er año.

Cuadro No. 19 Costo electricidad al año (Q/año)

Potencia del motor (kW)	Tiempo de trabajo (h/mes)	Consumo mensual (kWh)	Tarifa (Q/kWh)	Costo mensual (Q/mes)	Costo electricidad anual (Q/año)
1.4914	168	250.5552	1.1294	Q282.98	Q3,395.72

Cuadro No. 20 Costo de electricidad por kilogramo producido (Q/kg)

Capacidad de la máquina (kg/h)	Tiempo de trabajo (h/mes)	Kilogramos producidos / mes	Kilogramos producidos / año	Costo electricidad por kg (Q/kg)
17.6025	168	2,957.22	35,486.64	Q0.10

El siguiente paso fue encontrar cuáles eran los costos anuales por kilogramo asociados a la mano de obra de la máquina briquetadora. Se designó a una persona fija utilizando la máquina durante todo su turno y alojando las briquetas en lugares adecuados para su posterior secado.

Cuadro No. 21 Costo de mano de obra por kilogramo (Q/kg)

Cantidad de personas	1
Sueldo base	Q3,000.00
Bono 14	Q250.00
Aguinaldo	Q250.00
Bonificación incentivo	Q250.00
Intecap+IRTRA+IGSS	Q380.00
Costo por persona mensual	Q4,130.00
Costo total mensual (Q/mes)	Q4,130.00
Costo total anual (Q/año)	Q49,560.00
Costo mano de obra por kilogramo (Q/kg)	
	Q1.40

Los últimos costos asociados a la producción eran los de la inversión inicial, distribución y mantenimiento anual.

Cuadro No. 22 Costo de mantenimiento anual por kilogramo (Q/kg)

Inversión inicial	Q7,105.00
Mantenimiento anual (Q/año)	Q1,000.00
Distribución, publicidad interna, etc.	Q3,000.00
TOTAL	Q11,105.00
Costos de mantenimiento por año (Q/kg)	Q0.31

Resumiendo los costos anteriores, se obtiene la siguiente tabla:

Cuadro No. 23 Costos totales y precio de venta por briqueta

Costos materia prima (Q/kg)	Q3.04
Costos electricidad (Q/kg)	Q0.10
Costos mano de obra (Q/kg)	Q1.40
Costos de mantenimiento (Q/kg)	Q0.31
Costos totales por kilogramo (Q/kg)	Q4.85
Peso de 1 briqueta	0.167kg
Costos totales por briqueta	Q0.81
Precio de venta	Q1.25

Con los costos totales por briqueta ya incluyendo materia prima, electricidad, mano de obra, inversión inicial, mercadeo y mantenimiento, se puede encontrar los costos totales y ventas totales esperadas al año si se tiene la cantidad total de briquetas producidas en ese período. Al ser un negocio que está iniciando, se irá poco a poco graduando al alza la capacidad de productividad por año de la briquetadora. Se tendrá el supuesto que se aumentará de capacidad productiva en kg/h en un 5%. Asimismo, con las ventas, se tendrá que, para el primer año al no ser tan conocidos, solo se logra un 55% de las ventas, pero después mientras se van asentando cada vez más se aumentan los porcentajes de ventas considerablemente de 65%, 70%, 80% y 90% para los años venideros. Ello naturalmente impactará positivamente en los flujos de efectivo del negocio planteado.

Cuadro No. 24 Flujo de efectivo proyectado a 5 años

Años	1	2	3	4	5
Porcentaje de capacidad máxima	75%	80%	85%	90%	95%
Capacidad (kg/h)	17.6025	18.776	19.9495	21.123	22.2965
Capacidad (kg/año)	35,486.64	37,852.42	40,218.19	42,583.97	44,949.74
Briquetas producidas	215,070.55	229,408.58	243,746.62	258,084.65	272,422.69
Porcentaje de éxito de ventas esperado	55%	65%	70%	80%	90%
Briquetas vendidas	118,288.80	149,115.58	170,622.63	206,467.72	245,180.42
Ventas totales	Q147,861.00	Q186,394.47	Q213,278.29	Q258,084.65	Q306,475.53
Costos totales	Q174,124.95	Q199,551.88	Q207,566.32	Q215,580.75	Q223,595.19
Flujo de efectivo	-Q26,263.95	-Q13,157.41	Q5,711.98	Q42,503.90	Q82,880.34

En el cuadro anterior, se aprecia cómo mientras se van dando a conocer mucho más las briquetas y aumenta la capacidad productiva de la misma, se van reduciendo los costos de electricidad por kg de briquetas producido y ello impacta en los costos totales del año. Es importante mencionar que se utilizó una tasa de descuento del 10% para los flujos de efectivo proyectados debido a factores intrínsecos como la inflación, riesgo, etc.

Finalmente, se resumen los flujos de efectivo con la inversión inicial en negativo para el año 0, se obtiene un valor presente neto positivo lo cual nos indica alta viabilidad del proyecto, pero también el tener una tasa interna de retorno mayor que la tasa de descuento nos corrobora el hecho de que el proyecto definitivamente tiene mucho potencial de ser rentable, solo es cuestión de tener paciencia. La inversión se recupera alrededor de 2.87 años después del año 0 aunque es importante mencionar que se tienen proyecciones de ventas pesimistas para los primeros años y si llega a suceder lo contrario, la inversión se podría llegar a recuperar hasta en menos de 1 año. En 5 años, la inversión de Q7,105 se habrá maximizado en un 1166%. Analizando más a profundidad, se puede notar que un par de años más allá de la proyección realizada para este proyecto de investigación, puede suceder que se llegue al 100% de capacidad productiva de la máquina y se tenga un nivel de ventas excelentes lo que pueda desembocar en realizar otra inversión para comprar una máquina briquetadora de mayor capacidad y menor tiempo de producción.

Cuadro No. 25 Resumen flujo de efectivo

Año	Flujo
0	-Q7,105.00
1	-Q26,263.95
2	-Q13,157.41
3	Q5,711.98
4	Q42,503.90
5	Q82,880.34
Tasa de descuento	10%
VAN	29,371.53
TIR	35%
Período de recuperación (años)	2.87

Figura No. 142 Flujo de efectivo en el tiempo



En el capítulo I se discutió acerca de la situación del consumo de leña en la Aldea San Lorenzo El Cubo en donde cada familia se gasta alrededor de Q31.50 diarios para cubrir sus necesidades tanto alimenticias como de energía calorífica sobre todo en la época de invierno. Como se vio en el capítulo III, las briquetas no sólo son mejores en cuanto a poder calorífico, energía máxima generada, tiempo de combustión y emisiones al medio ambiente, sino que ahora se puede ver la comparación en cuanto a precio se refiere con uno seleccionado de Q1.25 mucho más competitivo en contra de los Q1.50 por leño que contamina más los pulmones de quienes lo respiran, su consumo reduce la capa forestal del territorio, duran menos tiempo encendido y generan menos calor.

A continuación, se presentan resultados concluyentes del impacto tan beneficioso que tienen las briquetas no solo en el ambiente sino sobre las personas que las utilizan. Comparando 7 briquetas con 7 leñas se determina que aproximadamente 6 leñas generarán el mismo impacto sobre el ambiente que 7 briquetas. Eso significa que, por cada leña que dejemos de usar en detrimento de las briquetas, estaremos reduciendo el impacto ambiental de su uso en un 80.47% del peso de la leña. Esto quiere decir aproximadamente, 145g de CO2 menos para el ambiente por leño que dejemos de utilizar.

Cuadro No. 26 Rendimiento briqueta vs leña (% de masa consumida)

Cantidad	% Masa consumida	
	Briqueta	Leña
1	69.84%	80.47%
2	139.68%	160.94%
3	209.52%	241.41%
4	279.36%	321.88%
5	349.20%	402.35%
6	419.04%	482.82%
7	488.88%	563.29%

Otro punto interesante a comparar es cuántas briquetas equivaldrían al mismo tiempo de combustión que la leña. En el siguiente cuadro, se puede observar que aproximadamente 4 briquetas duran el mismo tiempo en combustión que 7 leños (2 horas y media) por lo que las personas de la Aldea San Lorenzo El Cubo no necesitarán comprar tantas por tiempo de comida y tendrán un ahorro significativo.

Cuadro No. 27 Rendimiento briqueta vs leña (tiempo de combustión)

Cantidad	Tiempo de combustión (min)		Tiempo de combustión (h)	
	Briqueta	Leña	Briqueta	Leña
1	34.020	20.250	0.57	0.34
2	68.04	40.5	1.13	0.68
3	102.06	60.75	1.70	1.01
4	136.08	81	2.27	1.35
5	170.1	101.25	2.84	1.69
6	204.12	121.5	3.40	2.03
7	238.14	141.75	3.97	2.36

Sabiendo esto, se realizará la proyección de los ahorros que tendrían las personas al comprar sólo 4 briquetas por tiempo, en vez de 7 leños.

Cuadro No. 28 Rendimiento briqueta vs leña (precio "Q")

Cantidad	Precio (Q)	
	Briqueta	Leña
1	Q1.25	Q1.50
2	Q2.50	Q3.00
3	Q3.75	Q4.50
4	Q5.00	Q6.00
5		Q7.50
6		Q9.00
7		Q10.50
AHORRO	Q5.50	

Cuadro No. 29 Ahorro proyectado al utilizar briquetas en vez de leña

Ahorro por tiempo	Diario	Semanal	Mensual	Anual
Q5.50	Q16.50	Q115.50	Q462.00	Q5,544.00

Al analizar ambos cuadros presentados anteriormente, solo en 1 tiempo de comida se ahorran Q5.50, si lo escalamos a un ahorro mensual se llegaría a Q462.00 y a más largo plazo, se estaría ahorrando la familia alrededor de Q5,544 que les puede servir para otros propósitos. Si se divide el dinero ahorrado dentro del precio de un leño convencional, se obtendrían la cantidad de leños que se hubieran comprado de más por no haber utilizado las briquetas como nuevo medio de combustible para el hogar. Este dato reflejaría una cantidad de 3696 leños en el año y si se multiplica por la cantidad de emisiones que expulsa un leño (145g de CO₂), esto significa que estaríamos reduciendo el impacto de dichas emisiones nocivas en 535.92kg, en otras palabras, más de media tonelada de gases menos por hogar.

VII. CONCLUSIONES

1. Se efectuó el diseño de la máquina prensadora de briquetas de tornillo sinfín con aserrín como materia principal obteniendo una capacidad de producción de 23.47 kg/h o 142.25 briquetas/hora de 30cm de largo y 3.175cm de diámetro.
2. En la Aldea San Lorenzo El Cubo, el 89% de la población analizada utiliza leña como combustible principal en sus hogares con un promedio de consumo de 21 leños diarios por hogar de 6 personas con un costo de Q31.50 diarios.
3. Se elaboraron los planos necesarios de la máquina briquetadora para utilizarlos como guía en su posterior construcción.
4. Se construyó la máquina briquetadora en un plazo de alrededor 30 días con las especificaciones de diseño y materiales previamente establecidas.
5. Después de analizar los diferentes parámetros de adherencia, humedad, densidad, poder calorífico, tiempo de combustión y cantidad de cenizas, la briqueta con mezcla 70%-30% fue la mejor selección posible en cuanto a proporciones de biomasa seca (aserrín + frutos secos) y aglutinante con la mayor obtención de energía en forma de calor.
6. Se planteó el modelo de negocio de comercialización de briquetas con una inversión inicial para la construcción de la máquina de Q7,105.00 generando flujos positivos de efectivo a partir del 3er. año aproximadamente, con una TIR de 35% y utilidades proyectadas de hasta Q82,880.34 para el quinto año con una velocidad de ventas esperada progresivamente ascendente.
7. Al comparar las briquetas con la leña, se determinó que 4 briquetas duran el mismo tiempo en combustión que 7 leñas generando más de calor, adicionalmente si se escala a un año, una familia ahorraría alrededor de Q5,544 si utilizara sólo briquetas en vez de leña y se disminuiría en alrededor de media tonelada las emisiones de CO₂ al ambiente por hogar.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Es necesario basarse en el manual del usuario cuando se capacite a los operarios para evitar cualquier tipo de accidente durante la utilización, manejo y mantenimiento de la máquina garantizando que su vida útil se prolongue lo mayor posible.
2. Si se deseara aumentar la capacidad de producción de la máquina en determinado porcentaje, es posible instalar un motorreductor con un variador de frecuencia para realizar las pruebas y determinar hasta dónde puede trabajar sin ocasionar atascos del material.
3. Si se desea mantener un control estricto sobre la temperatura de funcionamiento a lo largo de toda la camisa, es posible instalar resistencias térmicas de banda para mantener la lignina aún más activada que solo con la temperatura de la mezcla con el aglutinante y garantizar la mayor fluidez posible.
4. Se aconseja ensayar otro tipo de materias primas como cascarilla de arroz, carbón, papel, cartón u hojas secas con otros aglutinantes tanto naturales como artificiales (maicena, parafina, etc.) para determinar si dichas composiciones de mezcla podrían traer incluso mayores beneficios que las briquetas de aserrín con frutos secos evaluadas en el presente trabajo de investigación.
5. Se propone realizar un proyecto piloto con un grupo objetivo de prueba dentro de la aldea de unas 25 familias para evaluar la aceptación cultural de las briquetas y las opiniones de los usuarios para posteriormente escalarlo a un negocio formal.
6. Se propone realizar capacitaciones y talleres a pobladores de la aldea y otros lugares aledaños para dar a conocer el impacto positivo de las briquetas e impulsar a las micro empresas a que emprendan en un negocio rentable y beneficioso tanto para el empresario como para los consumidores de las briquetas, con el valor agregado de ayudar a reducir la contaminación ambiental.

7. Evaluando los beneficios de la producción y utilización de briquetas, ya con un negocio montado se sugiere contactar con industrias madereras cercanas a la aldea como en Antigua Guatemala, por ejemplo, para obtener una mayor cantidad de materia prima a un menor precio y hacer el negocio todavía más rentable, lográndolo escalar a otras ubicaciones.
8. Como negocio alternativo, una propuesta interesante sería la elaboración de briquetas aromáticas y de diferentes colores para las épocas navideñas, por ejemplo, y expandir el nicho de mercado más allá de solo la población rural.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Archila, Laura. (2015). *Máquina para fabricación de briquetas de aserrín para aserradero Lorenz*. Guatemala de la Asunción, 147 págs. Recuperado el 25 de febrero de 2020: Obtenido de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/03/06/Archila-Laura.pdf>
- Da Silva, (2013). *Proyecto de creación de una fábrica de briquetas de aserrín en Santa Rosa del Aguaray*. Universidad Tecnológica Intercontinental, Paraguay. 106 págs. Recuperado el 6 de mayo de 2020. Obtenido de: https://www.academia.edu/9603022/PROYECTO_DE_CREACION_DE_UN_A_FABRICA_DE_BRIQUETAS_DE_ASERRIN_EN_SANTA_ROSA_DEL_AGUARAY
- De Lucas, A; Tarranco, C. (s.f) *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Recuperado el 11 de marzo de 2020. España. Obtenido de: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- DIPAC (s.f.). *Catálogo Productos de Acero*
- Ecofiltro. (2020). *Beneficios del Ecofiltro*, Guatemala, Recuperado el 28 de marzo de 2020. Obtenido de: <https://www.ecofiltro.com/es/>
- FAO. (2011) *Información general sobre generación de electricidad*. Recuperado el 10 de mayo de 2020. Obtenido de: <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0w.htm>
- Ferdinand P. Beer. & E. Russell Johnston, Jr.. (2010). *Mecánica de materiales*. México D.F: The McGraw-Hill. 817 págs.
- Gallipoliti, et. Al (2009). *Fabricación de Briquetas con Aserrín Blanco de Pino. Análisis Inmediato y su Obtención del Poder Calorífico*. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 6 págs. Recuperado del 3 de mayo de 2020. Obtenido de: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t006-a004.pdf>

- Hierros AG. (s.f.) *Catálogo de Tubería Galvanizada HG*
- INE. (2018). *Censo Poblacional 2018*, Guatemala, Recuperado el 24 de marzo de 2020. Obtenido de: <https://www.censopoblacion.gt/>
- Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía. (2008). *Biomasa Industrial*. España. Recuperado el 11 de marzo de 2020. Obtenido de: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10980_Biomasa_industria_A2008_A_402485e2.pdf
- Jara, H. (2009). *Biomasa y sus Propiedades como Combustible*. Colombia, Recuperado el 11 de marzo de 2020. Obtenido de: http://www.atcp.cl/privado/docs/revistas/17/rev_154100243301.pdf
- Martín, L. (2013). *Biomasa, la energía natural*. Recuperado el 12 de marzo de 2020. Obtenido de: <http://www.compromisoempresarial.com/rsc/medioambiente/2013/03/biomasa-la-energia-natural/>
- Martin. (s.f.). *Catálogo de Transmisión de Potencia / Poleas y Bandas*.
- MAXTON Engineering. (2018). *Extrusion Briquette Maker*. Estados Unidos. Recuperado el 2 de mayo de 2020. Obtenido de: <https://briquettesolution.com/extrusion-briquette-maker/>
- Nolasco. (2016). *Estudio de Factibilidad sobre el sometimiento del cascabillo de café por un proceso de briquetado para su utilización como sustituto del carbón vegetal*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 193 págs. Recuperado el 15 de junio de 2020. Obtenido de: www.repositorio.usac.edu.gt/3351/1/Isain%20Arturo%20Nolasco%20Ch%C3%A1vez.pdf
- NTN-SNR. (s.f.). *Catálogo de Soportes Autolineantes*
- Osterwalder. (2011). *Business Model CANVAS*. Suiza. Recuperado el 9 de julio de 2020. Obtenido de: <https://cristinaramosvega.com/business-model-canvas-alex-osterwalder/>

- PRONACOM y Ayuntamiento de Ciudad Vieja. (2018). *Planificación de Ordenamiento Territorial, Conservación Patrimonial y Desarrollo Económico para el Departamento de Sacatepéquez*, Guatemala, Recuperado el 8 de abril de 2020. Obtenido de: <https://www.pronacom.org/wpcontent/uploads/library/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipal%20y%20Ordenamiento%20Territorial%20%20Ciudad%20Vieja.pdf>
- Richard G. Budynas, & J. Keith Nisbett. (2011). Apéndices. *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F: The McGraw-Hill. 1068 págs.
- Robert L. Mott. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Estados Unidos. University of Dayton. Pearson. 944 págs.
- Savgorodny, V. K. (s.f.). *Transformación de plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili.
- SIFGUA, (2010). *Cobertura Forestal*. Guatemala, Recuperado el 20 de marzo de 2020. Obtenido de: <http://www.sifgua.org.gt/Cobertura.aspx>
- SINIA, (s.f.). *¿Qué es el Protocolo de Kioto?* Recuperado el 20 de marzo de 2020. Obtenido de: <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48407.html>
- SKF. (s.f.). *Catálogo de Rodamientos*
- Soto. (2013). *Selección de la Muestra en la Metodología de la Investigación*. Chile. Recuperado el 21 de marzo de 2020. Obtenido de: http://158.251.88.105/~rsoto/cursos/DII711/Cap7_DII711.pdf
- TECHTOP. (s.f.). *Catálogo de Motores*
- Láminas TERNIUM. (s.f.). *Catálogo de Láminas de Acero*
- Valiente, Astrid. (2017). *Elaboración de Briquetas para Aprovechamiento del Residuo de Arroz en Beneficios del Municipio de El Progreso, Jutiapa*. Guatemala, 96 págs. Recuperado el 25 de febrero de 2020. Obtenido de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2017/02/02/Valiente-Astrid.pdf>
- WIPO. (2014). *Mr. Fuego, Propietario de derechos de P.I. de Guatemala*. Recuperado el 24 de marzo de 2020. Obtenido de: <https://www.wipo.int/ipadvantage/es/details.jsp?id=4740>

X. APÉNDICE

A. Manual de máquina briquetadora

Introducción

El presente manual se dirige a las personas que busquen conocer la manera correcta de utilizar la briquetadora, condiciones previas al arranque, encendido, puesta en marcha, apagado, precauciones y mantenimiento para garantizar una alta duración y excelente funcionamiento de la misma.

Información técnica:

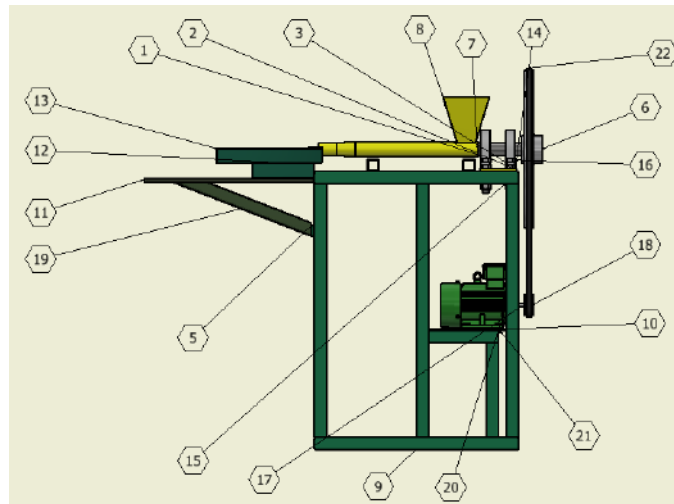
- Voltaje de suministro: 220V monofásico
- Potencia del motor: 1.49kW o 2HP
- Capacidad máxima de producción: 23.47 kg/h o 142.25 briquetas/hora
- Velocidad lineal de la materia: 11.85 mm/s
- Dimensión de las briquetas (longitud variable): 3.175cm de diámetro x 30cm de largo x 1cm de agujero
- Volumen de la tolva: 0.00149m³ o 1.49L
- Dimensiones de la máquina: 1.29m (b) x 0.40m (l) x 1.23m (h)
- Peso: 69kg o 151,8lb

Condiciones de operación:

- Materia prima con 70% masa seca (aserrín + frutos secos) y 30% (aglutinante + agua)
- Presión máxima de trabajo: 35MPa
- Aserrín y partículas de madera de hasta 10mm preferiblemente para garantizar que no haya atascos.

Partes de la briquetadora

A continuación, se listan las partes más importantes de la máquina briquetadora:



ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Tornillo Sinfín
2	1	Base cojinetes
3	2	Chumacera de cojinete
4	2	Cojinete para chumacera
5	1	Soporte bandeja
6	1	Polea conducida
7	1	Tubo
8	1	Tolva
9	1	Estructura metálica 40x40x2.9mm
10	1	Mesa motor
11	1	Bandeja
12	1	Angular 2
13	1	Angular
14	8	Pernos ISO 4017 - M20 x 80
15	8	Roldanas ISO 4032 - M20
16	1	Motor eléctrico 2HP
17	1	Polea conductora
18	1	Tubo cuadrado de hierro DIN 59 410 - 40x40x2.9mm
19	4	Pernos ISO 4017 - M10 x 25
20	4	Roldanas ISO 4032 - M10
21	1	Faja 3V

Instalación

1. El momento de querer utilizar la máquina, debe ser instalada en una ubicación fresca, lejos de la lluvia o el calor excesivo, buena ventilación y con un piso nivelado.
2. El lugar de instalación debe ser amplio para evitar que sucedan accidentes y realizar el mantenimiento de la misma de una manera mucho más sencilla.
3. En lo que corresponde a la electricidad, es necesaria una conexión monofásica de 110V, que es el voltaje común en la mayoría de ubicaciones en Guatemala.

Encendido

La briquetadora cuenta con un interruptor que le permite al motor obtener la corriente necesaria para funcionar y comprimir el material a agregar.

1. Es de suma importancia verificar que el interruptor se encuentre en buen estado ya que podría ocasionar corto circuitos.
2. Verificar que no existan obstrucciones en la tolva, como basura, por ejemplo.
3. Velar por que no se encuentren niños cerca tanto en el encendido como funcionamiento de la máquina ya que se pueden lastimar con las poleas o botar la máquina sin querer.
4. Si escucha algún ruido anómalo, apagar y desconectar inmediatamente.

Durante el funcionamiento

En el momento en que la briquetadora se ha encendido, se inicia el proceso de briquetado al verter la mezcla dentro de la tolva. Siempre tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Verificar que la mezcla a procesar sea la adecuada para las capacidades de la máquina ya que, si se presentan piedras, basuras, metales, etc., pueden llegar a dañar el tornillo de forma permanente.
2. Al verter el aserrín en la tolva, irlo introduciendo de poco en poco para evitar taponamientos o que ya no pueda seguir alimentándose el tornillo de la materia. Es preferible que el operador presione con alguna varilla solo para liberar la mezcla y le sea más fácil a la máquina comprimirla.
3. Tomar en cuenta que se debe ir llenando la máquina cuando se vea que le queda poco material a la tolva para que no se pierda productividad a lo largo del tiempo de funcionamiento.
4. Ir cortando las briquetas con una paleta justo antes de llegar al final del angular que sirve como canal de transporte para las mismas ya que se obtiene la medida exacta de 30cm con el angular siendo de utilidad como marca. Ya si el usuario busca tener briquetas más pequeñas queda a discreción de él.
5. Mientras siguen saliendo más briquetas, se puede ir las acomodando estratégicamente a lo largo de la bandeja para luego colocarlas en un ambiente fresco y finalmente almacenarlas para su comercialización o uso propio.

Apagado

Cuando ya se haya logrado la cantidad de briquetas esperada, se sugiere:

1. Esperar a que todo el material remanente sea procesado por el tornillo.
2. Apagar el interruptor para quitar el acceso a corriente por parte del motor.
3. Desconectar la máquina y dejarla tapada para evitar que ingresen partículas de polvo al motor.

Advertencias

Se recomiendan las siguientes medidas para reducir el riesgo intrínseco que involucra ser operario de la máquina.

1. Utilizar guantes para protegerse en caso de tocar involuntariamente las poleas o que el recipiente para verter la mezcla se encuentre muy caliente.
2. Procurar trabajar de uno de los lados de la briquetadora para alejarse lo mayor posible de las poleas.
3. Tener cuidado a la hora de acercarse a la máquina por el lado de la salida de material ya que si viene con algún tipo de basura puede resultar en alguna explosión y lastimarse los ojos.
4. Dejar las briquetas secando en lugares lejos de material inflamable para reducir el riesgo de que se produzcan incendios.
5. Al ser una máquina exclusivamente diseñada para briquetas, el diseñador no se hace responsable de que se quiera utilizar otro tipo de mezcla como carbón u otro tipo de biomasa que llegue a dañar permanentemente la máquina.

Plan de mantenimiento preventivo:

Se recomienda que para evitar fallas o daños prematuros en las partes que componen la máquina, se le dé un buen mantenimiento siguiendo las instrucciones mencionadas a continuación y mantener el lugar de trabajo en óptimas condiciones para prolongar la vida de la briquetadora con procesos de limpieza, lubricación de rodamientos y revisiones periódicas.

Componente	Acción	Frecuencia del mantenimiento		
		Diario	Mensual	Semestral
Tornillo y cilindro	Limpiar y pulir la máquina para eliminar residuos en las paredes.		X	
	Chequear que el tubo o el tornillo no posean grietas o fisuras.			X
Motor	Chequear que no haya partículas de polvo en el ventilador del motor, se recomienda aspirarlas.	X		
	Comprobar que no se presenten sonidos extraños a la hora de iniciar el accionamiento de la briquetadora.	X		
	Verificar, después de 3 o 4 horas de uso, que el motor no se haya sobrecalentado, de lo contrario, darle un descanso de 15min.	X		

Polea conductora y conducida	Limpiar las poleas para garantizar que no se quede suciedad atrapada en las ranuras y afecte a la transmisión de potencia.		X	
	Comprobar la adecuada alineación de las poleas.	X		
	Chequear que las poleas no se hayan oxidado o tengan daños sobre todo en la parte donde conectan con los ejes de transmisión tanto del motor como del tornillo.		X	
Fajas de transmisión de potencia	Comprobar que las fajas se encuentren tensas para disminuir el deslizamiento.	X		
	Inspeccionar que la faja no se encuentre rota o deteriorada por su uso.	X		

B. Anexos para diseño mecánico


Anexo B-1 Especificaciones técnicas motores monofásicos TECHTOP

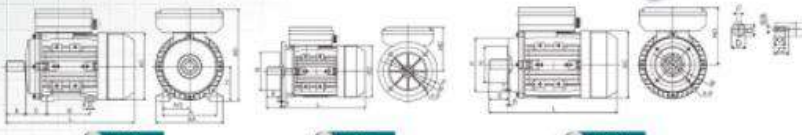
Fuente: Catálogo de motores TECHTOP

IEC MOTOR
GOST MOTOR
NEMA MOTOR
PUMP
GENERATING
D.C. MOTOR

ML

Series Single-Phase Capacitor Start and Capacitor Run Asynchronous Motors Aluminum Housing





Overall & Installation Dimensions

Frame Size	Mounting Dimensions																		Overall Dimensions				Shaft Ext. Screw Dimensions						
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AA	AC	AD	HD	L	SS	XX	ZZ
63	100	80	40	11	23	4	8.5	65	7X10	75	00	90	0	M5	2.5	130	115	160	0	±10	3.0	120	130	170	110	212	M4	10	15
71	112	95	45	14	30	5	11	71	7X10	85	10	105	0	M6	2.5	130	115	160	0	±10	3.5	132	145	194	123	255	M5	12	18
80	125	100	50	19	40	6	15.5	80	10X13	100	00	120	0	M6	3.0	160	130	200	0	±12	3.5	187	185	223	143	290	M6	18	22
MS	140	100	56	24	50	8	20	90	10X13	115	05	140	0	M8	3.0	165	130	200	0	±12	3.5	172	185	240	150	335	M8	20	25
90L	140	125	56	24	50	8	20	90	10X13	115	05	140	0	M8	3.0	165	130	200	0	±12	3.5	172	185	240	150	365	M8	20	25
100L	160	140	63	28	60	8	24	105	12X15	130	130	160	0	M8	3.5	215	180	290	0	±15	4.0	198	205	260	160	360x15	M10	22	28
112M	190	140	70	38	80	8	24	112	12X15	130	130	160	0	M8	3.5	215	180	290	0	±15	4.0	222	230	295	183	415	M10	22	28

Technical Data (at 230V/50Hz)

Model	Power (kW)	Current (A)	Speed (r/min)	Eff (%)	Power Factor (cosφ)	Rate Torque (N·M)	T _{st} /T _n (Times)	T _{cp} /T _n (Times)	Starting Current (A)	Run Capacitor (µF/V)	Start Capacitor (µF/V)	Noise dB (A)	WT (kg)
ML63-2	0.19	1.39	2710	63	0.9	0.03	2.5	1.8	6	10µF/450V	30µF/250V	70	3.9
ML63-2	0.25	1.89	2710	64	0.9	0.08	2.5	1.5	10	10µF/450V	40µF/250V	73	4.4
ML71-2	0.37	2.65	2700	65	0.93	1.27	2.5	1.8	15	12µF/450V	75µF/250V	75	6.1
ML71-2	0.55	3.79	2700	68	0.93	1.86	2.5	1.8	20	15µF/450V	100µF/250V	76	7
ML80-2	0.75	4.87	2800	72	0.93	2.56	2.5	1.8	30	20µF/450V	100µF/250V	79	9
ML80-2	1.1	7.94	2810	73	0.93	3.74	2.5	1.8	40	25µF/450V	150µF/250V	79	10.3
ML90-2	1.5	9.45	2810	74	0.93	5.10	2.5	1.8	55	40µF/450V	200µF/250V	84	16.9
ML90-2	2.2	13.57	2810	75	0.94	7.48	2.5	1.8	75	50µF/450V	250µF/250V	86	18.7
ML100-2	3.0	17.83	2830	77	0.95	10.13	2.5	1.7	110	60µF/450V	400µF/250V	89	25
ML112M-2	3.7	21.48	2850	78	0.95	12.40	2.5	1.7	140	80µF/450V	600µF/250V	90	33
ML112M-2	4.0	22.19	2850	80	0.96	13.41	2.5	1.7	150	80µF/450V	600µF/250V	90	34.2
ML95-4	0.12	1.05	3350	58	0.9	0.05	2.5	1.8	6	10µF/450V	30µF/250V	84	4.1
ML95-4	0.18	1.55	3350	58	0.9	1.27	2.5	1.8	9.5	13µF/450V	40µF/250V	84	4.5
ML71-4	0.25	2.01	3380	60	0.9	1.73	2.5	1.7	10	10µF/450V	50µF/250V	60	5.9
ML71-4	0.37	2.84	3380	63	0.9	2.56	2.5	1.7	15	15µF/450V	75µF/250V	69	6.9
ML80-4	0.55	4.03	3400	66	0.9	3.75	2.5	1.8	20	20µF/450V	100µF/250V	71	9.6
ML80-4	0.75	5.25	3410	69	0.9	5.08	2.5	1.8	30	25µF/450V	150µF/250V	71	10.9
ML90-4	1.1	7.34	3410	71	0.93	7.45	2.5	1.8	40	30µF/450V	150µF/250V	74	13.8
ML90-4	1.5	9.61	3400	73	0.93	10.24	2.5	1.8	55	40µF/450V	200µF/250V	79	18.7
ML100-4	2.2	13.90	3430	76	0.93	14.70	2.5	1.8	75	50µF/450V	300µF/250V	79	25.8
ML112M-4	3	18.70	3440	75	0.93	19.81	2.5	1.8	110	60µF/450V	600µF/250V	83	28.7
ML112M-4	3.7	21.99	3440	77	0.95	24.00	2.5	1.7	140	80µF/450V	600µF/250V	86	31
ML112M-4	4.0	22.41	3440	80	0.97	26.54	2.5	1.7	150	80µF/450V	600µF/250V	86	32.8

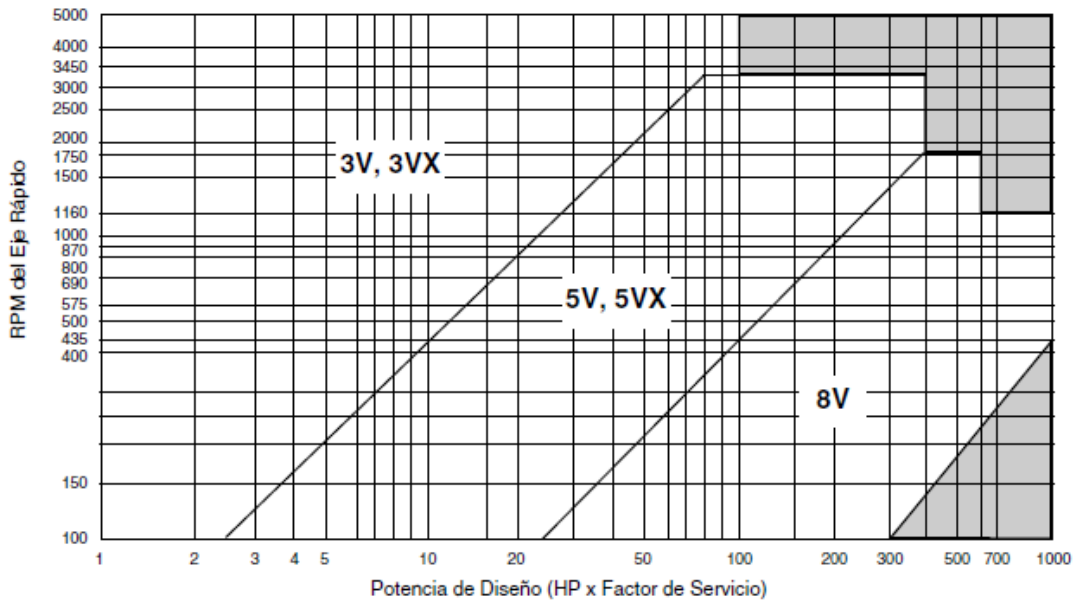
Anexo B-2 Tabla de factores de servicio

Fuente: Catálogo Martin de poleas y bandas

<p>EL FACTOR DE SERVICIO CORRECTO SE DETERMINA POR:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La extensión y frecuencia de las cargas pico. 2. El número de horas de operación al año, divididas en un promedio de horas al día de servicio continuo. 3. La categoría de servicio apropiada (intermitente, normal o continuo). Seleccione aquella que más se aproxime a las condiciones de su aplicación. 		<p>SERVICIO INTERMITENTE — FACTOR DE SERVICIO 1.0 A 1.5 a - Trabajo Ligero — No más de 6 horas al día. b - No debe exceder la carga promedio.</p> <p>SERVICIO NORMAL — FACTOR DE 1.1 A 1.6 a - Servicio diario de 6 a 16 horas al día. b - Donde el arranque ocasional o las cargas pico no excedan el 200% de la carga total.</p> <p>SERVICIO CONTINUO — FACTOR DE 1.2 A 1.8 a - Donde el arranque o la carga pico exceda el 200% de la carga total o donde el arranque o las cargas pico y sobrecargas ocurran frecuentemente. b - Servicio continuo de 16 a 24 horas al día.</p>													
FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS															
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN		TIPOS DE UNIDADES MOTRICES													
<p>Los tipos de máquinas de manejo que se enlistan a continuación son solamente ejemplos representativos. Seleccione de la lista la categoría que más se aproxime a su aplicación.</p> <p>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</p> <table border="0"> <tr> <td>Rueda Loca en lado flojo (dentro)</td> <td>Ninguno</td> </tr> <tr> <td>Rueda Loca en lado flojo (afuera)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Rueda Loca en lado apretado (dentro)</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Rueda Loca en lado apretado (afuera)</td> <td>0.2</td> </tr> </table>		Rueda Loca en lado flojo (dentro)	Ninguno	Rueda Loca en lado flojo (afuera)	0.1	Rueda Loca en lado apretado (dentro)	0.1	Rueda Loca en lado apretado (afuera)	0.2	<p>MOTORES ELÉCTRICOS AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Síncrono AC Fase Dividida DC Devanado Compuesto Motores de Combustión Interna</p>			<p>MOTORES ELÉCTRICOS AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto</p>		
Rueda Loca en lado flojo (dentro)	Ninguno														
Rueda Loca en lado flojo (afuera)	0.1														
Rueda Loca en lado apretado (dentro)	0.1														
Rueda Loca en lado apretado (afuera)	0.2														
		SERVICIO INTERMEDIO	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMEDIO	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO								
<p>Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas Centrífugas y Compresoras 1.0 Ventiladores de hasta 10 Caballos de Fuerza Transportadores de Trabajo Ligero</p>		1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3								
<p>Transportadores de Banda para Arena, Grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 Caballos de Fuerza Generadores Ejes de Línea Maquinaria de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros-Prensas-Cortadores Maquinaria de imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias</p>		1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4								
<p>Maquinaria para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tablillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Maquinaria para Molinos de Sierra y Trabajos en Madera Maquinaria Textil</p>		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6								

Anexo B-3 Tabla de selección para bandas de alta capacidad

Fuente: Catálogo Martin de poleas y bandas



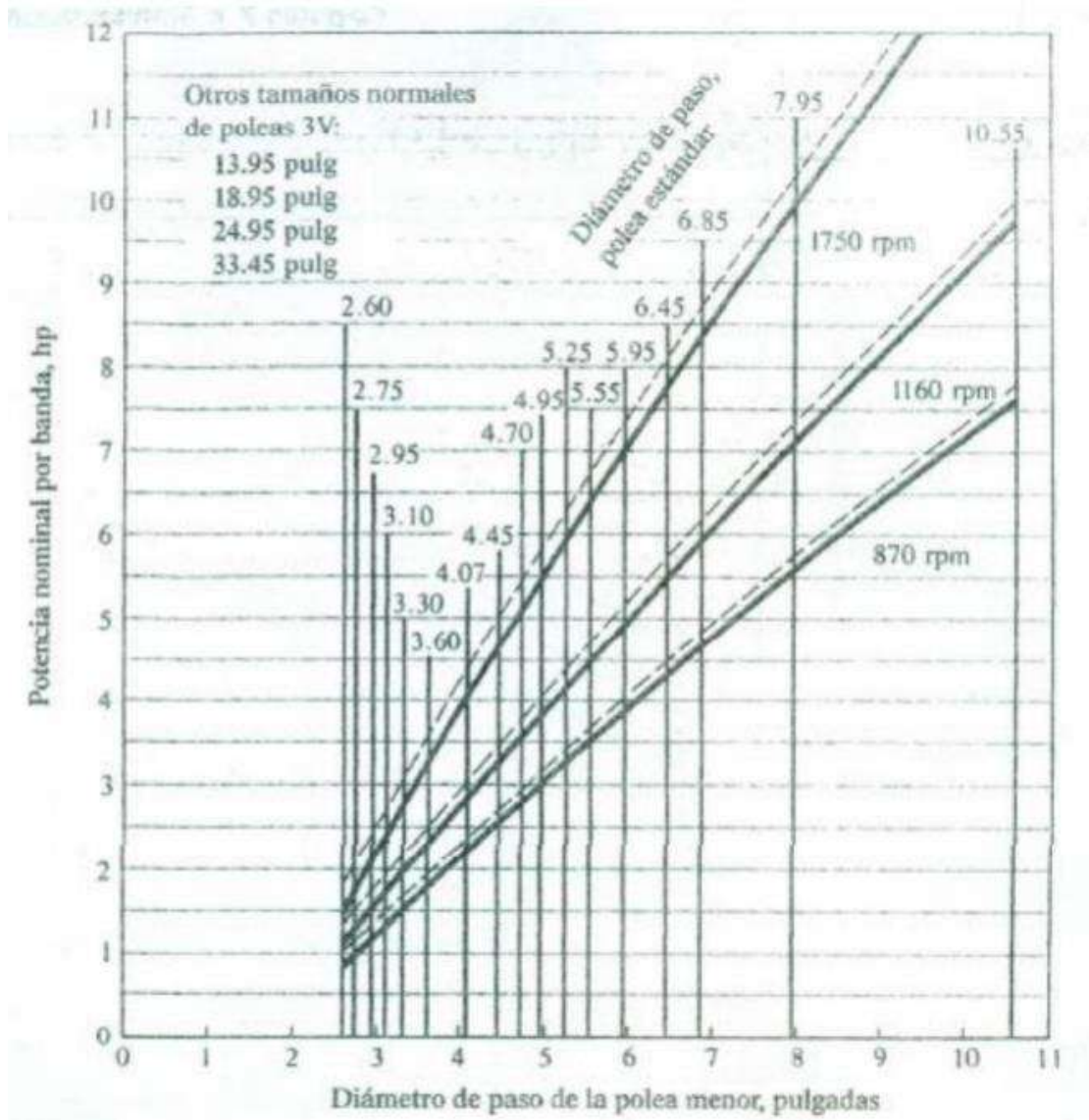
Anexo B-4 Diámetro mínimo recomendado para polea del motor eléctrico

Fuente: Catálogo Martin de poleas y bandas

POTENCIA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50★
★30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

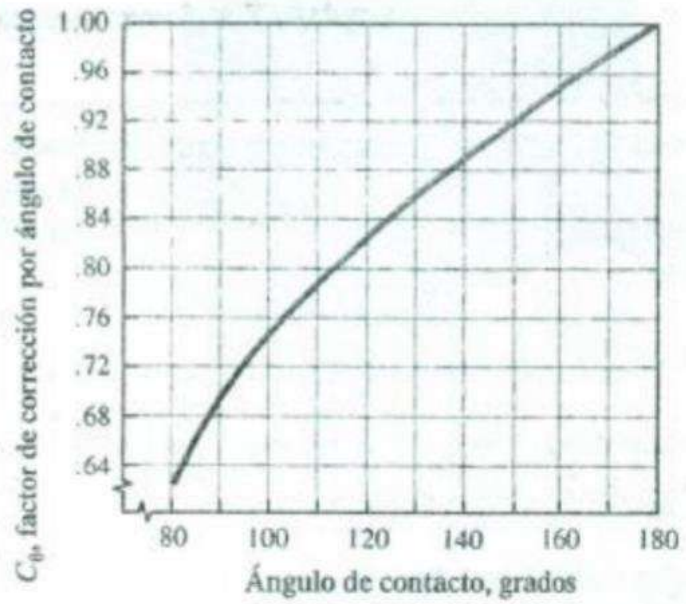
Anexo B-5 Potencia nominal por banda

Fuente: Mott, 2006



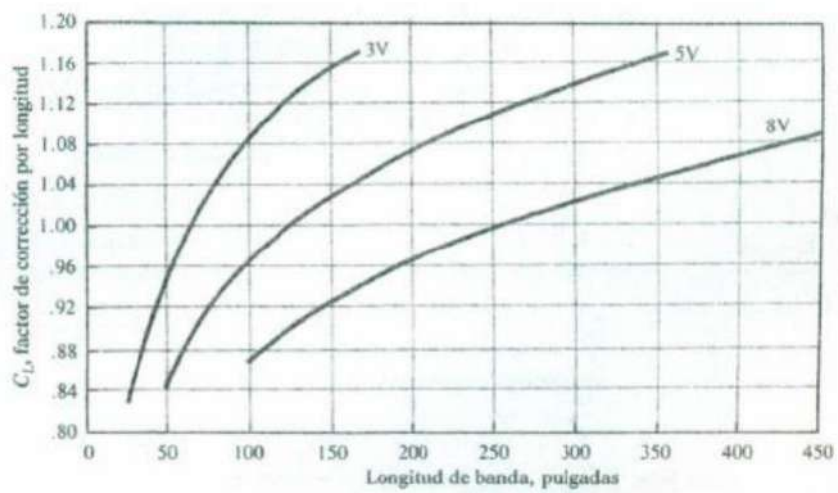
Anexo B-6 Factor de corrección de ángulo de contacto

Fuente: Mott, 2006



Anexo B-7 Factor de corrección por longitud de banda

Fuente: Mott, 2006



Anexo B-8 Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

Tabla 1

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

Anexo B-9 Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

Tabla 9

$f_0 F_a / C_0$	Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas								
	Rodamientos de una hilera y de dos hileras Juego normal			Rodamientos de una hilera Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Anexo B-10 Valores del factor de ajuste de la vida útil a₁

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

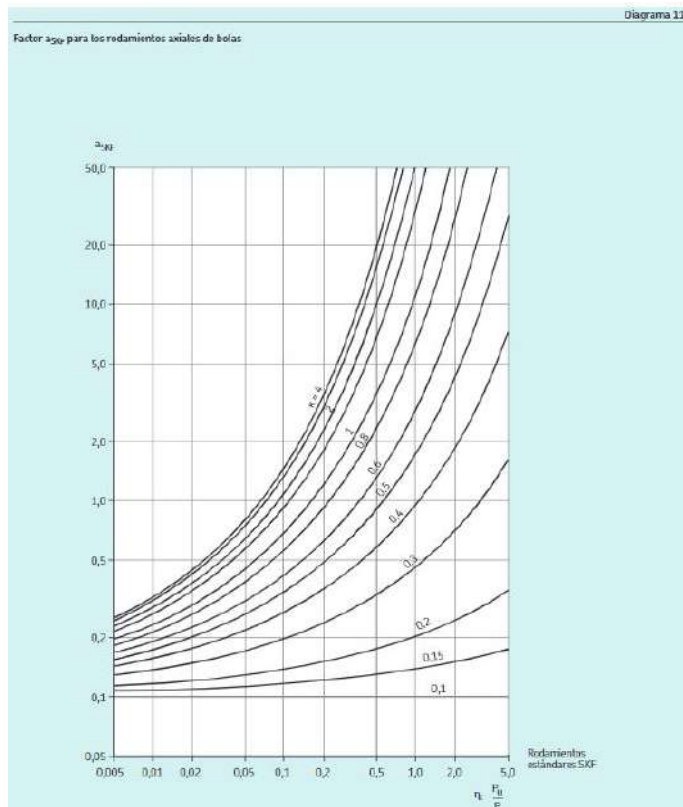
Tabla 3

Valores del factor de ajuste de la vida útil a₁

Confiabilidad	Probabilidad de falla n	Vida nominal SKF L _{nm}	Factor a ₁
%	%	millones de revoluciones	-
90	10	L _{10m}	1
95	5	L _{5m}	0,64
96	4	L _{4m}	0,55
97	3	L _{3m}	0,47
98	2	L _{2m}	0,37
99	1	L _{1m}	0,25

Anexo B-11 Factor askf para los rodamientos axiales de bolas

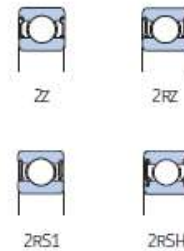
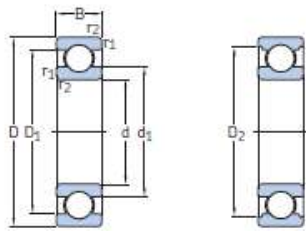
Fuente: Catálogo de rodamientos SKF



Anexo B-12 Propiedades rodamientos rígidos de bolas

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

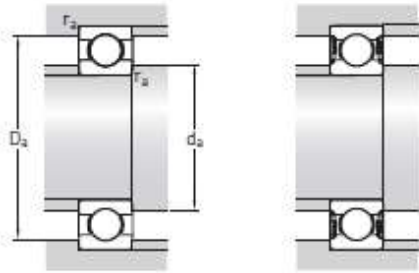
1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 35 – 40 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones		
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾	
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–		
35 cont.	72	17	31,2	17,6	0,75	20 000	13 000	0,26	6207 ETN9	–	
	72	23	25,5	15,3	0,655	–	6 300	0,4	62207-2RS1	–	
	80	21	35,1	19	0,815	19 000	12 000	0,46	6307	–	
	80	21	35,1	19	0,815	19 000	17 000	0,54	6307 M	–	
	80	21	35,1	19	0,815	–	6 000	0,46	6307-2RSH	6307-RSH	
	80	21	35,1	19	0,815	19 000	9 500	0,48	6307-ZZ	6307-Z	
	80	31	33,2	19	0,815	–	6 000	0,68	62307-2RS1	–	
	100	25	55,3	31	1,29	16 000	10 000	0,97	6407	–	
	40	52	7	4,49	3,75	0,16	26 000	13 000	0,034	61808-2RZ	–
		52	7	4,49	3,75	0,16	26 000	16 000	0,032	61808	–
62		12	13,8	10	0,425	–	6 700	0,12	61908-2RS1	–	
62		12	13,8	10	0,425	24 000	12 000	0,12	61908-2RZ	–	
62		12	13,8	10	0,425	24 000	14 000	0,12	61908	–	
68		9	13,8	10,2	0,44	22 000	14 000	0,13	61608	–	
68		15	17,8	11	0,49	22 000	14 000	0,19	6008	–	
68		15	17,8	11	0,49	–	6 300	0,2	6008-2RS1	6008-RS1	
68		15	17,8	11	0,49	22 000	11 000	0,2	6008-2RZ	6008-RZ	
68		15	17,8	11	0,49	22 000	11 000	0,2	6008-ZZ	6008-Z	
68		21	16,8	11	0,49	–	6 300	0,27	63008-2RS1	–	
80		18	32,5	19	0,8	18 000	11 000	0,37	6208	–	
80		18	32,5	19	0,8	–	5 600	0,37	6208-2RSH	6208-RSH	
80		18	32,5	19	0,8	18 000	9 000	0,38	6208-2RZ	6208-RZ	
80		18	32,5	19	0,8	18 000	9 000	0,38	6208-ZZ	6208-Z	
80		18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	6208 ETN9	–	
80		23	30,7	19	0,8	–	5 600	0,47	62208-2RS1	–	
90		23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	6308	–	
90		23	42,3	24	1,02	–	5 000	0,64	6308-2RSH	6308-RSH	
90		23	42,3	24	1,02	17 000	8 500	0,65	6308-2RZ	6308-RZ	
90	23	42,3	24	1,02	17 000	8 500	0,65	6308-ZZ	6308-Z		
90	33	41	24	1,02	–	5 000	0,92	62308-2RS1	–		
110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408	–		

Anexo B-13 Continuación propiedades rodamientos rígidos de bolas

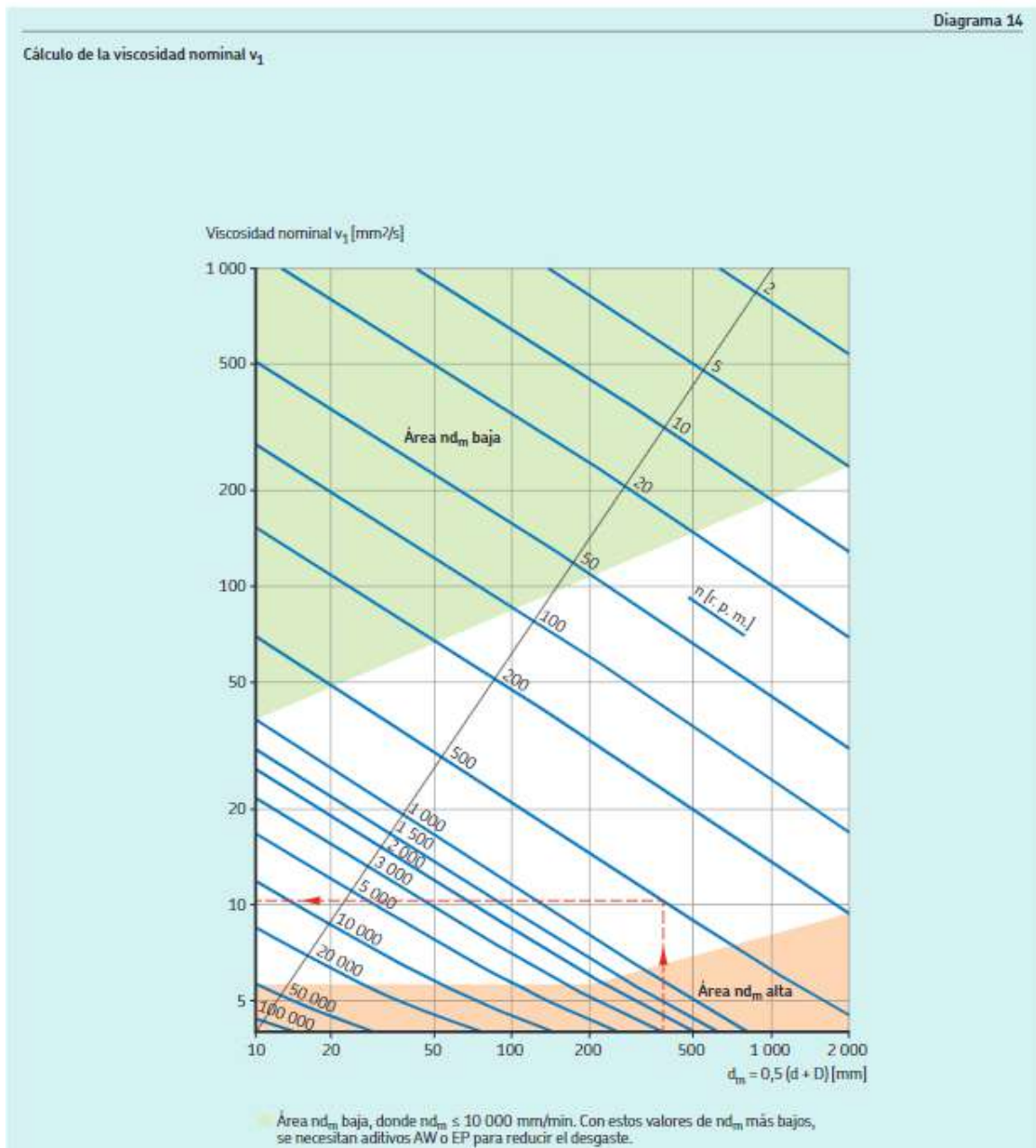
Fuente: Catálogo de rodamientos SKF



Dimensiones						Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo				Factores de cálculo		
d	d ₁	d ₂	D ₁	D ₂	r _{1,2} min.	d ₃ min.	d ₃ máx.	D ₃ máx.	r _a máx.	k _r	f ₀	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-	
35 cont.	46,1	-	61,7	-	1,1	42	-	65	1	0,025	13	
	46,9	-	-	62,7	1,1	42	46,8	65	1	0,025	14	
	49,5	-	-	69,2	1,5	44	-	71	1,5	0,03	13	
	49,5	-	-	69,2	1,5	44	-	71	1,5	0,03	13	
	-	45,9	-	70,2	1,5	44	45,6	71	1,5	0,03	13	
	49,5	-	-	69,2	1,5	44	49,5	71	1,5	0,03	13	
	49,5	-	-	69,2	1,5	44	49,5	71	1,5	0,03	13	
	57,4	-	79,6	-	1,5	46	-	89	1,5	0,035	12	
	40	43,2	-	-	49,3	0,3	42	43	50	0,3	0,015	15
		43,2	-	48,1	-	0,3	42	-	50	0,3	0,015	15
46,9		-	-	57,3	0,6	43,2	46,8	58	0,6	0,02	16	
46,9		-	-	57,3	0,6	43,2	46,8	58	0,6	0,02	16	
46,9		-	55,6	-	0,6	43,2	-	58	0,6	0,02	16	
49,4		-	58,6	-	0,3	42	-	66	0,3	0,02	16	
49,2		-	-	61,1	1	44,6	-	63	1	0,025	15	
49,2		-	-	61,1	1	44,6	49,2	63	1	0,025	15	
49,2		-	-	61,1	1	44,6	49,2	63	1	0,025	15	
49,2		-	-	61,1	1	44,6	49,2	63	1	0,025	15	
49,2		-	-	61,1	1	44,6	49,2	63	1	0,025	15	
52,6		-	-	69,8	1,1	47	-	73	1	0,025	14	
-		49,1	-	71,5	1,1	47	48,8	73	1	0,025	14	
52,6		-	-	69,8	1,1	47	52	73	1	0,025	14	
52,6		-	-	69,8	1,1	47	52	73	1	0,025	14	
52		-	68,8	-	1,1	47	-	73	1	0,025	13	
52,6		-	-	69,8	1,1	47	52	73	1	0,025	14	
56,1		-	-	77,7	1,5	49	-	81	1,5	0,03	13	
-		52,3	-	78,6	1,5	49	52	81	1,5	0,03	13	
56,1		-	-	77,7	1,5	49	56	81	1,5	0,03	13	
56,1	-	-	77,7	1,5	49	56	81	1,5	0,03	13		
56,1	-	-	77,7	1,5	49	56	81	1,5	0,03	13		
62,8	-	87	-	2	53	-	97	2	0,035	12		

Anexo B-14 Cálculo de la viscosidad nominal ν_1

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF



Anexo B-15 Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

Tabla 5

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448

Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	min.	máx.
—	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Anexo B-16 Valores orientativos para el factor n_c para distintos niveles de contaminación

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

Tabla 6

Valores orientativos para el factor n_c para distintos niveles de contaminación

Condiciones	Factor $n_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro $d_m < 100$		$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1		1
Gran limpieza • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6		0,9 ... 0,8
Limpieza normal • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5		0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3		0,6 ... 0,4
Contaminación típica • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1		0,4 ... 0,2
Contaminación severa • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0		0,1 ... 0
Contaminación muy severa • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de n_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0		0

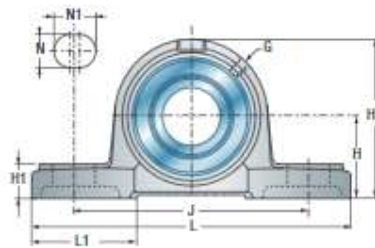
Anexo B-17 Soportes autolineantes en fundición / chapa de acero

Fuente: Catálogo de soportes autolineantes NTN

SNR Soportes autoalineantes en fundición/chapa de acero

→ Soportes zócalo

P200
P300



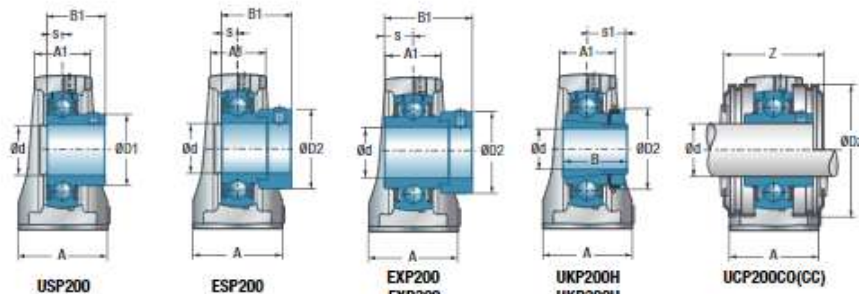
UCP200
UCP300

d mm	Denominación	Dimensiones principales [mm]													
		L	H	A1	A	J	N	N1	L1	H1	H2	s1	B	B1	s
35	UCP207	167	47,6	31	48	127	17	21	54	19	94	-	-	42,9	17,5
	USP207	167	47,6	31	48	127	17	21	54	19	94	-	-	32,0	8,5
	ESP207	167	47,6	31	48	127	17	21	54	19	94	-	-	38,9	9,5
	EXP207	167	47,6	31	48	127	17	21	54	19	94	-	-	51,1	18,8
	UKP208H	184	49,2	34	54	137	17	23	52	19	100	24,5	46,0	-	-
	UCP307	210	56,0	38	56	160	17	25	60	20	106	-	-	48,0	19,0
	EXP307	210	56,0	38	56	160	17	25	60	20	106	-	-	51,6	18,3
	UKP308H	220	60,0	42	60	170	17	27	60	22	116	27,5	46,0	-	-
40	UCP208	184	49,2	34	54	137	17	23	52	19	100	-	-	49,2	19,0
	USP208	184	49,2	34	54	137	17	23	52	19	100	-	-	34,0	9,0
	ESP208	184	49,2	34	54	137	17	23	52	19	100	-	-	43,7	11,0
	EXP208	184	49,2	34	54	137	17	23	52	19	100	-	-	56,3	21,4
	UKP209H	190	54,0	37	54	146	17	23	60	20	108	26,0	50,0	-	-
	UCP308	220	60,0	42	60	170	17	27	60	22	116	-	-	52,0	19,0
	EXP308	220	60,0	42	60	170	17	27	60	22	116	-	-	57,1	19,8
	UKP309H	245	67,0	45	67	190	20	30	65	24	129	30,0	50,0	-	-
45	UCP209	190	54,0	37	54	146	17	23	60	20	108	-	-	49,2	19,0
	USP209	190	54,0	37	54	146	17	23	60	20	108	-	-	41,2	10,2
	ESP209	190	54,0	37	54	146	17	23	60	20	108	-	-	43,7	11,0
	EXP209	190	54,0	37	54	146	17	23	60	20	108	-	-	56,3	21,4
	UKP210H	206	57,2	39	60	159	20	25	65	22	114	27,5	55,0	-	-
	UCP309	245	67,0	45	67	190	20	30	65	24	129	-	-	57,0	22,0
	EXP309	245	67,0	45	67	190	20	30	65	24	129	-	-	58,7	19,8
	UKP310H	275	75,0	48	75	212	20	35	75	27	143	32,0	55,0	-	-
50	UCP210	206	57,2	39	60	159	20	25	65	22	114	-	-	51,6	19,0
	USP210	206	57,2	39	60	159	20	25	65	22	114	-	-	43,5	10,9
	ESP210	206	57,2	39	60	159	20	25	65	22	114	-	-	43,7	11,0
	EXP210	206	57,2	39	60	159	20	25	65	22	114	-	-	62,7	24,6
	UKP211H	219	63,5	40	60	171	20	25	70	22	126	29,0	59,0	-	-
	UCP310	275	75,0	48	75	212	20	35	75	27	143	-	-	61,0	22,0
	EXP310	275	75,0	48	75	212	20	35	75	27	143	-	-	66,6	24,6
	UKP311H	310	80,0	51	80	236	20	38	85	30	154	34,0	59,0	-	-
55	UCP211	219	63,5	40	60	171	20	25	70	22	126	-	-	55,6	22,2
	USP211	219	63,5	40	60	171	20	25	70	22	126	-	-	45,3	11,8

Anexo B-18 Continuación soportes autolineantes en fundición / chapa de acero

Fuente: Catálogo de soportes autolineantes NTN

* - Equipado de dos tapones de protección para eje pasante: sufijo CO o COE
 ** - Equipado de un tapón abierto y de un tapón cerrado en los extremos de eje: sufijo CC o CCE



Dimensiones principales [mm]					Cuerpos de soportes	Rodamiento inserto	Tapón de protección abierto*	Tapón de protección cerrado**	Capacidad dinámica	Capacidad estática	Peso	Diámetro del eje	
D1	D2	G	Z	Dz									C _T [kN]
48,0	-	M6x1	60,0	80,0	P207	UC207G2	CO	CC	25,70	15,20	1,8	35	
48,0	-	M6x1	60,0	80,0	P207	US207G2	CO	CC	25,70	15,20	1,7		
-	55,6	M6x1	78,6	80,0	P207	ES207G2	COE	CCE	25,70	15,20	1,8		
-	55,6	M6x1	78,6	80,0	P207	EX207G2	COE	CCE	25,70	15,20	1,9		
-	58,0	M6x1	69,0	88,0	P208	UK208G2H	CO	CC	29,60	18,20	2,2		
48,9	-	M6x1	-	-	P307	UC307G2	-	-	33,50	19,20	2,6		
-	55,0	M6x1	-	-	P307	EX307G2	-	-	33,50	19,20	2,7		
-	58,0	M6x1	-	-	P308	UK308G2H	-	-	40,56	24,00	3,4		
53,0	-	M6x1	69,0	88,0	P208	UC208G2	CO	CC	29,60	18,20	2,1		40
53,0	-	M6x1	69,0	88,0	P208	US208G2	CO	CC	29,60	18,20	2,1		
-	60,3	M6x1	81,2	88,0	P208	ES208G2	COE	CCE	29,60	18,20	2,1		
-	60,3	M6x1	81,2	88,0	P208	EX208G2	COE	CCE	29,60	18,20	2,3		
-	65,0	M6x1	69,0	95,0	P209	UK209G2H	CO	CC	31,85	20,80	2,5		
56,5	-	M6x1	-	-	P308	UC308G2	-	-	40,56	24,00	3,3		
-	63,5	M6x1	-	-	P308	EX308G2	-	-	40,56	24,00	3,5		
-	65,0	M6x1	-	-	P309	UK309G2H	-	-	53,00	31,80	4,8		
57,2	-	M6x1	69,0	95,0	P209	UC209G2	CO	CC	31,85	20,80	2,4	45	
57,2	-	M6x1	69,0	95,0	P209	US209G2	CO	CC	31,85	20,80	2,4		
-	63,5	M6x1	83,2	95,0	P209	ES209G2	COE	CCE	31,85	20,80	2,4		
-	63,5	M6x1	83,2	95,0	P209	EX209G2	COE	CCE	31,85	20,80	2,6		
-	70,0	M6x1	76,0	100,0	P210	UK210G2H	CO	CC	35,10	23,20	3,1		
61,8	-	M6x1	-	-	P309	UC309G2	-	-	53,00	31,80	4,6		
-	70,0	M6x1	-	-	P309	EX309G2	-	-	53,00	31,80	4,7		
-	70,0	M6x1	-	-	P310	UK310G2H	-	-	62,00	37,80	6,2		
61,8	-	M6x1	76,0	100,0	P210	UC210G2	CO	CC	35,10	23,20	3,0		50
61,8	-	M6x1	76,0	100,0	P210	US210G2	CO	CC	35,10	23,20	2,9		
-	69,9	M6x1	91,4	100,0	P210	ES210G2	COE	CCE	35,10	23,20	3,0		
-	69,9	M6x1	91,4	100,0	P210	EX210G2	COE	CCE	35,10	23,20	3,2		
-	75,0	M6x1	77,0	110,0	P211	UK211G2H	CO	CC	43,55	29,20	3,7		
68,7	-	M6x1	-	-	P310	UC310G2	-	-	62,00	37,80	6,1		
-	76,2	M6x1	-	-	P310	EX310G2	-	-	62,00	37,80	6,3		
-	75,0	M6x1	-	-	P311	UK311G2H	-	-	71,50	44,80	7,9		
69,0	-	M6x1	77,0	110,0	P211	UC211G2	CO	CC	43,55	29,20	3,7	55	
69,0	-	M6x1	77,0	110,0	P211	US211G2	CO	CC	43,55	29,20	3,6		

Anexo B-19 Propiedades de los aceros

Fuente: Norma AISI (American Iron and Steel Institute)

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
4150	Recocido	106	731	55	379	20	197
4150	OQT 400	300	2070	248	1710	10	578
4150	OQT 700	247	1700	229	1580	10	495
4150	OQT 1000	197	1360	181	1250	11	401
4150	OQT 1300	127	880	116	800	20	262
4340	Recocido	108	745	68	469	22	217
4340	OQT 400	283	1950	228	1570	11	555
4340	OQT 700	230	1590	206	1420	12	461
4340	OQT 1000	171	1180	158	1090	16	363
4340	OQT 1300	140	965	120	827	23	280
5140	Recocido	83	572	42	290	29	167
5140	OQT 400	276	1900	226	1560	7	534
5140	OQT 700	220	1520	200	1380	11	429
5140	OQT 1000	145	1000	130	896	18	302
5140	OQT 1300	104	717	83	572	27	207
5150	Recocido	98	676	52	359	22	197
5150	OQT 400	312	2150	250	1720	8	601
5150	OQT 700	240	1650	220	1520	10	461
5150	OQT 1000	160	1100	149	1030	15	321
5150	OQT 1300	116	800	102	700	22	241
5160	Recocido	105	724	40	276	17	197
5160	OQT 400	322	2220	260	1790	4	627
5160	OQT 700	263	1810	237	1630	9	514
5160	OQT 1000	170	1170	151	1040	14	341
5160	OQT 1300	115	793	100	690	23	229
6150	Recocido	96	662	59	407	23	197
6150	OQT 400	315	2170	270	1860	7	601
6150	OQT 700	247	1700	223	1540	10	495
6150	OQT 1000	183	1260	173	1190	12	375
6150	OQT 1300	118	814	107	738	21	241
8650	Recocido	104	717	56	386	22	212
8650	OQT 400	282	1940	250	1720	11	555
8650	OQT 700	240	1650	222	1530	12	495
8650	OQT 1000	176	1210	155	1070	14	363
8650	OQT 1300	122	841	113	779	21	255
8740	Recocido	100	690	60	414	22	201
8740	OQT 400	290	2000	240	1650	10	578
8740	OQT 700	228	1570	212	1460	12	461
8740	OQT 1000	175	1210	167	1150	15	363
8740	OQT 1300	119	820	100	690	25	241
9255	Recocido	113	780	71	490	22	229
9255	Q&T 400	310	2140	287	1980	2	601
9255	Q&T 700	260	1790	240	1650	5	534
9255	Q&T 1000	181	1250	160	1100	14	352
9255	Q&T 1300	130	896	102	703	21	262

Anexo B-20 Continuación propiedades de los aceros

Fuente: Norma AISI (American Iron and Steel Institute)

PROPIEDADES DE LOS ACEROS AL CARBON Y CON ALEACIONES							
Número de designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
1020	Rolado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Extruido en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Rolado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Extruido en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Rolado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Extruido en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Rolado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Extruido en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Rolado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Extruido en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Rolado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Extruido en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Rolado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Extruido en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Rolado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Extruido en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235

Anexo B-21 Factor de superficie “ka”

Fuente: (Shigley, 2011)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Anexo B-22 Factor de temperatura “kd”

Fuente: (Shigley, 2011)

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Anexo B-23 Factor de confiabilidad “ke”

Fuente: (Shigley, 2011)

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Anexo B-24 Factor de diseño

Fuente: (Mott, 2016)

1. $N = 1.25$ a 2.0 . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2. $N = 2.0$ a 2.5 . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.
3. $N = 2.5$ a 4.0 . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4. $N = 4.0$ o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

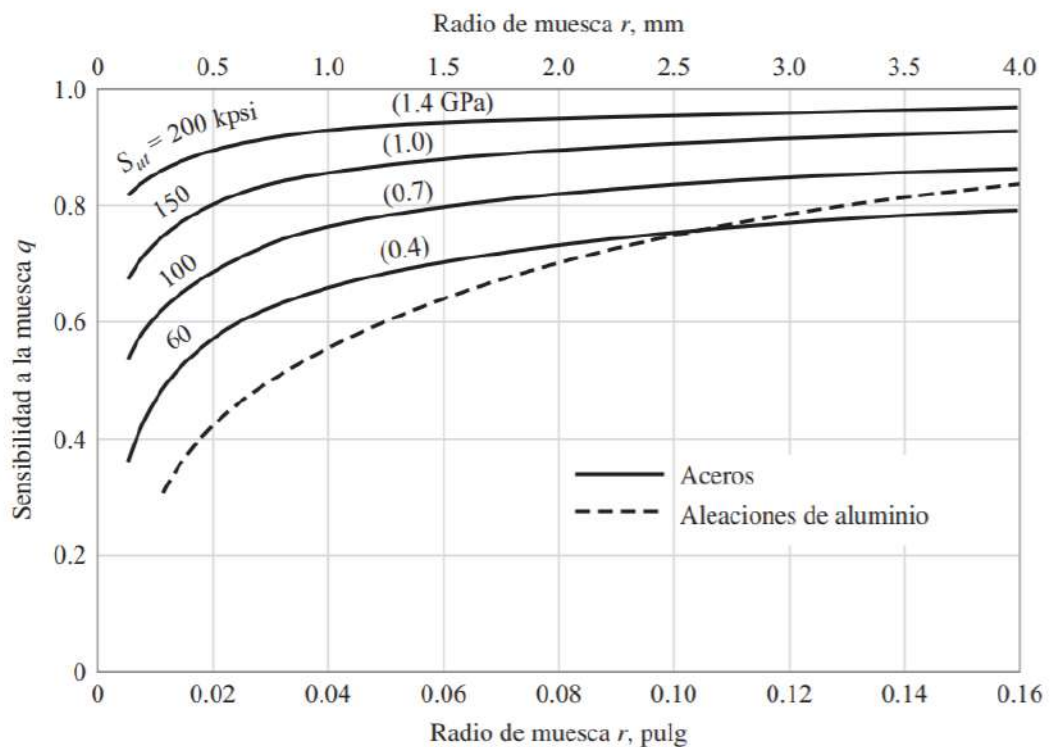
Anexo B-25 Factores de concentración de esfuerzos

Fuente: (Shigley, 2011)

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

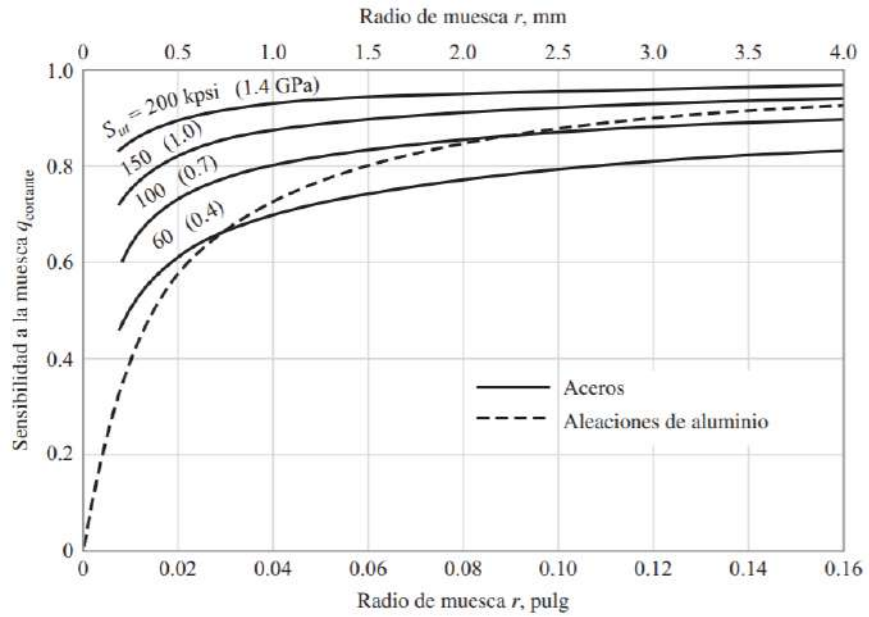
Anexo B-26 Sensibilidad a la muesca

Fuente: (Shigley, 2011)



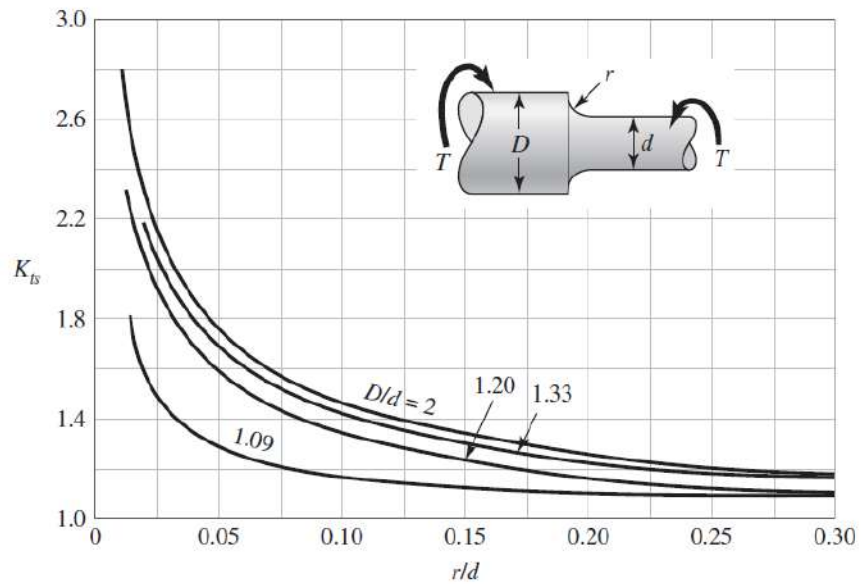
Anexo B-27 Continuación sensibilidad a la muesca

Fuente: (Shigley, 2011)



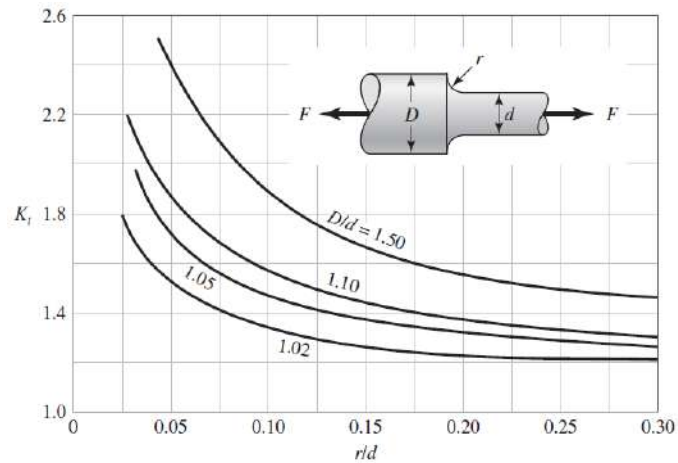
Anexo B-28 Factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo en torsión

Fuente: (Shigley, 2011)



Anexo B-29 Factor de concentración de esfuerzos debido al redondeo por fuerza axial

Fuente: (Shigley, 2011)



Anexo B-30 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

Fuente: (Mott, 2006)

TABLA 11-1 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
		Ancho, W	Alura, H	
Más de	Hasta (incl.)		Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 1/4	1/4	1/4	3/16
1 1/4	1 1/2	5/16	5/16	1/4
1 1/2	1 3/4	3/8	3/8	1/4
1 3/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	7/16
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8
3 3/4	4 1/4	1	1	3/4
4 1/4	5 1/4	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/4	6 1/4	1 1/2	1 1/2	1
6 1/4	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/4
7 1/2	9	2	2	1 1/2
9	11	2 1/2	2 1/2	1 3/4
11	13	3	3	2
13	15	3 1/2	3 1/2	2 1/4
15	18	4		3
18	22	5		3 1/2
22	26	6		4
26	30	7		5

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Nota: Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

Anexo B-31 Tubería galvanizada HG

Fuente: Manual de tubería galvanizada, hierros AG



Cañería GALVANIZADA							
Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro Exterior (pulg)	Ligero	Ligero	Mediana	Mediana	Cedula 40	Cedula 40
		Espesor (pulg)	Peso teórico (pulg)	Espesor (pulg)	Peso teórico nom. (lb)	Espesor (pulg)	Peso teórico (lb)
1/2	0.840	0.075	13.48	0.094	16.66	0.114	19.94
3/4	1.050	0.087	19.29	0.094	20.69	0.114	23.90
1	1.315	0.094	25.79	0.114	30.86	0.142	38.42
1 1/4	1.660	0.094	33.02	0.114	38.99	0.142	48.95
1 1/2	1.900	0.106	42.10	0.114	44.75	0.142	55.99
2	2.375	0.106	52.96	0.134	65.72	0.157	77.83
2 1/2	2.875	0.118	71.10	0.134	80.07	0.197	117.62
3	3.500	0.118	87.18	0.142	103.81	0.217	158.20
4	4.500	0.134	127.26	0.161	151.68	0.236	220.79

Anexo B-32 Láminas de acero en caliente

Fuente: Manual de láminas de acero, Ternium

Tabla 2. Láminas de Acero Laminadas en Caliente														
Calidades más comunes		Composición Química							Propiedades Mecánicas			Aplicaciones más frecuentes		
		L	C	Mn	P	S	Si	CU	Límite Elástico	Resistencia a la Tracción	% Alar			
ASTM	JIS G 3141	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)	(x 100)						
A-36	ST 33 - 1.2	Min		80.0	-	-	15.0	-	23 Kg/mm ²	-	41 Kg/mm ²	400MPa	20	Estructuras metálicas en general
		Max	25.0	130.0	4.0	4.0	30.0	35.0	25 Kg/mm ²	250MPa	56 Kg/mm ²	550MPa	23	
A-363 GR C	RST 37 - 1.2	Min		50.0	-	-	7.0	-	-	-	39 Kg/mm ²	360MPa	20	Tanques de almacenamiento
		Max	19.0	90.0	3.5	3.5	35.0	30.0	21 Kg/mm ²	205MPa	46 Kg/mm ²	450MPa	23	
A-131 GR A	RST 34 - 1.2	Min	-	53.0	-	-	-	-	-	-	41 Kg/mm ²	400MPa	21	Construcción naval en general
		Max	21.0	-	4.0	4.0	50.4	-	23 Kg/mm ²	235MPa	50 Kg/mm ²	480MPa	24	

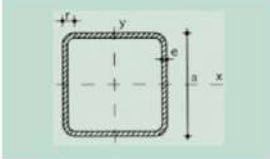
Anexo B-33 Continuación láminas de acero en caliente

Fuente: Manual de láminas de acero, Ternium

Dimensiones y pesos de planchas comerciales		
Calibre	Espesor	Peso
Pulgadas	milímetros	kg/m ²
C16	1,50	11,78
C14	1,30	14,92
C12	2,50	19,63
C11	3,00	23,55
1/8"	3,17	24,88
-	4,00	31,40
-	4,50	35,33
3/16"	4,76	37,37
-	6,00	47,10
1/4"	6,35	49,65
5/16"	7,94	62,33
-	9,00	70,65
3/8"	9,53	74,81
-	13,00	94,20
1/2"	12,70	99,70
-	15,00	117,75
-	19,00	149,15
-	25,00	196,25
-	32,00	251,20
-	38,00	298,30
-	50,00	392,30
-	63,00	494,55
-	75,00	596,75
-	100,00	765,00

Anexo B-34 Perfiles huecos de acero estructural

Fuente: Tabla de perfiles metálicos (Mott, 2006)



r = Radio exterior de redondeo
 u = Perímetro
 A = Área de la sección
 S = Momento estático de media sección, respecto al eje X o Y
 I = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X o Y
 $W = \frac{S}{d}$: d. Módulo resistente de la sección, respecto al eje X o Y
 $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$: Radio de giro de la sección, respecto al eje X o Y
 J = Módulo de torsión de la sección








Perfil	Dimensiones				Términos de sección						Peso	
	a mm	e mm	r mm	u mm	A cm ²	S cm ³	I cm ⁴	W cm ³	i cm	J cm ⁴		p kg/m
# 40.2	40	2	5	151	2,90	2,04	6,60	3,40	1,53	11,3	2,28	P
# 40.3	40	3	8	147	4,13	2,80	9,01	4,51	1,48	15,6	3,24	P
# 40.4	40	4	10	143	5,21	3,40	10,50	5,26	1,42	18,9	4,09	P
# 45.2	45	2	5	171	3,30	2,63	9,94	4,42	1,74	16,3	2,59	C
# 45.3	45	3	8	167	4,73	3,65	13,40	5,95	1,68	22,9	3,71	C
# 45.4	45	4	10	163	6,01	4,49	15,90	7,07	1,63	28,2	4,72	C
# 50.2	50	2	5	191	3,70	3,30	13,90	5,57	1,94	22,7	2,91	P
# 50.3	50	3	8	187	5,33	4,62	19,00	7,59	1,89	32,0	4,18	P
# 50.4	50	4	10	183	5,81	5,73	22,90	9,15	1,83	39,9	5,35	P
# 55.2	55	2	5	211	4,10	4,04	18,90	6,86	2,14	30,5	3,22	C
# 55.3	55	3	8	207	5,93	5,70	25,90	9,43	2,09	43,4	4,66	C
# 55.4	55	4	10	203	7,61	7,12	31,60	11,50	2,04	54,5	5,97	C
# 60.2	60	2	5	231	4,50	4,86	24,80	8,28	2,35	39,9	3,53	P
# 60.3	60	3	8	227	6,53	6,89	34,40	11,50	2,30	57,1	5,13	P
# 60.4	60	4	10	223	8,41	8,66	42,30	14,10	2,24	72,2	6,60	P

Anexo B-35 Clases métricas de propiedad mecánica de pernos

Fuente: (Shigley, 2011)

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, ¹ MPa	Resistencia mínima a la tensión, ¹ MPa	Resistencia mínima a la fluencia, ¹ MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

Anexo B-36 Diámetros y área de roscas métricas de paso grueso

Fuente: (Shigley, 2011)

Tabla 8-1
Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino*

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259

Anexo B-37 Angulares

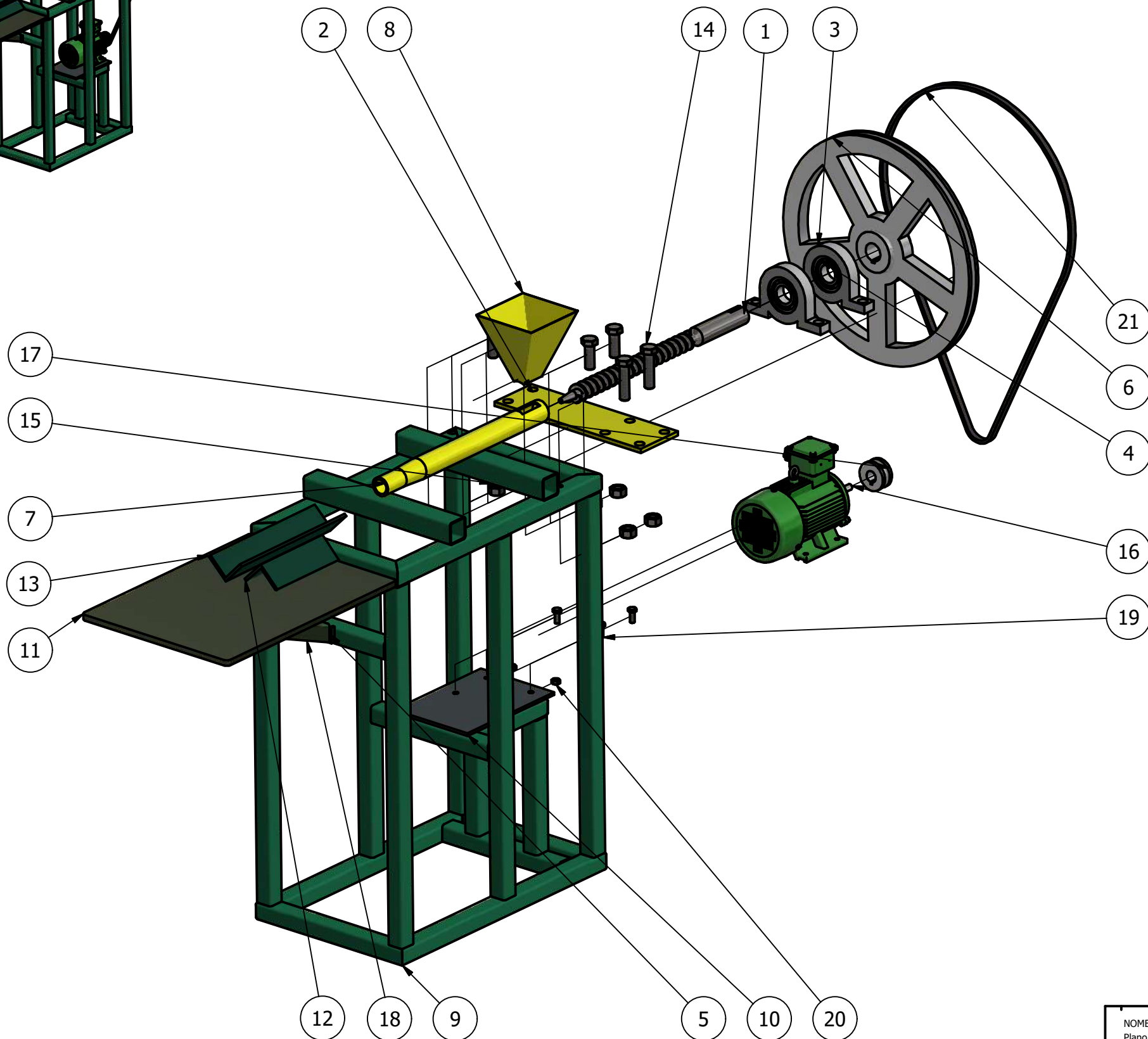
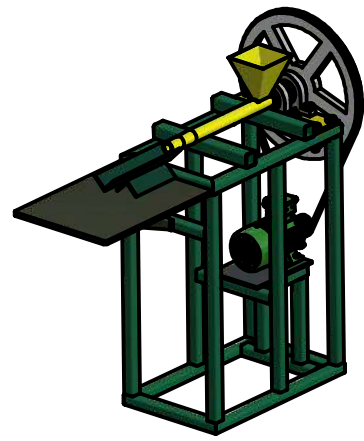
Fuente: (Catálogo DIPAC)

PERFILES ESTRUCTURALES
ANGULOS "L" DOBLADO
Especificaciones Generales

Norma: INEN 1 623-2000
Clase colada: Previa consulta
Longo nominal: 4.00 m
Clase largos: Previa consulta
Espesores: Desde 1.5 hasta 12 mm
Acabado: Natural
Clase acabado: Previa consulta

DIMENSIONES			PESOS									
A	B	e	e metros		SECCION		I _{X-X'}		I _{Y-Y'}		I _{X'Y'}	
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72	0.99	0.47	
25	25	3	6.30	1.06	1.35	0.78	0.44	0.76	0.77	0.98	0.44	
30	30	2	5.34	0.89	1.13	1.00	0.46	0.94	0.94	1.20	0.58	
30	30	3	7.80	1.30	1.85	1.41	0.67	0.92	0.89	1.18	0.55	
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88	0.92	0.94	1.17	0.52	
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09	1.61	0.78	
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14	1.59	0.76	
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.78	
40	40	5	16.62	2.82	3.56	5.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73	
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98	
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96	
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.56	1.43	1.98	0.94	
50	50	5	21.80	3.80	4.59	10.89	3.09	1.54	1.48	1.97	0.93	
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62	1.53	1.53	1.96	0.90	
60	60	3	16.28	2.71	3.45	12.37	2.64	1.89	1.64	2.41	1.16	
60	60	4	21.36	3.56	4.54	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.15	
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.86	1.73	2.38	1.13	
60	60	6	31.68	5.28	6.60	22.56	5.35	1.85	1.78	2.37	1.11	

C. Planos de máquina prensadora de briquetas (siguientes hojas)



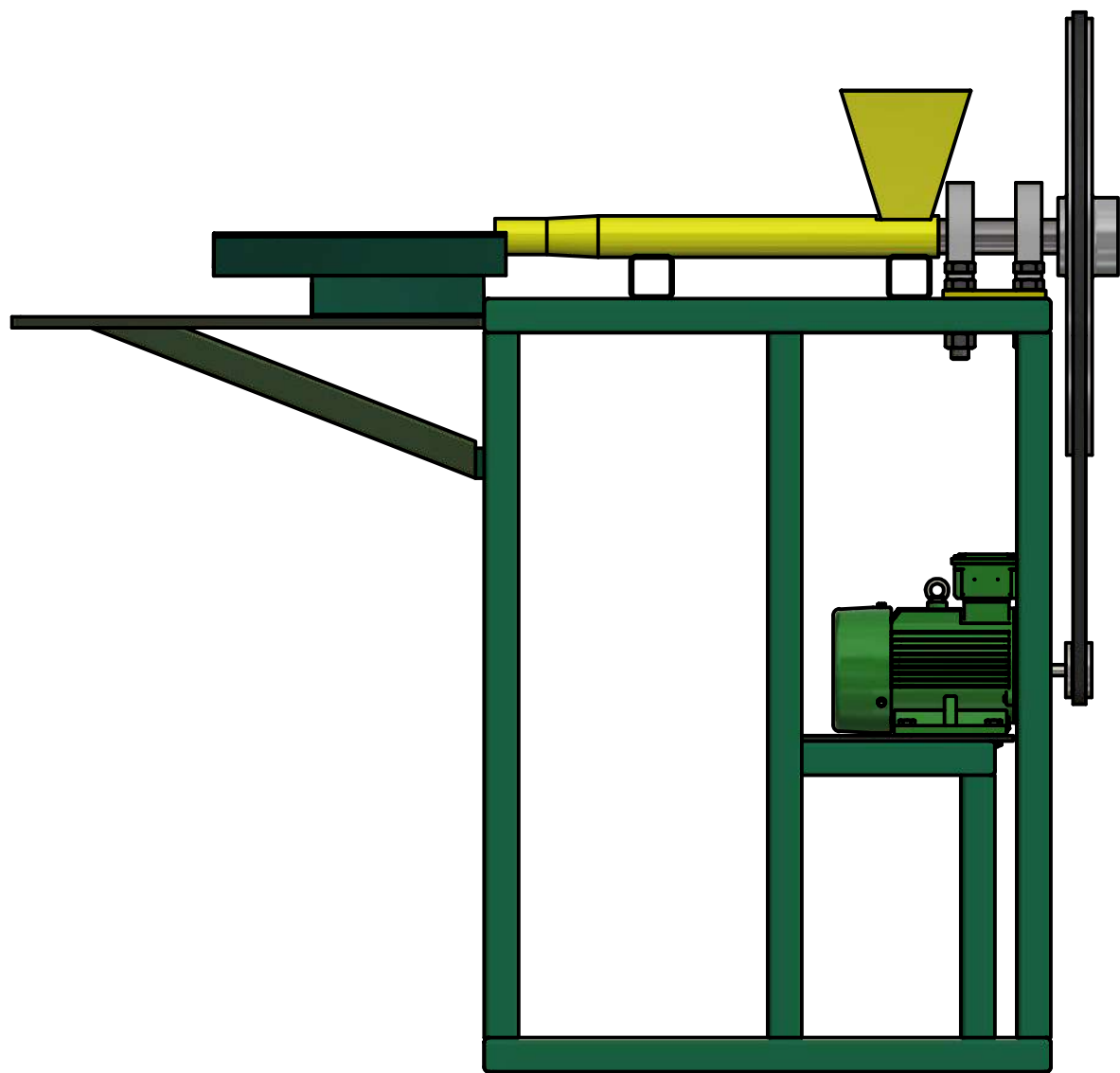
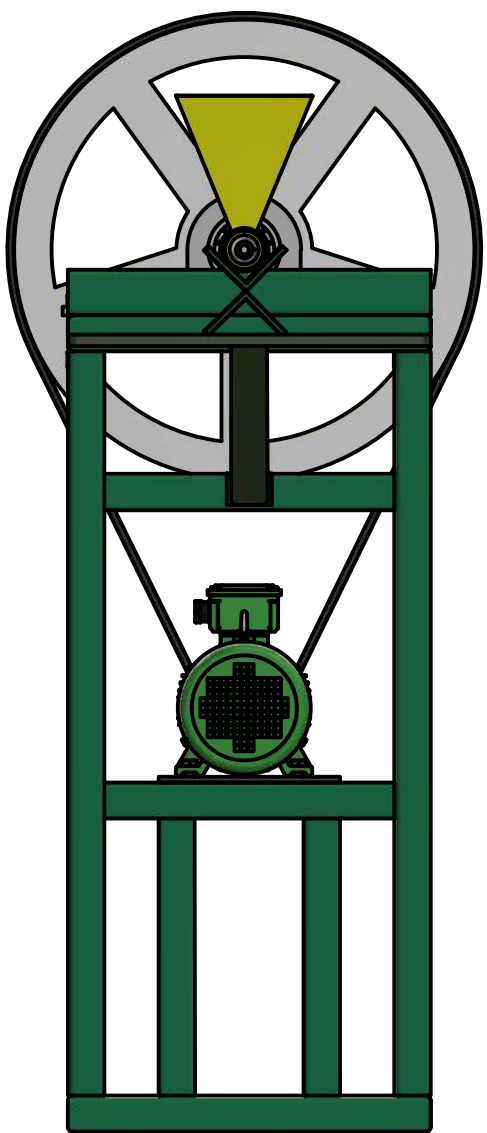
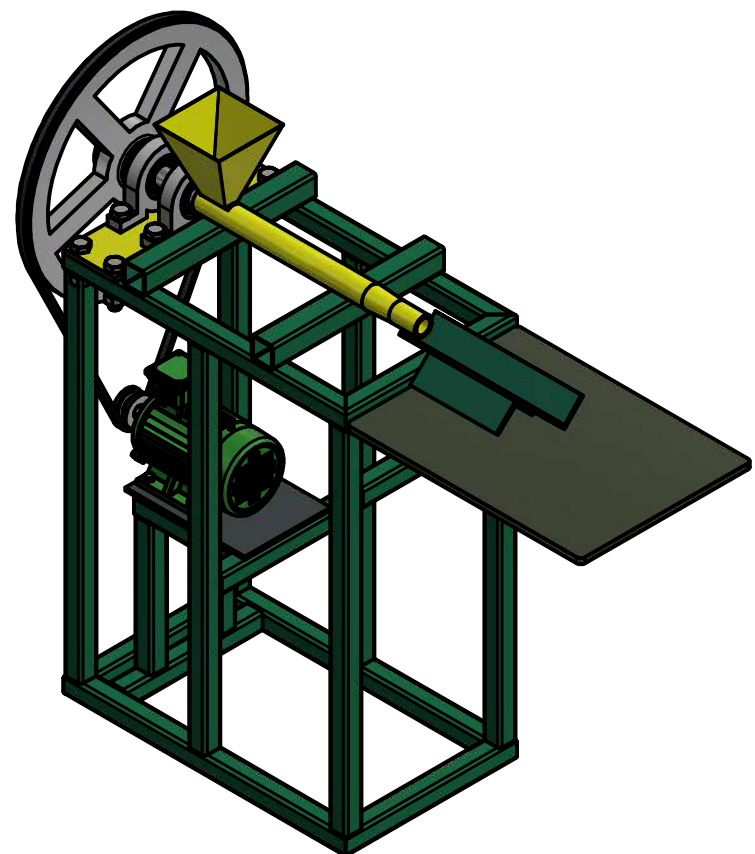
PARTS LIST		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE DE LA PIEZA
1	1	Tornillo SinFin
2	1	Base Cojinetes
3	2	Chumacera de Cojinete
4	2	Cojinete para Chumacera
5	1	U Soporte Bandeja
6	1	Polea Conducida
7	1	Tubo
8	1	Tolva
9	1	Estructura Metálica 40x40x2.9mm
10	1	Mesa Motor
11	1	Bandeja
12	1	Angular 2
13	1	Angular
14	8	PERNOS ISO 4017 - M20 x 80
15	8	ROLDANAS ISO 4032 - M20
16	1	Motor Electrico 2HP
17	1	Polea Conductora
18	1	Tubo de Hierro Diagonal 40x40x2.9mm
19	4	PERNOS ISO 4017 - M10 x 25
20	4	ROLDANAS ISO 4032 - M10
21	1	Faja 3V

NOMBRE PIEZA: Plano General Briquetadora NUMERO PIEZA: MATERIAL Y ESPECIFICACIONES:	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 0.1:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>	TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 1	NO. DE PÁGINA: 1	TOTAL DE PÁGS: 18

UVG
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
5595-1975

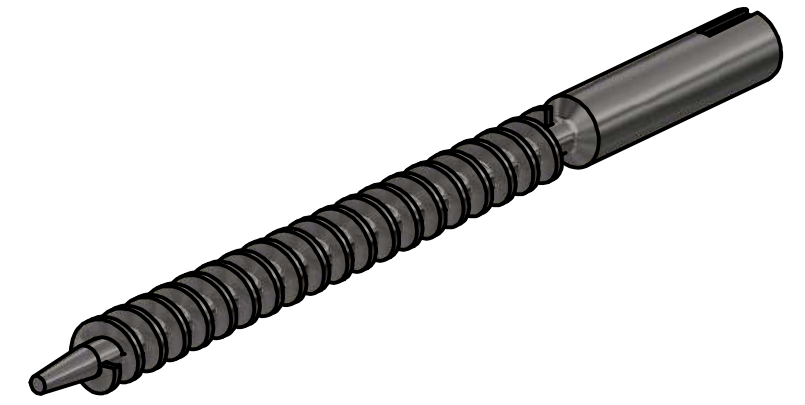
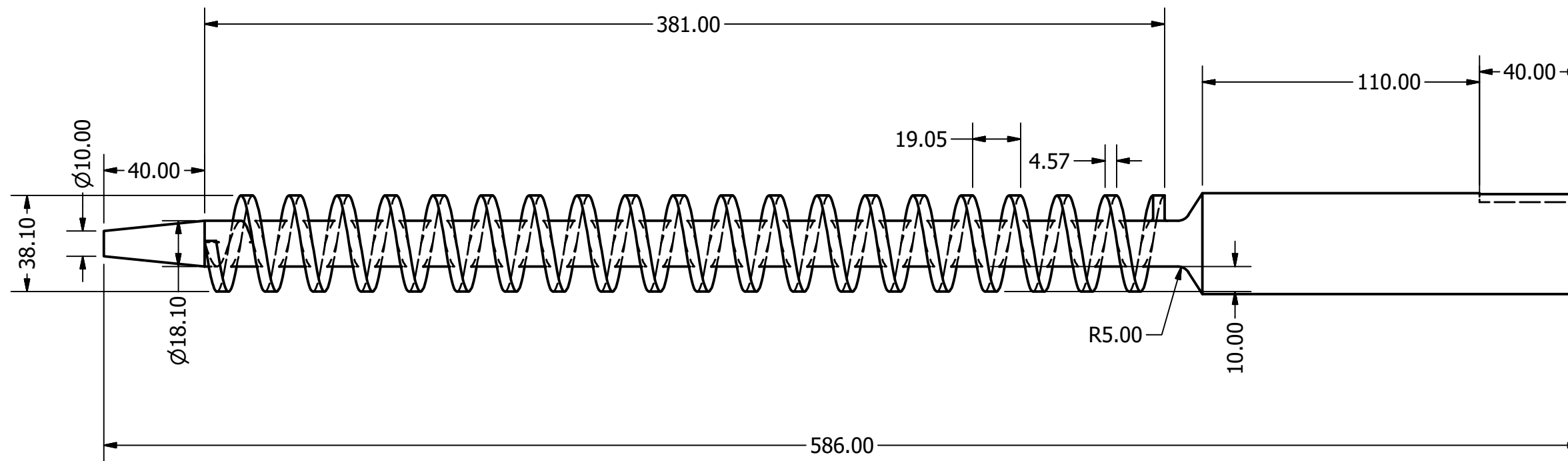


NOMBRE PIEZA: Vistas Máquina Briquetadora NUMERO PIEZA: MATERIAL Y ESPECIFICACIONES:	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 0.12:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>	TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 2	NO. DE PÁGINA: 2	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

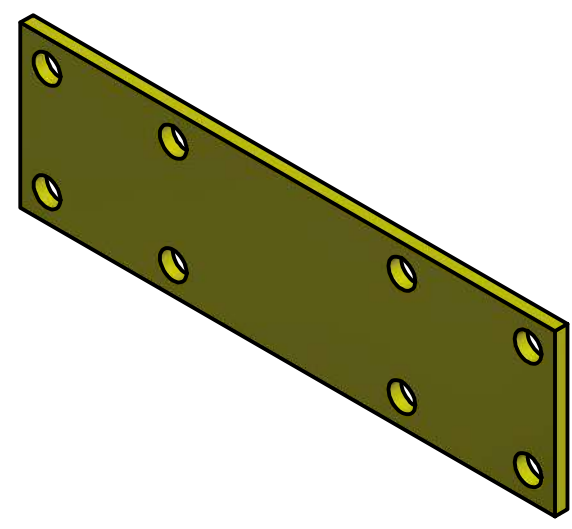
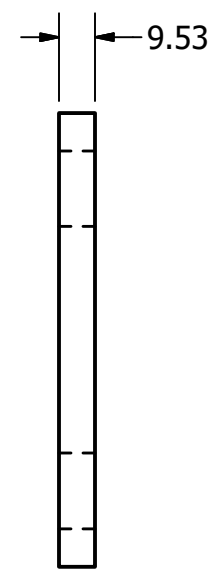
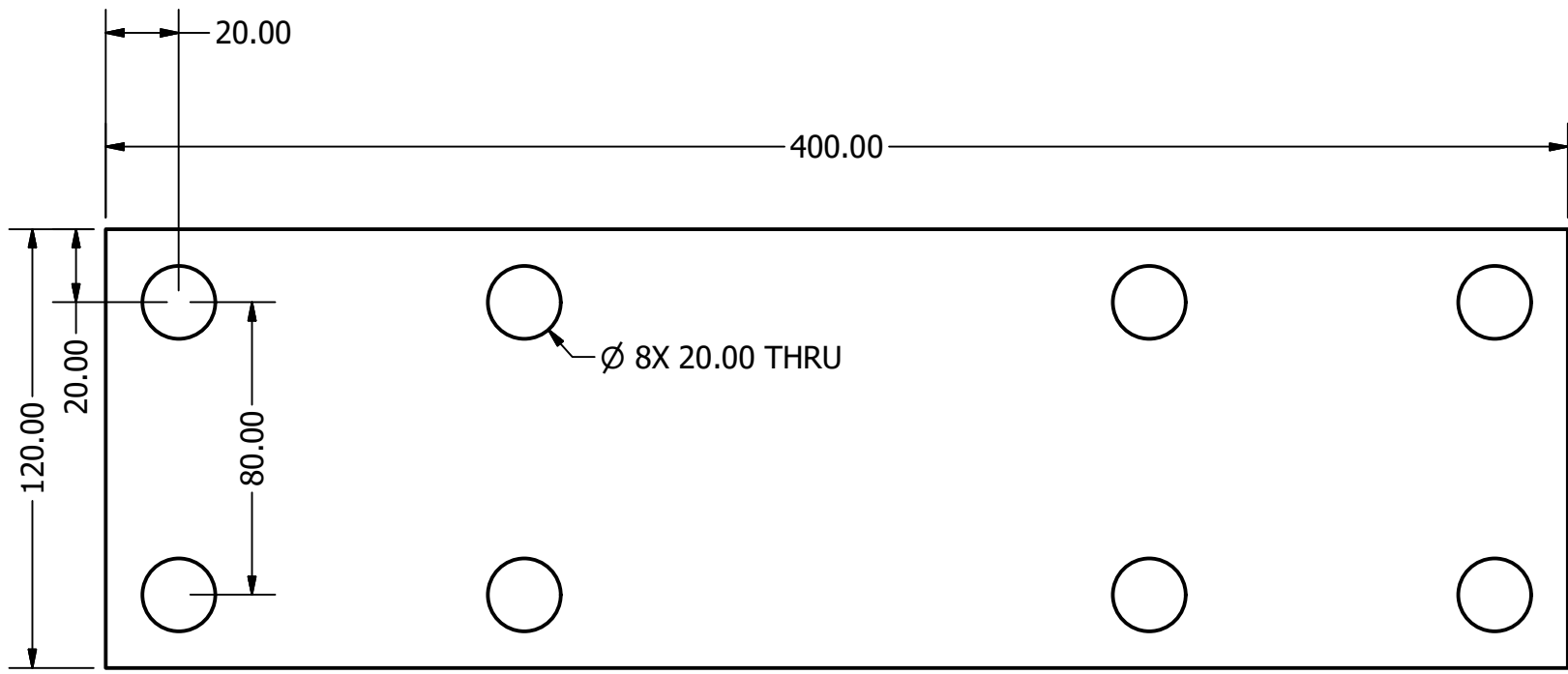
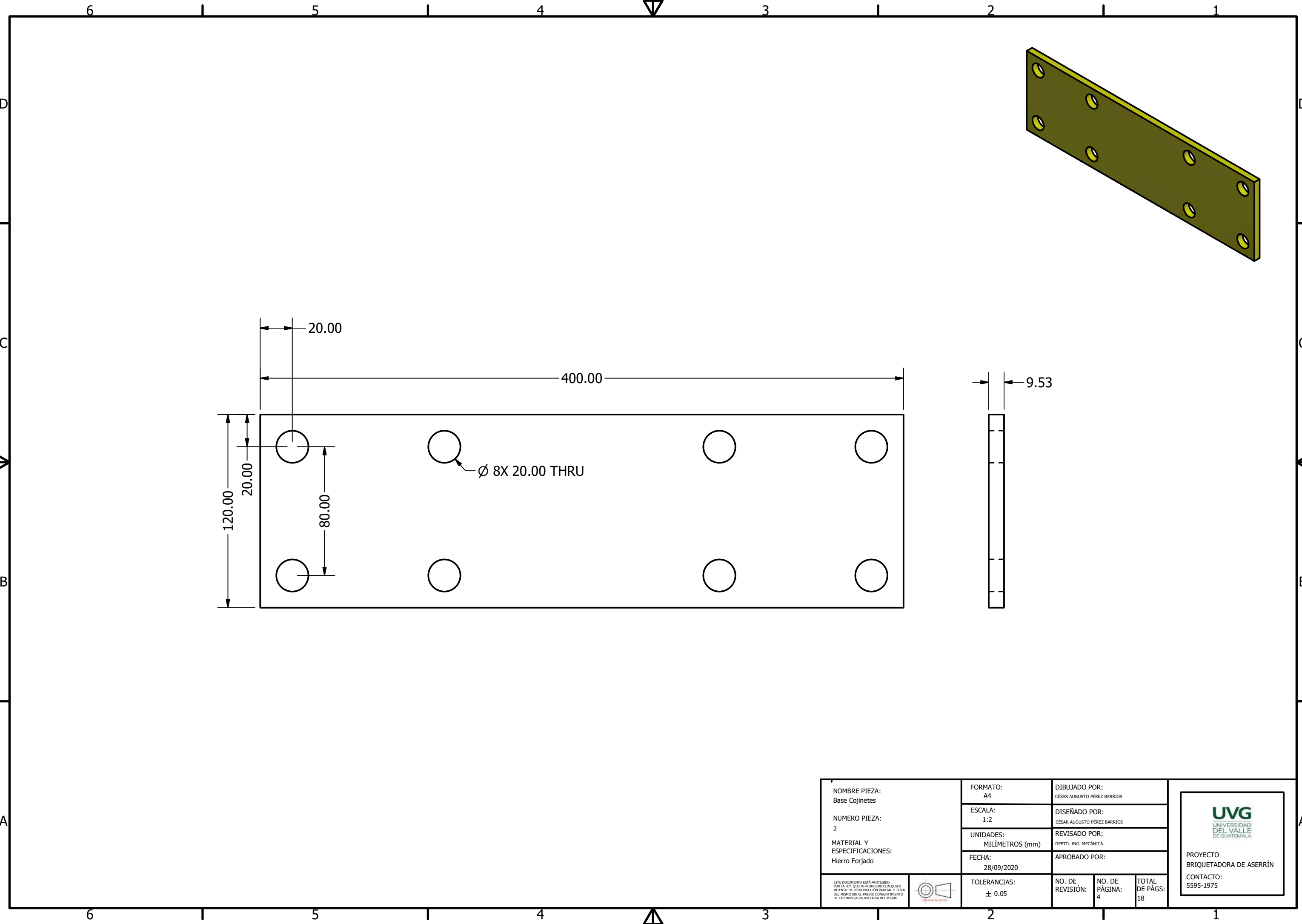
 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN


 CONTACTO:
 5595-1975



Diámetro Externo	38.10 mm
Paso de la Rosca	19.05 mm
Ángulo de Hélice	12.18°
Holgura	0.114 mm
Espesor del Filete	4.572 mm

NOMBRE PIEZA: Tornillo Sin Fin NUMERO PIEZA: 1 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Acero AISI 4140	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.		TOLERANCIAS: ± 0.11	NO. DE REVISIÓN: 3	NO. DE PÁGINA: 3	TOTAL DE PÁGS: 18
		PROYECTO BRIQUETADORA DE ASERRÍN CONTACTO: 5595-1975			

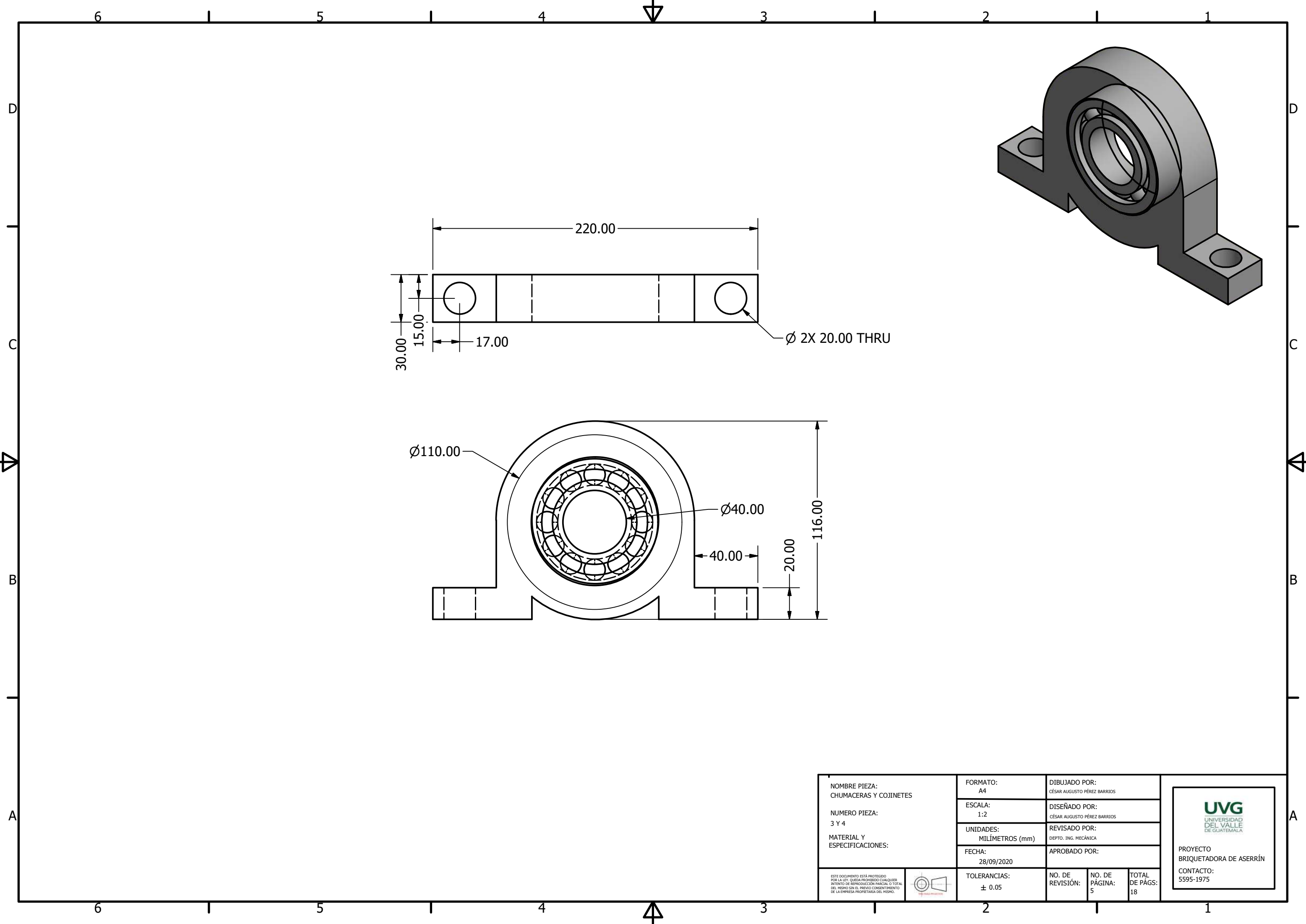


NOMBRE PIEZA: Base Cojinetes NUMERO PIEZA: 2 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small> 	TOLERANCIAS: ± 0.05	NO. DE REVISIÓN: 4	NO. DE PÁGINA: 4	TOTAL DE PÁGS: 18

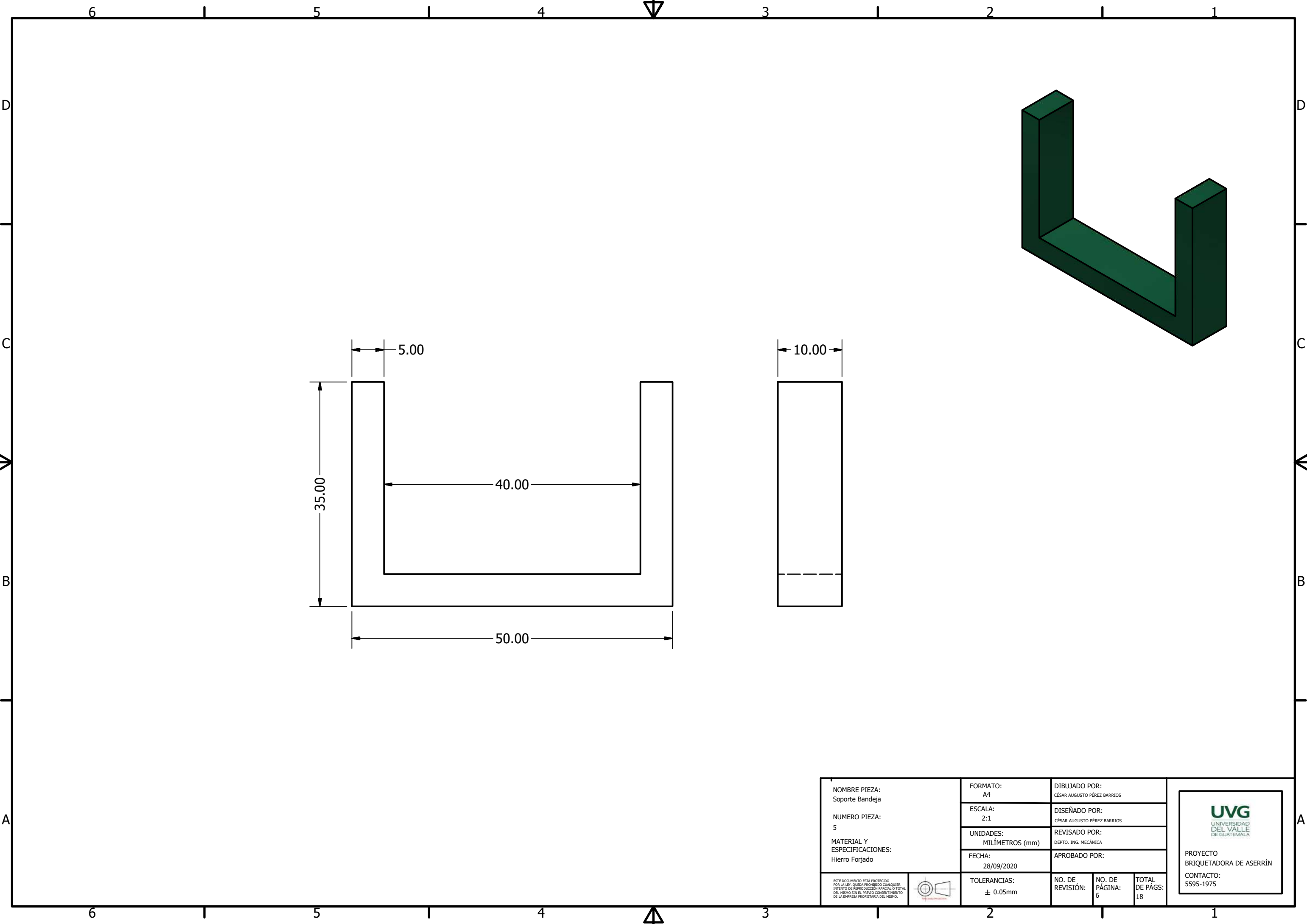

 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

 CONTACTO:
 5595-1975



NOMBRE PIEZA: CHUMACERAS Y COJINETES NUMERO PIEZA: 3 Y 4 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES:	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.		TOLERANCIAS: ± 0.05	NO. DE REVISIÓN: 5	NO. DE PÁGINA: 5	TOTAL DE PÁGS: 18
PROYECTO BRIQUETADORA DE ASERRÍN CONTACTO: 5595-1975					

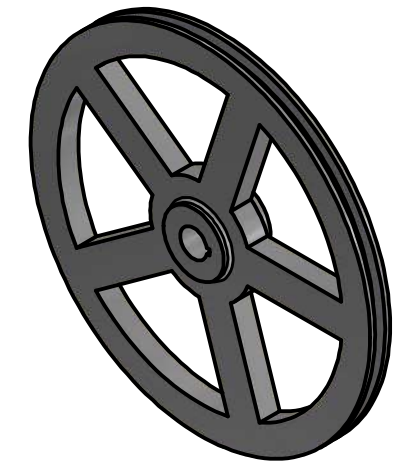
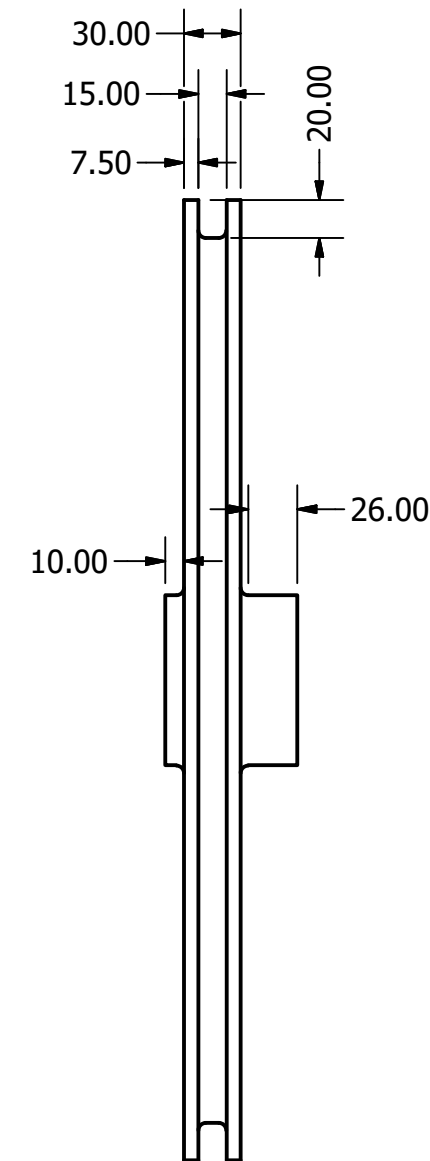
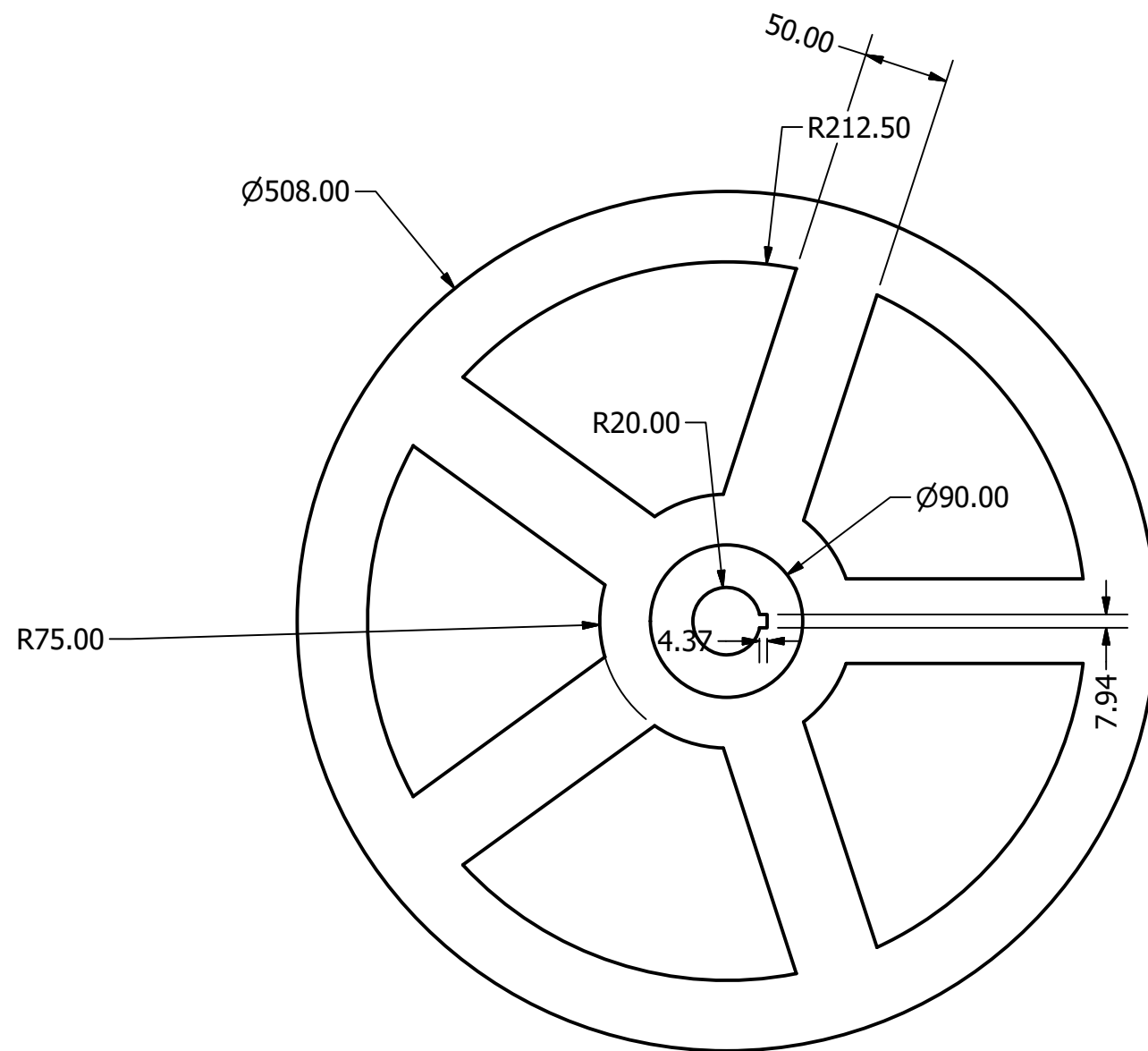


NOMBRE PIEZA: Soporte Bandeja NUMERO PIEZA: 5 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 2:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 6	NO. DE PÁGINA: 6	TOTAL DE PÁGS: 18

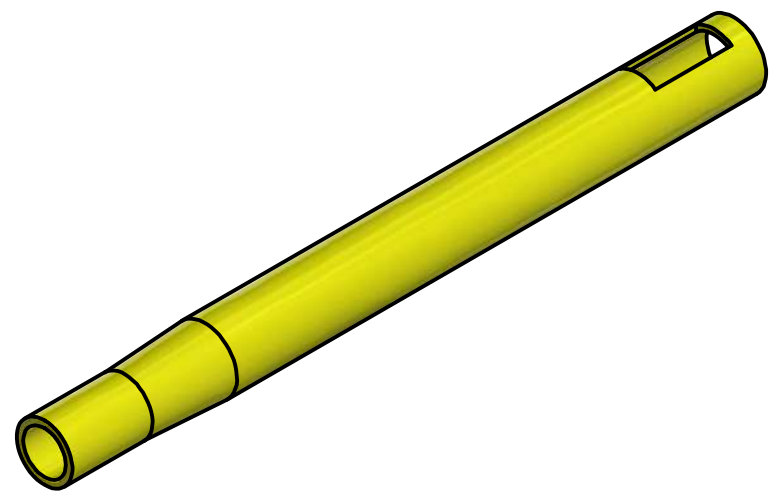
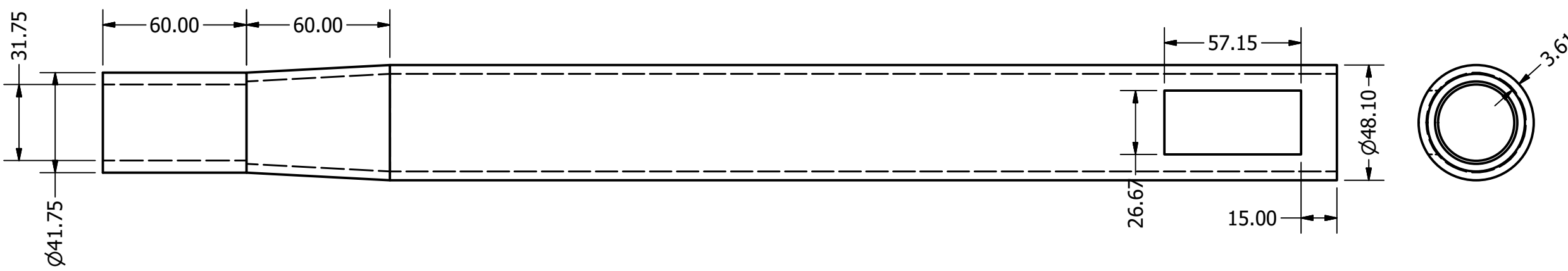

 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

 CONTACTO:
 5595-1975



NOMBRE PIEZA: Polea Conducida NUMERO PIEZA: 6 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Aluminio 6061	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:4	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 7	NO. DE PÁGINA: 7	TOTAL DE PÁGS: 18
					PROYECTO BRIQUETADORA DE ASERRÍN CONTACTO: 5595-1975

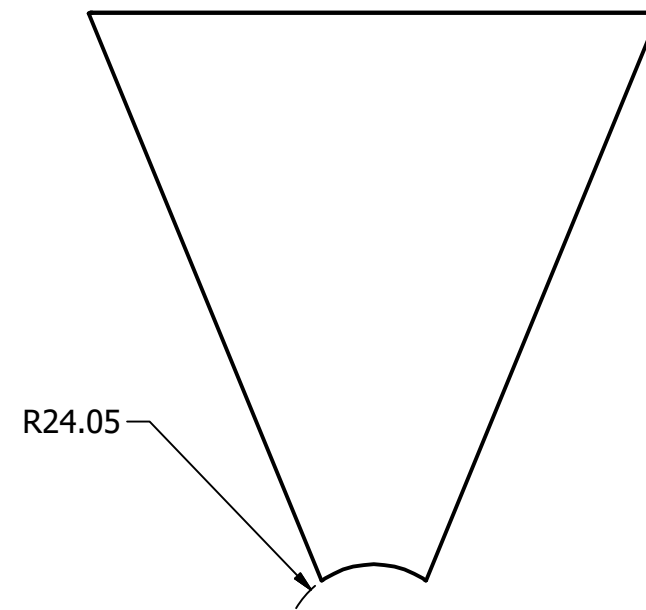
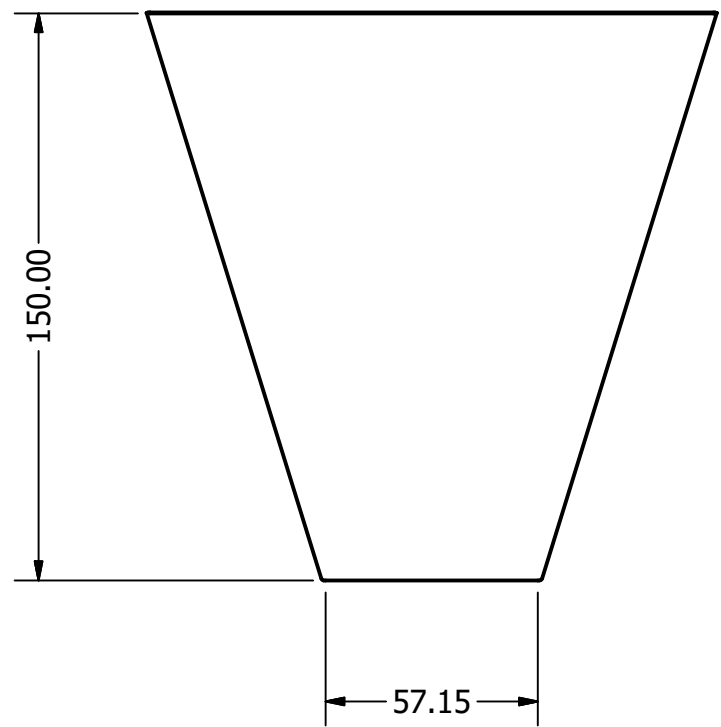
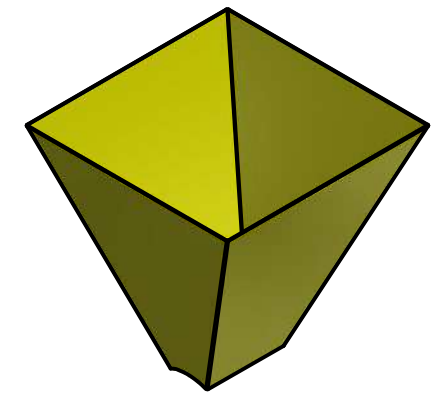
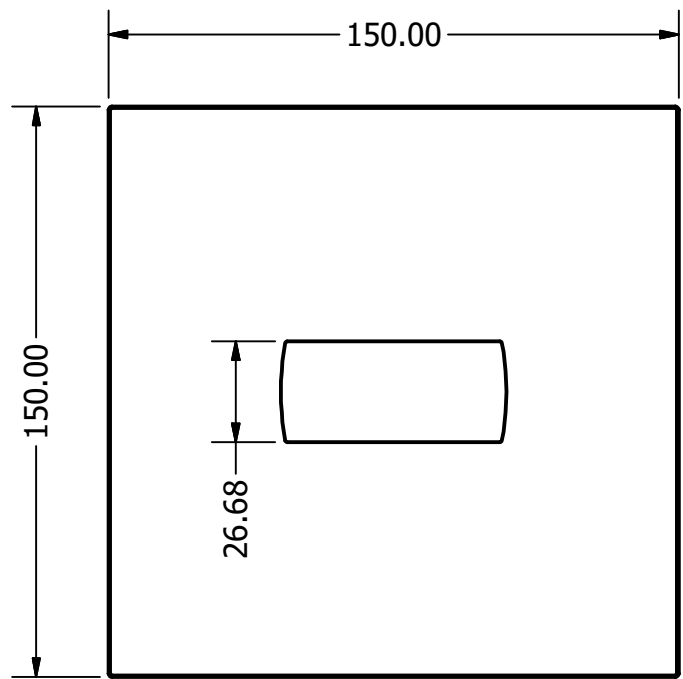


NOMBRE PIEZA: Cilindro o Tubo de Transporte NUMERO PIEZA: 7 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Acero Galvanizado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.11mm	NO. DE REVISIÓN: 8	NO. DE PÁGINA: 8	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
 5595-1975

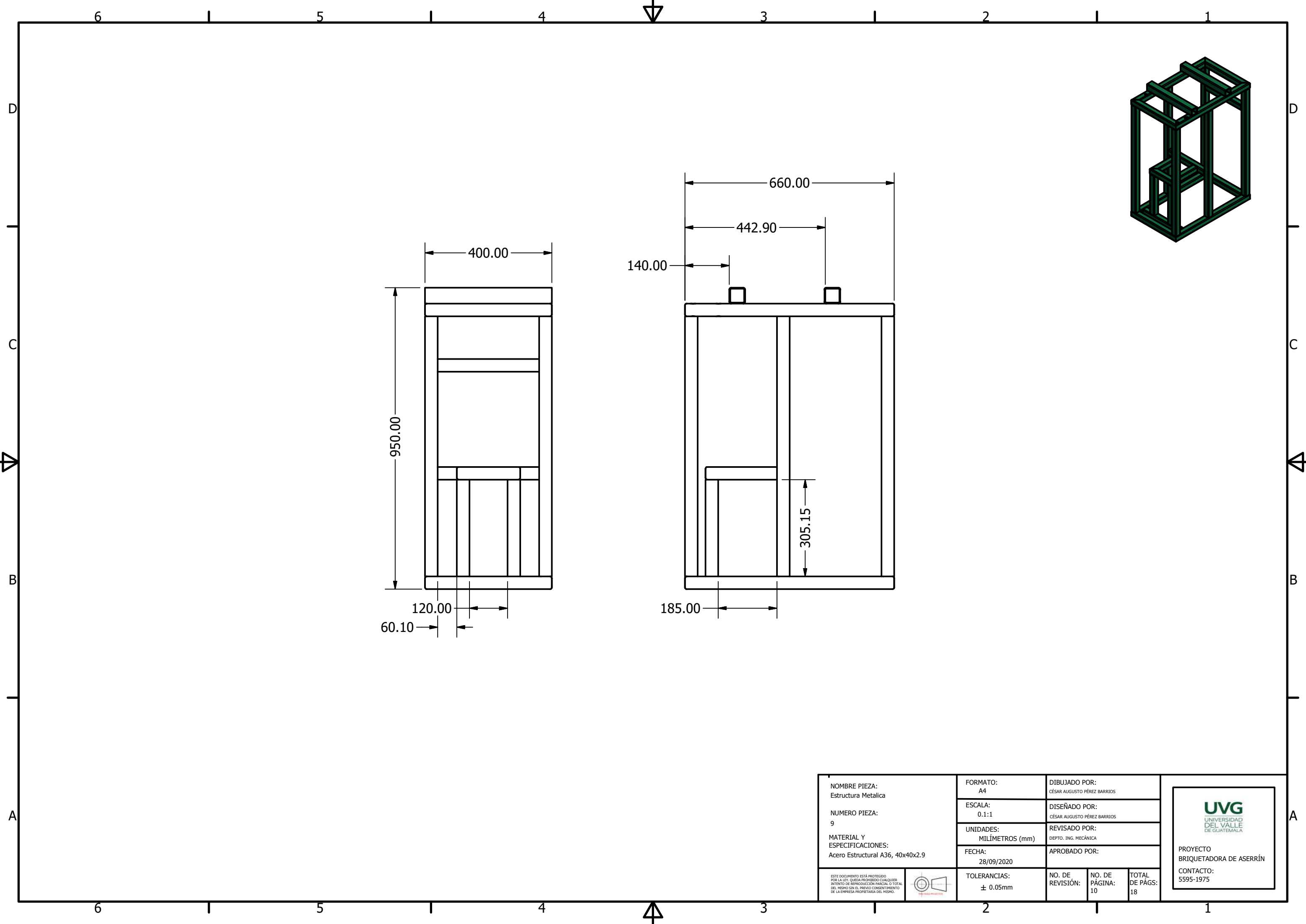


NOMBRE PIEZA: Tolva de Alimentacion NUMERO PIEZA: 8 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Lámina de Acero A36 Calibre 3/16pulg	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 9	NO. DE PÁGINA: 9	TOTAL DE PÁGS: 18

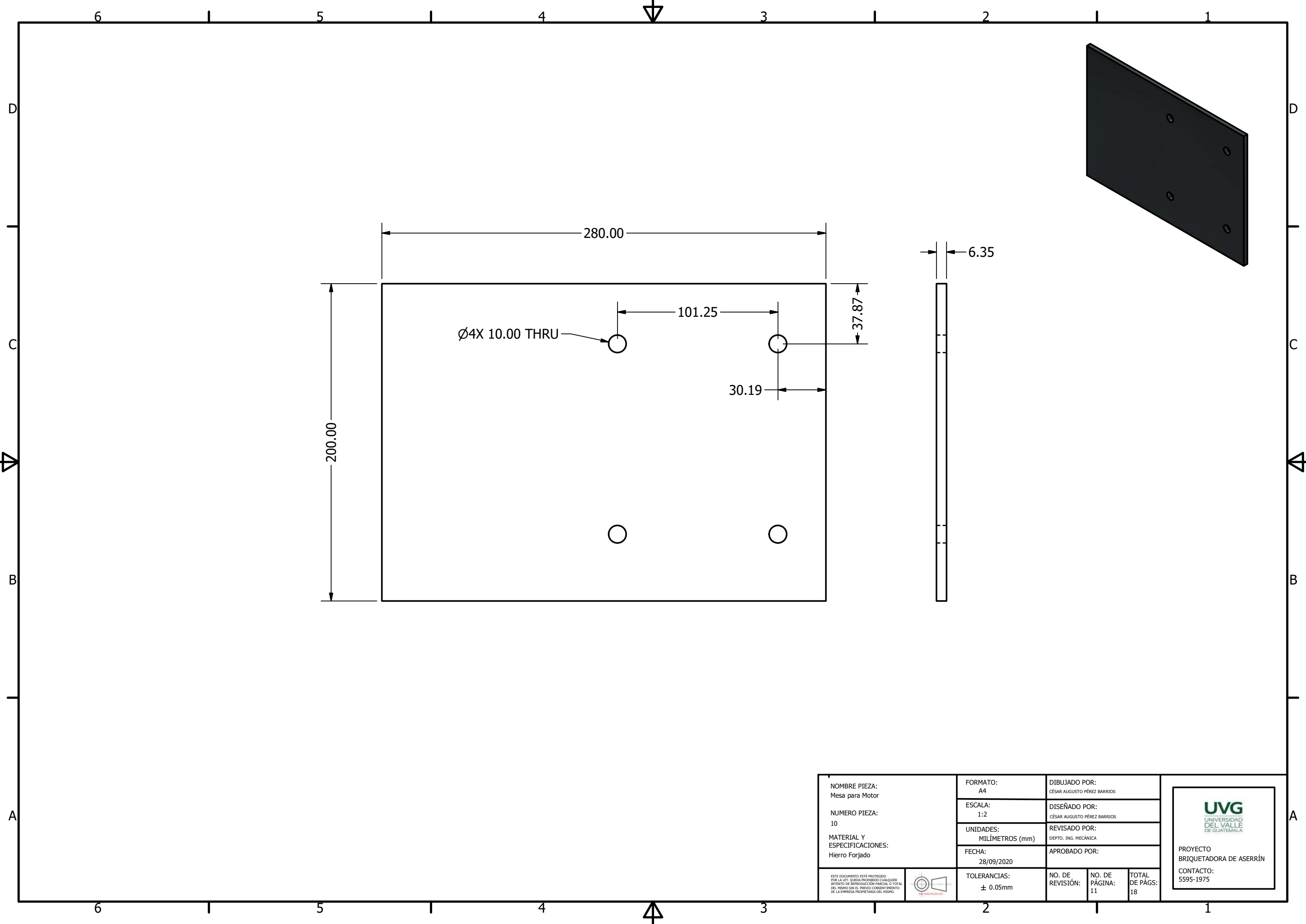
UVG
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
5595-1975



NOMBRE PIEZA: Estructura Metalica NUMERO PIEZA: 9 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Acero Estructural A36, 40x40x2.9	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 0.1:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 10	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18
PROYECTO BRIQUETADORA DE ASERRÍN CONTACTO: 5595-1975					

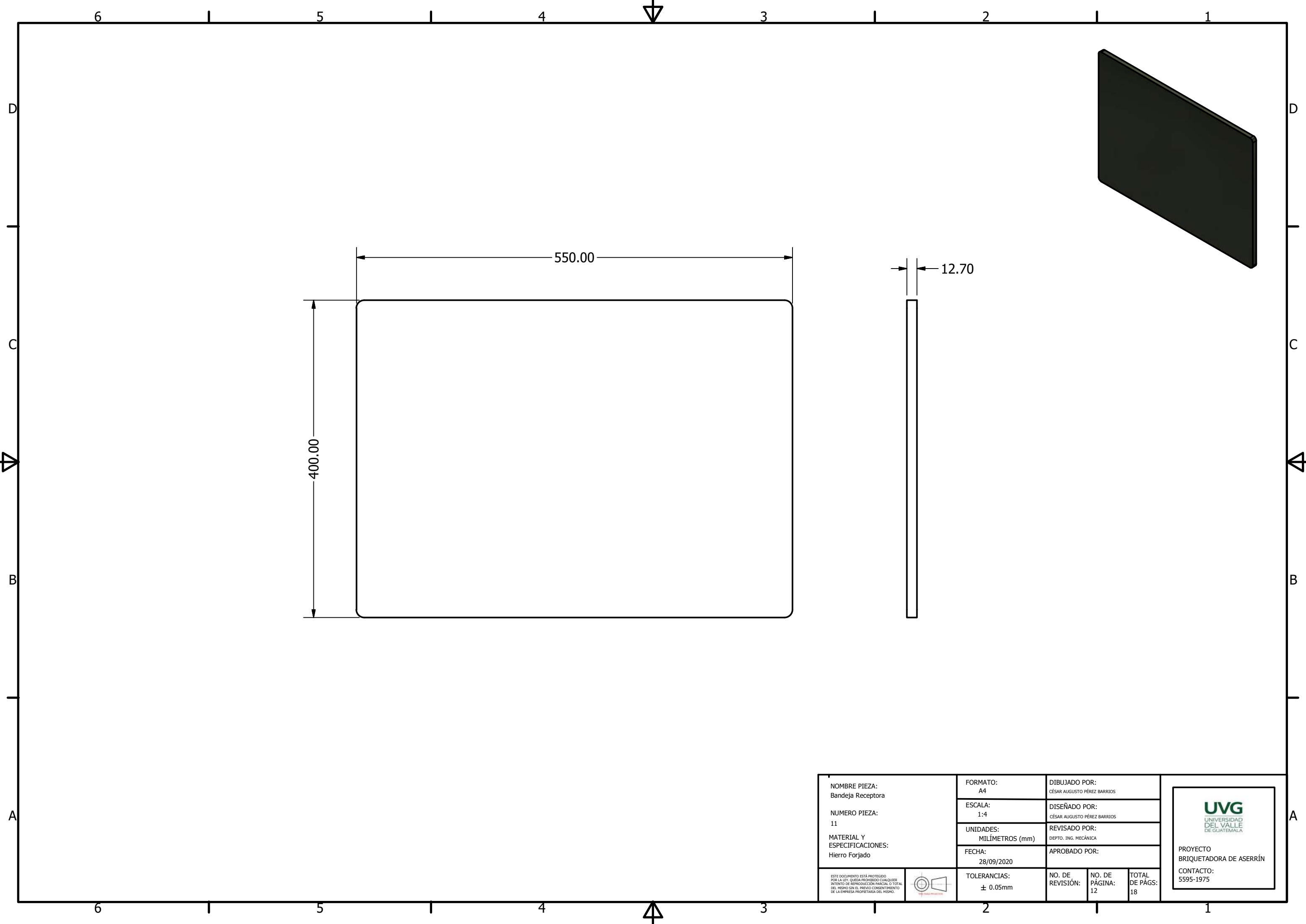


NOMBRE PIEZA: Mesa para Motor NUMERO PIEZA: 10 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>	TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 11	NO. DE PÁGINA: 11	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

 CONTACTO:
 5595-1975

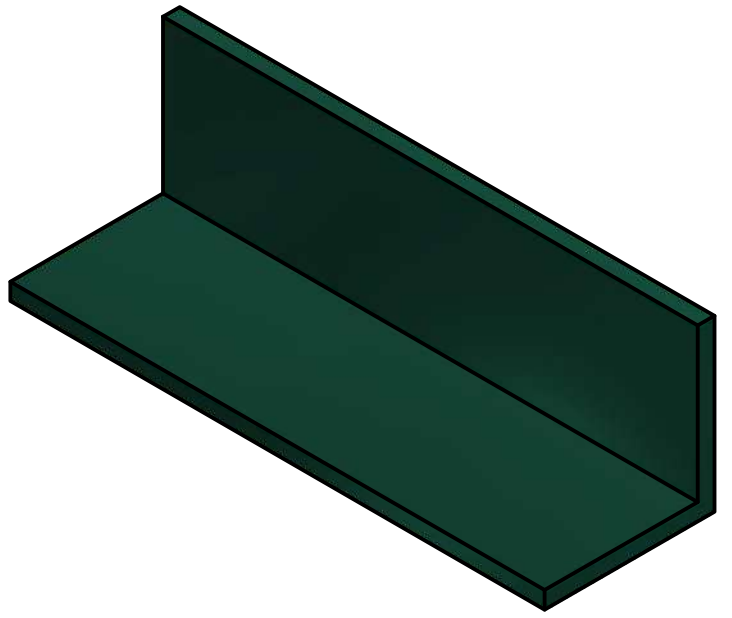
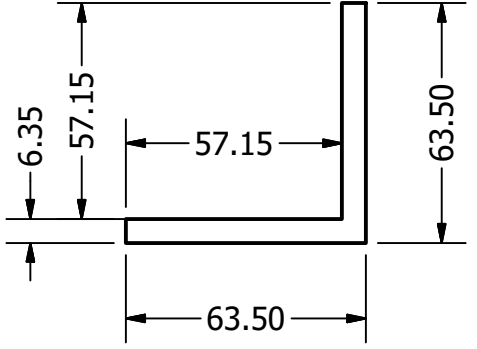
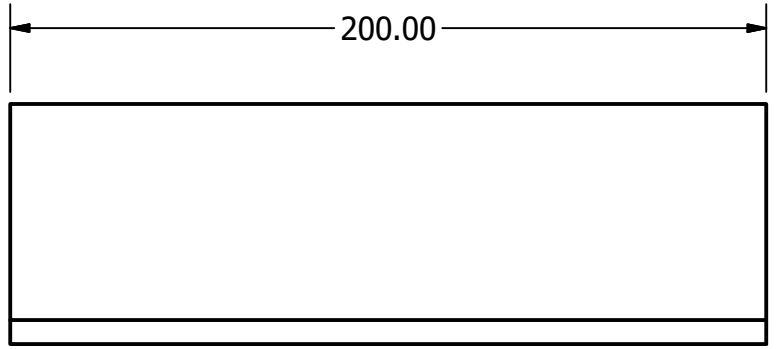
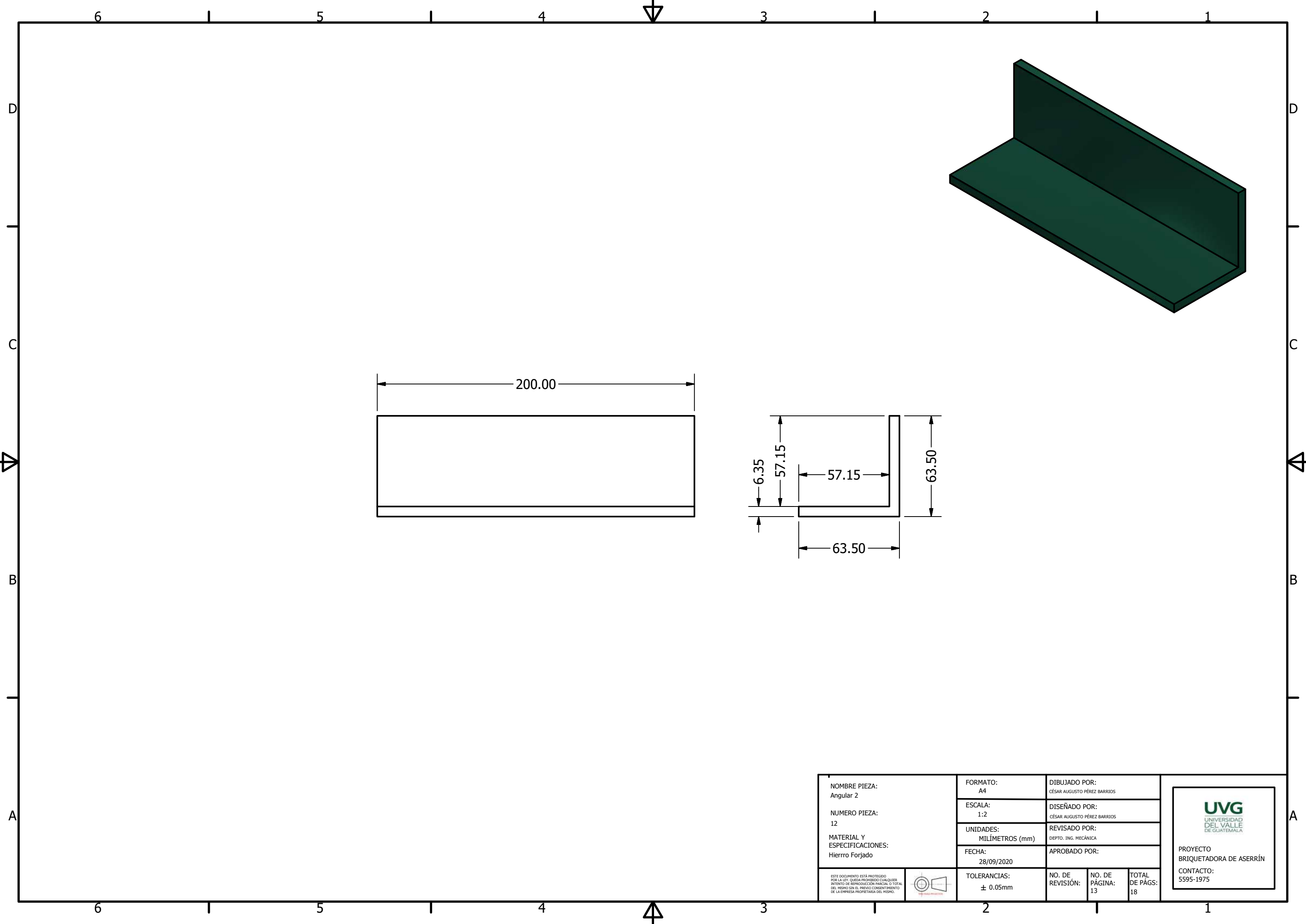


NOMBRE PIEZA: Bandeja Receptora NUMERO PIEZA: 11 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:4	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 12	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

 CONTACTO:
 5595-1975

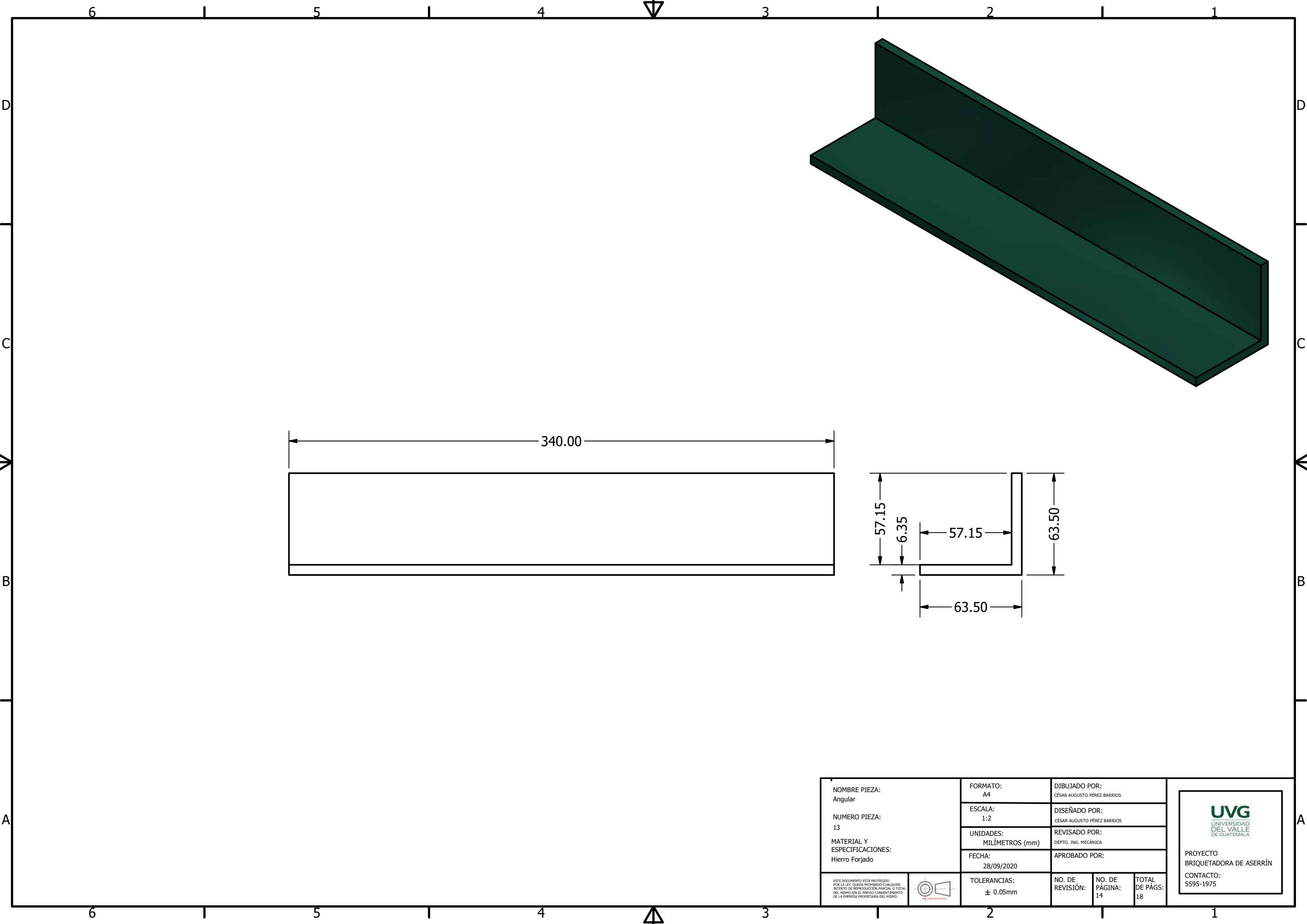


NOMBRE PIEZA: Angular 2 NUMERO PIEZA: 12 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 13	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
 5595-1975



NOMBRE PIEZA: Angular NUMERO PIEZA: 13 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Hierro Forjado	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN:	NO. DE PÁGINA: 14	TOTAL DE PÁGS: 18	

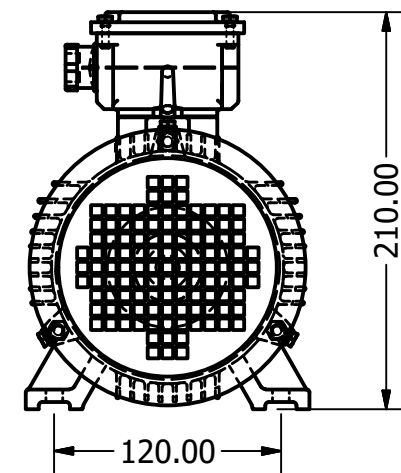
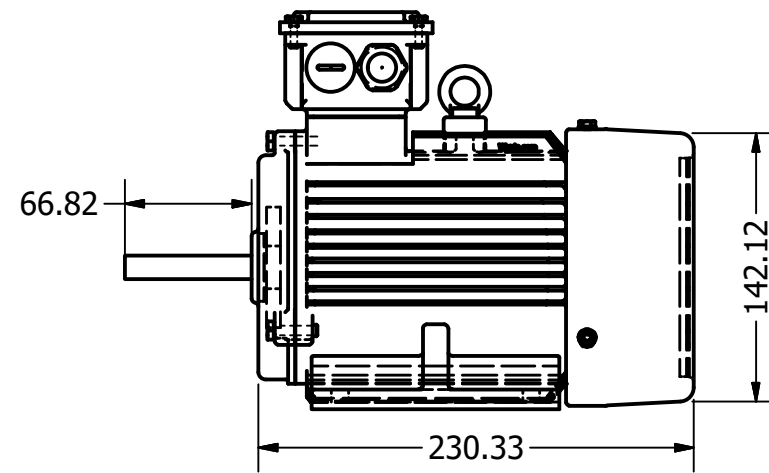
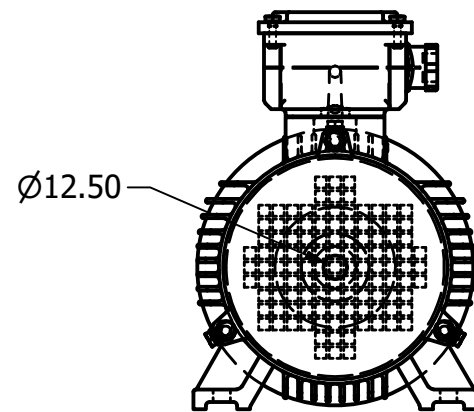
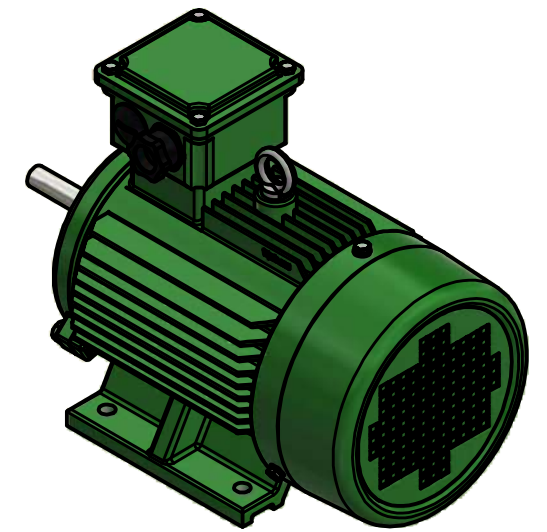
ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.





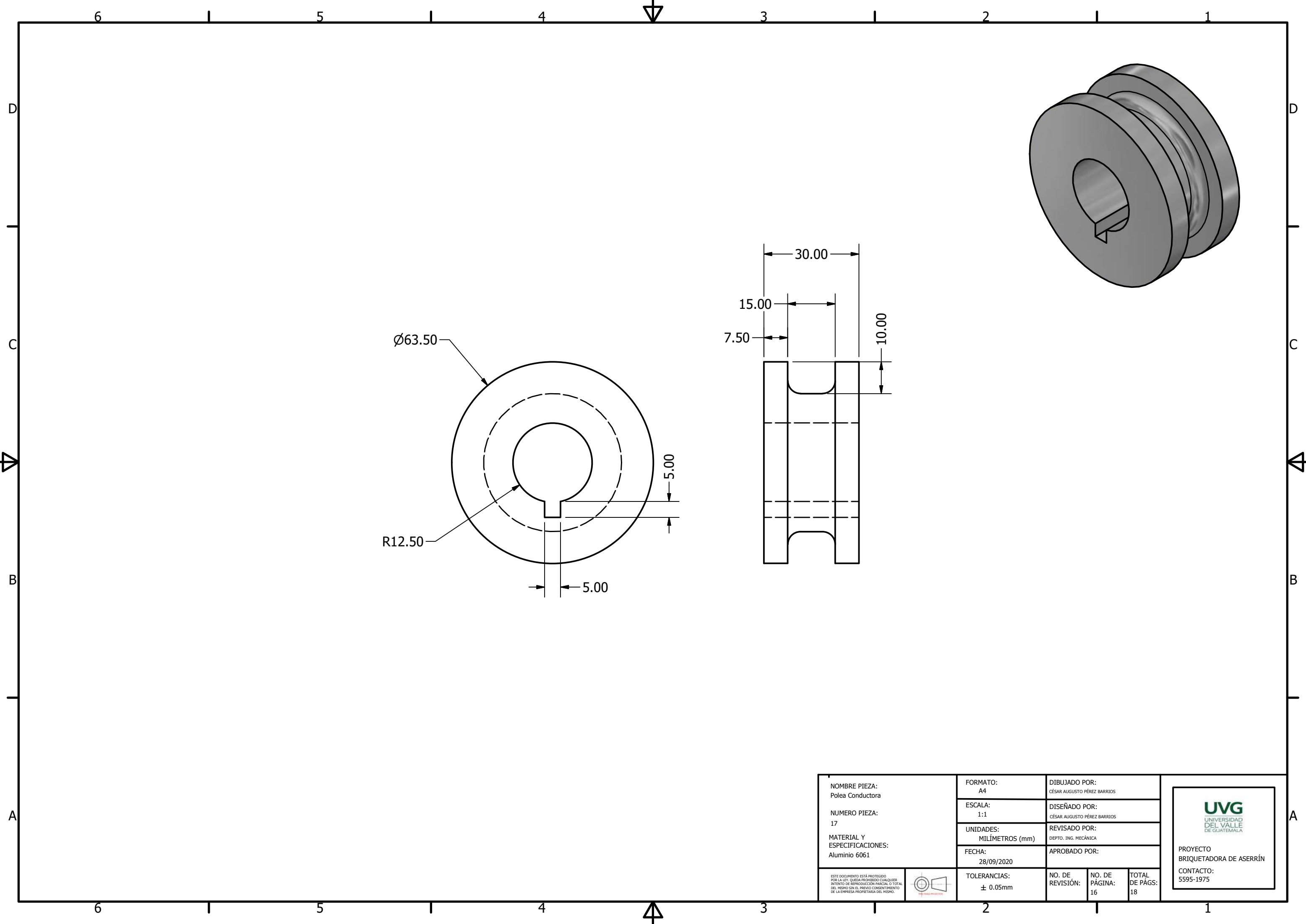
UVG
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
5595-1975

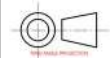


NOMBRE PIEZA: Motor Eléctrico de 2HP NUMERO PIEZA: 16 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES:	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 0.25:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 15	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18
 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA PROYECTO BRIQUETADORA DE ASERRÍN CONTACTO: 5595-1975					



NOMBRE PIEZA: Polea Conductora NUMERO PIEZA: 17 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Aluminio 6061	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 1:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
TOLERANCIAS: $\pm 0.05\text{mm}$	NO. DE REVISIÓN:	NO. DE PÁGINA: 16	TOTAL DE PÁGS: 18	

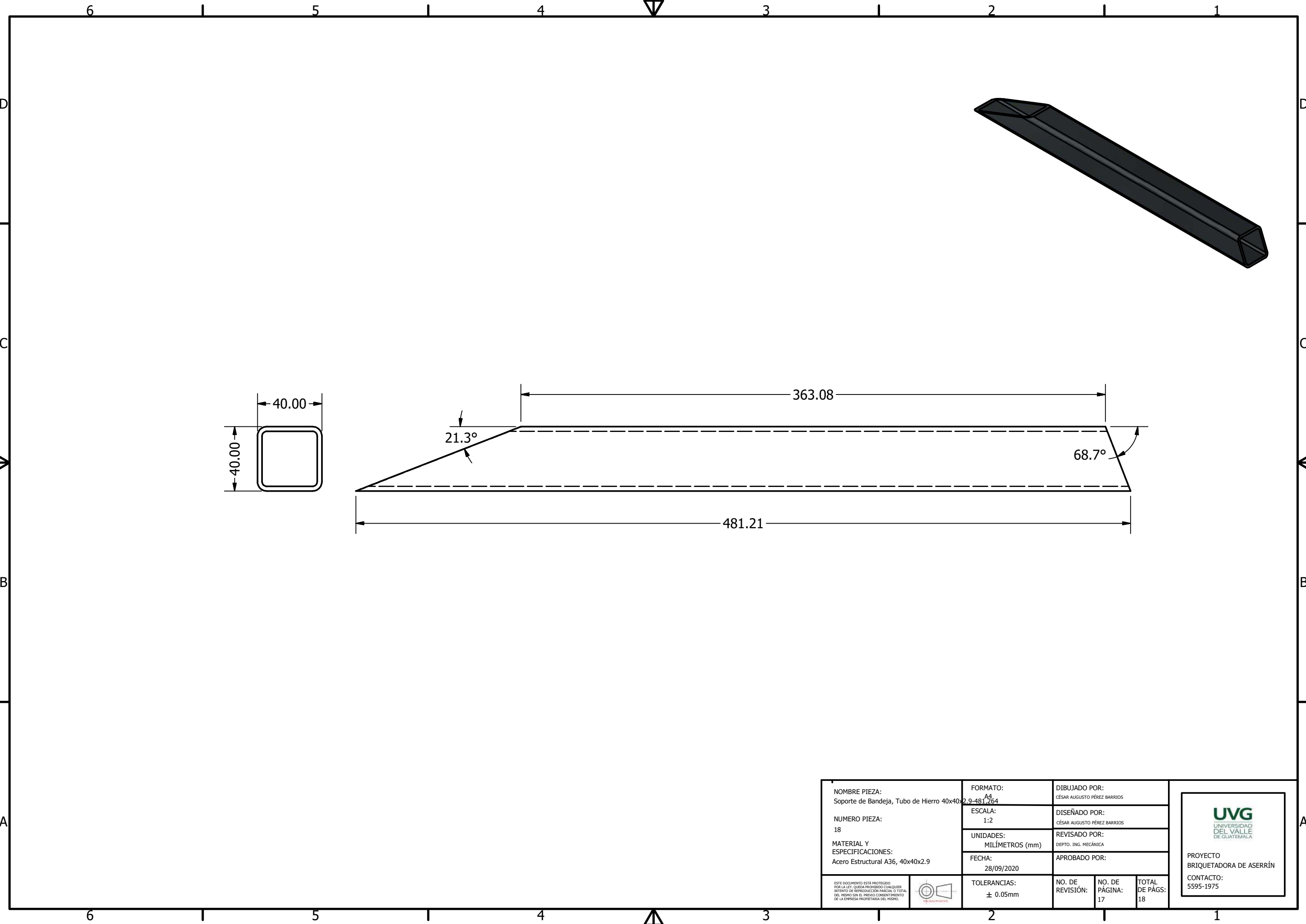
ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.



UVG
 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

 PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

 CONTACTO:
 5595-1975

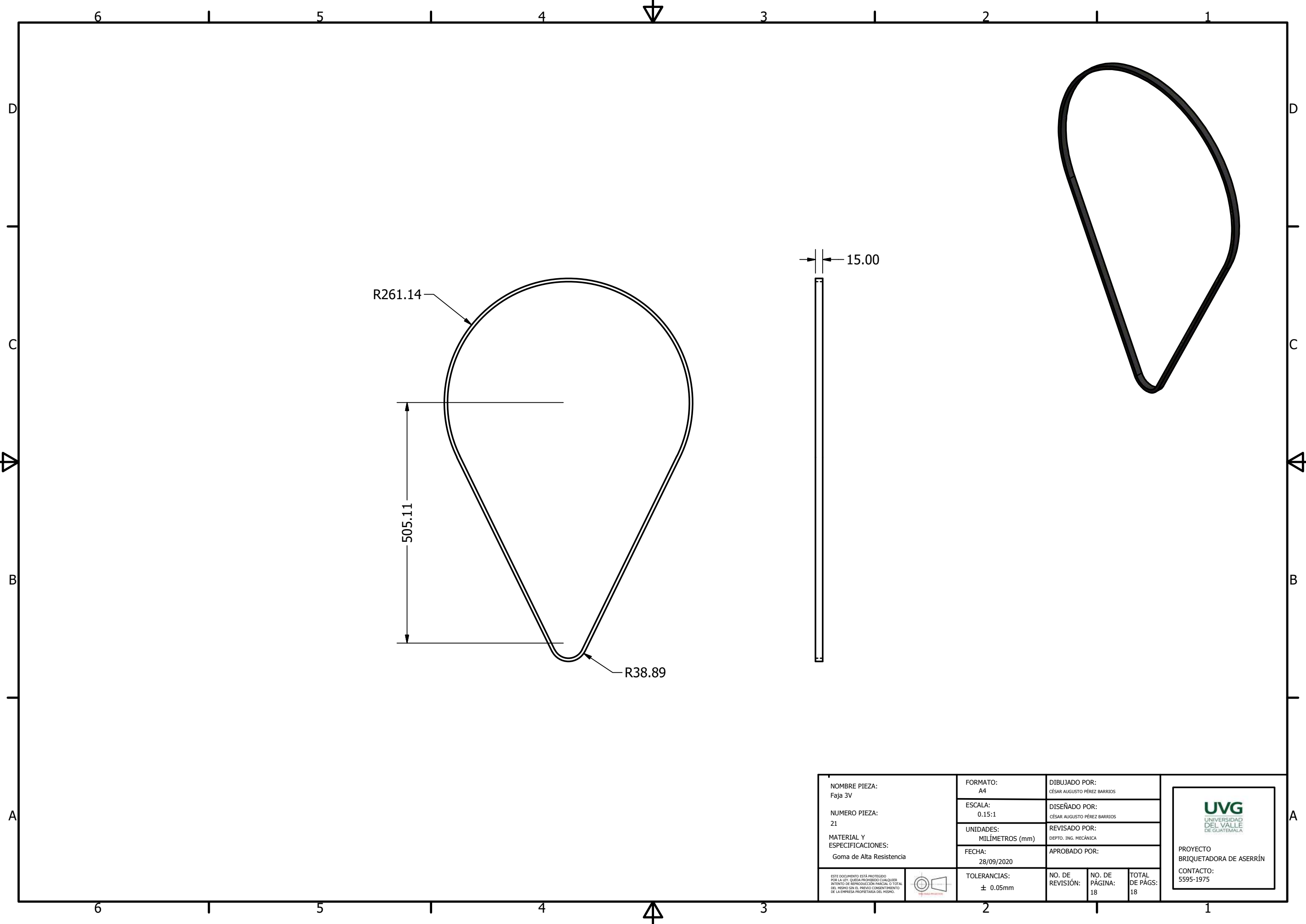


NOMBRE PIEZA: Soporte de Bandeja, Tubo de Hierro 40x40x2.9-481.264 NUMERO PIEZA: 18 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Acero Estructural A36, 40x40x2.9	FORMATO: A4 297x210	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	ESCALA: 1:2	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS			
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA			
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:			
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>		TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 17	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN

CONTACTO:
 5595-1975



NOMBRE PIEZA: Faja 3V NUMERO PIEZA: 21 MATERIAL Y ESPECIFICACIONES: Goma de Alta Resistencia	FORMATO: A4	DIBUJADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	ESCALA: 0.15:1	DISEÑADO POR: CÉSAR AUGUSTO PÉREZ BARRIOS		
	UNIDADES: MILÍMETROS (mm)	REVISADO POR: DEPTO. ING. MECÁNICA		
	FECHA: 28/09/2020	APROBADO POR:		
<small>ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROTEGIDO POR LA LEY. QUEDA PROHIBIDO CUALQUIER INTENTO DE REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL MISMO SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO DE LA EMPRESA PROPIETARIA DEL MISMO.</small>	TOLERANCIAS: ± 0.05mm	NO. DE REVISIÓN: 18	NO. DE PÁGINA: 18	TOTAL DE PÁGS: 18


 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
PROYECTO
 BRIQUETADORA DE ASERRÍN
CONTACTO:
 5595-1975