



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA MECANICA**

Diseño, Construcción y Evaluación de sistema de bombeo eólico de bajo
costo.

AUTORES

Br. Alexis Magdiel Orozco # 2007-21699

Br. César Alberto Ibarra García #2011-36669

TUTOR

Ing. Jerónimo Antonio Zeas Zelaya

Managua, 25 de octubre del 2019.

Dedicatoria

A mi madre, Ana Francisca Orozco Montenegro

A mi tía Yolanda Orozco Montenegro

A todos esos seres que me he encontrado en esta vida, que sin ellos no sería quien soy hoy.

Alexis Orozco.

Dedico principalmente a Dios quien ha sido mi guía. A mis padres Ernesto y Andrea que me han apoyado incondicionalmente quienes están a mi lado en los malos y buenos momentos, gracias por creer en mí y darme la posibilidad de obtener una profesión la cual estoy disfrutando actualmente y desarrollaré a lo largo de mi vida.

A mis tías, Damaris e Ileana por brindarme un lugar dentro de sus hogares para poder estar cerca de la universidad y por estar siempre pendientes de mi bienestar.

A mis abuelos, Ernesto y Leticia por los siempre oportunos y sabios consejos que han formado mi carácter y personalidad.

César A. Ibarra G.

Resumen del tema

En este proyecto de monografía se presenta el procedimiento de diseño para un sistema de bombeo eólico de bajo costo y el análisis que se realizó a dicho sistema con el fin de determinar su rentabilidad económica, su funcionalidad y su facilidad de implementación en diversos sectores económicos del país. En este trabajo monográfico se plantea una alternativa a los sistemas de bombeo de mayor aplicación en la actualidad, se trata de una solución amigable con el medio ambiente y completamente independiente de la energía eléctrica.

Esta investigación se enmarca dentro del Proyecto de Innovación “Diseño y construcción de sistemas de bombeo de agua que emplean energía eólica para mejorar la productividad agropecuaria en el Municipio de Villa El Carmen”, impulsado por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La inseguridad alimentaria es uno de los problemas que trae consigo el cambio climático debido al cambio en los patrones de lluvia, que provoca menos días de lluvia o lluvias más copiosas en menos tiempo. Por otro lado, en nuestro país se presenta la situación que en los días que no llueve, se incrementa la velocidad del viento.

Con el objetivo de mejorar la productividad del sector agropecuario se pretende desarrollar una tecnología apropiada que permita a los pequeños productores cosechar en la época seca, aprovechando las abundantes aguas subterráneas y la mayor velocidad de los vientos y que sea de bajo costo.

La búsqueda de una solución para este problema inicia con la búsqueda documental de tecnología que pueda ser adoptada, diferentes tipos de bombas manuales y las tecnologías eólicas existente fueron analizadas. Se eligió la bomba de agua construida con tubería PVC y los rotores Savonius por ser fáciles de construir con materiales accesibles en el mercado local y porque no requieren de máquinas herramientas para su construcción. Para el acople entre la bomba reciprocante se diseñó un mecanismo que convierte el movimiento rotario del rotor en un movimiento reciprocante vertical.

El proceso de diseño inicia con simulaciones en SolidWorks para ver el funcionamiento del sistema y analizar la resistencia, posteriormente, se construyó un modelo a pequeña escala con el objetivo de identificar posibles problemas.

En el proceso de construcción a tamaño real, se hizo un primer prototipo con dos álabes, que debido a las bajas velocidades del viento no pudo extraer agua del pozo. Para resolver este problema se construyó otro rotor con cuatro álabes que, si generó la energía para extraer el agua del pozo, pero la estructura metálica no soportó los esfuerzos provocados en las uniones soldadas. Finalmente, se construyó un modelo que se reforzó y que se diseñó para facilitar el mantenimiento al permitir el armado y desarmado del sistema por un lado de la torre.

El rotor de cuatro barriles fue evaluado en el campo de fútbol del Recinto Universitario Simón Bolívar, para ello se simularon las condiciones de trabajo existentes en la finca, considerando la profundidad del agua en el pozo, la altura del tanque de almacenamiento y las pérdidas por fricción en la tubería conductora del agua.

La evaluación permitió determinar las características fundamentales del sistema de bombeo. Inicia a rotar cuando la velocidad del viento alcanza los 2.8 m/s, aunque después de vencer la inercia continúa rotando con velocidades de viento un poco superiores a 1.0 m/s, lo que asegura trabajar en regiones del país con bajas velocidades de viento.

El costo del sistema de bombeo es inferior a US\$ 400.00, lo que permitiría a los pequeños productores construir este sistema y recuperar la inversión al cosechar en época de verano, lo que conlleva a mejorar las condiciones de vida de los usuarios de este tipo de sistema.

Al rotor eólico, al ser un dispositivo mecánico requiere de poco mantenimiento, fundamentalmente engrasar los sitios donde haya movimiento relativo entre las piezas. La bomba de agua es la pieza que más desgaste podría tener, pero que al instalarle un cedazo fino para que actúe como filtro, reduciría el ingreso de partículas gruesas que provoquen desgaste entre el tubo de mayor diámetro y el hule que sirve de prensaestopas.

Contenido

Dedicatoria	3
Resumen del tema	4
Introducción	1
Antecedentes	2
Justificación	4
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Marco teórico	8
Bomba de agua	8
Bomba EMAS.....	11
Parámetros de funcionamiento	13
Rotor Savonius	14
Diseño de Sistema de Bombeo Eólico de bajo costo	17
Condiciones existentes	17
Rotor eólico	19
Diseño de la torre	22
Cálculo de la estructura.....	23
Mecanismo de transformación de movimiento	27
Bomba de agua	31
Construcción del prototipo del sistema de bombeo eólico de bajo costo	32
Bomba de agua EMAS	32
Procedimiento para construir la bomba EMAS	32
Válvula de pie	34
Válvula de pistón	35
Bomba acoplada	35
Sistema de bombeo	36
Curva característica de sistema de bombeo	38
Eficiencia volumétrica	38
Velocidad de arranque	41
Velocidad de giro del rotor	42

Velocidad específica	43
Caudal de agua bombeado	44
Potencia eólica	46
Costo de construcción del sistema de bombeo eólico	48
Conclusiones y Recomendaciones.	49
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
Bibliografía	51
Anexos.	53
Tabla de datos recolectados	53
PLANOS.	59

Figura 1 Mapa eólico de Nicaragua.....	5
Figura 2. Mapa de aguas subterráneas de Nicaragua	5
Figura 3. Diagrama de clasificación de las bombas hidráulicas. Fuente: Mott 2006 ...	8
Figura 4. Componentes de una bomba EMAS	11
Figura 5. Esquema de un rotor Savonius.	15
Figura 6. Rotor Savonius compuesto por dos barriles de 55 galones partidos a la mitad.	16
Figura 7. Ubicación de Finca La Purísima, Fuente: Google Maps.	18
Figura 8. Velocidad del viento de diferentes puntos de Nicaragua.....	19
Figura 9. Barril plástico (izquierda) y barril metálico (derecha).....	20
Figura 10. Vista en detalle del acople de las mitades del barril.....	21
Figura 11. A la izquierda abrazadera armada, a la derecha vista explosionada.	21
Figura 12.Placa de 3/16" soldada a la torre para la ubicación de los fijadores.	22
Figura 13.Dimensiones de torre piramidal (Dimensiones en metros).....	23
Figura 14 Distribución de fuerzas en la torre.....	24
Figura 15. Resultados de análisis FEA aplicados a la torre usando el programa SolidWorks	26
Figura 16. Mecanismo de transformación de movimiento. A la izquierda el modelo diseñado en SolidWorks. A la derecha, el prototipo fabricado.	28
Figura 17. Álabe formado por dos mitades de barril y dos acoples (Dimensiones en milímetros).....	28
Figura 18. Vista superior del rotor con sus dimensiones (Dimensiones en milímetros).	29
Figura 19. Esquema de la vista de planta del mecanismo (Dimensiones en milímetros).....	30
Figura 20. Esquema de la vista lateral de palanca triangular (Dimensiones en milímetros).....	30
Figura 21. Bomba EMAS con acercamiento a las válvulas que la componen.....	31
Figura 22. Materiales y Herramientas para construir bomba EMAS.....	32
Figura 23. Inicio de proceso de fabricación de empaque	33
Figura 24. Cortes internos y externos del empaque.....	33
Figura 25. Empaque lijado en la parte interna y externa	33
Figura 26. Preparación del adaptador macho de 1/2"	33
Figura 27. Adaptador hembra, antes y después del corte	34
Figura 28. Válvulas de control de flujo (interna y externa)	34
Figura 29. Válvula de pie construida	34
Figura 30. Válvula de pie construida	35
Figura 31. Proceso de construcción de válvula de pistón	35
Figura 32. Bomba EMAS acoplada	35
Figura 33. Primer prototipo construido	37
Figura 34. Proceso constructivo de la torre y el rotor	38
Figura 35. Sistema de bombeo eólico construido e instalado en el Recinto Simón Bolívar	38

Figura 36. Pesaje del agua bombeada.....	39
Figura 37. Peso añadido a la palanca triangular para simular condiciones de pozo .	41

Introducción

En la mayor parte de las zonas rurales del país se cultiva únicamente durante la época lluviosa. En la época seca, cuando se incrementa la velocidad del viento, el pequeño productor no siembra porque no tienen agua para regar.

Aunque Nicaragua posee suelos fértiles, el cambio climático ha alterado el ciclo de las lluvias provocado daños a los cultivos, reduciendo la cantidad de alimentos, afectando tanto a las personas como a los animales. En muchas ocasiones tienen agua de pozo o de alguna fuente superficial pero no tienen ni la tecnología ni los recursos económicos para bombear el agua.

Este trabajo es una iniciativa tecnológica para maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales, de cara a fortalecer la seguridad alimentaria.

En este trabajo monográfico se va a desarrollar una tecnología de bombeo eólico que sea de bajo costo, fácil de replicar y que no requiera de maquinado para su construcción. Esto permitirá utilizar el viento de manera sostenible para bombear agua. El sistema empleará una bomba de agua construida con tubos PVC que será acoplada a una turbina impulsada por el viento.

Como resultado de este trabajo se van a desarrollar las curvas características de los sistemas eólicos, que relacionan el caudal de agua bombeado en función de la velocidad del viento.

Antecedentes

El cultivo de productos agrícolas es la principal actividad económica de nuestro país, dicha actividad está determinada por el acceso al agua. Tradicionalmente se cultiva en la época de lluvia, el cambio climático y el fenómeno del niño ha cambiado el patrón de las lluvias, disminuyendo los días de lluvia o provocando lluvias copiosas en poco tiempo, arruinando los cultivos.

Desde finales del siglo XIX, Nicaragua ha empleado la energía eólica para el bombeo de agua. El sector suroeste del país ha contado siempre con buen potencial gracias a que el viento pasa por el lago Cocibolca sin disminuir la velocidad. Los productores de esa zona han utilizado la energía cinética del viento para accionar aeromotores (molinos multipalpas) para extraer el agua de pozos.

En la década de los ochentas, la cooperación holandesa en coordinación con la Industria Metalúrgica del Pueblo (IMEP) desarrolló unos aeromotores de producción nacional.

A inicio de la década de los noventas, la cooperación finalizó su ayuda en el país y se discontinuó la producción de estos equipos. Trabajadores de esta empresa forman posteriormente Aerobombas de Mecate, que aprovechó los contactos dejados por la cooperación holandesa para desarrollar un prototipo de equipo de bombeo eólico.

La aerobomba de mecate es una combinación del diseño de los aeromotores diseñado por los holandeses con una bomba de mecate. Esta acopla el movimiento circular del eje de las aspas con el movimiento circular de la bomba de mecate, elevando el agua directamente hasta un tanque de almacenamiento de agua.

La bomba de mecate está basada en el diseño de una bomba conocida desde hace 500 años, pero que era accionada con eslabones de cadena. A mediados de la década de los ochenta el Instituto Nicaragüense de Reforma Agraria introduce la bomba de mecate en el país, aunque sin mucho éxito.

A mediados de los años 90, las bondades de la tecnología de bombas de mecate y aerobombas son conocidas y se hace transferencia tecnológica a otros países.

En el año 2003, la Universidad Nacional de Ingeniería realizó la validación de la energía eólica en el departamento de Rivas. Se evalúa la eficiencia de los aerogeneradores, aeromotores y bombas de mecate. Para ello se instalaron nueve equipos (tres por cada tecnología) y se midió la capacidad de bombeo a diferentes velocidades de viento.

Como resultado de este trabajo se concluyó que los aeromotores presentaban la mejor producción de agua, seguido de las aerobombas de mecate y de los aerogeneradores.

El costo la energía para el bombeo de agua es relativamente elevado y se incrementa si no se tienen líneas eléctricas en el sitio de bombeo. Una buena alternativa es el empleo de sistemas que utilicen bombas manuales acopladas a equipos que empleen fuentes renovables de energía, como equipos eólicos.

La bomba EMAS fue construida en una escuela de Bolivia que lleva el nombre de Escuela Móvil de Agua y Saneamiento y está diseñada para instalarse en pozos perforados a mano y con máquina. Se caracteriza por ser de bajo costo y de fácil instalación, pero no está diseñada para un uso fácil debido a que la persona que la manipule tiene que absorber y empujar el agua del pozo y para ello requiere de fuerza para poder trabajar, sin embargo, con esto se tiene la ventaja de conducir el agua a la distancia que el usuario sea capaz.

En este trabajo se describirá el proceso de diseño, construcción y evaluación de un sistema de bombeo de agua y el dispositivo para acoplar la fuente de energía renovable a la bomba.

Justificación

Debido al cambios en los patrones climáticos de Nicaragua la época seca tiende a variar en cuanto a su duración, además de una reducción de la cantidad de lluvia, adicionalmente se presenta el fenómeno de que llueven menos días, pero con mayor intensidad, provocando deslaves e inundaciones¹. El país se ha visto afectado por el cambio climático, amenazando la producción de alimentos y aumento de las muertes de animales domésticos.

Esto trae como consecuencia una reducción en la producción agropecuaria, por lo que es importante que los productores adopten medidas que reduzcan los riesgos. La adaptación de las fechas de siembra de los cultivos para que las plantas se desarrollen adecuadamente, considerando las alteraciones que se presenten en los patrones climáticos, es una medida que se puede tomar. La cosecha de agua es otra medida que podría reducir la escasez de agua.

Nicaragua por su posición geográfica es atravesada por los vientos alisios que tienen las características de ser estables, sin muchos cambios de dirección, en la figura 1 se muestra el mapa eólico de Nicaragua donde se puede observar que la zona donde será instalado el proyecto cuenta con corrientes de viento considerables. Además, se cuenta con abundante agua subterránea, a como se muestra en los mapas de las figuras 1 y 2.

Este sistema es idóneo para el sector rural del país, debido a que es un sistema totalmente independiente de la energía eléctrica, es decir, es un sistema de bombeo que se puede instalar, por ejemplo, en los potreros para proveer de agua al ganado y en zonas de cultivo alejadas de las líneas eléctricas

¹ <http://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:28403-cambio-climatico-produce-afectaciones-en-el-sector-productivo-de-nicaragua>.

SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

Finca La Purísima

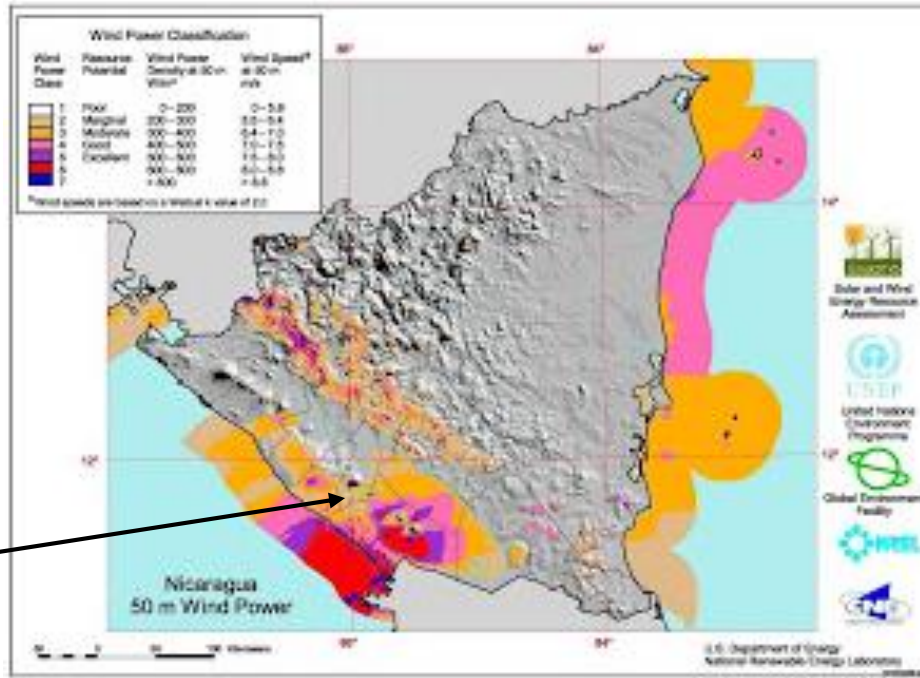


Figura 1 Mapa eólico de Nicaragua.

Finca La Purísima

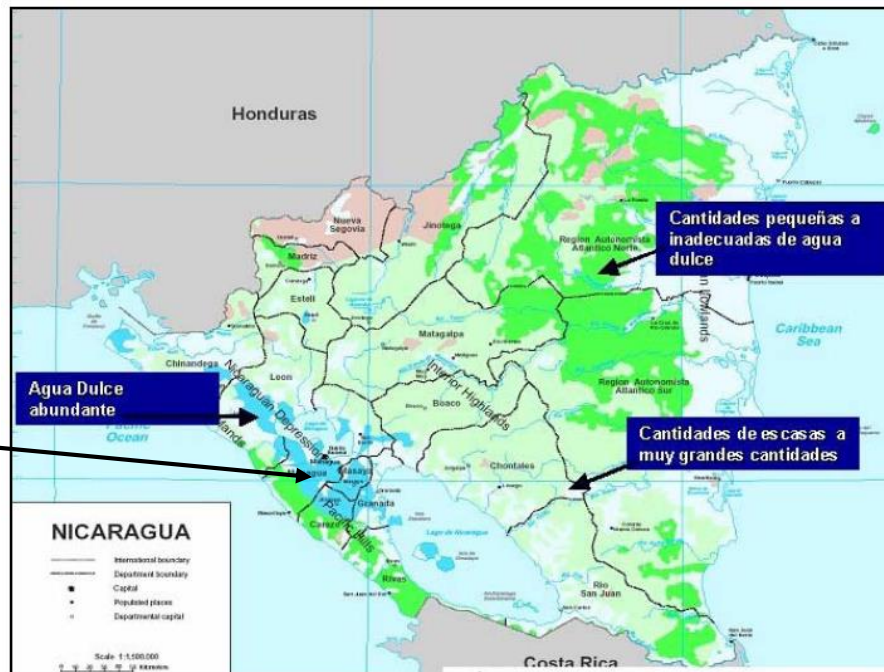


Figura 2. Mapa de aguas subterráneas de Nicaragua

Con este proyecto se pretende desarrollar tecnología para el bombeo de agua, con fines de riego y para el consumo humano y animal, impulsada por energía eólica.

La construcción de los sistemas de bombeo se soporta desde el punto de vista social en que las bombas de agua sean fabricadas con partes de bajo costo y que sean de fácil adquisición en cualquier ferretería del país. Otro criterio básico es construir los equipos de bombeo localmente, de forma que no requieran de equipamiento especializado como tornos, fresadoras o rectificadoras, para su construcción. Esto beneficia tanto a personas de bajos recursos como a empresas que quieran innovar y optimizar costos usando este tipo de sistemas.

Este proyecto es totalmente amigable con el medio ambiente, se basa en energía renovable y limpia.

Se considera que con este trabajo se puede impulsar jornadas de siembra de árboles frutales que además de contribuir a mejorar la dieta de los pobladores de los alrededores contribuye a la mejora en los niveles de vida y reduce la inseguridad alimentaria.

A largo plazo, se razona que el compromiso fundamental es diseminar esta tecnología para lograr cambios significativos en la mejoría de la calidad de vida de la gente, contribuyendo al combate de la pobreza, mejorando las capacidades de gestión de la gente.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de sistema de bombeo eólico de bajo costo a ser implementado en el municipio de Villa El Carmen.

Objetivos Específicos

Diseñar el sistema de bombeo eólico con materiales de fácil adquisición en el mercado local.

Construir el sistema de bombeo eólico.

Determinar la curva característica del sistema de bombeo.

Marco teórico.

Bomba de agua

“Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión de posición o velocidad.” (Viejo Zubicaray, 2000, pág. 13)

Es una máquina hidráulica que se utiliza para mover agua desde un nivel a otro que está a mayor altura. Según el principio de su funcionamiento, las bombas de agua se clasifican en dos grandes grupos, tal y como lo muestra la figura 3, la bomba que utilizaremos para este proyecto cabe dentro de las bombas de pistón.

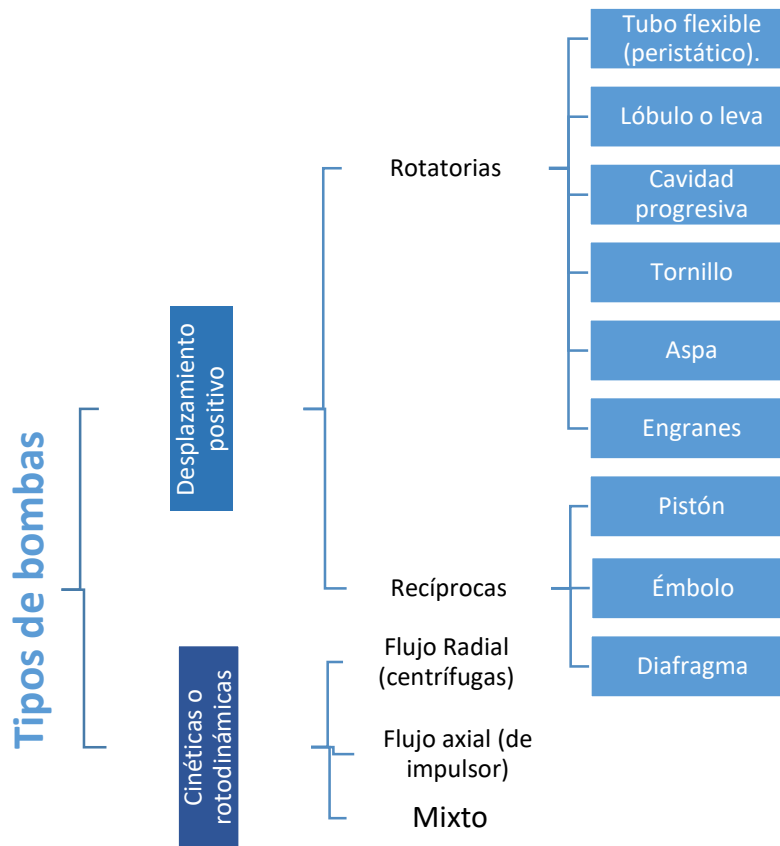


Figura 3. Diagrama de clasificación de las bombas hidráulicas. Fuente: Mott 2006

Las bombas de desplazamiento positivo son las que basan su funcionamiento en un órgano propulsor que genera de manera positiva un volumen o cilindrada. Este tipo de

bomba dispone de una cámara donde se aloja el fluido y cuyo volumen varía cuando la bomba entra en funcionamiento. Cuando las paredes de la cámara empujan al fluido que contiene en su interior provocan un aumento de la presión de éste, aumentando la energía del fluido. se subdividen en reciprocas (alternativas) y rotativas.

Alternativas: pueden ser de émbolo o de membrana, y donde el volumen que confina el fluido varía por la acción de un émbolo o de una membrana, respectivamente. En este tipo de bombas el movimiento del fluido es discontinuo, en pulsaciones, donde la aspiración y descarga del agua se realiza por la acción coordinada de válvulas.

Rotativas: en este tipo de bombas el fluido se desplaza dentro de la cámara, desde una zona de baja presión hasta otra zona de alta presión donde está la salida. Según el órgano propulsor que mueve el fluido, pueden ser de paletas, de lóbulos, bombas de tornillo o de engranajes.

Las bombas roto dinámicas tienen uno o más rodetes girando a gran velocidad que aspiran el fluido. El rodete le comunica la energía cinética de rotación al fluido que es lanzado a gran velocidad hacia las paredes de la voluta, que al chocar convierte parte de la energía cinemática que lleva el fluido en presión.

“Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo” (Kenneth, 1998, pág. 71).

El funcionamiento de una bomba reciprocante depende del llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de agua es obligada a entrar al cuerpo de la bomba en donde queda encerrada momentáneamente, para después ser forzada a salir por la tubería de descarga. De lo anterior se deduce, en términos generales, el consumo de energía de una bomba reciprocante es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo.

“La bomba reciprocante no es cinética como la centrífuga y no requiere velocidad para producir presión, pues se pueden obtener presiones altas a bajas velocidades. Esta es una de las ventajas de la bomba reciprocante en particular para manejar pastas aguadas abrasivas y líquidos muy viscosos”. (Kenneth, 1998, pág. 153)

Como el proceso de llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo requiere fricción por resbalamiento entre las paredes estacionarias del receptáculo y las partes móviles, estas bombas no son apropiadas para manejar líquidos que contengan arenas o materias en suspensión. Además, la variación cíclica del caudal de descarga puede obligar al empleo de cámara de aire y de grandes tuberías.

“En cuanto la válvula se abre, la presión en la caja de válvulas disminuye bruscamente y la válvula proporciona varias oscilaciones rápidas en el flujo de líquido; en este caso la válvula estrangula el flujo, provocando la oscilación de la presión en la caja de válvulas”. (Cherkasski, 1984, pág. 239)

En las bombas de émbolo o de presión, una manivela o cigüeñal gira accionando el émbolo o pistón que se mueve hacia arriba y hacia abajo en el cuerpo del cilindro; en el golpe hacia arriba, un vacío parcial detrás del émbolo permite a la presión atmosférica que obra sobre la superficie del agua en el pozo, haciendo subir al agua dentro del tubo de acción, la cual, pasando por la válvula de succión llena el cilindro; en el golpe hacia abajo, la válvula de succión se cierra y el agua es presionada a salir hacia el tubo de descarga. Estas bombas son relativamente de baja velocidad de rotación, de tal manera que cuando tienen que ser movidas por motores eléctricos deben ser intercaladas transmisiones de engranes o poleas para reducir la velocidad entre el motor y la bomba.

“Lo ideal es que las bombas de desplazamiento positivo envíen una cantidad fija de fluido en cada revolución del rotor o eje impulsor de la bomba. La *mayoría* de las bombas de desplazamiento positivo operan con líquidos de un rango amplio de viscosidades”. (Mott, 2006, pág. 385)

Bomba EMAS

“Se le llama EMAS porque fue construida en una escuela de Bolivia que lleva el nombre de Escuela Móvil de Agua y Saneamiento”. (PASOLAC, 2003, pág. 8)

La bomba EMAS (Escuela Móvil de Agua y Saneamiento) es una bomba que funciona a baja velocidad y se compone de dos tubos: uno exterior más grueso y forma el cilindro y uno más delgado que funciona tanto como biela y como tubo de salida. En la Figura 4, se presentan las partes de una bomba EMAS con una breve descripción de las mismas. En esta parte interna lleva dos válvulas y sistema de pistones. Las válvulas se construyen con adaptadores de PVC, y tubos de PVC con una esfera cada una que funciona como válvula cheque. A la válvula superior se le llama válvula de pistón y a la que va abajo se le llama válvula de pie.

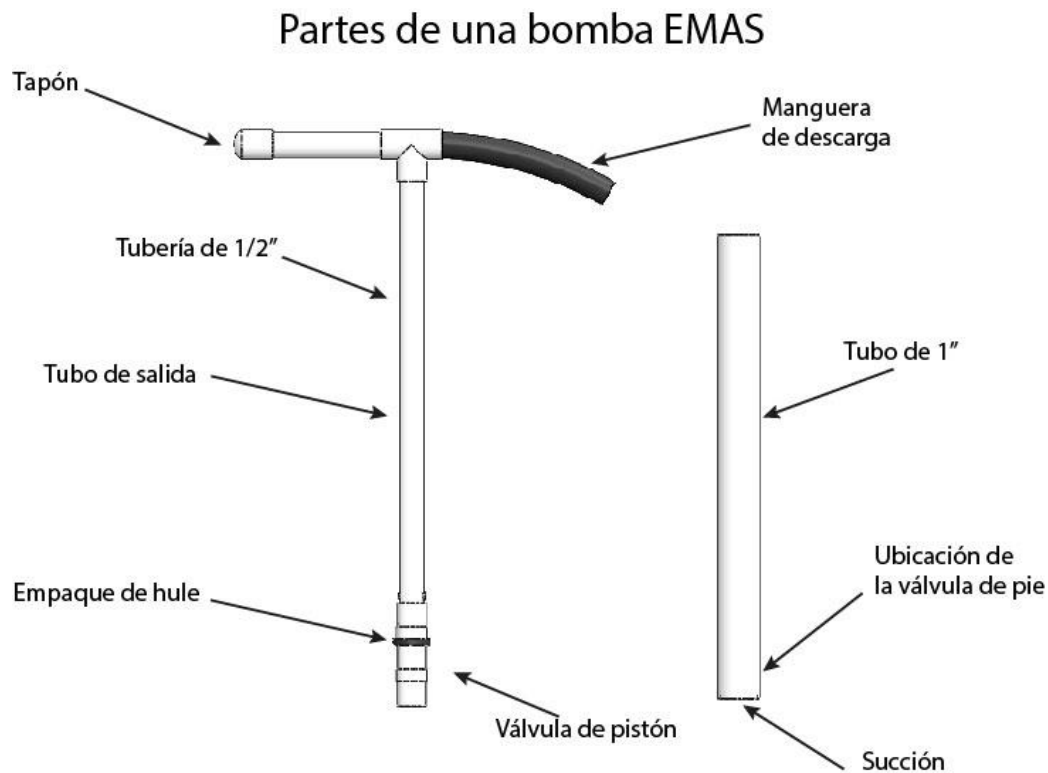


Figura 4. Componentes de una bomba EMAS

“Se trata de bombas manuales que el usuario fácilmente aprende a construir, ya que son hechas de tubería PVC o polietileno. Variando el diámetro del cilindro (usando

tubo de mayor o menor diámetro) se puede determinar la presión o la cantidad de agua a bombear. Todas las bombas EMAS tienen una salida de presión que permite un bombeo hasta 60 metros de altura o 2 Km. en línea horizontal. El caudal varía entre 0.2 y un litro por bombeo², según el modelo. El costo de una bomba estándar con 12 ms. de longitud es de aprox. 20 Euros". (Escuela Móvil de Agua y Saneamiento Básico, 2018, pág. 26)

Las válvulas están colocadas en los extremos de los tubos de PVC, al hacer funcionar la bomba EMAS mientras una cierra el pase del agua, la otra abre. Al bajar la "T" o agarradera pasa el agua almacenada en el tubo exterior hacia el tubo interior. Al repetir las acciones de bombeo el agua sube por el tubo de la biela y sale por la "T". Esto hace que el agua fluya mientras se realice la acción de subir y bajar la "T". El acople entre la rotación del eje del rotor y el movimiento recíproco de la bomba EMAS se hará por medio de un mecanismo biela–manivela y un alambre de acero.

En una "bomba aspirante", un cilindro que contiene un pistón móvil está conectado con el suministro de agua mediante un tubo. Una válvula bloquea la entrada del tubo al cilindro. La válvula es hecha de hule, que solo se abre hacia arriba, dejando subir, pero no bajar, el agua. Dentro del pistón, hay una segunda válvula que funciona en la misma forma. Cuando se acciona la manivela, el pistón sube. Esto aumenta el volumen existente debajo del pistón, y, por lo tanto, la presión disminuye. La presión del aire normal que actúa sobre la superficie del agua, del pozo, hace subir el líquido por el tubo, franqueando la válvula-que se abre- y lo hace entrar en el cilindro.

Cuando el pistón baja, se cierra la primera válvula, y se abre la segunda, que permite que el agua pase a la parte superior del pistón y ocupe el cilindro que está encima de éste. El golpe siguiente hacia arriba hace subir el agua a la tubería de descarga y, al mismo tiempo, logra que, entre más agua en el cilindro, por debajo del pistón. La acción continúa mientras el pistón sube y baja. El acople entre la rotación del eje de y el

² Se refiere a la cantidad de agua desplazada por la bomba en una acción de bombeo, es decir, el volumen de agua que la bomba mueve por cada subida y bajada de la válvula de pistón.

movimiento recíprocante de la bomba de pistón se hará por medio de un mecanismo biela–manivela y un alambre de acero.

“Consideramos que la principal ventaja de esta bomba es que puede ser autoconstruida y no es necesario importarla del extranjero, debido a que su manufactura es relativamente sencilla y económica, Además, ha dado muy buenos resultados en el riego de pequeños huertos y mini-acueductos para abastecimiento familiar y comunitario.” (Lugo Yugo & Rivera Gutiérrez, 2003, pág. 35)

Parámetros de funcionamiento

En un equipo de bombeo la potencia consumida por éste no es igual a la potencia que finalmente se transmite al fluido y que es la potencia útil realmente.

La potencia teórica o potencia útil (P_u) que se transmite a un fluido, sea agua u otro cualquiera, y que se invierte en proporcionarle un caudal (Q) y altura manométrica (H) a su paso por el equipo de bombeo viene dado por la siguiente expresión:

$$P_u = \rho * g * Q * H$$

Donde:

P_u : es la potencia proporcionada al fluido, en Watts (W);

Q : es el caudal de fluido que atraviesa la bomba, en m^3/s ;

H : es la altura manométrica ganada por el fluido a su paso por la bomba, en metros

P : es la densidad del fluido, en kg/m^3 ;

G : es la aceleración de la gravedad: $9,81 m/s^2$.

La potencia según calculada por la expresión anterior, es la potencia teórica o útil (P_u) que ganaría el fluido a su paso por el equipo de bombeo. No obstante, un equipo de bombeo está constituido, además de por la bomba propiamente, por un motor de accionamiento (que puede ser eléctrico, mecánico o de combustión) acoplado mediante un eje a la bomba y de sistemas auxiliares.

La potencia finalmente consumida (P_e) por todo este equipo de bombeo es superior a la potencia útil (P_u), dado que habrá que considerar las pérdidas y rendimientos de cada uno de los componentes que intervienen.

El caudal del fluido que atraviesa una bomba está dado por la necesidad del usuario, ya sea para regar una determinada área, que a su vez depende de los requerimientos de agua del cultivo o por la cantidad de animales a abrevar.

La altura manométrica está determinada por la altura de succión (de la superficie de la tierra al manto freático³), por la altura de descarga (de la superficie de la tierra a la altura en descarga del agua), por las pérdidas de fricción ocasionadas por el flujo de agua y por el abatimiento del pozo.

Rotor Savonius

“La energía eólica es la energía cinética del viento. Para el aprovechamiento de dicha energía se han desarrollado a lo largo de la historia diferentes sistemas tecnológicos. Durante siglos, la aplicación clásica de la energía capturada por las máquinas eólicas ha sido la molienda de grano y el bombeo de agua”. (Carta Gonzalez et al, 2009, pág. 334)

El rotor Savonius fue inventado en el año 1924, por un ingeniero, el capitán Sigurd I. Savonius, quien encontró en este sistema un rotor útil para bombear agua. (Blake, 1978, pág. 20) Es decir, fue inventado para el mismo propósito que se le asignó en esta investigación.

La denominación más adecuada para este tipo de equipo es panémona (del griego “pan” que significa todo y “pneumon” que significa aire o viento o sea “que trabaja con todos los vientos”). La característica fundamental es que giran sin importar la dirección de la provenga el viento. El principio físico que rige su funcionamiento es el de la diferencia existente entre la fuerza de arrastre sobre un cuerpo cóncavo y la ejercida sobre un cuerpo convexo de la misma sección transversal. En la Figura 5, se muestra

³ Aguas subterráneas.

un esquema de este rotor. “El coeficiente de arrastre para un flujo perpendicular a la cara convexa a la mitad de un cilindro es 1.2, mientras que el coeficiente para la sección cóncava es aproximadamente el doble a 2.3” (White, 2006, pág. 473)

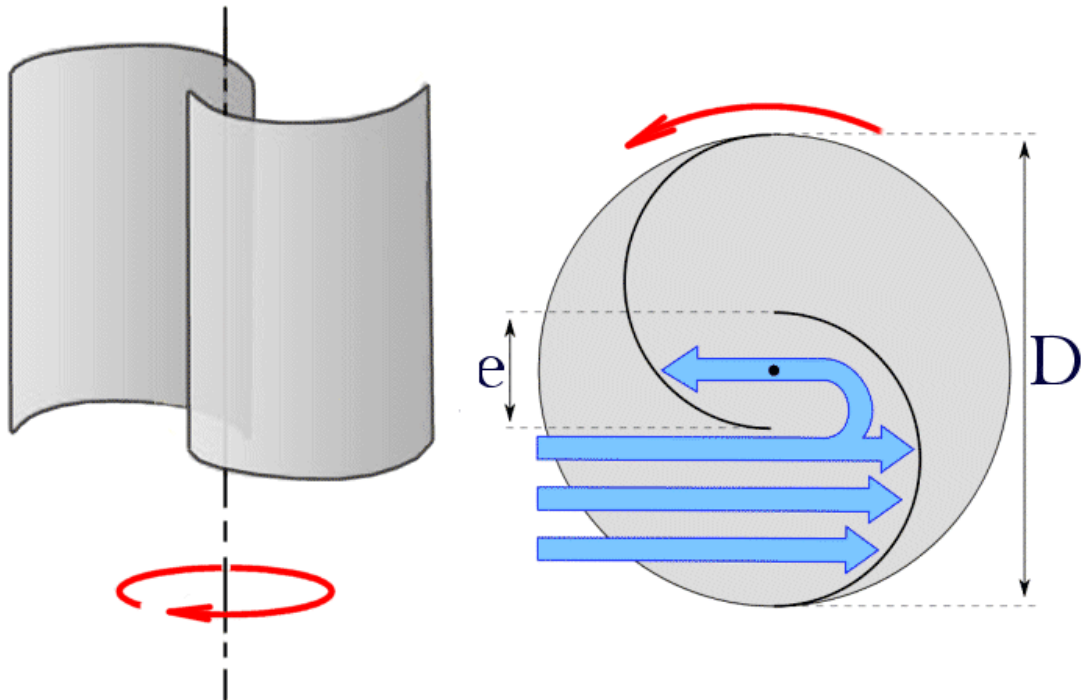


Figura 5. Esquema de un rotor Savonius.

Los álabes de este equipo se forman con las mitades de barriles de 55 galones que giran alrededor de un eje vertical. En la Figura 6, se muestra un rotor con doble álabes, formado a partir de barriles de 55 galones. Para mejorar el funcionamiento se colocan dos álabes, uno sobre otro con un desplazamiento de 90° entre ellos. Esto reduce la vibración causada por la diferencia de fuerzas entre la parte cóncava y convexa del rotor y mejora el par torsional producido.

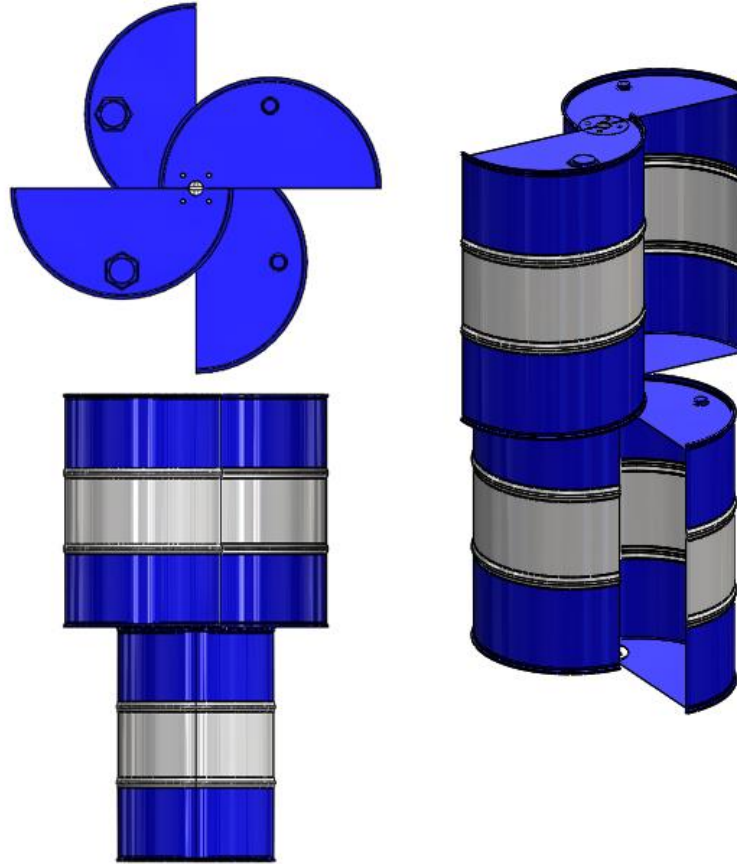


Figura 6. Rotor Savonius compuesto por dos barriles de 55 galones partidos a la mitad.

Este par torsional es el que se aprovechará para accionar los diferentes tipos de bombas de agua. “En algunos sistemas se ha empleado bombas de mecate y se ha utilizado un diferencial de automóvil para hacer el cambio de movimiento” (Zingman, 2007).

“Dadas las características tan dispersas y aleatorias de la energía eólica, es obvio que la única manera de estudiar si un emplazamiento es adecuado o no, es estudiando la estadística. Para ello se recurre a la representación de la velocidad del viento como una variable aleatoria con una cierta variable de distribución” (Maradiaga Rocha & Rocha Ayesta, 2012, pág. 11)

Diseño de Sistema de Bombeo Eólico de bajo costo

Un sistema de bombeo eólico es un mecanismo que permite extraer agua desde una fuente y llevarla a otro sitio, accionado por la fuerza del viento. Estos sistemas se emplean a pequeña escala, para suministrar agua a comunidades rurales, en pequeños sistemas de riego o abrevaderos para animales.

El sistema de bombeo eólico tiene tres componentes: rotor eólico, sistema de transformación del movimiento y bomba de agua.

1. El rotor eólico tiene la función de convertir la energía cinética contenida en el viento en movimiento de rotación en un eje.
2. El sistema de transformación de movimiento es el que convierte el movimiento circular del rotor en un movimiento lineal oscilante vertical, el cual acciona la bomba.
3. La bomba de agua convierte la energía mecánica (movimiento oscilante vertical) para desplazar el agua desde un sitio de menor altitud hacia un sitio de mayor altitud, es decir, convierte la energía mecánica en energía potencial.

Condiciones existentes

La finca La Purísima está ubicada en el Municipio de Villa El Carmen, del Km 32.5 Carretera Vieja a León 800 metros al norte. La principal actividad de la finca es de carácter avícola, tienen cinco galeras para el engorde de pollos.

El sitio donde se va a instalar el sistema de bombeo tiene las siguientes coordenadas: 12°05'06.1"N 86°30'22.2"W y está ubicado a unos 500 metros al este de las galeras, a como se muestra en la Figura 7.

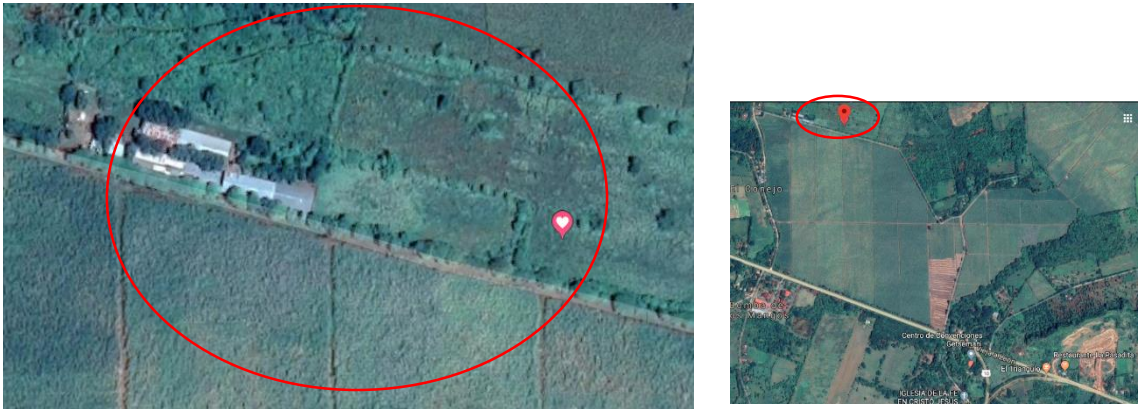


Figura 7. Ubicación de Finca La Purísima, Fuente: Google Maps.

El pozo tiene una profundidad de 24 metros y una lámina de agua de 3 metros.

La torre en donde se instalará el tanque de almacenamiento de agua tiene una altura de 4.5 metros. El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 5,000 litros y está a tres metros del pozo.

El sitio no se utiliza actualmente porque no tiene electricidad y por lo que está alejado de las galeras, se han robado bombas de agua, láminas de zinc, entre otras cosas.

De acuerdo a National Rural Electric Cooperative Association se tienen registros de velocidad del viento de diferentes partes del país, a como se muestra en la siguiente tabla:

SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

Estación	Años de Información	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Observación
Bluefields	20	6.39	5.56	6	5.42	4.82	4.8	5.4	4.75	4.3	4.4	5.4	6.2	5.29	Meteorología
Corinto	20	2.5	2.8	3.2	3.1	2.65	2.1	2.25	2.5	2.55	2.6	2.2	2.55	2.58	Meteorología
Chinandega	15	3.33	3.75	3.61	3.5	3.05	2.3	2.8	2.85	2.9	2.8	2.75	2.8	3.04	Meteorología
El Capulín	1	9.56	10.37	9.69	9.38	6.6	6.87	8.33	6.81	5.57	5.55	6.6	9.15	7.87	NRECA/CARES
El Delirio	1	9.15	10.07	8.2	8.3	4.11	4.64	6.38	6.19	4.92	5.39	6.84	8.97	6.93	NRECA/CARES
Granada	15	5.85	6.53	6.39	6.11	4.45	4.17	4.5	4.15	3	2.9	4.15	4.9	4.76	Meteorología
Jinotega	20	4.8	5.28	4.73	4.58	3.61	3.89	4.44	3.89	3	3.2	4.31	4.17	4.16	Meteorología
Juigalpa	20	3.97	6.25	5.83	5.85	4.86	4.17	5	4.3	3.47	3.5	4.86	5.83	4.82	Meteorología
Managua	20	5	5.42	5.7	5.42	5.42	4.58	3.5	4	3.75	3.2	3.25	3.4	4.39	Meteorología
Muy Muy	20	3.61	4.03	4.3	4.35	3.33	2.8	3.05	2.75	2.25	2.1	2.8	3.2	3.21	Meteorología
Nagarote	15	5.98	6.81	7.08	6.53	5.14	5.2	4.44	4.2	3.5	2.55	3.5	4.6	4.96	Meteorología
Ocotal	20	4.3	4.7	4.86	4.72	3.61	3.49	4.31	2.8	2.9	3	3.1	3.75	3.8	Meteorología
Puerto Cabezas	20	8.61	7.91	8.34	8.25	7.78	7.65	8.49	7.65	6.95	6.39	7.78	8.2	7.83	Meteorología
Rivas	15	7.36	7.5	6.53	6.95	4.89	4.95	6.25	4.86	4.58	4.03	4.1	6.33	5.69	Meteorología
San Carlos	15	2.8	3.1	3.4	3.25	2.8	2.75	2.5	2.6	2.8	2.75	3.1	3.25	2.93	Meteorología
San Jorge	1	8.95	9.48	8.76	8.72	6.4	7.06	8.38	6.43	5.26	5.24	7.04	8.75	7.54	NRECA/CARES
Santa Ana	1	8.09	8.85	7.92	8.1	4.07	4.91	6.73	5.63	4.44	4.62	6.22	8.18	6.48	NRECA/CARES
Villa Sandino	20	6.39	6.25	6.3	6.81	5.3	4.75	6.11	3.61	3.63	3.65	5	5.83	5.3	Meteorología

Figura 8. Velocidad del viento de diferentes puntos de Nicaragua.

A continuación, se describen los procesos de diseño de cada uno de los componentes.

Rotor eólico

Para la selección del rotor adecuado para esta innovación se analizaron las ventajas y desventajas de los equipos eólicos de eje horizontal y de eje vertical.

Los equipos de eje vertical (EEEV) son menos eficientes que los de eje horizontal (EEEH), pero la construcción de los EEEV es menos complicada debido a que la sujeción de las aspas es de fácil diseño y ejecución, no requieren sistema de orientación para captar la energía del viento y, el mecanismo de transmisión de movimiento para accionar la bomba puede ser ubicado a nivel del suelo.

Por estos criterios se seleccionó un equipo eólico de eje vertical, específicamente un rotor tipo Savonius. Este tipo de rotor se caracteriza por ser de rotación lenta, lo que posibilita el accionamiento de la bomba EMAS.

Este tipo de rotor tiene las siguientes particularidades: diseño sencillo, se puede emplear barriles metálicos de 55 galones para su construcción, que se encuentran a la venta en mercados. Es posible utilizar barriles plásticos, pero éstos son menos rígidos y al ser más livianos poseen una inercia rotacional menor, por lo que se

detendría el bombeo dadas las fluctuaciones del viento, además de poseer un precio más elevado que los barriles metálicos. En la Figura 9, se presentan dos barriles, uno plástico y uno metálico, ambos de la misma capacidad.



Figura 9. Barril plástico (izquierda) y barril metálico (derecha).

El barril se corta longitudinalmente en dos partes iguales para acoplarlos posteriormente en forma de “S”, para realizar el corte se utiliza una esmeriladora angular con un disco de corte, aplicando siempre los criterios de seguridad pertinentes. Para unir los barriles entre sí se utiliza una unión empernada como se muestra en la figura 10.

Debido a la curvatura del rotor, las aspas experimentan menos resistencia cuando se mueven en contra del viento que a favor de él. Esta diferencia causa que la turbina Savonius gire, aunque no tan eficientemente.

Las mitades de los barriles unidas para formar la figura de “S”. A cada conjunto de dos mitades de barril unidas le llamaremos álabe por tratarse de un rotor de turbina. De acuerdo con Franquesa Voneschen, “los rotores Savonius son más eficientes cuando se unen a $1/3$ de su diámetro” (2018, p. 6)

Cada álabe cuenta con un acople en cada extremo para sujetarlo al eje del rotor, este acople funciona también como refuerzo en la unión de las mitades de barril, cada álabe es empernado al rotor por medio de estos acoples, en cada acople se colocan dos pernos de $3/8$ ” grado 2, colocados perpendicularmente entre sí, es decir, el álabe se une al eje por medio de cuatro pernos. En la figura 8, se presenta una vista del modelo CAD del sistema en el que se puede apreciar uno de los acoples al extremo del rotor.

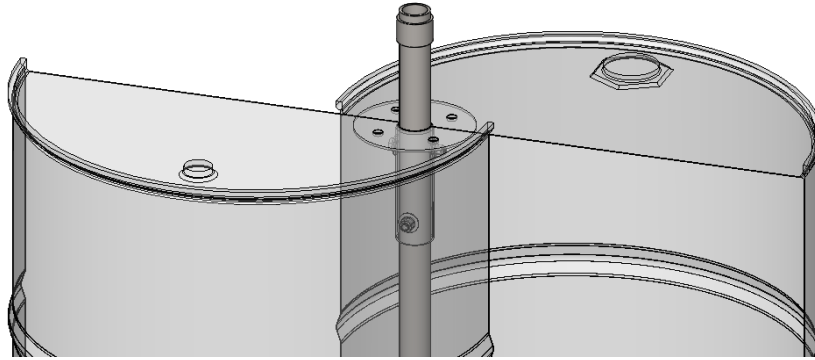


Figura 10. Vista en detalle del acople de las mitades del barril.

Cuando el rotor está armado, éste se puede montar en la estructura, la que está diseñada de forma que el rotor se pueda colocar axialmente, lo que permite levantar la torre y posteriormente colocar el eje con el rotor.

Para fijar el rotor en la torre se diseñaron unas piezas llamadas fijadores que se muestran en la Figura 11, cada uno de estos está compuesto por 2 fijadores de cojinete y 2 bases de sujetador, este elemento tiene la función de sujetar el rotor a la torre. Entre el rotor y las abrazaderas se colocan cojinetes. Se colocan un cojinete en la parte superior del rotor, otro al centro del rotor y otro cojinete en la parte inferior del rotor.

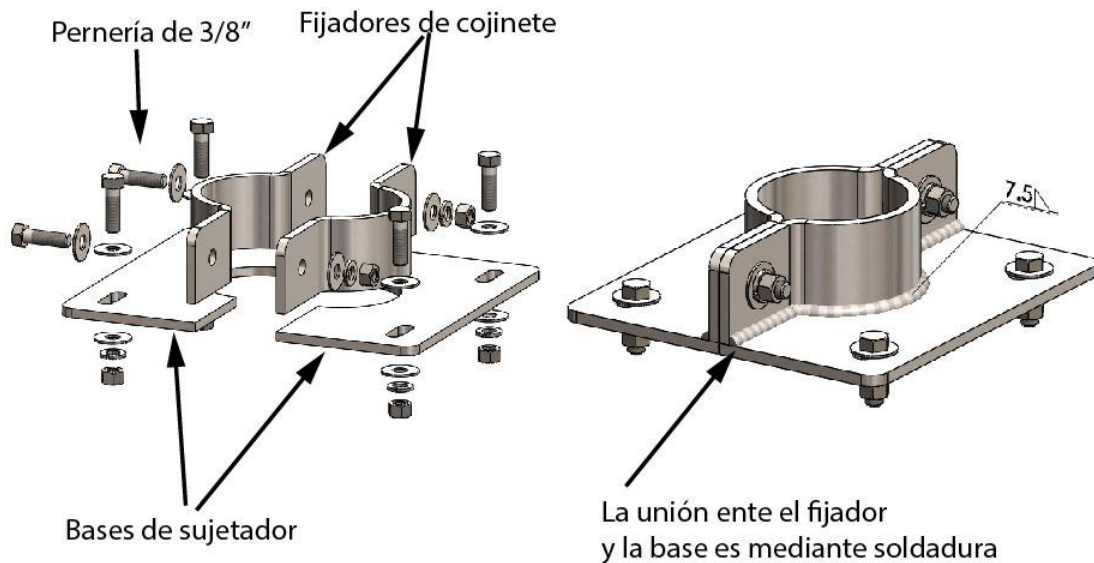


Figura 11. A la izquierda abrazadera armada, a la derecha vista explosionada.

En cada punto de apoyo, se colocan dos fijadores, estos dos fijadores forman una abrazadera que presionan la pista exterior del cojinete y son empernados a la torre sobre unas placas que están soldadas en esta última. En la figura 12, se muestra una de las placas soldadas a la torre.

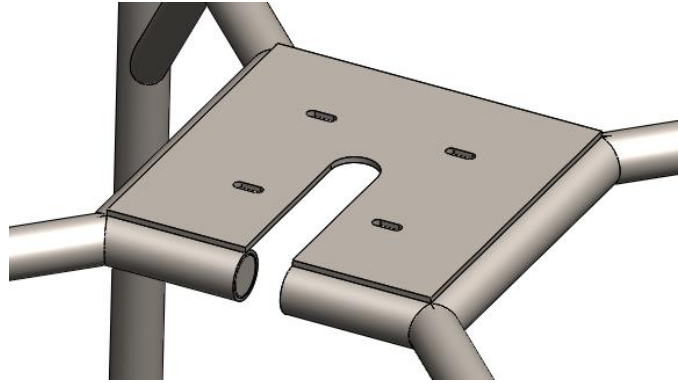


Figura 12. Placa de 3/16" soldada a la torre para la ubicación de los fijadores.

Cabe destacar que tanto los fijadores como las placas en la torre se diseñaron con agujeros oblongos para facilitar el montaje, ajuste y alineación del rotor. Para el acople entre la placa y los fijadores se emplean pernos de 3/8" grado 2, con el fin de estandarizar el diseño.

Diseño de la torre

La torre es la estructura que soporta a los tres mecanismos, el rotor, el mecanismo transformador de movimiento y la bomba, es de forma de pirámide alargada con una base de mayor dimensión que la parte superior. Posee una altura de 5.85 metros a partir del suelo, la base inferior es un cuadrado de 1.5 metros por lado y en la parte superior se forma un cuadrado de 0.94 metros por lado. El diseño piramidal de la torre es para mejorar la estabilidad frente a los esfuerzos que ejerce el viento en diferentes direcciones. En la Figura 13, se muestran las principales dimensiones de la torre.

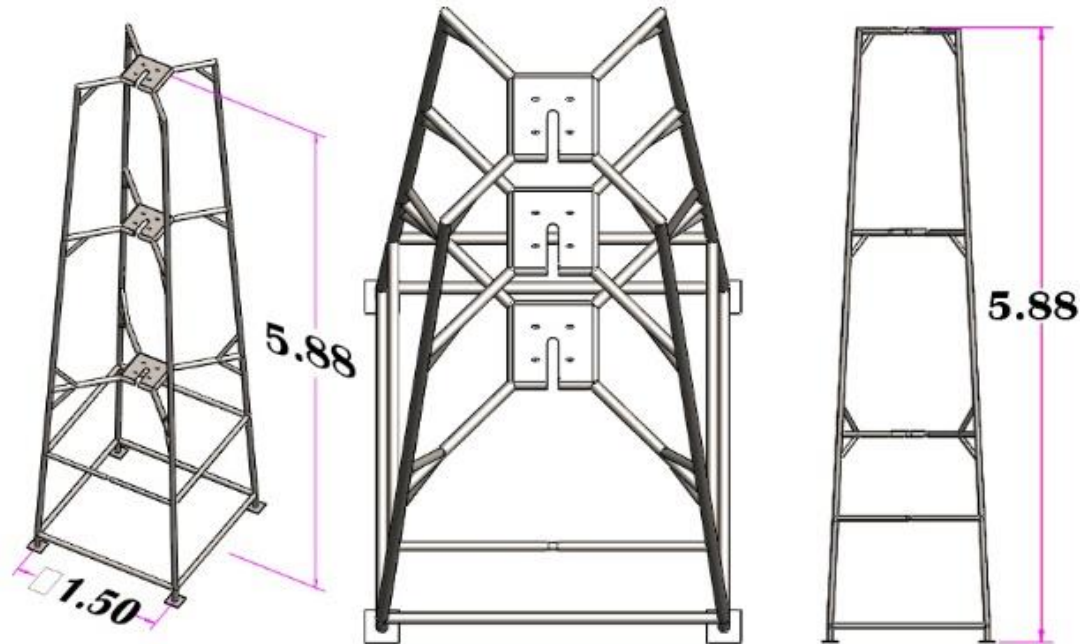


Figura 13. Dimensiones de torre piramidal (Dimensiones en metros).

La torre está fabricada con tubos redondos de 2 pulgadas, cédula 40, no se recomienda utilizar un calibre liviano de tubos a causa de que la estructura está orientada a permanecer en la intemperie y además debe ser capaz de recibir la soldadura de las uniones y soportar los esfuerzos que ejercerá el equipo. Tiene 3 niveles de travesaños en los cuales se fija el rotor a una placa de 3/16" de espesor, estas placas tienen una ranura para que el rotor entre a formar parte del sistema. En cada uno de los niveles se diseñaron soportes adicionales para mejorar la distribución de esfuerzos.

En el cuarto nivel de arriba hacia abajo se coloca el pivote del mecanismo y el quinto, que se ubica a 15 cm del suelo, sirve para brindar rigidez a las patas.

Las patas terminan en una platina de ¼", de 15x15 centímetros, con el fin de poder utilizar pernos de expansión para anclar la estructura a un piso de concreto.

Cálculo de la estructura

Las cargas principales que actúan sobre ésta son su propio peso más el del equipo eólico, y la fuerza axial que ejerce el viento sobre éste. En la figura 14, se muestran

las fuerzas que actúan en la torre. El peso se reparte igual entre las cuatro patas de la torre.

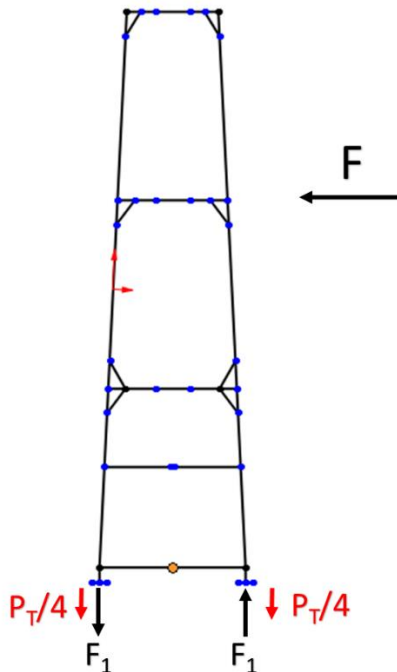


Figura 14 Distribución de fuerzas en la torre.

El empuje axial se calcula por la expresión:

$$F = \frac{1}{2} (\text{Densidad del aire}^4) (\text{Área barrida del rotor}) (\text{Velocidad del viento})^2$$

La fuerza axial crea un momento respecto a la base de la torre, como es de sección cuadrada, de lado d_c , este momento se descompone como dos fuerzas F_1 , en donde se cumple:

$$M = F * h = 2 * F_1 * d_c$$

El factor 2 es porque hay 2 patas a sotavento⁵ y 2 a barlovento que reciben la reacción F_1 . El sentido de esta fuerza es tal que se suma el peso en las patas a sotavento y se

⁴ Se utiliza $\rho_{\text{aire}} = 0.125 \text{ Kg/m}^3$

⁵ Sotavento: hacia donde se dirige el viento, barlovento: desde donde sopla el viento.

resta en las de barlovento. Por lo tanto, la reacción máxima se dará en las de sotavento y valdrá:

$$R_{\text{máx.}} = (P_T / 4) + F_1$$

La reacción de las patas a barlovento se calcula por:

$$R_{\text{máx.}} = (P_T / 4) - F_1$$

El signo menos indica que la fuerza es vertical de abajo hacia arriba. Ya que cualquier par de patas puede estar a barlovento, se calcula la sección de las patas por el esfuerzo máximo:

$$S_{\sigma\text{máx}} = R_{\text{máx.}} / \sigma_{\text{adm}}$$

Dado que cualquier par de patas puede estar a barlovento, el anclaje se debe calcular para que resista, sin ser arrancado, una fuerza hacia arriba de $R_{\text{máx.}}$, además debe de ser capaz de resistir sin hundirse.

Se calcula el volumen necesario del anclaje para que tenga un peso de $R_{\text{min.}}$ y contrarreste la fuerza de vuelco. Si se ancla con hormigón, se debe de considerar el peso específico del mismo que varía entre 2.5 y 3.0 Kg / dm³.

$$\text{Volumen de anclaje} = R_{\text{min.}} / (\text{peso específico del hormigón}).$$

Si el hueco que se hace en la tierra fuera de forma cúbica, el largo de cada lado (L) se calcula por la expresión:

$$L_c = (\text{Volumen del anclaje})^{1/3}$$

Pero se debe de evitar que la torre también se hunda y para esto se calcula la presión que todo el sistema ejerce sobre el terreno, y se calcula por:

$$P_{\text{terr}} = \text{Presión sobre el terreno} = (P_T / 4 + R_{\text{máx.}} + R_{\text{min.}}) / L^2$$

Si P_{terr} resulta ser mayor que la presión que soporta el terreno, se deben de cambiar las dimensiones del hueco de forma tal que el peso de la fundación sea R_{min} pero que la base tenga un área mayor.

A este conjunto, por ser un elemento estructural, se le realizó un estudio para verificar la resistencia de la misma ante el esfuerzo que provocan los vientos, se llevó a cabo una simulación estática, utilizando el programa SolidWorks SIMULATION®. Considerando una velocidad de viento de 10 m/s, es decir, una ráfaga de viento de unos 40 Km/h, el viento produce una fuerza total de 223 Newton (N), repartida a los tres apoyos con los que cuenta el rotor que transmiten el esfuerzo a la estructura, a como se muestra en la Figura 15.

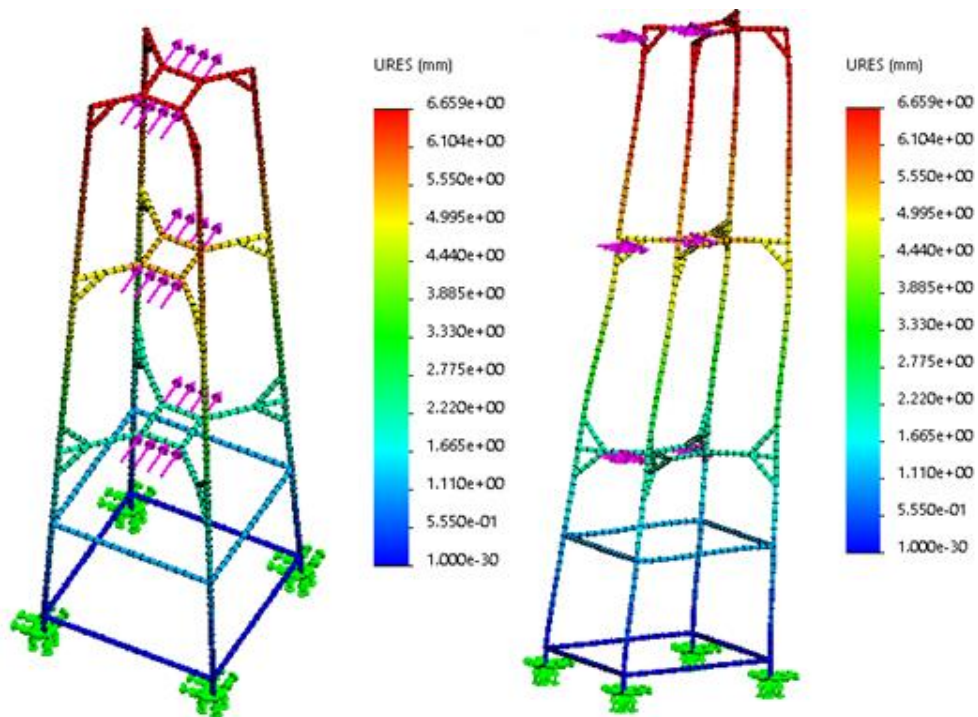


Figura 15. Resultados de análisis FEA aplicados a la torre usando el programa SolidWorks

El desplazamiento máximo se encuentra en la parte superior de la torre, en la zona más alejada a los apoyos fijos del suelo. Según el análisis realizado, el desplazamiento máximo es de 6 milímetros, un valor aceptable comparado con la longitud de la estructura. En el prototipo final se colocaron cables y tensores en las esquinas superiores de la torre con el fin de prevenir estos desplazamientos cuando se

presenten ráfagas que superen el rango habitual de velocidades de viento en la zona y provoquen fatiga en el material de la torre y daños en la base que soporta la torre.

Una variante a este particular puede ser remover las platinas del diseño y en su defecto dejar los cuatro tubos con mayor longitud para soldarles varillas de acero y dejarlos empotrados en el concreto.

La variante que presentada en este trabajo monográfico permite el desmontaje de todo el sistema, tanto para realizar mantenimiento como para mover la torre a otra posición.

Mecanismo de transformación de movimiento.

Los aeromotores usan engranajes para transformar el movimiento rotatorio de las aspas en un movimiento oscilante que acciona la bomba de pistón. Este sistema es relativamente caro puesto que incluye la fabricación de engranajes o la compra de reductores de engranajes y para ambos casos el mantenimiento representa una inversión importante en términos de tiempo y dinero.

Las aerobombas de mecate utilizan poleas y mecate, son sencillas tanto en la construcción como en el mantenimiento, pero no son muy eficientes cuando se presenta turbulencia y no pueden girar 360° para aprovechar los vientos provenientes de todas las direcciones.

Para el diseño de este mecanismo se analizaron los sistemas de transformación de movimiento empleados actualmente en los equipos eólicos.

Se ideó un mecanismo de transformación de movimiento de dos partes: la primera, un mecanismo biela – manivela para transformar el movimiento circular del rotor en movimiento oscilante horizontal y, la segunda parte, un mecanismo de palanca triangular para convertir el movimiento oscilante horizontal en movimiento oscilante vertical que accionará la bomba de agua. En la figura 16, se muestra un esquema del mecanismo y una foto del mismo instalado en el sistema.

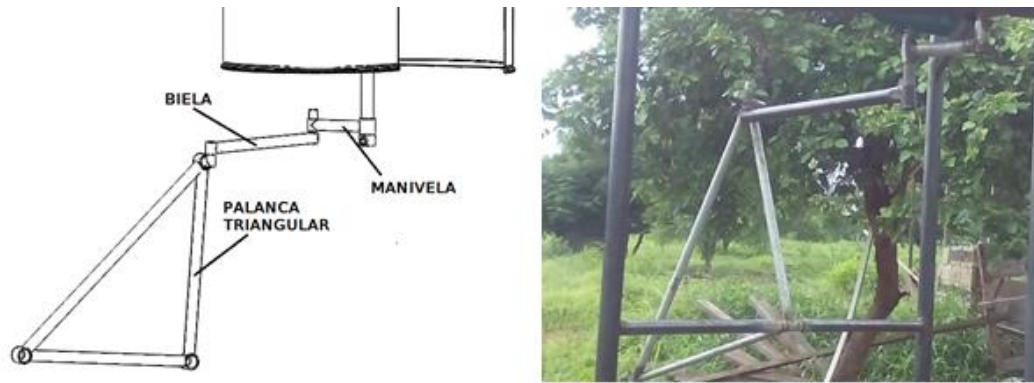


Figura 16. Mecanismo de transformación de movimiento. A la izquierda el modelo diseñado en SolidWorks. A la derecha, el prototipo fabricado.

Para dimensionar este mecanismo de tomó como base el tamaño de los barriles y la sugerencia de dejar un traslape de un tercio del diámetro. El viento actuando en dirección perpendicular a la sección cóncava de un barril ejercerá una fuerza distribuida en la sección sombreada, tal y como se muestra en la Figura 17.

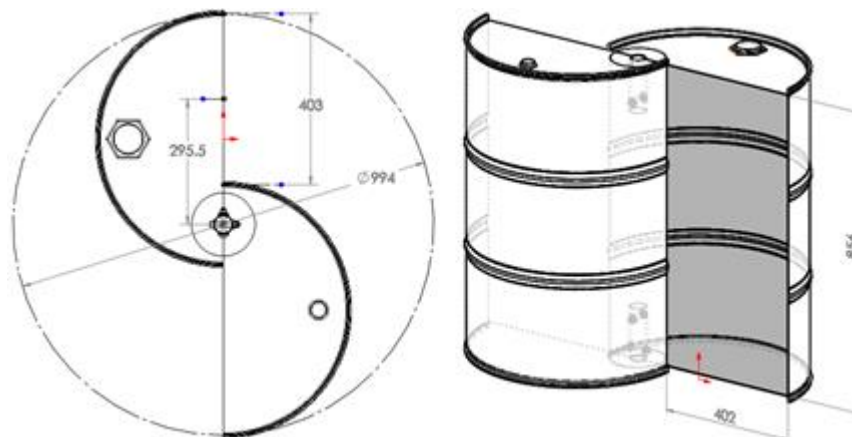


Figura 17. Ábabe formado por dos mitades de barril y dos acoples (Dimensiones en milímetros).

Como es una fuerza uniformemente distribuida, entonces tendrá su centro a la mitad de esta sección, es decir, a 295.5 milímetros del centro del rotor.

Si la longitud de la manivela fuera igual a este brazo, la relación de transmisión entre el rotor y el mecanismo sería 1:1. Aquí se presenta una oportunidad de obtener ganancia mecánica, gracias a que se diseñó una manivela de menor longitud, por lo que la relación de transmisión aumenta y el rotor tendría mayor torque sobre el

mecanismo. Si se coloca una manivela de longitud igual a la mitad del brazo de la fuerza antes mencionada, el torque transmitido a lo largo del eje del rotor produciría una fuerza igual al doble de la fuerza aplicada por el viento en una de las secciones de los álabes

Se decidió darle a la manivela una longitud un poco menor al valor del brazo donde se aplica la fuerza del viento, esto para evitar un golpe muy fuerte sobre la bomba.

En la figura 18, se muestra el rotor visto desde arriba, el valor de 994 milímetros representa la capacidad de captación de viento del rotor, este es el diámetro tomado desde los vértices internos de cada mitad de barril. La magnitud 381 milímetros representa el diámetro del círculo que describe la manivela. El valor 188 milímetros es el diámetro de solapamiento entre barriles.

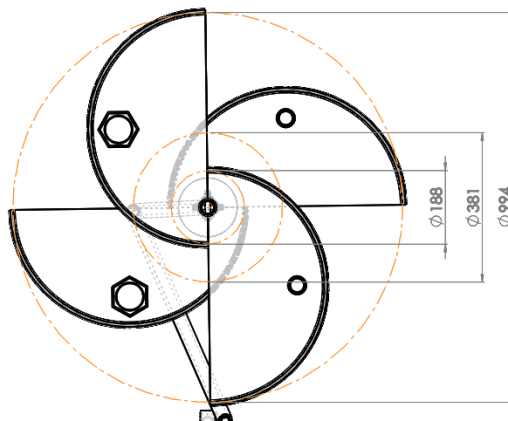


Figura 18. Vista superior del rotor con sus dimensiones (Dimensiones en milímetros).

La biela se dimensiona en función de la torre, de la ubicación de la palanca triangular en la torre, de la ubicación de la bomba en el pozo y de la torre con respecto al pozo. En la figura 19, se muestran las dimensiones de la biela y el recorrido que realiza en el plano horizontal.

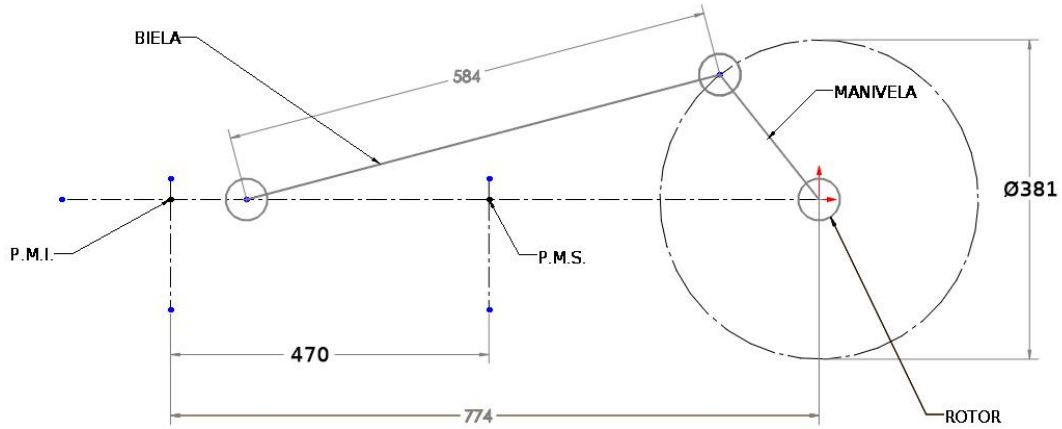


Figura 19. Esquema de la vista de planta del mecanismo (Dimensiones en milímetros).

La palanca triangular mostrada en la figura 19, depende de la diferencia en altura entre el brocal del pozo y el plano de rotación de la biela. Aquí se presenta otra oportunidad de obtener ganancia mecánica, teniendo en cuenta que se podría diseñar una palanca en forma de triángulo con el lado inferior de mayor longitud que el lado vertical mostrado en la figura 20. En este caso, se considera un triángulo con ambos lados iguales para simplificar la construcción del mecanismo.

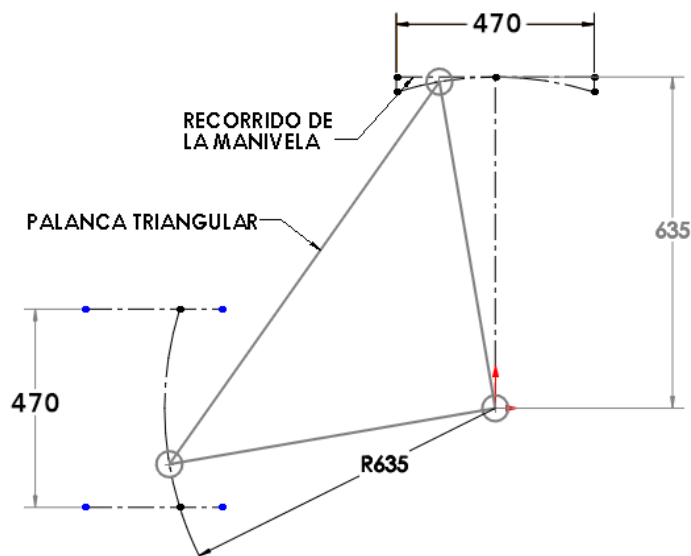


Figura 20. Esquema de la vista lateral de palanca triangular (Dimensiones en milímetros).

Bomba de agua

Se construyeron una bomba de pistón y una bomba EMAS y se compararon los siguientes factores: caudal de agua bombeado, costos de fabricación, disponibilidad de materiales para la construcción de la bomba y la complejidad para realizar el mantenimiento en cada una de ellas.

Se seleccionó la bomba de agua EMAS mostrada en la figura 21, principalmente porque los costos de producción eran menores, los materiales empleados para su construcción se pueden adquirir fácilmente, además que para su construcción no se requerían de herramientas especializadas. Un factor decisivo para la selección es porque el mantenimiento es sumamente sencillo y puede ser realizado fácilmente por los mismos pequeños productores.

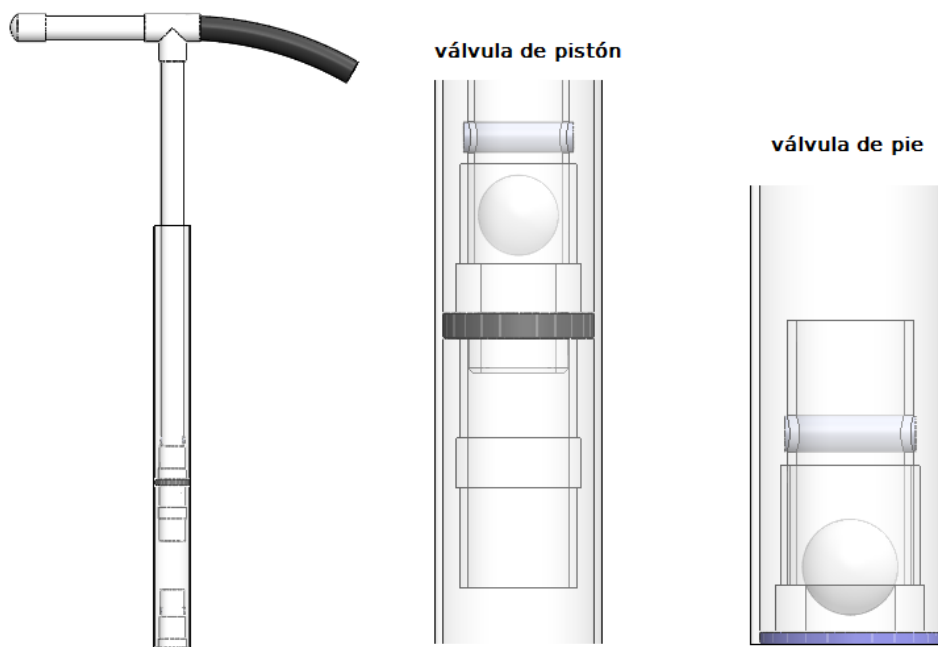


Figura 21. Bomba EMAS con acercamiento a las válvulas que la componen.

La bomba funciona moviendo el agua al accionar la válvula de pie y la válvula de pistón las que únicamente permiten pasar el agua hacia arriba.

La bomba se construye con dos tubos: un tubo de mayor diámetro que sirve como cámara de presión, que no se mueve y un tubo interior que funciona como maneral y

como pistón, en vista de que este se mueve hacia arriba y hacia abajo. Al subir el pistón (tubo interior), el agua entra en la cámara de presión a través de la válvula de pie. Al bajar el pistón, el agua entra al pistón. Después de repetir este movimiento varias veces, el agua sale por la parte superior del tubo.

Construcción del prototipo del sistema de bombeo eólico de bajo costo.

Después de diseñar los componentes del sistema de bombeo eólico de bajo costo se procedió a construir un prototipo en tamaño real para determinar la capacidad del sistema.

Bomba de agua EMAS

Los materiales necesarios para construir la bomba EMAS se adquieren fácilmente en cualquier ferretería, no se requieren equipos especiales para su construcción. En la Figura 22, se muestran los materiales y equipos necesarios para fabricar una bomba EMAS.



1. Tubo PVC ½"
2. Tubo PVC 1"
3. Dos adaptadores ½" hembra con rosca
4. Dos adaptadores ½" macho con rosca
5. Hule de neumático de carro
6. Dos chibolas
7. Una caladora
8. Un pliego de lija
9. Una sierra

Figura 22. Materiales y Herramientas para construir bomba EMAS

Procedimiento para construir la bomba EMAS

1. Fabricación del empaque de hule.

Se cortó un trozo de hule de tamaño necesario para que pueda introducirse en el tubo de 1", a como se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Inicio de proceso de fabricación de empaque

Se localiza el centro del empaque para perforar el interior del empaque, a como se muestra en la Figura 24.



Figura 24. Cortes internos y externos del empaque

Se lija a lo interno y a lo externo del empaque para su posterior colocación en el adaptador macho. Ver Figura 25. El empaque se hace para reducir las pérdidas por recirculación dentro de la bomba.

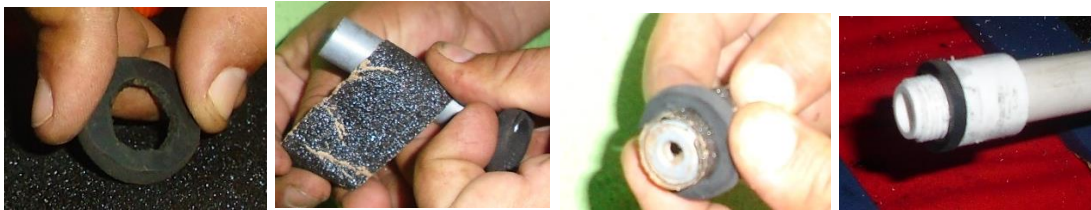


Figura 25. Empaque lijado en la parte interna y externa

2. Válvulas para controlar el flujo del líquido

Se quitan los bordes de los adaptadores de 1/2" con la finalidad de que penetren en el tubo de 1". Ver Figura 26.



Figura 26. Preparación del adaptador macho de 1/2"

El adaptador hembra de 1/2" se parte en dos, una parte se coloca en el adaptador macho y otra parte en la válvula de pie. En la Figura 27, se muestra el adaptador hembra antes y después del corte.

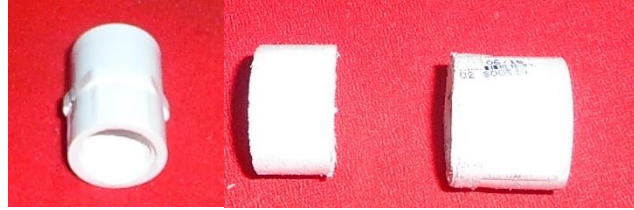


Figura 27. Adaptador hembra, antes y después del corte

Una parte se emplea para sostener el empaque y la otra parte para formar la válvula de pie, a como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Válvulas de control de flujo (interna y externa)

Válvula de pie

La válvula de pie, que se coloca en el tubo externo, que actúa como cilindro, sirve para permitir el paso del agua hacia el interior de la bomba EMAS sin permitir que el agua retorne hacia el exterior. Se coloca un pedazo de plástico para evitar que la chibola tenga mucho desplazamiento dentro del tubo. Ver Figura 29.



Figura 29. Válvula de pie construida

Para instalar la válvula de pie, se calienta el tubo externo, reduciendo su diámetro con la finalidad que la válvula quede apretada. Para asegurar que no se mueva, se coloca pegamento entre el tubo y la válvula, a como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Válvula de pie construida

Válvula de pistón

La válvula de pistón se instala en el interior al tubo de descarga (interno), a como se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Proceso de construcción de válvula de pistón

Bomba acoplada

En la Figura 32, se muestra la bomba EMAS acoplada.



Figura 32. Bomba EMAS acoplada

La profundidad del pozo es de 24 metros, la altura del tanque de agua es de 4.5 metros, cantidad de tubos a emplear depende de la profundidad del pozo, para esta innovación se emplearon tres tubos y medio de 1" y cinco tubos de ½".

Una vez acoplada la bomba, se realizan pruebas de funcionamiento. Se realiza la prueba de fuga, para ello se llena la bomba con agua y se sujeta por la parte superior, verificando que no tiene fuga en el extremo inferior, o que esta es mínima. Otra prueba que se realiza es verificar que la fricción entre el sello de hule y el tubo de la válvula de pie no sea mucha y que frene el bombeo.

En la bomba se tienen las siguientes dimensiones:

⊕ Diámetro interno del tubo de 1", es decir el tubo de la válvula de pie = 0.0290m.

⊕ Área de la sección transversal de la bomba = 0.00066m².

Sistema de bombeo

Para la realización de este trabajo monográfico se construyeron dos prototipos para este sistema. El primer prototipo, fue construido en las instalaciones del Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería, constaba de una torre que albergaba a un rotor con dos álabes, es decir, dos barriles partidos a la mitad unidos dispuestos a 90° con respecto a la sección transversal. Una vez terminados los preparativos el prototipo fue llevado a la finca "La Purísima" para evaluar su desempeño.

En la figura 33, se muestra el sistema de bombeo, a la izquierda en el campus de la universidad y a la derecha en la finca.



Figura 33. Primer prototipo construido

En el sitio los vientos fueron muy débiles para mover el agua desde el pozo hasta el tanque de almacenamiento, por lo que se decidió aumentar el número de barriles para aprovechar mejor la energía cinética del viento.

Para conservar la simetría se aumentaron dos barriles más, quedando el rotor de cuatro barriles, que corresponde al modelo evaluado.

En la Figura 34, se muestra el proceso de construcción del segundo prototipo. En la parte izquierda se muestra una de las platinas que sostienen el rotor, en el centro se muestra el proceso de construcción de la torre piramidal y, en la parte derecha el acople entre el rotor y las mitades de los barriles (álabes).



Figura 34. Proceso constructivo de la torre y el rotor

En la Figura 35, se muestra el sistema de bombeo construido e instalado en el campo deportivo del Recinto Universitario Simón Bolívar, en el extremo derecho se muestra el mecanismo de transformación del movimiento construido.



Figura 35. Sistema de bombeo eólico construido e instalado en el Recinto Simón Bolívar

Curva característica de sistema de bombeo.

Eficiencia volumétrica

Lo primero que se evaluó del sistema de bombeo fue la eficiencia volumétrica de la bomba de agua. La eficiencia volumétrica es la razón que se tiene entre el volumen de agua bombeado y el volumen teórico que se debería de haber bombeado.

Lo primero que se hizo fue calcular el volumen teórico de la bomba, para ello se tiene que el interior del tubo de una pulgada tiene un diámetro interior de 0.029m (2.9 cm).

El área interna de la bomba se calcula por la expresión: $Area = \frac{\pi x D^2}{4}$,

$$\text{Área interna} = \frac{\pi x (0.029)^2}{4} = 0.00066 \text{ m}^2$$

Posteriormente se midió el desplazamiento del pistón, que es de 0.47 m.

El volumen teórico de la bomba se calcula por la fórmula:

$$\text{Volumen} = (\text{Área interna}) \times (\text{Desplazamiento del pistón})$$

$$\text{Volumen} = (0.00066 \text{ m}^2) \times (0.47 \text{ m}) = 0.000310444 \text{ m}^3 = 310.444332 \text{ ml}$$

Posteriormente, se midió la cantidad de agua bombeada por la bomba, para ello se pesó la cantidad de agua bombeada con 5 acciones de bombeo, a como se muestra en la figura 36.



Figura 36. Pesaje del agua bombeada

Por acción de bombeo se puede entender el giro completo de la biela, o el giro de 360° del rotor o por el desplazamiento desde el punto muerto superior de la bomba hasta el punto muerto inferior y regresando hasta el punto muerto superior.

Se promedió el peso del agua obtenida en cinco pruebas, resultando en 998 ml.

El volumen del agua bombeada se calcula al dividir el peso del agua bombeada por el peso específico del agua que es de 1 gr/ml.

$$\text{Volumen bombeado} = \frac{\text{Peso del agua bombeada}}{\text{Peso específico del agua}} = \frac{998 \text{ ml}}{1 \text{ gr/ml}} = 998 \text{ ml}$$

Al dividir este resultado entre las acciones de bombeo, el volumen por acción de bombeo es de:

$$\text{Volumen por acción de bombeo} = \frac{\text{volumen bombeado}}{\text{acciones de bombeo}} = \frac{998 \text{ ml}}{5} = 199.60 \text{ ml}$$

La eficiencia de la bomba se calcula por la expresión:

$$\eta = \frac{\text{Volumen bombeado}}{\text{Volumen teórico de la bomba}} \times 100\% = \frac{199.60 \text{ ml}}{310.44 \text{ ml}} \times 100\% = 64\%$$

La bomba tiene una eficiencia volumétrica del 64%.

Este valor es de vital importancia como factor de corrección en los cálculos y será tomado más adelante.

Las características principales de un sistema de bombeo son: velocidad de arranque, velocidad específica, caudal de agua bombeado.

Para determinar las características del sistema de bombeo se instaló el tercer prototipo en el campo deportivo del Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería, simulando las condiciones del pozo en la finca, para ello se calculó el peso de la columna de agua y las pérdidas de fricción.

La profundidad del pozo es de 24 metros, la altura del tanque de agua es 4.5 metros y la distancia horizontal entre el pozo, la torre donde se instalará el tanque es de 3 metros. El extremo inferior de la bomba estará sumergido en el pozo a 1.5 metros. Sumando estos valores se obtiene una altura total de 33 metros, para los cálculos se utiliza una altura de 35 metros con el fin de asumir las pérdidas por fricción de la bomba.

Para calcular la fuerza necesaria para mover agua desde pozo hasta el tanque de agua, se multiplica el volumen de la columna de agua por el peso específico del agua. El agua se conduce por el tubo de 1/2", que tiene un diámetro interno de 0.018 metros.

$$\text{Peso de agua} = \frac{\pi \times (0.018)^2}{4} m^2 \times 35 m \times 1000 \frac{kg}{m^3} = 8.91 \text{ Kg}$$

Este peso fue añadido al extremo de la palanca triangular para simular las condiciones en el pozo existente, a como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Peso añadido a la palanca triangular para simular condiciones de pozo

Con las condiciones simuladas se midieron las acciones de bombeo con sus respectivas velocidades promedios del viento. Los resultados se agruparon por rango de velocidades, con estos datos se procedió a realizar los cálculos.

Para el levantamiento de los datos se procedió de la siguiente forma: Se contaron las revoluciones que realizaba el rotor en un minuto, durante ese lapso de tiempo se mantuvo activado el anemómetro para que registrar los datos de velocidad mínima, máxima y promedio; una vez que se cumplía el minuto de cada prueba se anotaban los resultados en un cuaderno, posteriormente se ordenaban de mayor a menor. La tabla de datos recolectados se presenta en los anexos.

Velocidad de arranque

Se hicieron pruebas para determinar la velocidad en la cual el sistema iniciaba a girar y a bombear agua. Se midió que a 2.8 m/s el rotor iniciaba a girar.

Es importante recalcar que esta velocidad es la necesaria para vencer la inercia, pero que seguía bombeando agua a velocidades menores a 2.8 m/s, por esta razón se determinaron caudales de agua bombeada a velocidades menores de este valor.

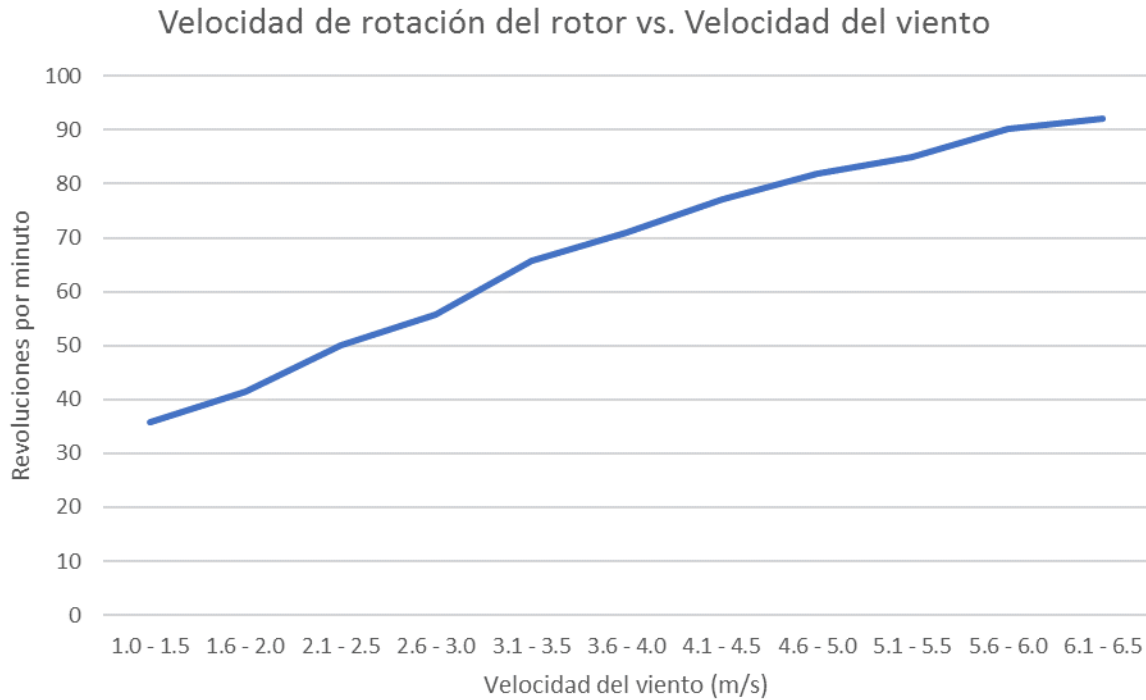
Velocidad de giro del rotor

La velocidad de giro se determinó contando las revoluciones que realizaba el rotor a diferentes velocidades del viento. Los datos promedios se muestran en la siguiente tabla.

Velocidad del viento (m/s)	Revoluciones por minuto (n)
1.0 - 1.5	35.8
1.6 - 2.0	41.4
2.1 - 2.5	50.1
2.6 - 3.0	55.8
3.1 - 3.5	65.6
3.6 - 4.0	71.0
4.1 - 4.5	77.1
4.6 - 5.0	81.8
5.1 - 5.5	84.9
5.6 - 6.0	90.1
6.1 - 6.5	92.0

Tabla 1. Velocidad de rotación del rotor a diferentes velocidades del viento

La curva de velocidad de rotación del rotor se muestra a en la siguiente gráfica.



Velocidad específica

La velocidad específica λ , es un valor característico de cada equipo eólico. Se obtiene dividiendo la velocidad de las puntas del rotor por la velocidad del viento y este valor varía a diferentes velocidades del viento.

La velocidad de las puntas del rotor se calcula por la expresión:

$$\text{Velocidad de las puntas del rotor} = \frac{\pi \times \text{Diámetro del rotor} \times \text{revoluciones por minuto}}{60} \text{ (m/s)}$$

La velocidad específica se calcula por la expresión:

$$\text{Velocidad específica} = \frac{\text{Velocidad de las puntas del rotor}}{\text{Velocidad del viento}}$$

El rotor Savonius tiene una velocidad específica baja, el valor que se calculó varió a lo largo de las diferentes pruebas, resultando lo siguiente:

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad Específica
1.0 - 1.5	1.449
1.6 - 2.0	1.164
2.1 - 2.5	1.101
2.6 - 3.0	1.009
3.1 - 3.5	1.006
3.6 - 4.0	0.945
4.1 - 4.5	0.907
4.6 - 5.0	0.862
5.1 - 5.5	0.810
5.6 - 6.0	0.786
6.1 - 6.5	0.739

Tabla 2. Velocidad específica del viento

En este caso se deduce que, al aumentar la velocidad del viento, la velocidad específica del rotor se reduce.

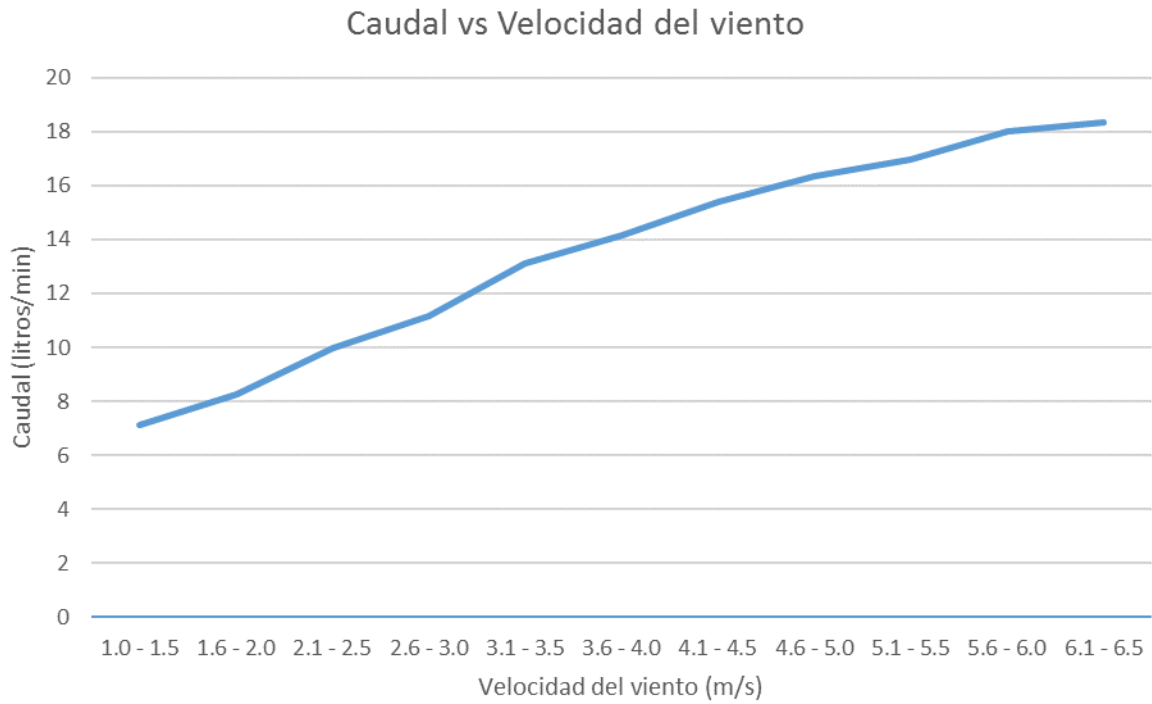
Caudal de agua bombeado

Este valor se obtuvo a través de mediciones del caudal bombeado a diferentes velocidades del viento. El valor del caudal se hizo pesando el agua bombeada en el período de medición. En el siguiente gráfico se muestra la curva de caudal de agua bombeado a diferentes velocidades del viento.

Velocidad del viento (m/s)	Caudal (l/min)
1.0 - 1.5	7.1
1.6 - 2.0	8.3
2.1 - 2.5	9.9
2.6 - 3.0	11.1
3.1 - 3.5	13.1
3.6 - 4.0	14.2
4.1 - 4.5	15.4
4.6 - 5.0	16.3
5.1 - 5.5	16.9
5.6 - 6.0	17.9
6.1 - 6.5	18.4

Tabla 3. Caudal de agua a diferentes velocidades del viento

El caudal de agua bombeado a diferentes velocidades se muestra en el siguiente gráfico:



Potencia eólica

La potencia desarrollada por un rotor depende de la superficie perpendicular a la velocidad del viento, de la velocidad de giro, de la velocidad del viento y del tipo de rotor.

El coeficiente de potencia de los rotores Savonius es bajo, llegando a un valor máximo que varía entre 0.32 y 0.5. En este trabajo monográfico se va a tomar un valor de 0.15 para el cálculo de la potencia, que es el valor promedio que se considera en la mayoría de los documentos que sirvieron de referencia.

La potencia se calcula de la siguiente manera (Carta Gonzalez et al, 2009, pág. 372):

$$P = 0.15 * \rho_a * v_v^3 * D * H$$

Donde:

- ρ_a : densidad del aire, kg/m³ (varía con la temperatura, la altura y la densidad)
- v_v : velocidad del viento, en metros por segundo (m/s)
- D: diámetro del rotor, en metros (m)
- H: altura del rotor, en metros (m)

Velocidad del viento (m/s)	Potencia (Vatio)
1.0 - 1.5	1.4
1.6 - 2.0	4.2
2.1 - 2.5	8.7
2.6 - 3.0	15.7
3.1 - 3.5	25.7
3.6 - 4.0	39.3
4.1 - 4.5	56.9
4.6 - 5.0	79.2
5.1 - 5.5	106.6
5.6 - 6.0	139.7
6.1 - 6.5	179.0

Tabla 4. Potencia eólica a diferentes velocidades del viento

La relación entre la potencia eólica extraída por el rotor y la velocidad de viento se muestra en el siguiente gráfico:



Costo de construcción del sistema de bombeo eólico

El costo del sistema de bombeo eólico, incluyendo mano de obra y materiales de construcción fue de trescientos sesenta dólares americanos (US\$ 361.00), monto que es muy inferior al costo de los otros sistemas de bombeo existentes en el país, por lo que se puede concluir que se cumplieron con los objetivos del proyecto y se considera que este sistema puede ser empleado por pequeños productores para abastecer de agua a sembradíos, permitiéndoles cultivar sus productos durante todo el año, con la mejora en el nivel de vida de los usuarios finales de esta tecnología.

Descripción	Total C\$
Cinco discos de corte	169.36
Seis platinas con cortes	1750.00
Seis tubos de 1 1/2"	3150.00
Soldadura	393.23
Pernos y Arandelas	120.00
Broca para metal	40.00
Cuatro barriles	1000.00
Tubos plásticos y materiales para bomba de agua	1300.00
Trabajo de soldadura	4000.00
TOTAL C\$	11922.59
TOTAL US\$ (C\$ 33 x 1 US\$)	361.29

Tabla 5. Costo del sistema de bombeo eólico

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

Se diseñó el sistema de bombeo eólico a un costo de US\$ 360.00, lo que es un monto que podría ser asumido por un pequeño productor.

El sistema de bombeo eólico funciona a bajas velocidades y puede ser usado en la mayor parte del país, como se puede notar en el mapa eólico, en la mayor parte del territorio nacional se tienen velocidades mayores a 2.8 m/s, siendo esta la velocidad de arranque del sistema. Es importante recalcar que, si el manto freático está a menor profundidad, la energía requerida para bombear el agua es menor.

Se comprobó que la velocidad específica de este tipo de equipo es menor a 1.

Se construyeron las curvas características del sistema de bombeo y con esos datos se pueden determinar la cantidad de agua que se puede bombear a lo largo del día, si se tuvieran los datos de la velocidad del viento en el sitio donde se quiera instalar el sistema.

Por lo antes mencionado, se considera que este sistema podría ser de mucha utilidad para pequeños productores, quienes podrían regar sus cultivos en la época de verano. Es importante notar que en verano la velocidad del viento se incrementa, esta característica hace de este tipo de equipo permita incrementar los ingresos de los pequeños productores que podrían cosechar en esta época, que, por lo general, no cultivan.

Adicionalmente, este tipo de equipo podría ayudar a incrementar la cantidad de verduras y vegetales, reduciendo el costo de los mismos, mejorando el poder adquisitivo de la población.

El mantenimiento es bastante sencillo y no requiere de herramientas especializadas

Recomendaciones

Para realizar el mantenimiento es necesario asegurar que el rotor no gire con el viento, por lo que es necesario diseñar un mecanismo de freno para el rotor.

Se recomienda instalar un filtro en la bomba para reducir el ingreso de pequeñas partículas que rayen la superficie interior de la bomba. El filtro sugerido es un pequeño cedazo que se ate alrededor de la bomba.

Bibliografía

- Blake, S. (1978). *Wind Driven Water Pumps*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Carta Gonzalez et al, J. A. (2009). *Centrales de Energías Renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Cherkasski, V. M. (1984). *Bombas Ventiladores Compresores*. Moscú: MIR.
- Escuela Móvil de Agua y Saneamiento Básico. (28 de Enero de 2018). *EMAS International*. Obtenido de www.emas-international.de/fileadmin/pics/virtueller/manual_EMAS_en_colores
- Kenneth, J. (1998). *Bombas Selección, uso y mantenimiento*. Madrid: McGRAW-HILL.
- Lugo Yugo, R. G., & Rivera Gutiérrez, Y. N. (2003). *Evaluación Tecnológica de los Sistemas de Bombeo de Agua para Consumo Humano Implementado en la Zona Rural y el Sictor Rural Disperso de Nicaragua (Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico)*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Maradiaga Rocha, W. A., & Rocha Ayesta, C. J. (2012). *Diseño de un Aerogenerador Eólico de Eje Vertical para Suministro Eléctrico Domiciliar (Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico)*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- PASOLAC. (2003). *Tecnoogías Alternativas para el Aprovechamiento y Manejo del Agua con fines agropecuarios y domésticos en zonas secas*. Managua: Ediciones Educativas, Diseños e Impresiones S.A.
- Viejo Zubicaray, M. (2000). *Bombas Teoría, diseño y apicaciones*. México, D. F.: LIMUSA S.A. de C.V.
- White, F. M. (2006). *Mecánica de Fluidos*. Madrid: McGRAW-HILL.

Zingman, A. (2007). *Optimization of a Savonius Rotor Vertical-Axis Wind Turbine for Use in Water Pumping Systems in Rural Honduras (Tesis para optar al título de Bachelor of Science)*. MASSACHUSETTS: MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

Anexos.

Tabla de datos recolectados.

N° de medición	Velocidad del viento (m/s)	Acciones de bombeo	N° de medición	Velocidad del viento (m/s)	Acciones de bombeo
1	1.2	24	90	3.1	67
2	1.2	26	91	3.1	67
3	1.3	26	92	3.1	63
4	1.3	27	93	3.2	63
5	1.3	30	94	3.2	64
6	1.4	33	95	3.2	64
7	1.4	37	96	3.3	63
8	1.4	40	97	3.3	60
9	1.4	44	98	3.4	62
10	1.5	40	99	3.4	65
11	1.5	42	100	3.5	67
12	1.5	40	101	3.5	69
13	1.5	40	102	3.5	68
14	1.5	43	103	3.5	70
15	1.5	45	104	3.5	71
16	1.6	33	105	3.5	71
17	1.6	46	106	3.6	64
18	1.6	35	107	3.6	67
19	1.6	40	108	3.6	68
20	1.6	38	109	3.6	69
21	1.6	39	110	3.6	65
22	1.6	39	111	3.7	69
23	1.6	37	112	3.7	68
24	1.7	39	113	3.7	70
25	1.7	40	114	3.7	70

SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

26	1.7	35	115	3.7	69
27	1.8	44	116	3.7	70
28	1.8	39	117	3.7	71
29	1.8	45	118	3.8	70
30	1.8	49	119	3.8	69
31	1.9	50	120	3.8	71
32	1.9	39	121	3.8	70
33	1.9	46	122	3.8	69
34	1.9	58	123	3.8	68
35	2.0	30	124	3.8	70
36	2.0	44	125	3.8	73
37	2.0	41	126	3.9	74
38	2.0	42	127	3.9	74
39	2.0	43	128	3.9	75
40	2.0	44	129	3.9	75
41	2.1	48	130	3.9	74
42	2.1	48	131	3.9	73
43	2.1	49	132	3.9	72
44	2.1	50	133	4.0	74
45	2.2	54	134	4.0	75
46	2.2	46	135	4.0	74
47	2.2	46	136	4.0	73
48	2.2	46	137	4.0	74
49	2.3	50	138	4.0	74
50	2.3	61	139	4.0	73
51	2.3	48	140	4.0	74
52	2.3	51	141	4.1	70
53	2.4	46	142	4.1	73
54	2.4	56	143	4.1	72

SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

55	2.4	50	144	4.1	75
56	2.4	48	145	4.1	72
57	2.4	45	146	4.1	76
58	2.5	56	147	4.2	75
59	2.5	47	148	4.2	70
60	2.5	49	149	4.2	74
61	2.5	53	150	4.2	77
62	2.5	54	151	4.2	78
63	2.6	50	152	4.2	77
64	2.6	72	153	4.2	76
65	2.6	54	154	4.2	80
66	2.6	50	155	4.2	75
67	2.6	53	156	4.3	78
68	2.6	54	157	4.3	80
69	2.6	53	158	4.3	77
70	2.6	53	159	4.3	80
71	2.7	52	160	4.3	73
72	2.7	48	161	4.3	70
73	2.7	65	162	4.4	78
74	2.7	62	163	4.4	78
75	2.7	63	164	4.4	80
76	2.7	61	165	4.4	80
77	2.8	41	166	4.4	82
78	2.8	61	167	4.4	81
79	2.8	43	168	4.4	81
80	2.8	48	169	4.5	81
81	2.8	53	170	4.5	84
82	2.9	55	171	4.5	80
83	2.9	56	172	4.5	77

SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

84	2.9	58	173	4.5	79
85	2.9	60	174	4.5	80
86	3.0	60	175	4.5	80
87	3.0	64	176	4.6	80
88	3.0	63	177	4.6	77
89	3.1	62	178	4.6	81
			179	4.6	82
N° de medición	Velocidad del viento (m/s)	Acciones de bombeo	N° de medición	Velocidad del viento (m/s)	Acciones de bombeo
180	4.6	81	270	5.7	87
181	4.6	77	271	5.7	87
182	4.6	81	272	5.7	85
183	4.6	80	273	5.7	84
184	4.6	75	274	5.7	88
185	4.6	83	275	5.7	87
186	4.6	77	276	5.7	91
187	4.7	83	277	5.8	90
188	4.7	81	278	5.8	89
189	4.7	82	279	5.8	87
190	4.7	80	280	5.8	89
191	4.7	78	281	5.8	91
192	4.7	79	282	5.8	88
193	4.7	79	283	5.8	90
194	4.7	77	284	5.8	89
195	4.7	84	285	5.8	91
196	4.7	80	286	5.8	89
197	4.8	84	287	5.8	91
198	4.8	77	288	5.8	90
199	4.8	82	289	5.9	92
200	4.8	75	290	5.9	91
201	4.8	84	291	5.9	91
202	4.8	82	292	5.9	90
203	4.8	79	293	5.9	91
204	4.8	87	294	5.9	90
205	4.8	81	295	5.9	89
206	4.9	83	296	5.9	89
207	4.9	85	297	5.9	90

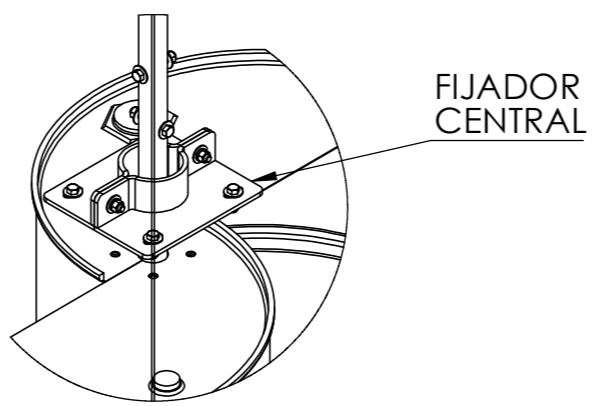
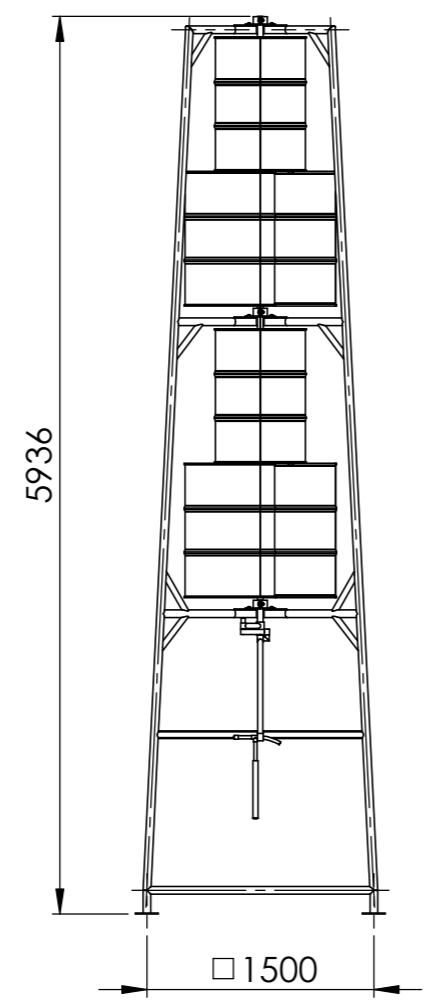
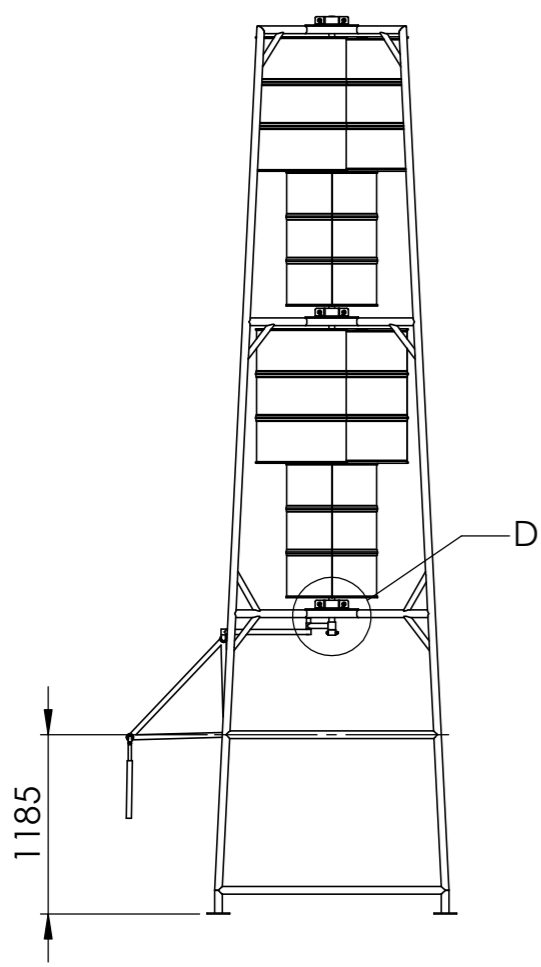
SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

208	4.9	84	298	5.9	92
209	4.9	88	299	6.0	93
210	4.9	82	300	6.0	94
211	4.9	80	301	6.0	92
212	4.9	83	302	6.0	93
213	4.9	84	303	6.0	92
214	5.0	83	304	6.0	94
215	5.0	85	305	6.0	93
216	5.0	80	306	6.0	93
217	5.0	81	307	6.0	92
218	5.0	85	308	6.0	91
219	5.0	87	309	6.0	93
220	5.0	87	310	6.0	91
221	5.0	86	311	6.1	88
222	5.0	83	312	6.1	92
223	5.0	85	313	6.1	92
224	5.0	82	314	6.1	93
225	5.0	86	315	6.1	89
226	5.0	84	316	6.1	92
227	5.1	83	317	6.1	90
228	5.1	80	318	6.1	92
229	5.1	86	319	6.1	93
230	5.1	79	320	6.2	91
231	5.1	83	321	6.2	90
232	5.1	86	322	6.2	92
233	5.1	81	323	6.2	90
234	5.1	77	324	6.2	92
235	5.1	87	325	6.2	89
236	5.2	85	326	6.2	84
237	5.2	91	327	6.2	92
238	5.2	82	328	6.2	90
239	5.2	87	329	6.2	93
240	5.2	93	330	6.2	89
241	5.2	89	331	6.3	91
242	5.2	86	332	6.3	91
243	5.2	78	333	6.3	93
244	5.2	86	334	6.3	91
245	5.2	87	335	6.3	90
246	5.3	86	336	6.3	93

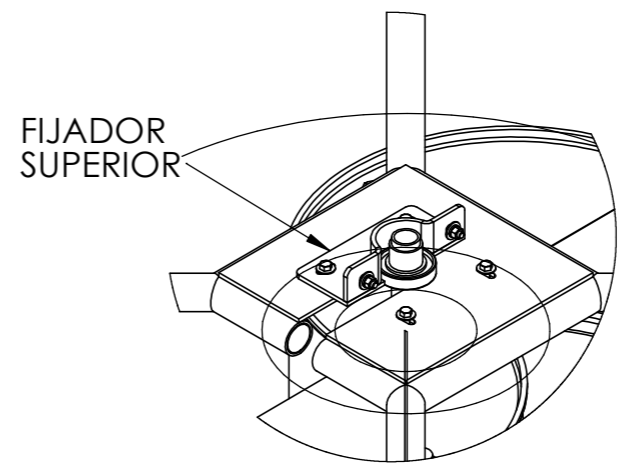
SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO DE BAJO COSTO

247	5.3	84	337	6.3	91
248	5.3	80	338	6.3	92
249	5.3	87	339	6.3	89
250	5.3	85	340	6.4	90
251	5.3	89	341	6.4	92
252	5.3	91	342	6.4	93
253	5.3	86	343	6.4	92
254	5.4	85	344	6.4	90
255	5.4	81	345	6.4	93
256	5.4	86	346	6.4	92
257	5.4	87	347	6.4	90
258	5.4	84	348	6.4	91
259	5.4	88	349	6.4	92
260	5.4	83	350	6.5	95
261	5.4	81	351	6.5	96
262	5.4	88	352	6.5	96
263	5.5	81	353	6.5	95
264	5.5	84	354	6.5	97
265	5.5	82	355	6.5	95
266	5.5	87	356	6.5	97
267	5.5	84	357	6.5	95
268	5.5	90	358	6.5	100
269	5.7	86	359	6.5	94

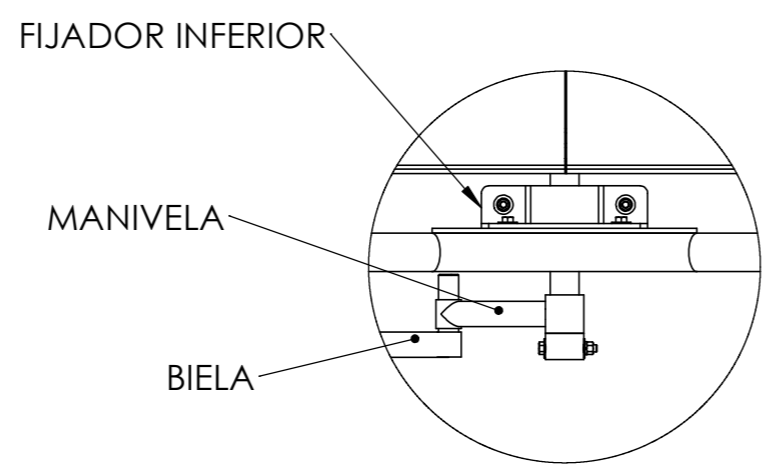
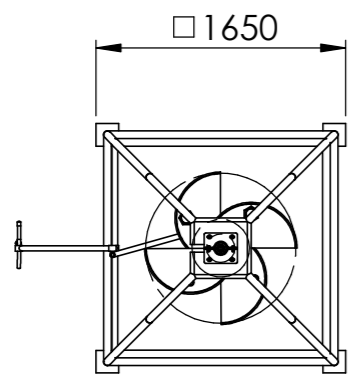
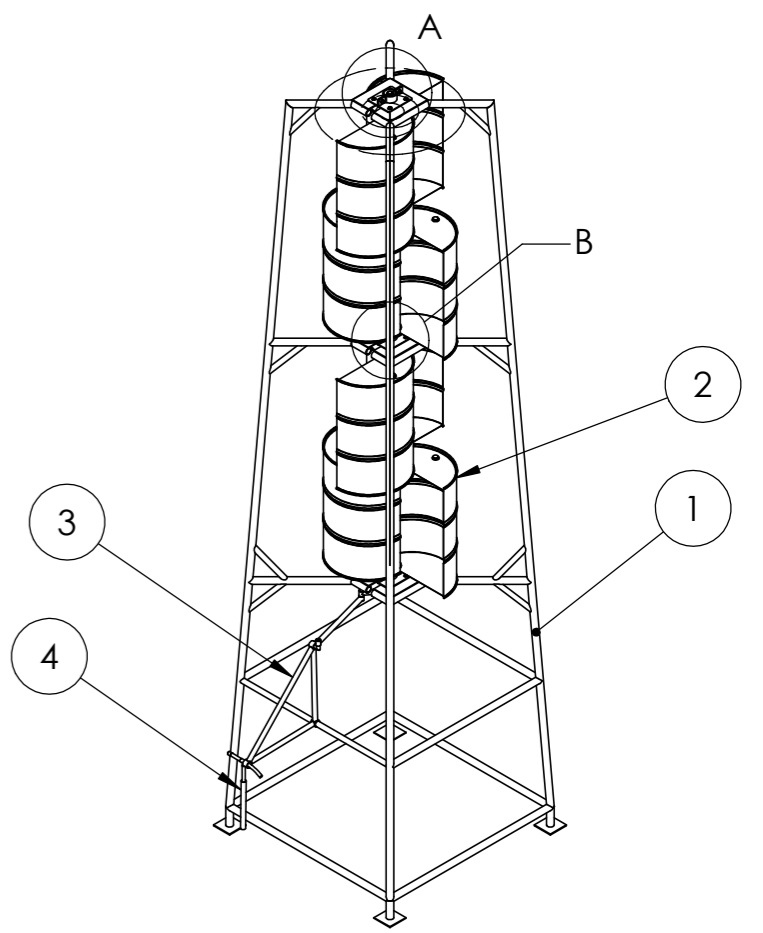
PLANOS.



DETALLE B
ESCALA 1 : 10



DETALLE A
ESCALA 1 : 10



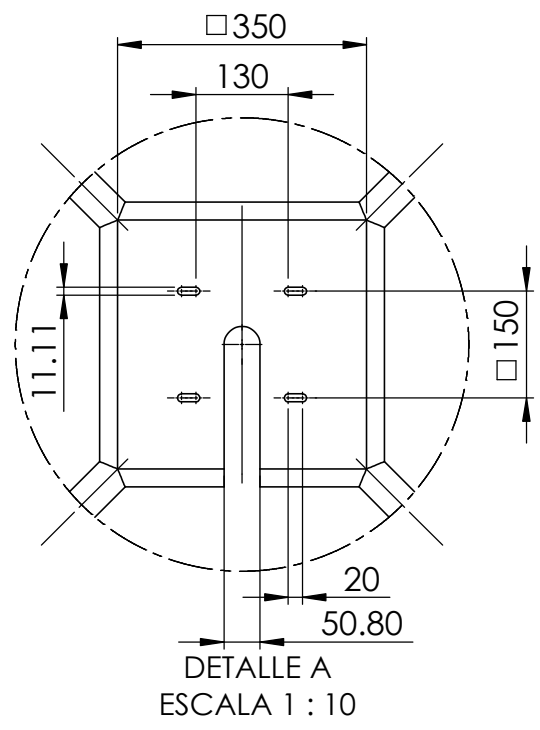
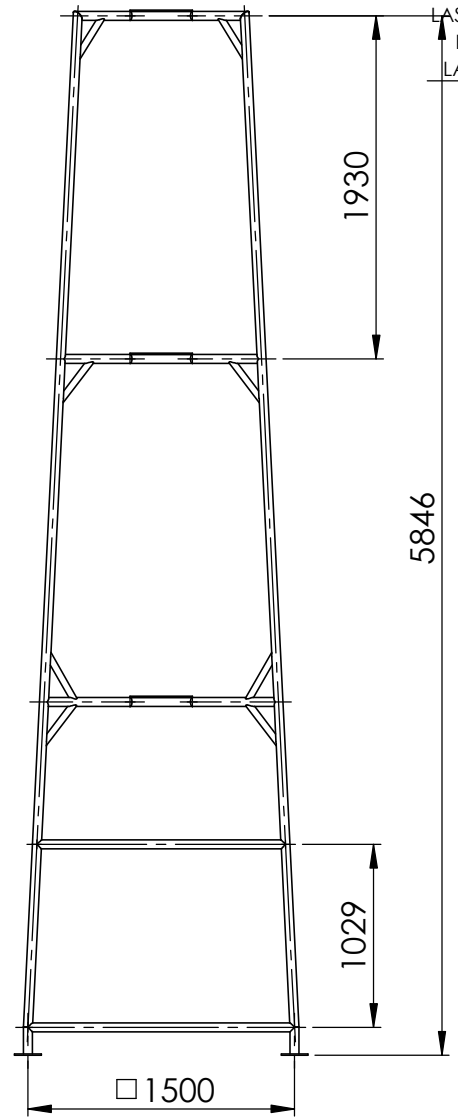
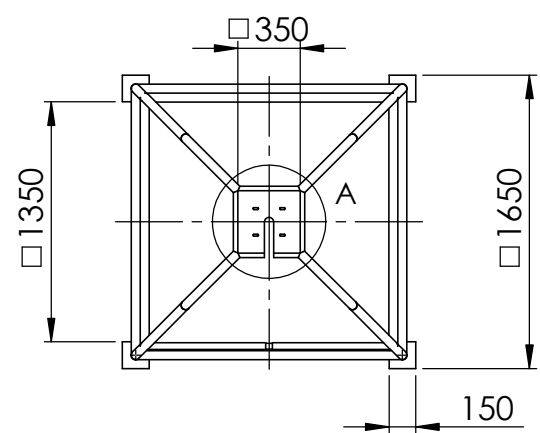
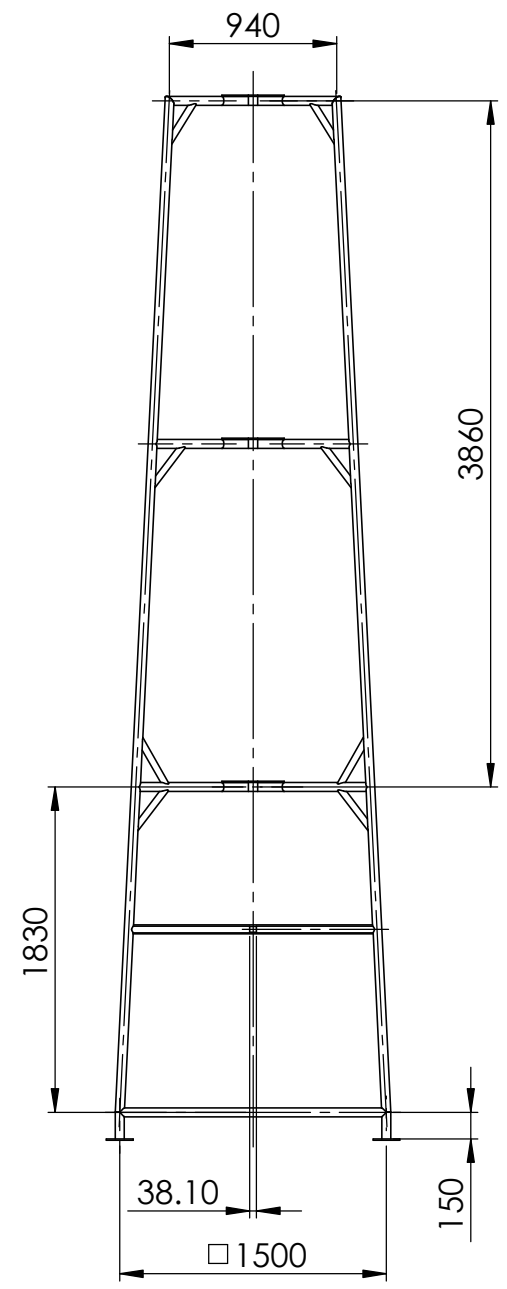
DETALLE D
ESCALA 1 : 10

ÍTEM	CANTIDAD	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
4	1	BOMBA	ALTURA DE SUCCIÓN=28m	TUBERÍA PVC
3	1	MECANISMO DE TRANSFORMACIÓN		
2	1	ROTOR	Ø944x4,100	
1	1	TORRE PIRAMIDAL	5,935x1,650x1,650	

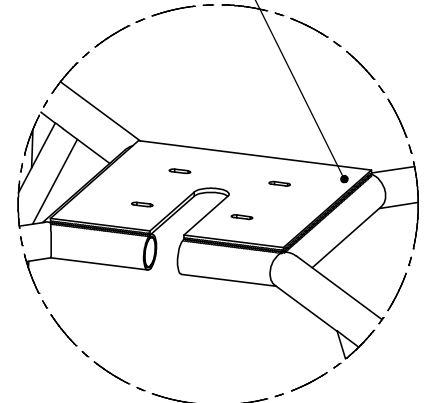
LISTA DE MATERIALES				
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA
NOMBRE		FIRMA	FECHA	REVISIÓN
DIBUJ.	C.A.I.		29/09/19	
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
PESO:			ESCALA:1:50	HOJA 1 DE 1

TÍTULO:
SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO GENERAL

N.º DE DIBUJO: A3



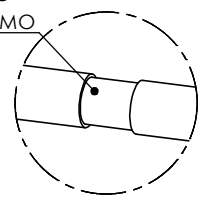
LAS RANURAS EN LOS PUNTOS DE APOYO PERMITEN COLOCAR EL ROTOR POR LA PARTE FRONTAL DE LA ESTRUCTURA.



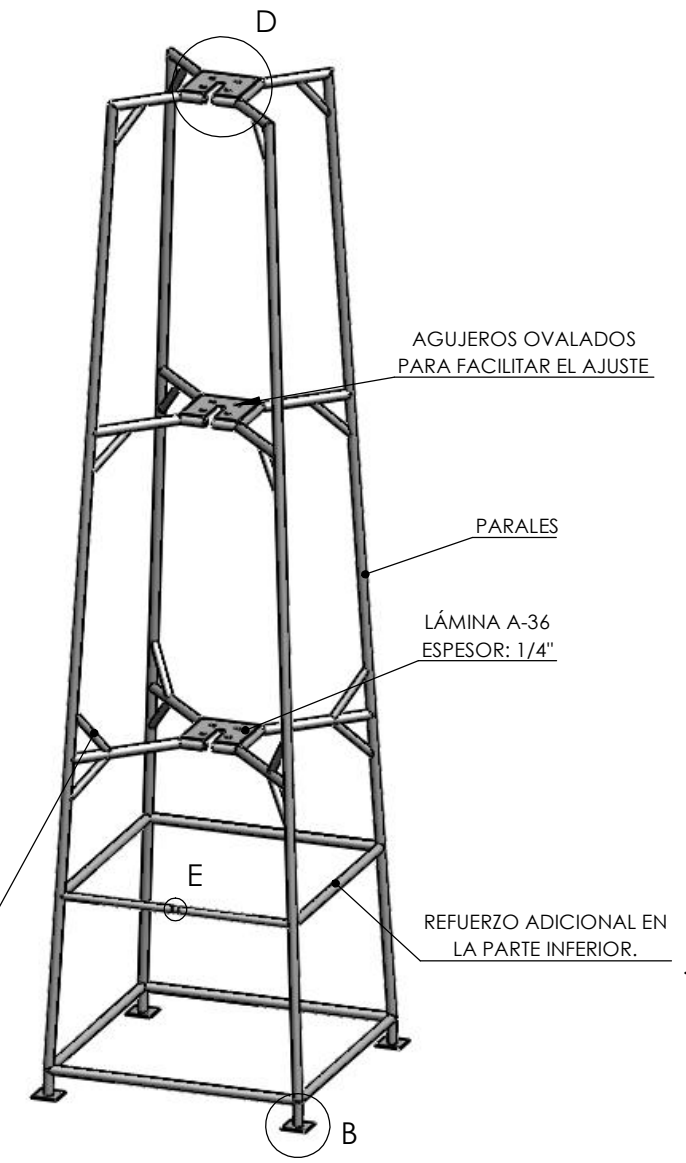
DETALLE D ESCALA 1 : 10

REFUERZOS A 45° ENTRE EL TUBO HORIZONTAL Y EL PARAL.

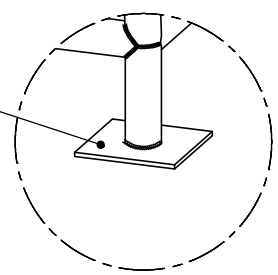
SECCIÓN DE MENOR DIÁMETRO DONDE SE APOYA EL MECANISMO



DETALLE E ESCALA 1 : 5



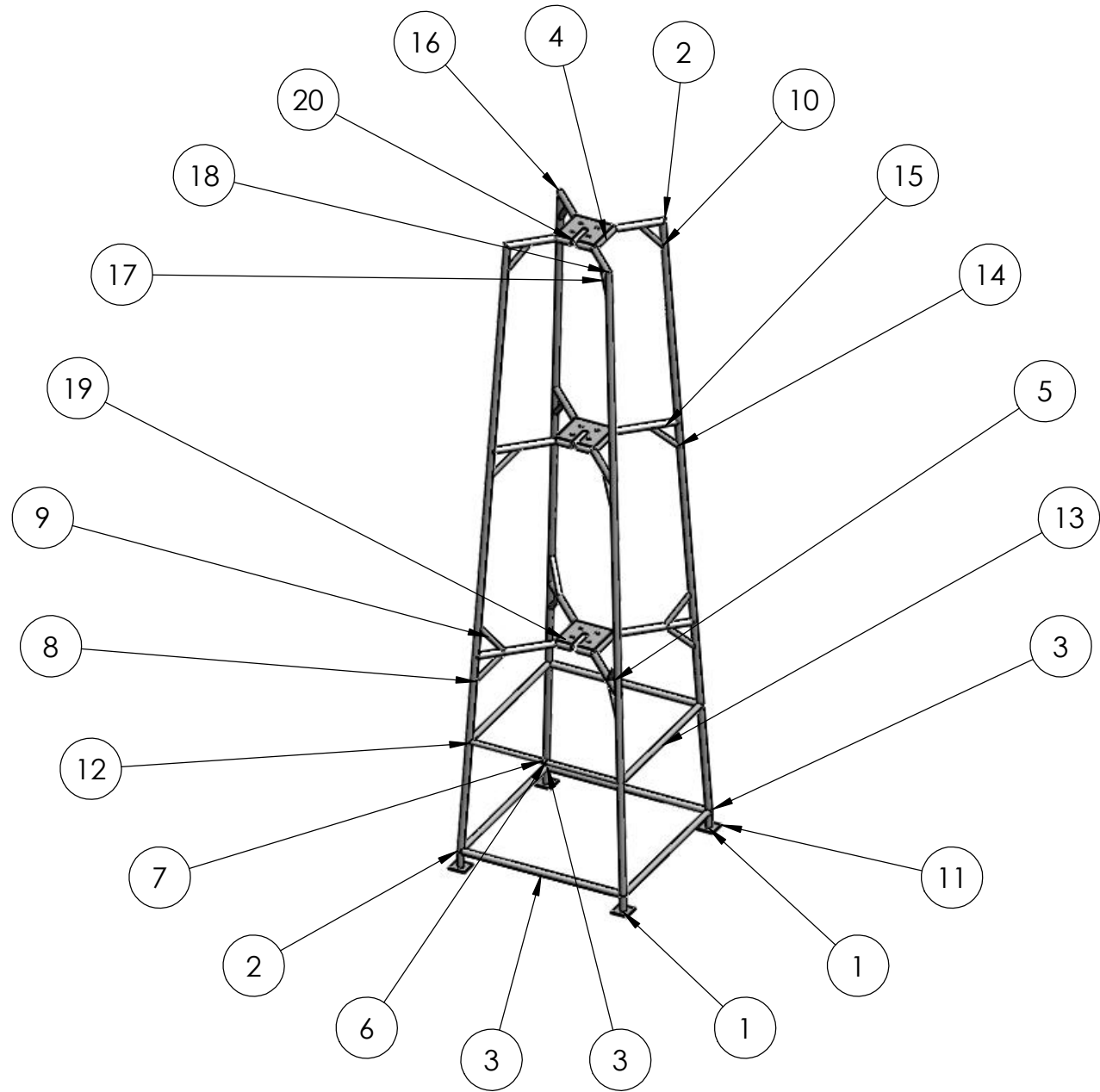
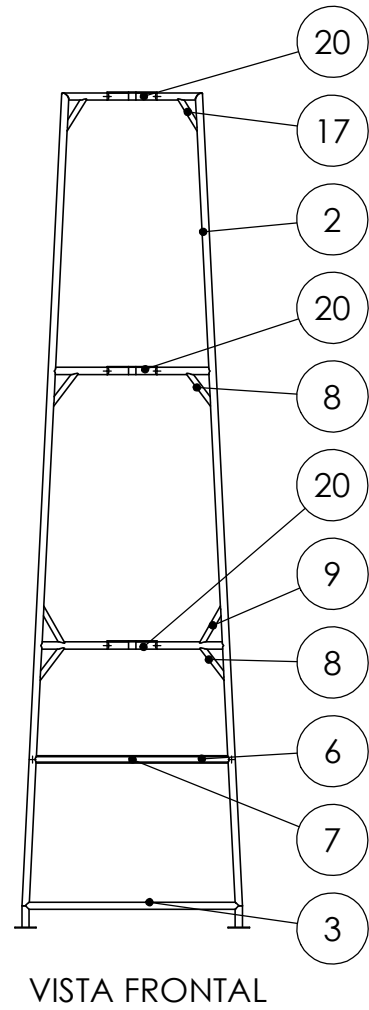
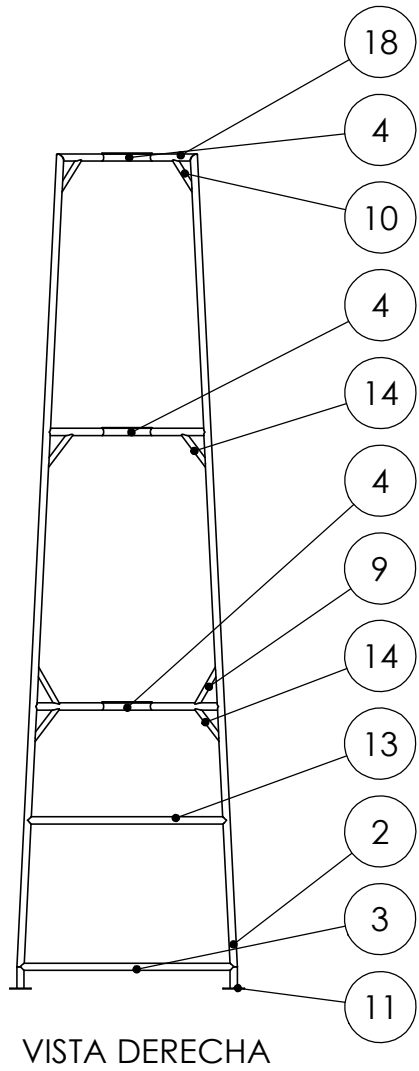
PATAS PARA FIJAR A CIMENTOS



DETALLE B ESCALA 1 : 10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. CÉSAR IBARRA				17/12/18		TORRE PIRAMIDAL			
VERIF.						N.º DE DIBUJO			
APROB.						A3			
FABR.						ESCALA:1:50			
CALID.						HOJA 1 DE 1			
						PESO:			

N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	LONGITUD	DESCRIPCIÓN
1	4	150.88	
2	4	5728.34	
3	4	1500	
4	9	400.8	
5	4	685.82	
6	1	663.53	
7	1	38.1	
8	4	332.02	
9	4	332.02	
10	3	297.1	
11	4		PLATINAS □150x6.35
12	1	663.53	
13	3	1398.75	
14	4	332.02	
15	4	551.51	
16	2	440.89	
17	1	297.1	
18	2	440.89	
19	3		APOYOS □350x6.35
20	6	175	
21	6		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:			
DIBUJ.: CÉSAR IBARRA		17/12/18	TORRE PIRAMIDAL			
VERIF.:			N.º DE DIBUJO			
APROB.:			A3			
FABR.:			ESCALA: 1:50			
CALID.:			HOJA 1 DE 1			
MATERIAL:			PESO:			

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

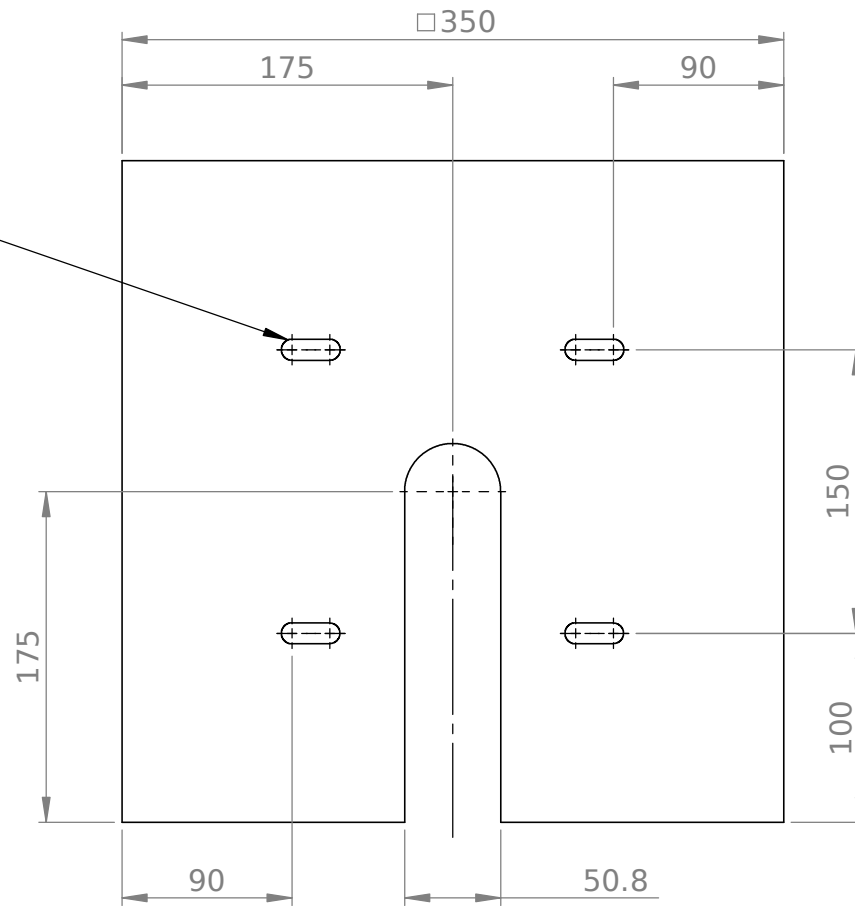
B

B

A

A

4 RANURAS DE
Ø 11.11 X 20



ESPESOR: 4.7mm (3/16")
CANTIDAD: 3

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: BASTO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	C.A.I.	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
VERIF.	J.Z.Z.		15/01/19			N.º DE DIBUJO	
APROB.	J.Z.Z.					PLACA SOPORTE A4	
FABR.						ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1
CALID.					MATERIAL: A-36		
					PESO: 4.16 Kg		

6

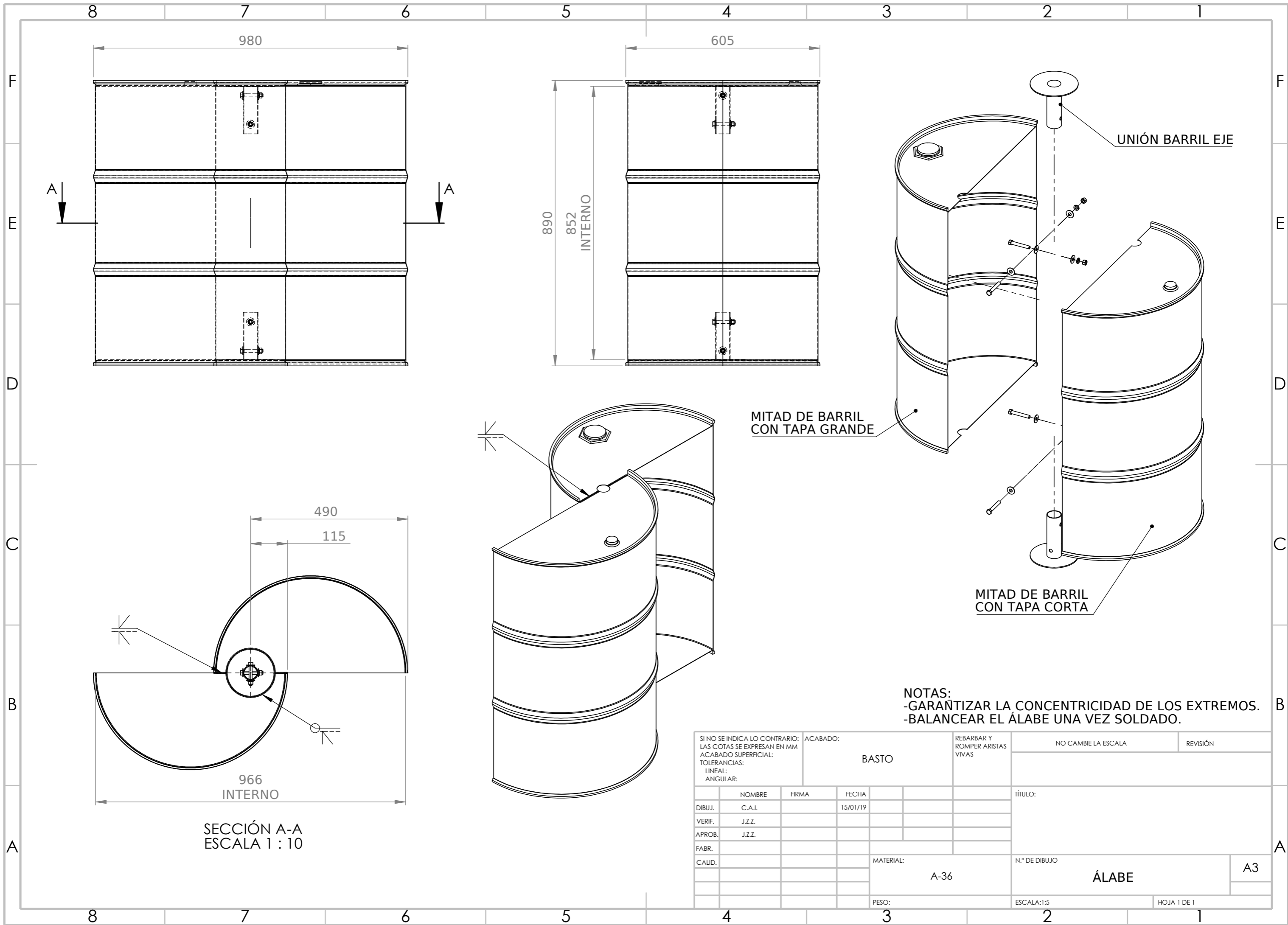
5

4

3

2

1



UNIÓN BARRIL EJE

MITAD DE BARRIL CON TAPA GRANDE

MITAD DE BARRIL CON TAPA CORTA

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

NOTAS:
-GARANTIZAR LA CONCENTRICIDAD DE LOS EXTREMOS.
-BALANCEAR EL ÁLABE UNA VEZ SOLDADO.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: BASTO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	C.A.I.	FIRMA	FECHA 15/01/19	TÍTULO:	
VERIF.	J.Z.Z.				
APROB.	J.Z.Z.				
FABR.					
CALID.			MATERIAL: A-36	N.º DE DIBUJO	ÁLABE
			PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

A3

6

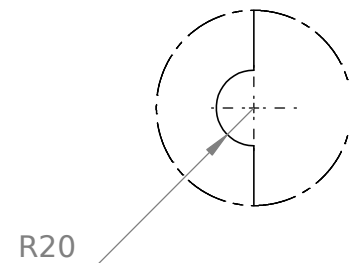
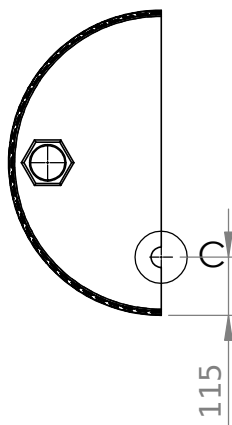
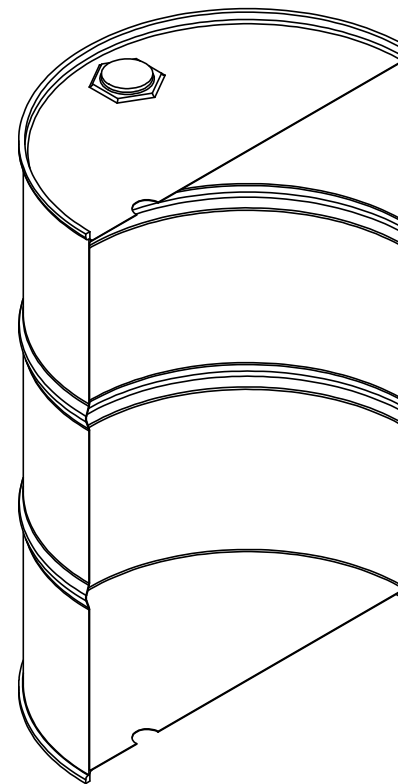
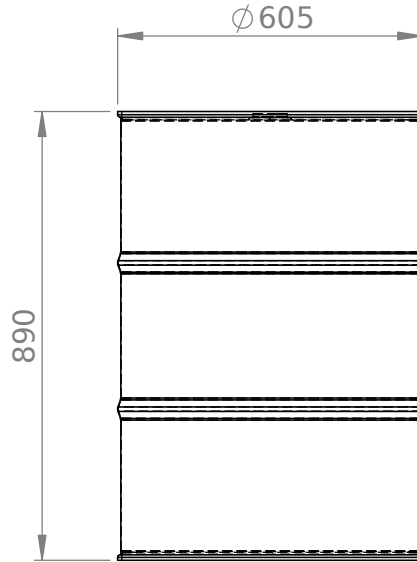
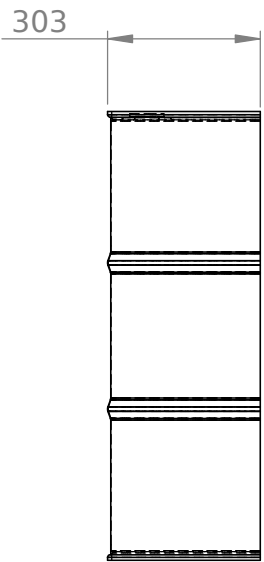
5

4

3

2

1



DETALLE C
ESCALA 1 : 4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: BASTO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.		C.A.I.				16/05/19			
APROB.		J.Z.Z.							
FABR.		J.Z.Z.							
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								MITAD DE TAPA GRANDE	
						PESO:		ESCALA: 1:5	
								HOJA 1 DE 1	

D

C

B

A

D

C

B

A

6

5

4

3

2

1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

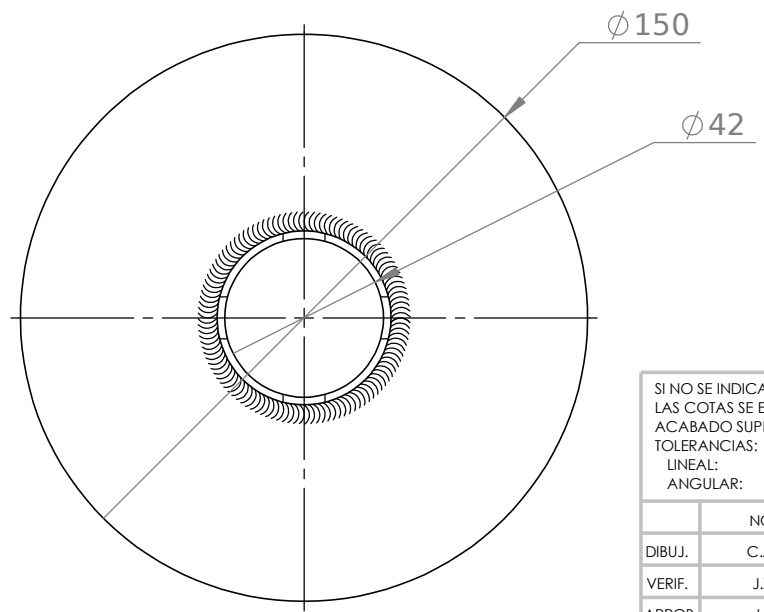
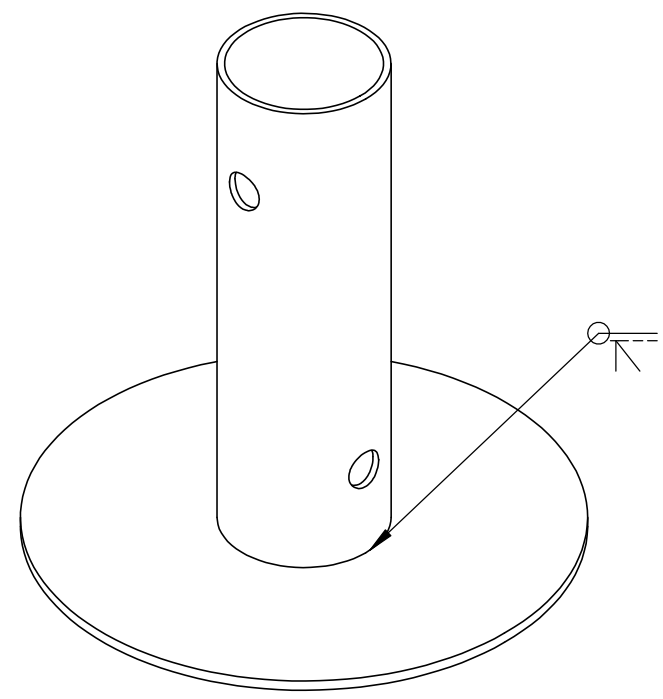
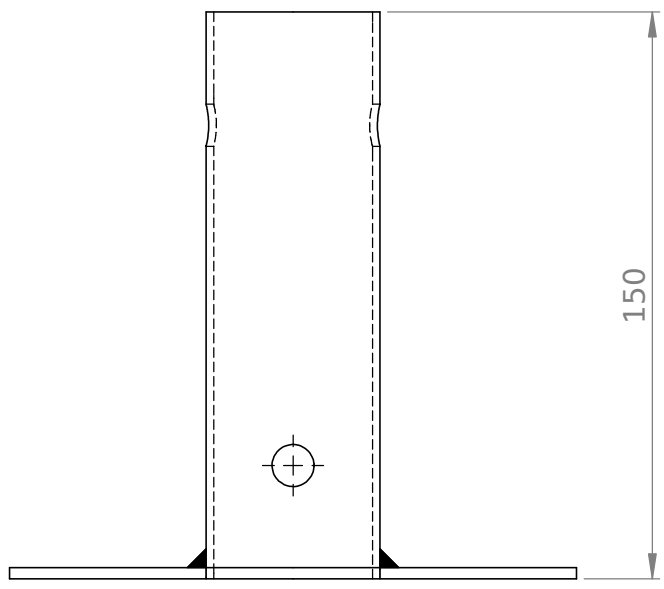
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: BASTO			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.	C.A.G.		FECHA	15/04/19							
VERIF.	J.Z.Z.										
APROB.	J.Z.Z.										
FABR.											
CALID.					MATERIAL: A-36		N.º DE DIBUJO		A4		
						PESO:		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	

6 5 4 3 2 1

UNIÓN DE ÁLABES

6 5 4 3 2 1

D

D

C

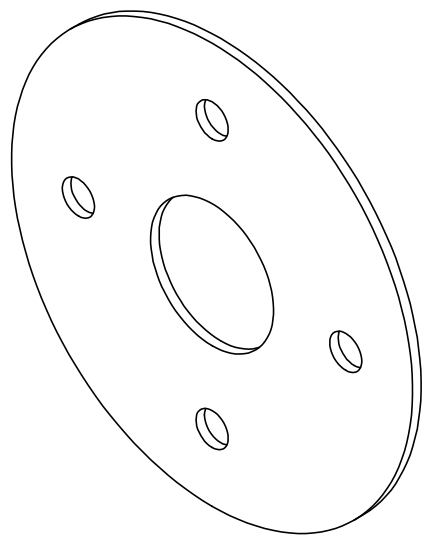
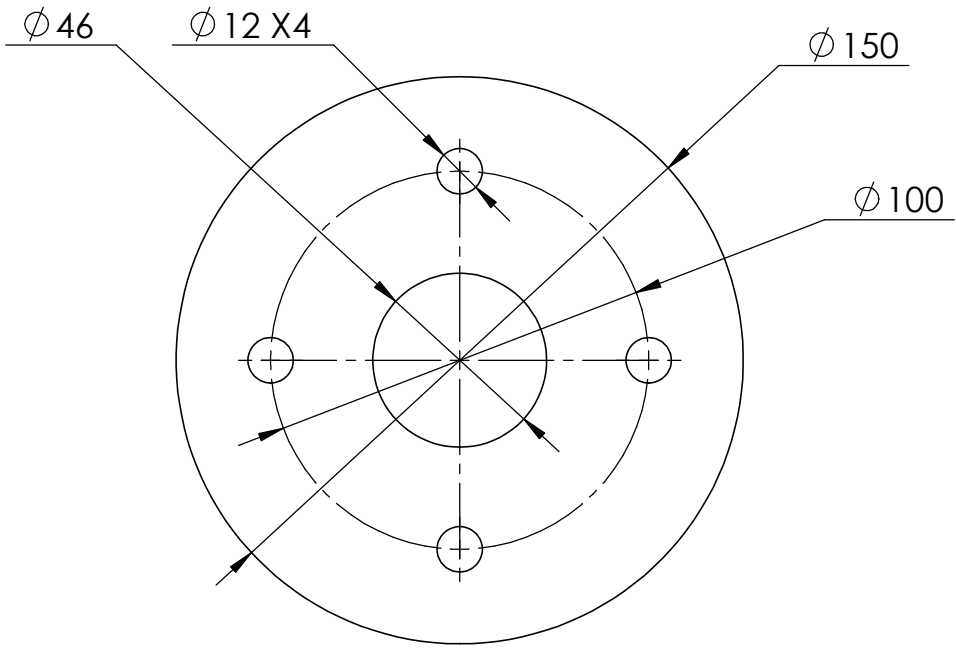
C

B

B

A

A



ESPESOR = 1/8"

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN							
							TÍTULO: PLACA DE SUJETADOR									
NOMBRE			FIRMA		FECHA											
DIBUJ.			C.A.I.		29/09/19											
VERIF.																
APROB.																
FABR.																
CALID.							MATERIAL:		N.º DE DIBUJO			A4				
							PESO:		ESCALA: 1:2			HOJA 1 DE 1				

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

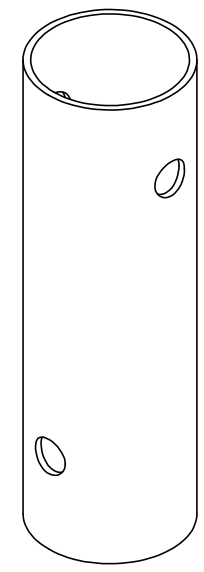
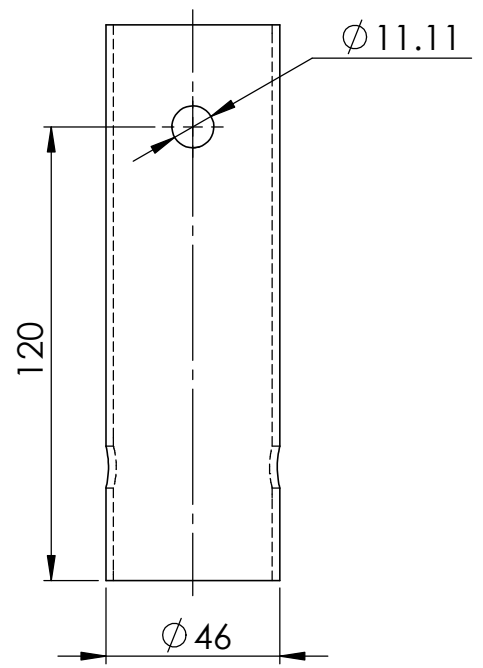
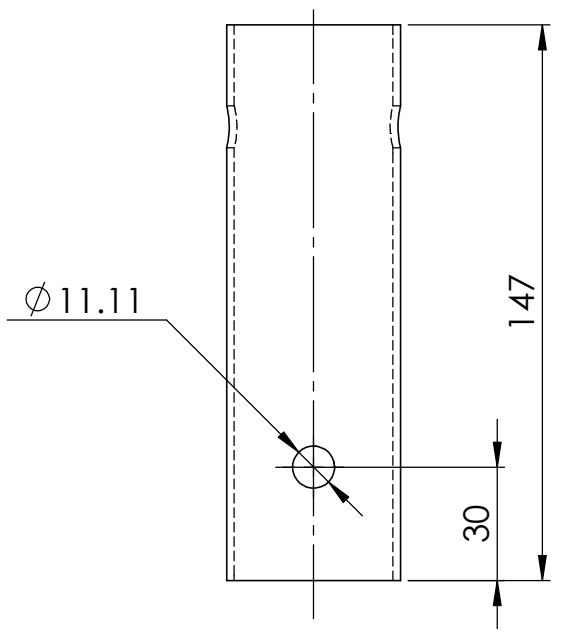
A

D

C

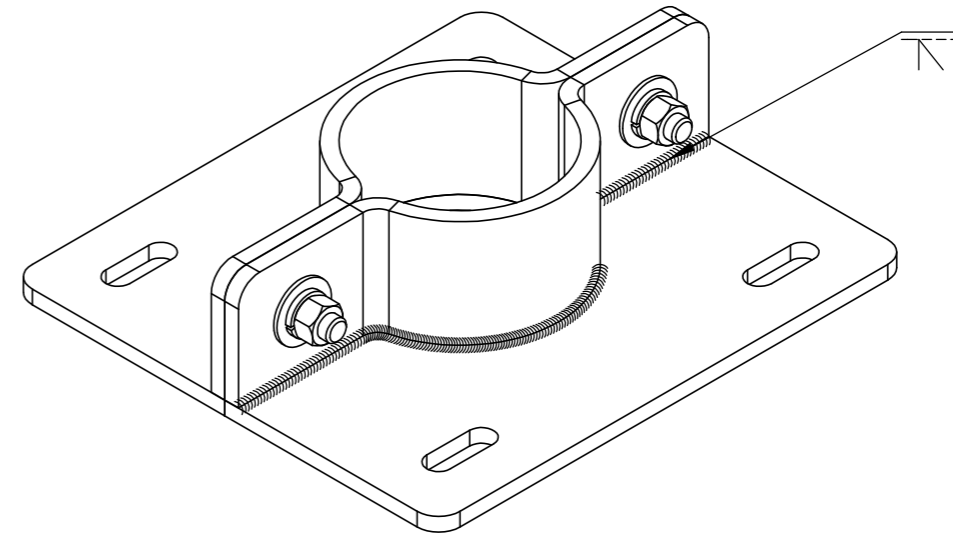
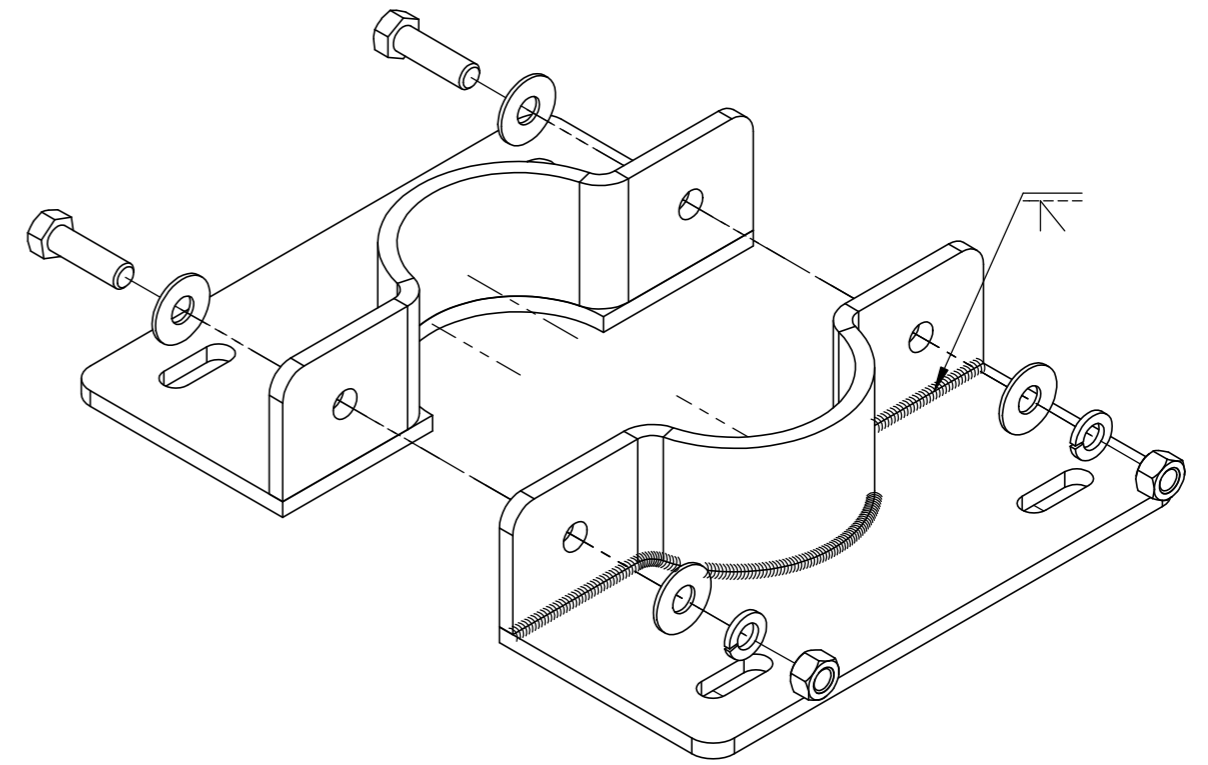
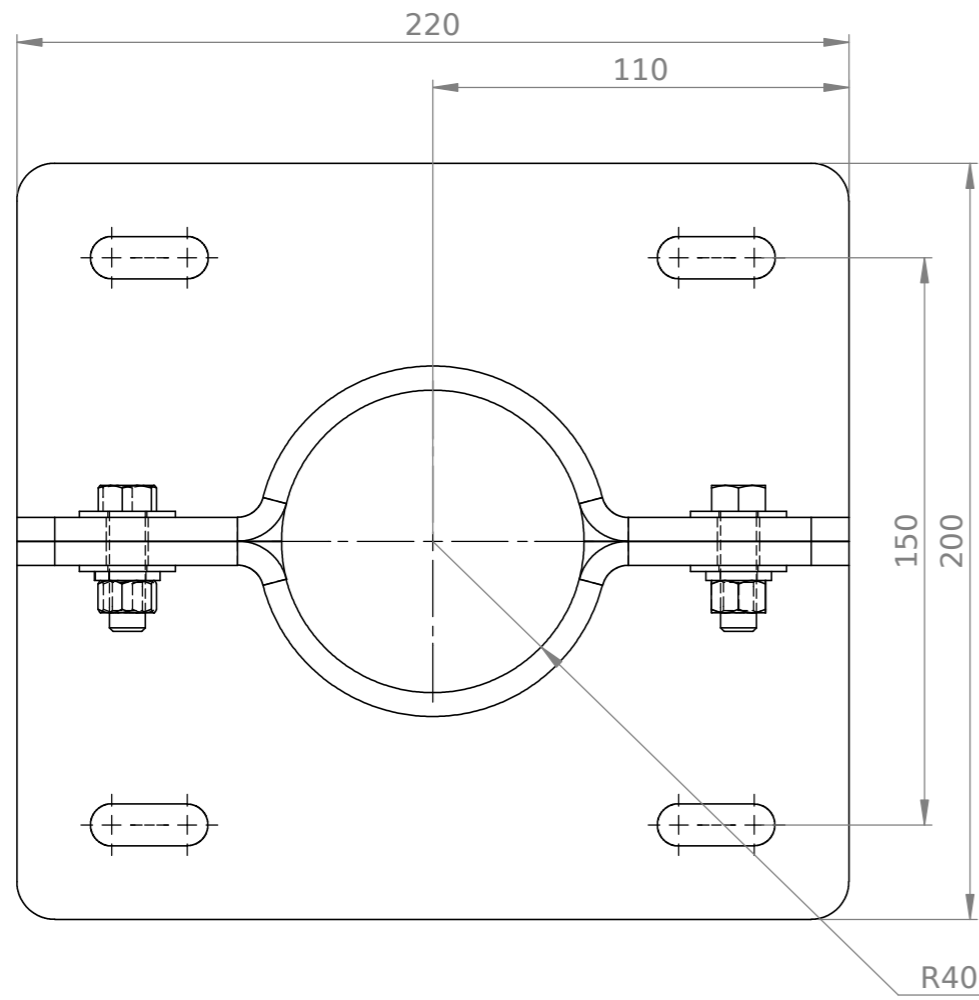
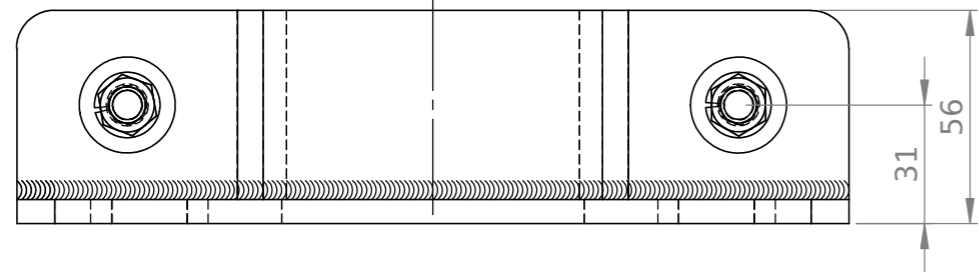
B

A

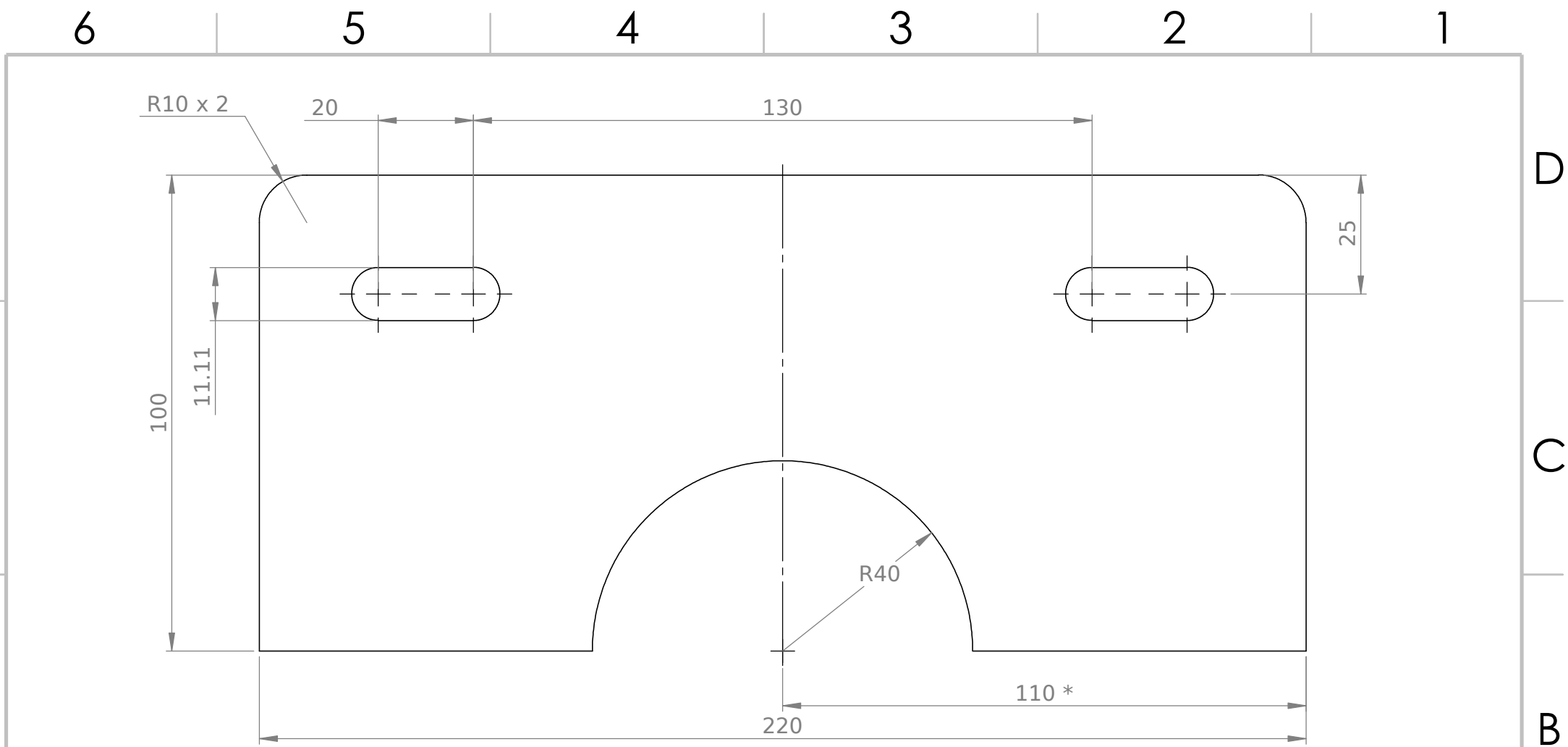


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN							
							TÍTULO: <h1 style="text-align: center;">TUBO DE SUJETADOR</h1>									
NOMBRE			FIRMA		FECHA											
DIBUJ.			C.A.I.		29/09/19											
VERIF.																
APROB.																
FABR.																
CALID.							MATERIAL:		N.º DE DIBUJO							
							TUBO $\phi 1-1/4"$ SCH10		A4							
							PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1					

6 5 4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: BASTO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					TÍTULO:		
NOMBRE			FIRMA		FECHA		
DIBUJ.	C.A.I.				15/04/19		
VERIF.	J.Z.Z.						
APROB.	J.Z.Z.						
FABR.							
CALID.					MATERIAL:		N.º DE DIBUJO
					A-36		FIJADOR
					PESO:		ESCALA:1:5
							HOJA 1 DE 1
							A3

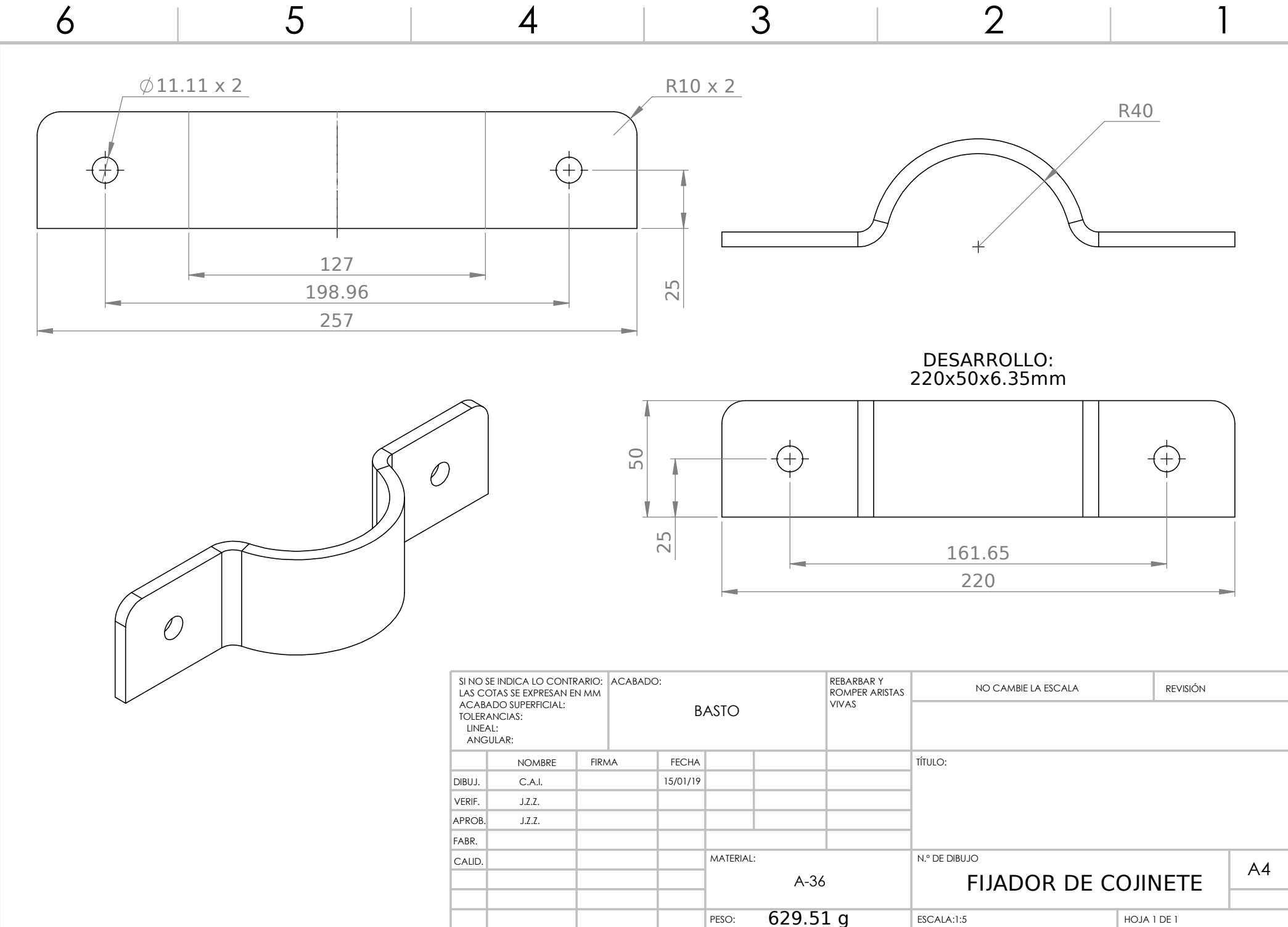


ESPESOR: 6.35mm (1/4")
CANTIDAD: 6

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: BASTO			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
DIBUJ.	C.A.I.		FECHA	15/01/19							
VERIF.	J.Z.Z.										
APROB.	J.Z.Z.										
FABR.											
CALID.						MATERIAL: A-36		N.º DE DIBUJO			A4
						PESO: 937.41 g.		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	

BASE DE SUJETADOR

A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: BASTO		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						TÍTULO:	
DIBUJ.	C.A.I.	FIRMA	FECHA				
VERIF.	J.Z.Z.		15/01/19				
APROB.	J.Z.Z.						
FABR.							
CALID.				MATERIAL: A-36		N.º DE DIBUJO	A4
				PESO: 629.51 g		ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1
						FIJADOR DE COJINETE	

6 5 4 3 2 1

D

C

B

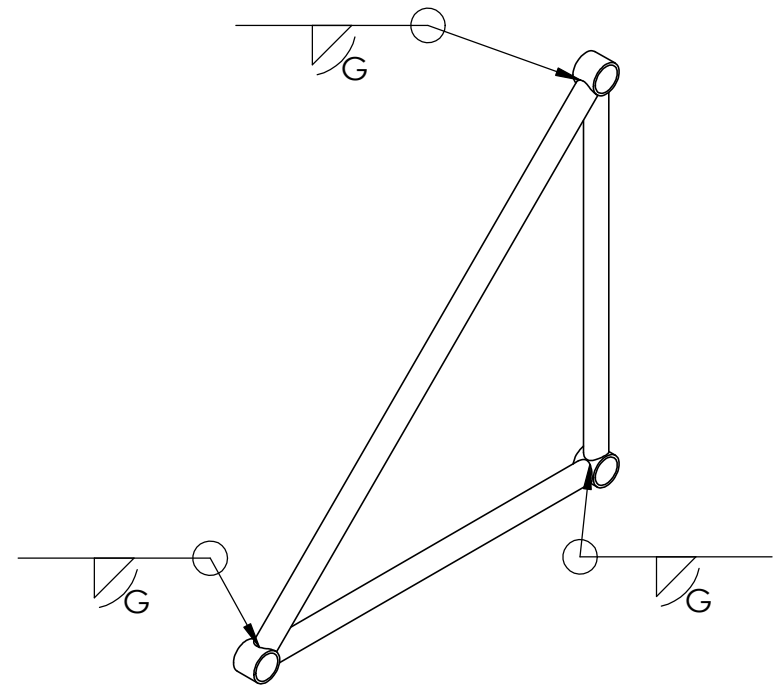
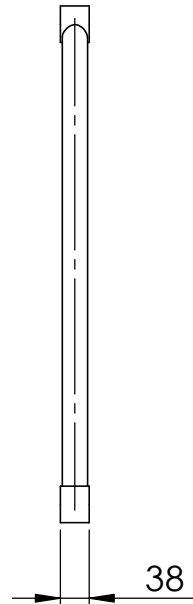
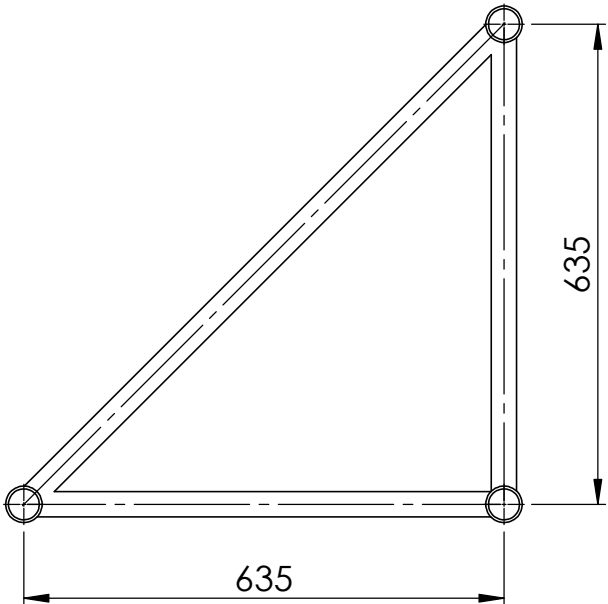
A

D

C

B

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: <h1 style="text-align: center;">PALANCA TRIANGULAR</h1>				
					MATERIAL: TUBO GALVANIZADO Ø1-1/2" SCH10		N.º DE DIBUJO				
					PESO:		ESCALA: 1:10				
							HOJA 1 DE 1				

6 5 4 3 2 1