



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO**

PROYECTO FINAL N° 55

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**EQUIPO SOLAR DE DESALACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y
USO GANADERO EN RAFAELA, SANTA FE Y ZONA ATLÁNTICA DE LA
PATAGONIA ARGENTINA**

AÑO 2023

ALUMNO:	DOMINGUEZ VEGA, Carolina Micaela
DIRECTOR:	Ing. GUIDI, Ernesto
DOCENTES:	Ing. FERREYRA, Daniel Ing. GIRAUDO, German
SEDE:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL (UTN) FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO (FRVT)

UTN FRVT



N°Reg: 5665 N°PAT: 0



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO

PROYECTO FINAL N° 55

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

EQUIPO SOLAR DE DESALACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y
USO GANADERO EN RAFAELA, SANTA FE Y ZONA ATLÁNTICA DE LA
PATAGONIA ARGENTINA

AÑO 2023

ALUMNO: DOMINGUEZ VEGA, Carolina Micaela

DIRECTOR: Ing. GUIDI, Ernesto

DOCENTES: Ing. FERREYRA, Daniel

Ing. GIRAUDO, German

SEDE: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL (UTN)

FACULTAD REGIONAL VENADO TUERTO (FRVT)

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos por apoyarme todo este tiempo y al Ingeniero "Coco" Rubino, profesor que apreciaba, víctima del Covid 19.

ÍNDICE

Agradecimientos 2

1. Puntos de Referencia 8

 1.1. Introducción8

 1.2. Resumen8

2. Título del proyecto final 9

3. Justificación del tema elegido..... 10

 3.1. Bien escaso y su importancia económica 10

 3.2. Peligro para la salud humana 10

 3.3. Uso agrícola..... 11

 3.4. Zonas rurales sin acceso a energía eléctrica..... 12

4. Fundamentación del tema elegido. 13

 4.1. Procesos que actualmente se utilizan..... 13

 4.1.1. Destilación y flashing en múltiple efecto 13

 4.1.2. Congelación 17

 4.1.3. Compresión de vapor..... 18

 4.1.4. Osmosis inversa 18

 4.1.5. Electrodialisis 19

 4.1.6. Diferentes tipos de Solar Stills 21

 4.1.7. Requisitos básicos para un solar still son que el sistema: . 23

 4.2. Calidad del agua desalada23

5. Propuesta 25

 5.1. Equipo ensamblado25

 5.2. Partes del equipo26

 5.2.1. Subconjunto mecanismo cambio de azimut..... 27

 5.3. Cálculo de producción del equipo28

5.4. Antecedentes.....30

 5.4.1. Ósmosis inversa 32

 5.4.2. Fabricantes en el país..... 33

5.5. Equipos patentados33

5.6. Principio de funcionamiento del equipo propuesto35

5.7. Funcionamiento del equipo.....36

 5.7.1. Destilación del agua 37

 5.7.2. Diluciones 37

 5.7.3. Sólidos disueltos totales 38

 5.7.4. Cálculo de la cantidad necesaria de agua a destilar para disminuir la concentración del agua salobre..... 38

5.8. Dimensionamiento del equipo.....39

 5.8.1. Capacidad..... 39

5.9. Cálculo de los elementos que componen el equipo y descripción.....40

 5.9.1. Esfuerzo debido al viento sobre la superficie proyectada del espejo parabólico..... 40

 5.9.2. Valores calculados para determinar por esfuerzo mecánico el valor óptimo del equipo 42

5.10. Cálculo de los elementos de sujeción43

 5.10.1. Cálculo de la estructura considerando los valores de vientos relevados según INTA. Tornillos espejo parabólico 43

 5.10.2. Tornillos del soporte 46

 5.10.3. Cálculo de la estructura y análisis de esfuerzos debido al viento 48

 5.10.4. Simulación con SolidWorks. Optimización del soporte 52

 5.10.5. Análisis de nodos y esfuerzos en el soporte..... 54

5.10.6. Cálculo de la estructura de acuerdo a las normas CIRSOC-102	
56	
5.10.7. Tornillos espejo parabólico. Cálculo de acuerdo a valores determinados por la norma.....	61
5.10.8. Tornillos del soporte	63
5.10.9. Comparación entre el cálculo y lo sugerido por la norma ..	65
5.10.10. Verificación de los cordones de soldadura a la tracción	65
5.10.11. Cálculo soporte móvil del equipo	66
5.10.12. Calculo esfuerzos, soporte de tanques de agua	68
5.10.13. Tubo de vidrio al vacío	71
5.10.14. Espejo parabólico	71
5.10.15. Tubería de agua	72
5.10.16. Solicitación debida a la presión interna en una tubería	72
5.10.17. Área del intercambiador de calor para condensación de agua	
75	
5.10.18. Cálculo por 1m de longitud de cañería, la superficie de intercambio:	
76	
5.10.19. Tanques de agua	76
5.10.20. Cálculo de la caída de presión en cañerías de agua en estado líquido y de vapor	76
5.10.21. Cálculo del número de Reynolds	77
5.10.22. Pérdida de carga en cañería de agua.....	77
5.10.22.1. Pérdidas de carga primarias:.....	77
5.10.22.2. Pérdida de cargas secundarias:	78
5.10.23. Pérdida de carga a la entrada del tubo de vidrio	78
5.10.24. Pérdida de carga total:.....	78

5.10.25. Cálculo de la caída de presión en la salida del tubo de vidrio al vacío
80

5.10.26. Cálculo de la caída de presión debido a la cañería con forma de U
80

5.11. Automatismo del equipo 81

5.11.1. Potencia eléctrica del motor..... 82

5.11.2. Transmisión de engranajes..... 83

5.11.3. Tiempo de accionamiento de la reducción..... 85

5.11.4. Análisis del movimiento 86

5.11.4.1. Situación A: 86

5.11.4.2. Situación B 87

5.11.4.3. Situación C 88

5.11.4.4. Situación D 89

5.11.4.5. Situacion E 90

5.11.4.6. Situacion F 91

5.11.4.7. Situación G 92

5.11.4.8. Situación H 92

5.11.4.9. Situación I 93

5.11.4.10. Situación J 94

5.11.4.11. Situación K 94

5.11.4.12. Situación L 95

5.11.4.13. Situación M 96

5.11.5. Retroceso del equipo 96

5.12. Dimensionamiento de la manivela 97

5.13. Diagrama de conexiones 98

5.14. Automatismo de carga y descarga del tubo de vidrio al vacío 101

5.15.	Operación	103
5.15.1.	Tiempo de accionamiento de la electroválvula	105
5.16.	Calidad del agua obtenida	106
6.	Montaje.....	107
7.	Análisis amortización equipo y comparación con ósmosis inversa	108
7.1.	Consideraciones en comparación con el método de osmosis inversa	109
7.2.	Calidad del agua obtenida	109
7.3.	Cálculo de potencia del equipo solar para abastecer al destilador solar	110
8.	Conclusiones.....	112
9.	Anexos	113
10.	Índice de imágenes	134
11.	Referencias bibliográficas	137

1. PUNTOS DE REFERENCIA

1.1. Introducción

Considerando los problemas medioambientales relacionados con la escasez de agua que acontecen actualmente, se realizó foco en la falta de agua potable para consumo humano y ganadero en zonas donde no hay disponibilidad de energía eléctrica ni redes de agua potable, pero si agua salobre o agua de mar. [i]

En este trabajo se realiza un recorrido sobre los métodos existentes para obtener agua desalada a partir de agua de mar o napas de agua salobre, para luego proponer el diseño de un equipo factible de construcción y de operar sin requerir mano de obra especializada para su funcionamiento.

Realizando una integración de los conocimientos vistos en las asignaturas de la trayectoria como estudiante de ingeniería electromecánica.

1.2. Resumen

En el presente proyecto se justifica la necesidad de diseñar un equipo desalador de agua teniendo en cuenta los antecedentes y equipos patentados existentes para diseñar, dimensionar y calcular la estructura de un módulo del equipo de destilación de agua mediante energía solar con una capacidad 33.4 litros por día.

La zona geográfica para la que se dimensionó el equipo es Viedma, Río Negro, donde tenemos la influencia de los vientos, radiación solar considerable y la disponibilidad de agua salobre.

Se muestran los resultados de las simulaciones de esfuerzos y deformaciones de la estructura debido al viento con el programa SolidWorks.

El equipo diseñado tiene un automatismo que funciona con PLC para accionar un motor de corriente continua con reductor y cambiar el azimut del equipo de acuerdo al movimiento del sol. El mismo es abastecido de energía por paneles solares.

Se mencionan las consideraciones de montaje del equipo y se realiza una comparación general con el equipo que actualmente se utiliza para desalinizar que es la ósmosis inversa.

2. TÍTULO DEL PROYECTO FINAL

Equipo autónomo solar de desalinización de agua de 33.4 lts/día por módulo, para consumo humano y uso ganadero, de uso exclusivo en zonas donde escasea el agua dulce y el suministro de energía eléctrica.

3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA ELEGIDO.

En esta sección se presentan los diferentes puntos que se consideraron para proponer este trabajo final.

3.1. Bien escaso y su importancia económica

Según Kapp y Zimmerman (1976) el agua es un recurso natural escaso que satisface necesidades humanas y no humanas, que pueden verse satisfechas sólo cuando la demanda es compatible en volumen con la disponibilidad y calidad existente del recurso.

[ii]

3.2. Peligro para la salud humana

Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo son distintos de los asociados a la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados. Además, la experiencia demuestra que, en muchos incidentes de este tipo, aunque no en todos, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspecto inaceptables.

En la provincia de Rio Negro podemos indicar que el agua subterránea contiene elevadas concentraciones de flúor y arsénico. En el caso del agua de rio tiene elevadas concentraciones de manganeso. [iii]

La exposición a concentraciones altas de fluoruro por consumo, de origen natural, puede generar manchas en los dientes y, en casos graves, fluorosis ósea incapacitante. De modo similar, el agua de consumo puede contener arsénico de origen natural y una exposición excesiva al mismo puede ocasionar un riesgo significativo de cáncer y lesiones cutáneas. En la región centro del país se han realizado estudios que demuestran la presencia de este químico en el agua y su influencia sobre la salud de los habitantes.

En el caso de la provincia de Santa Fe, las aguas subterráneas de modo natural contienen arsénico en diferentes concentraciones. En una discreta zona de la provincia el tenor de arsénico supera los 0.05 mg/l cuando el límite establecido por la organización mundial de la salud es de 0.01mg/l. [iv]

"El agua de la región está mal, muy mal". La afirmación es contundente, habla de los altísimos niveles de arsénico y nitratos que contiene el elemento básico que consumen los 8,4 millones de habitantes de la Región Centro, que incluye las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba; y corre por cuenta de Alejandro Oliva, médico e investigador y responsable del Programa de Medio Ambiente y Salud del Centro de Estudios Interdisciplinarios de la Universidad Nacional de Rosario (UNR).

Si bien no se encontraron agroquímicos en el agua, sí se detectaron "altos niveles de nitratos. Sabemos que hay fertilizantes que utilizan mucho nitrógeno, del mismo modo que la orina de los animales de feedlot, que desciende a las napas subterráneas", puntualizó Oliva. [v]

La presencia de nitratos y nitritos en el agua se ha asociado con la metahemoglobinemia, sobre todo en lactantes alimentados con biberón.

Sobre todo, en zonas con aguas corrosivas o ácidas, la utilización de cañerías y accesorios o soldaduras de plomo puede generar concentraciones altas de plomo en el agua de consumo, que ocasionan efectos neurológicos adversos. [vi]

De aquí, destacar la gran importancia que tiene la potabilidad del agua, ya que agua en mal estado o simplemente con sustancias nocivas para el hombre, pero inherentes en ella, pueden provocar enfermedades.

Como podemos ver, una de las contaminaciones más dañinas para la salud consiste en sales y metales pesados, que requieren procesos costosos de eliminación.

3.3. Uso agrícola

Dentro de las potencialidades del equipo desalador de agua no solo se tiene la obtención de agua para el consumo humano, sino también para aplicaciones agrícolas. El ganado vacuno requiere concentraciones de sales de entre 0,15 – 0,20 mg/l, y la correspondiente para ser apta consumo humano es 0,01 mg/l. La presencia de arsénico y fósforo representan elementos altamente tóxicos para los animales y el hombre, en el caso del ganado, un exceso de sólidos totales disueltos produce diarrea y afecta la calidad de la leche producida en tambos. La aplicación de este desalador mejoraría la salud de los animales, ya que se podría disminuir la concentración de sales totales disueltas en el agua de consumo, en consecuencia, su rinde por animal, por lo que el productor tendría mayores utilidades. Además, posibilitaría la ampliación de la zona de

desarrollo de esta actividad. Si bien, el consumo de agua por animal es elevado, la ampliación de la zona de desarrollo de la actividad tampera coincide con parajes donde la superficie de terreno disponible es elevada y supone la aplicación de este desalador solar, donde la producción de es de 200.64 lts/día en verano para cada 6m de longitud de equipo. Se puede utilizar para reducir la concentración de sales en el agua de napa. [v] y [vii]

3.4. Zonas rurales sin acceso a energía eléctrica

En las comunidades rurales el acceso a la energía eléctrica es escaso o nulo como para utilizar métodos comerciales para potabilizar el agua de la napa o río. El armado y puesta en funcionamiento de una red eléctrica que llegue a los lugares más remotos es económicamente inviable. La inviabilidad de extender la red eléctrica a estos sectores radica en diversas problemáticas, pero principalmente en que la construcción y mantenimiento de la misma requiere de grandes inversiones de dinero que no pueden ser absorbidas por las comunidades y la extensión de la misma debería ser muy extensa debido a la amplitud del territorio a abarcar. [viii]

4. FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA ELEGIDO.

Ante los problemas mencionados anteriormente, existen alternativas comerciales como los de destilación o evaporación, que necesitan calor o energía térmica para separar agua dulce (hay un cambio de estado en el fluido), y los procesos de membranas semipermeables (no realiza cambio de fases), que utilizan electricidad para impulsar el agua hacia las membranas, reteniendo éstas las sales en una solución acuosa más concentrada o salmuera.

4.1. Procesos que actualmente se utilizan

Según investigaciones realizadas a través de internet, se encontró un artículo del Dr. Ing. Eduardo Zarza Moya, existen diferentes métodos para desalinizar el agua de mar.

Los procesos de mayor implantación industrial para la desalación de agua de mar son: destilación en multiefecto, flashing en multiefecto, congelación, compresión de vapor, destilación solar, ósmosis inversa y electrodiálisis. A continuación, se presenta un breve resumen del artículo del Dr. Zarza Moya.

4.1.1. Destilación y flashing en múltiple efecto

Para obtener agua destilada, es necesario producir vapor primero y condensarlo después. La figura 1 muestra el diagrama de flujo de una planta de destilación simple (con un solo efecto). Los dos elementos básicos de esta planta son: el evaporador y el condensador.

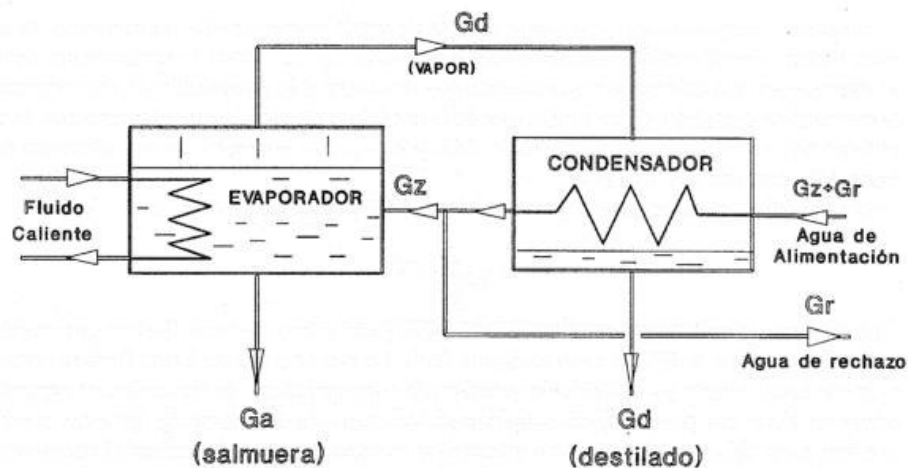


Figura 1. Planta de destilación simple

El evaporador es el elemento en el cual se produce el aporte energético al proceso, en forma de energía térmica.

Como consecuencia del aporte térmico que se realiza en el evaporador, una parte del agua que se encuentra en él se evapora y pasa al condensador. Una vez en el condensador, este vapor se condensa gracias al agua de refrigeración que circula por su interior. En el caso de la figura 1, la propia agua de alimentación se utiliza como elemento refrigerante, ya que se encuentra a temperatura ambiente. De este modo se disminuye la cantidad de calor que hay que aportar en el evaporador, debido a que el agua se precalienta antes de entrar en él.

El valor del FR (Factor de Rendimiento) para un sistema como el descrito es próximo a 1. Para obtener los valores más elevados del FR se utilizan plantas de Destilación en Múltiple Efecto, siendo el FR mayor cuanto mayor es el número de efectos, debido a evaporaciones consecutivas con temperaturas decrecientes, recuperando el calor latente de evaporación. Veamos ahora en que consiste una Planta de Destilación en Múltiple Efecto, conocidas internacionalmente con las siglas MED (Multi Effect Distillation). La figura 2 corresponde a una planta de este tipo. A los efectos se les llama también etapas o celdas. Cada etapa puede compararse a una planta de un efecto en la que el aporte de energía térmica lo realiza el vapor producido en la etapa anterior al condensar.

El funcionamiento de una planta MED es el siguiente. El agua de mar que se pretende desalinizar se hace pasar, en una determinada cantidad, por el condensador de la planta con el fin de condensar el vapor que se ha producido en el último efecto. Tras atravesar el condensador, una parte del agua de alimentación se rechaza, utilizándose solo una fracción de ella como agua de alimentación para el proceso.

Esta agua de alimentación se hace pasar por una serie de precalentadores (P1, P2, ..., P14), con el objeto de aumentar su temperatura hasta aproximarla a la de evaporación existente en la 1era etapa o efecto. Existe un precalentador en cada etapa. Tras pasar por el último precalentador, el agua de alimentación es introducida en la 1ª etapa, pulverizándose sobre un intercambiador de calor de haz tubular. Por el interior de los tubos de este intercambiador circula el fluido caliente que aporta la energía térmica que requiere el proceso (normalmente vapor).

Como consecuencia de la pulverización del agua de alimentación sobre el evaporador de la 1ª etapa, se evapora una fracción de la misma. Este vapor pasa a la zona de la 1ª celda donde se encuentra el precalentador correspondiente; al entrar en contacto con la superficie externa del precalentador, el vapor condensa parcialmente y pasa a la 2ª etapa.

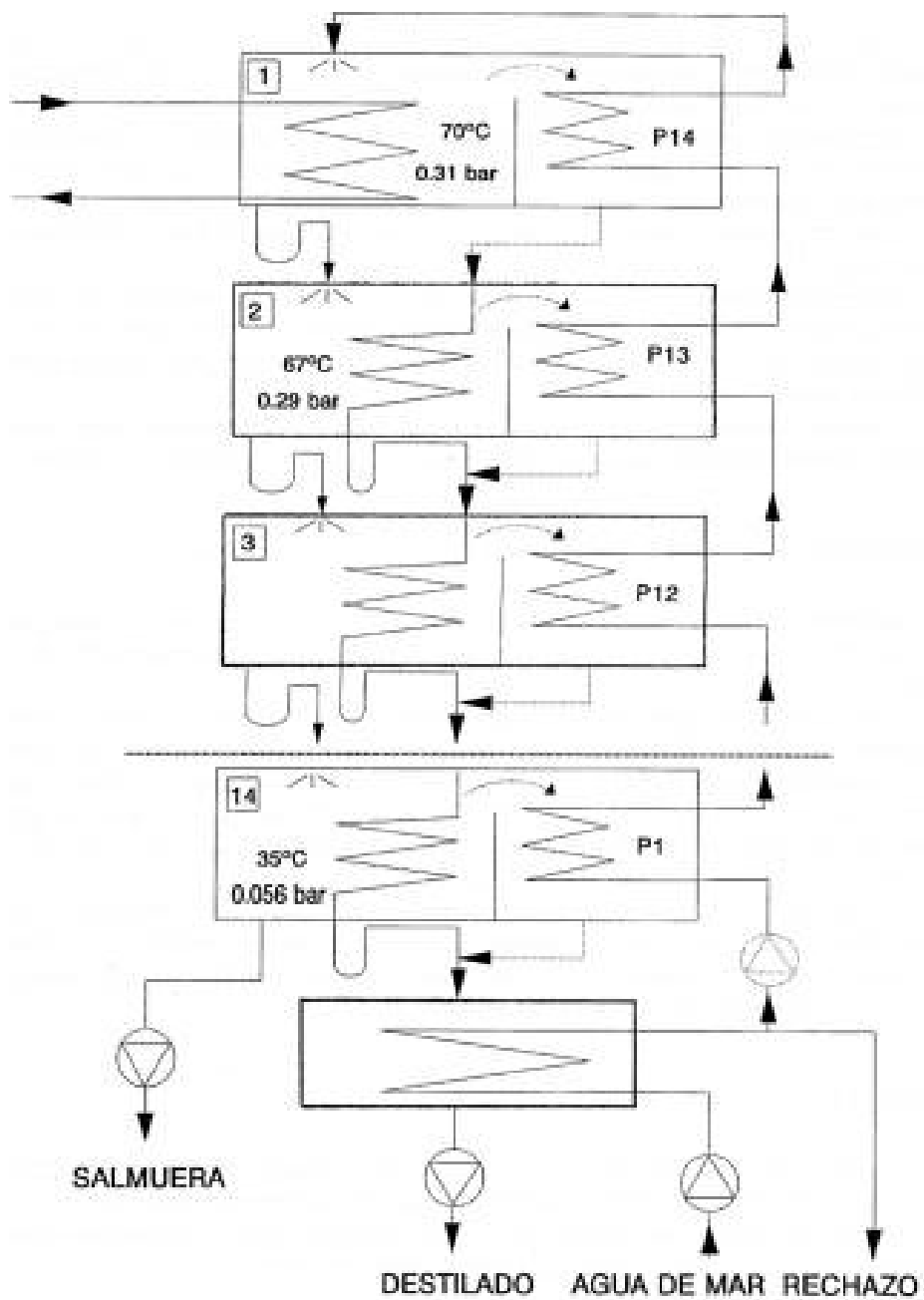


Figura 2. Planta de Destilación en Múltiple Efecto

El resto del agua de alimentación que no se evaporó en la 1ª etapa pasa a la 2ª, donde se evaporará otra fracción de la misma, gracias al calor que le cede la mezcla de condensado y vapor que proviene de la 1ª etapa. Esta evaporación se produce a una temperatura algo inferior a la de la 1ª etapa, ya que la presión existente en las sucesivas celdas es diferente y decreciente desde la primera hasta la última celda.

El vapor producido en la segunda etapa se condensa parcialmente sobre la superficie externa del precalentador correspondiente, pasando la mezcla de vapor y condensado al evaporador de la 3ª celda o etapa, donde acaba de condensar completamente. De este modo se producen una serie de evaporaciones y condensaciones sucesivas que conducen a la producción de una determinada cantidad de destilado, de tal modo, que, de la cantidad total de agua de alimentación, M_a , rechazo, M_b , con una alta salinidad.

La diferencia fundamental entre una planta MED y una planta de multi-flash es que en esta última la evaporación se lleva a cabo mediante flash. La evaporación mediante flash se consigue cuando agua caliente y a una presión superior a la correspondiente de saturación, se expande rápidamente hasta una presión igual o ligeramente inferior a la saturación. En estas condiciones, una parte del agua (el 10% como máximo) se evapora, haciendo innecesaria la existencia de un intercambiador de calor que actúe como evaporador.

4.1.2. Congelación

Este tipo de proceso podría describirse como el proceso mediante el cual el agua de mar es llevada a un estado termodinámico en el cual el componente con el punto de congelación más alto (el agua) se separa espontáneamente, mediante cristalización, dentro de la misma solución salina, la cual se va paulatinamente concentrando más y más. Esta concentración creciente del agua de mar que está en fase líquida, hace disminuir su punto de congelación. Los cristales de agua pura son "lavados" y extraídos, obteniéndose agua pura.

El componente de agua se separa primero por congelación al ir bajando la temperatura. Naturalmente, bajando la temperatura más allá de un determinado valor, la sal también empieza a cristalizar. Es por este motivo que la temperatura de trabajo típica de este tipo de proceso está en el rango comprendido entre -5°C (punto de congelación del agua de mar) y la temperatura ambiente.

Los cristales de agua pura pueden ser extraídos mediante centrifugación. No obstante, hay una diversidad de métodos que se pueden utilizar para este proceso. Actualmente no existe una amplia implementación de este tipo de plantas desalinizadoras y puede decirse que su tecnología no está aún madura.

El interés de este tipo de proceso radica en que la energía requerida para congelar un kilogramo de agua es aproximadamente igual a la sexta parte de la que se necesita para evaporarla. Sin embargo, comparada con la destilación solar, requiere de mano de obra especializada, así como requiere alimentación para la maquina frigorífica que disminuya la temperatura del agua con elevada concentración salina.

4.1.3. Compresión de vapor

La compresión de vapor se refiere al proceso de destilación en el que la evaporación del agua se obtiene mediante la aplicación del calor suministrado por la condensación de vapor comprimido.

La compresión del vapor puede realizarse mediante dos métodos. El primer método se denomina "Compresión Térmica" o "Termocompresión", y consiste en utilizar un eyector de vapor, alimentado por una fuente de vapor externa, que produce la compresión deseada mediante el efecto Venturi originado en el eyector. El segundo método comprime el vapor mediante un dispositivo mecánico, movido eléctricamente en la mayoría de los casos. Este segundo método es el que se denomina "Compresión Mecánica".

Al ser comprimido, el vapor aumenta su temperatura varios grados centígrados. Tras ser comprimido, el vapor pasa al intercambiador de calor de placas que constituye el evaporador/condensador, donde se condensa y libera calor que sirve para evaporar una parte del agua salada que circula por el otro lado del evaporador/condensador.

Este método presenta los mismos inconvenientes que el anterior respecto del suministro de energía para el funcionamiento de los equipos en zonas rurales alejadas de los conglomerados.

4.1.4. Osmosis inversa

Los módulos o membranas de Osmosis Inversa son el verdadero corazón de una planta de este tipo. La figura 3 muestra gráficamente el principio de la osmosis inversa. Si en el interior de un recipiente se separan mediante una membrana semipermeable, una solución salina y agua dulce, se verá que una parte del agua dulce pasará a la solución salina, elevando el nivel de esta. La presión estática "Po" correspondiente a esta diferencia de nivel es lo que se denomina "Presión Osmótica" de esa solución salina. Si se aplica sobre la superficie de la solución salina una presión mayor que la presión

osmótica, el agua pasara de la solución salina a la dulce, a través de la membrana semipermeable, produciendo un incremento de volumen del agua dulce. A este proceso se le denomina Osmosis Inversa, y es el principio de funcionamiento de los módulos de ósmosis.

Dependiendo del tamaño de la planta y de las características físicas y biológicas del agua a desalinizar, la instalación de una planta de Ósmosis Inversa será simple o más o menos compleja, ya que de ello dependerán los equipos auxiliares de tratamiento que se necesitan.

El consumo energético en una planta de ósmosis inversa es netamente eléctrico, correspondiendo principalmente a la energía eléctrica consumida por motobombas de alta presión. Los equipos auxiliares suponen un consumo eléctrico adicional pequeño.

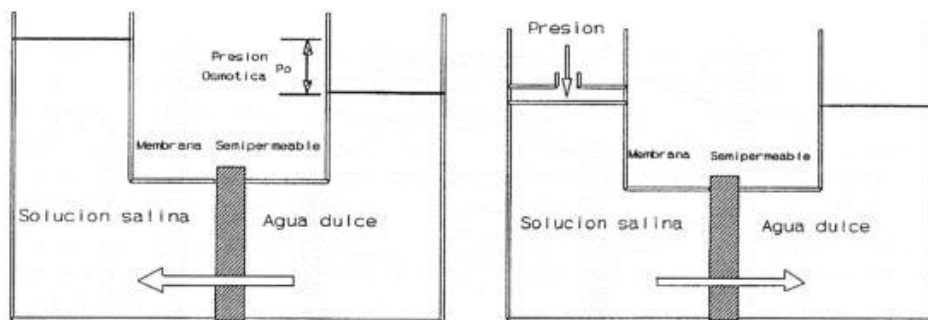


Figura 3. Presión osmótica (izquierda). Esquema de funcionamiento de la ósmosis inversa (derecha)

4.1.5. Electrodiálisis

La electrodiálisis es otro de los procesos que, como la Ósmosis Inversa, desalinizan el agua del mar sin que se produzca un cambio de fase. Este tipo de plantas se basan en el hecho de que, si se hace circular por una solución iónica una corriente continua, los iones cargados positivamente (cationes) se desplazan en dirección al electrodo negativo o cátodo. Del mismo modo, los iones cargados negativamente (aniones) se desplazan hacia el electrodo positivo o Ánodo.

Por lo tanto, si entre el Ánodo y el Cátodo colocamos un par de membranas semipermeables, una de las cuales es permeable a los cationes y la otra lo es a los aniones, se ira paulatinamente formando una zona de baja salinidad entre las dos membranas. Este es el proceso conocido como "electrodiálisis", fundamento de las plantas desalinizadoras que llevan este nombre.

La figura 4 muestra gráficamente este fenómeno. Aunque el proceso de la electrodiálisis es conocido desde comienzos del presente siglo, las membranas primitivas solo eran parcialmente selectivas.

Al igual que las plantas de Ósmosis Inversa, las plantas de electrodiálisis requieren un cuidadoso pretratamiento del agua de entrada, a fin de no dañar irreversiblemente las membranas. Esto supone una mano de obra calificada y el consumo de energía eléctrica.

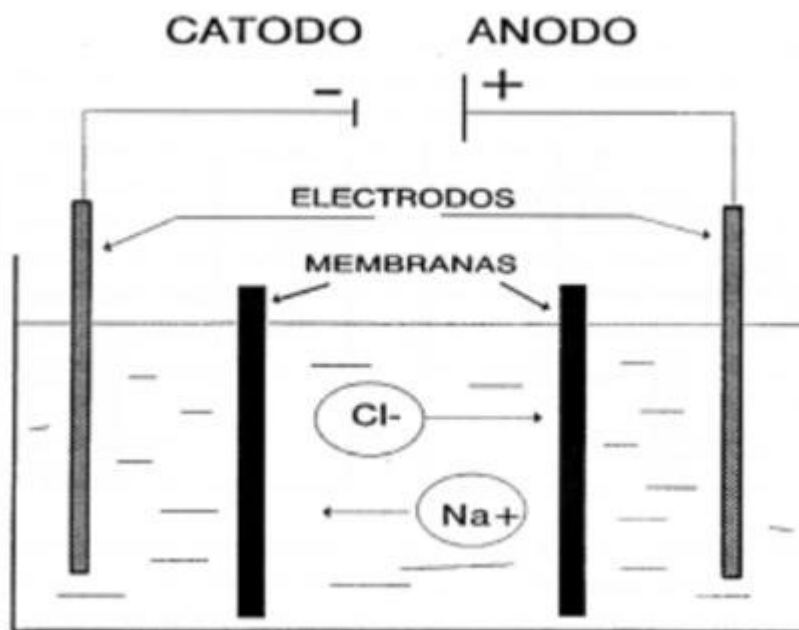


Figura 4. Proceso de electrodiálisis.

Destilación solar

Se lleva a cabo mediante los sistemas solares que reciben el nombre de Solar-Stills. Son sistemas que funcionan exclusivamente con energía solar, no teniendo sentido su implementación si no es para hacer uso de dicha fuente de energía.

Los Solar Stills son unos sistemas de desalinización mediante evaporación que operan con la energía disponible en la radiación solar.

Son sistemas especialmente diseñados para aprovechar de un modo pasivo la energía solar, haciendo uso del conocido "efecto invernadero". Los elementos básicos que componen un solar still son dos: la piscina o estanque, la cubierta.

La piscina o estanque es, como su nombre lo indica, el lugar donde se encuentra almacenada el agua salada que se pretende desalinizar. Puede aprovecharse una hondonada o cavidad natural en el terreno, o bien construirse de obra civil al igual que una piscina o estanque artificial.

La cubierta consta de una superficie transparente (a base de plástico o vidrio) colocada encima del estanque, de modo que en su interior se consiguen temperatura lo suficientemente elevadas como para producir la evaporación de una determinada cantidad de agua del estanque.

Están temperatura interior elevada ($>60^{\circ}\text{C}$) se consigue gracias al “Efecto Invernadero” producido por la cubierta transparente, que consiste en que la mayor parte de la radiación solar exterior consigue atravesar la superficie de la cubierta, que actúa como una trampa térmica para la radiación solar. Esta radiación solar que atraviesa la cubierta transparente es absorbida en parte por el agua que existe en el interior, y la otra parte es emitida con una longitud de onda mayor que la de la radiación incidente. Debido a su mayor longitud de onda, esta radiación es en su mayoría incapaz de atravesar hacia el exterior la cubierta transparente, quedando atrapada en el interior del solar still, produciendo el consiguiente aumento de la temperatura ambiente, lo que favorece la evaporación de una pequeña fracción del agua allí existente.

Este vapor condensa al entrar en contacto con la cara interior de la cubierta, formando pequeñas gotas de agua destilada que terminan uniéndose entre sí y se deslizan siguiendo la pendiente de la cubierta, para finalizar siendo recogidas y canalizadas por los oportunos conductos colectores que terminan en los depósitos de almacenamiento de agua destilada.

4.1.6. Diferentes tipos de Solar Stills

La figura 5 muestra diferentes diseños de un solar still, en los que se ha variado la forma y disposición de la cubierta transparente. Como puede observarse en la figura 5, en todos los diseños la pendiente de la cubierta conduce las gotas del agua condensada a los colectores de agua destilada.

Los solar still no se usan para producir grandes cantidades de agua desalinizada debido a que estos sistemas presentan una baja producción de destilado por unidad de superficie, lo que obligaría a disponer de una superficie de terreno excesivamente

grande. La producción diaria de un Solar Still suele estar comprendida entre 1 y 4 litros de agua por cada m^2 de superficie del estanque. Este tipo de sistema de desalinización tiene otro inconveniente adicional, que consiste en las inevitables pérdidas de vapor y de destilado, siendo necesaria una considerable labor de mantenimiento para que estén completamente operativos. También experimentan un acusado descenso de productividad con el tiempo debido a diversos factores (envejecimiento y ensuciamiento de la cubierta, etc.).

Otro de los inconvenientes que posee un Solar Still es el coste relativamente alto que presentan, sobre todo si se instalan en países industrializados donde el coste de la mano de obra es alto. El coste de los materiales necesarios es relativamente bajo, pero requieren bastante mano de obra para el montaje y la instalación.

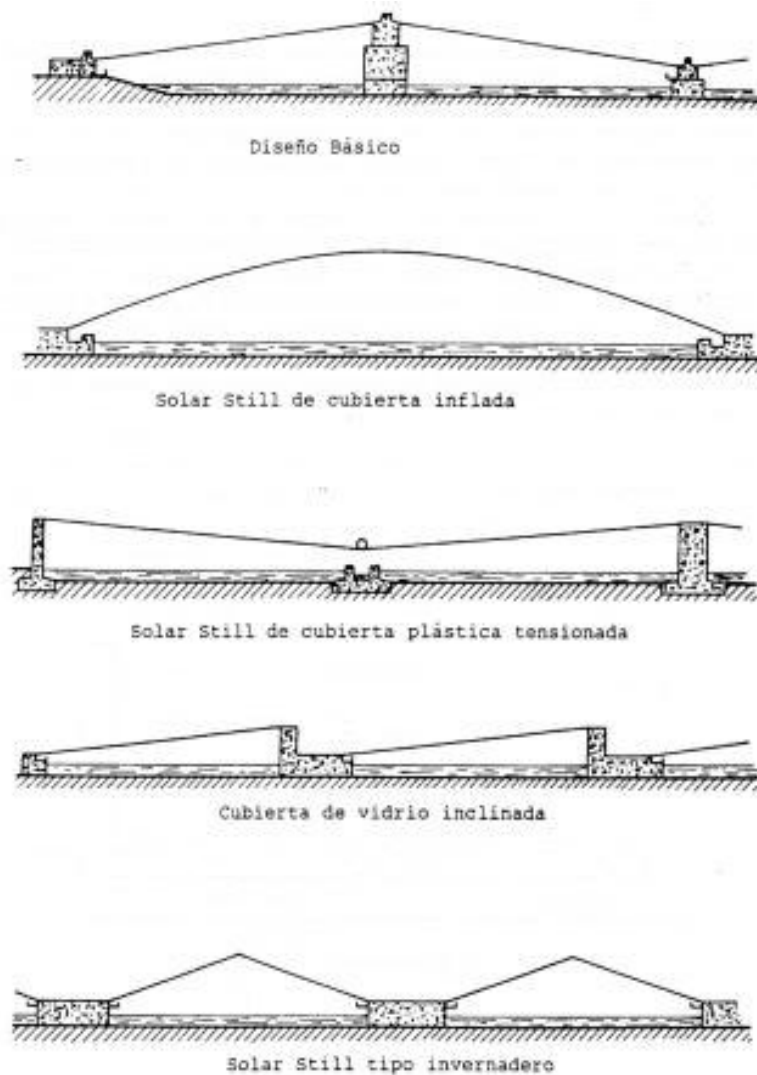


Figura 5. Diferentes diseños de Solar Still.

A pesar de estos inconvenientes, los Solar Still son atractivos para pequeñas instalaciones, especialmente en localizaciones remotas con escasos recursos energéticos y un buen nivel de radiación solar. Este es el motivo por el cual este tipo de sistemas ha sido y es objeto de estudio en países como Pakistán, India y Grecia. Todos estos países poseen numerosas instalaciones de este tipo.

Las experiencias prácticas existentes con los Solar Still muestran que el elemento más frágil y que suele ocasionar la puesta en fuera de servicio de la instalación, es la cubierta. Este problema se hace tanto más patente cuanto mayor es la superficie del sistema, ya que cuanto mayor es la superficie de la cubierta, más propensa es a los agentes meteorológicos (viento, granizo, etc...). Este es el principal motivo por el que estos sistemas resultan más adecuados para pequeños sistemas, siendo utilizado en la actualidad para pequeños núcleos rurales de países mediterráneos y asiáticos.

4.1.7. Requisitos básicos para un solar still son que el sistema:

- Sea fácilmente montado en el campo.
- Este construido con materiales que estén disponibles en / o cerca del lugar donde se pretende instalar, de modo que los costes de transporte sean pequeños.
- Sea ligero, pudiéndose manejar e instalar con facilidad.
- Tener una vida útil de 10 a 20 años, con una labor de mantenimiento normal.
- No requerir fuente energética externa.
- Poder servir, a la vez, de superficie captadora del agua de lluvia.
- Resistir vientos de intensidad moderada.
- Estar fabricados con materiales que no contaminen el agua de lluvia que recogen ni el destilado que producen.^{ix}

4.2. Calidad del agua desalada

Los procesos de destilación producen un agua con menor contenido de sales (0,02 mg/l) que los procesos de ósmosis inversa (de 0,01 a 0,05 mg/l). Este sistema consiste en

obligar el pasaje del agua con sólidos disueltos por filtros de diferentes dimensiones utilizando la presurización del fluido. Sin embargo, existen zonas en las cuales es inviable el acceso a la energía eléctrica, fundamental para el funcionamiento de este equipo. [x] y [xi]

5. PROPUESTA

Ante los problemas mencionados en el apartado 3 y 4, teniendo en cuenta, las alternativas comerciales existentes, sus requisitos y calidad del agua destilada obtenida; se propone como solución diseñar, calcular y proyectar un equipo tipo Solar – Still con espejo parabólico y un colector solar compuesto de un tubo de vidrio al vacío colocado en el foco del mismo para incrementar su producción de agua destilada y nuevamente mezclarla con agua salobre para obtener agua potable. Y que, los procesos citados anteriormente requieren del suministro de la red eléctrica para su funcionamiento y esto no es accesible en zonas rurales alejadas de los conglomerados. Además, el diseño del presente equipo se pretende que el personal que lo opere no requiera nivel elevado de capacitación.

También se deberá considerar para la zona atlántica los esfuerzos a los que se encuentra sometido el equipo debido a los vientos de la zona.

A continuación, se muestra un esquema del equipo y tablas con la producción lineal ideal calculada.

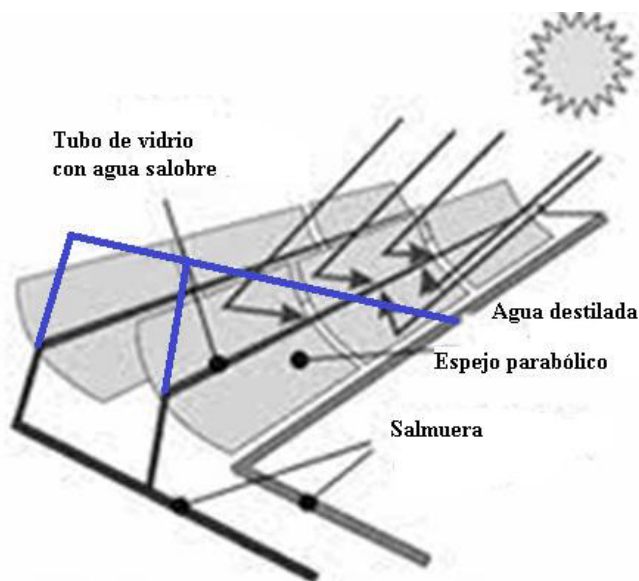


Figura 6. Esquema destilador solar

5.1. Equipo ensamblado

Se muestra en la siguiente imagen el equipo propuesto ensamblado

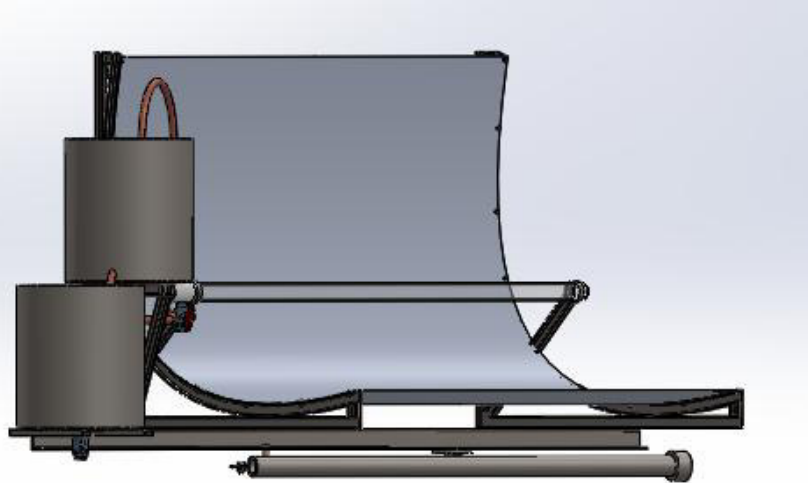


Figura 7. Ensamble equipo propuesto

5.2. Partes del equipo

En la siguiente figura, se identifican las diferentes partes que componen el equipo.

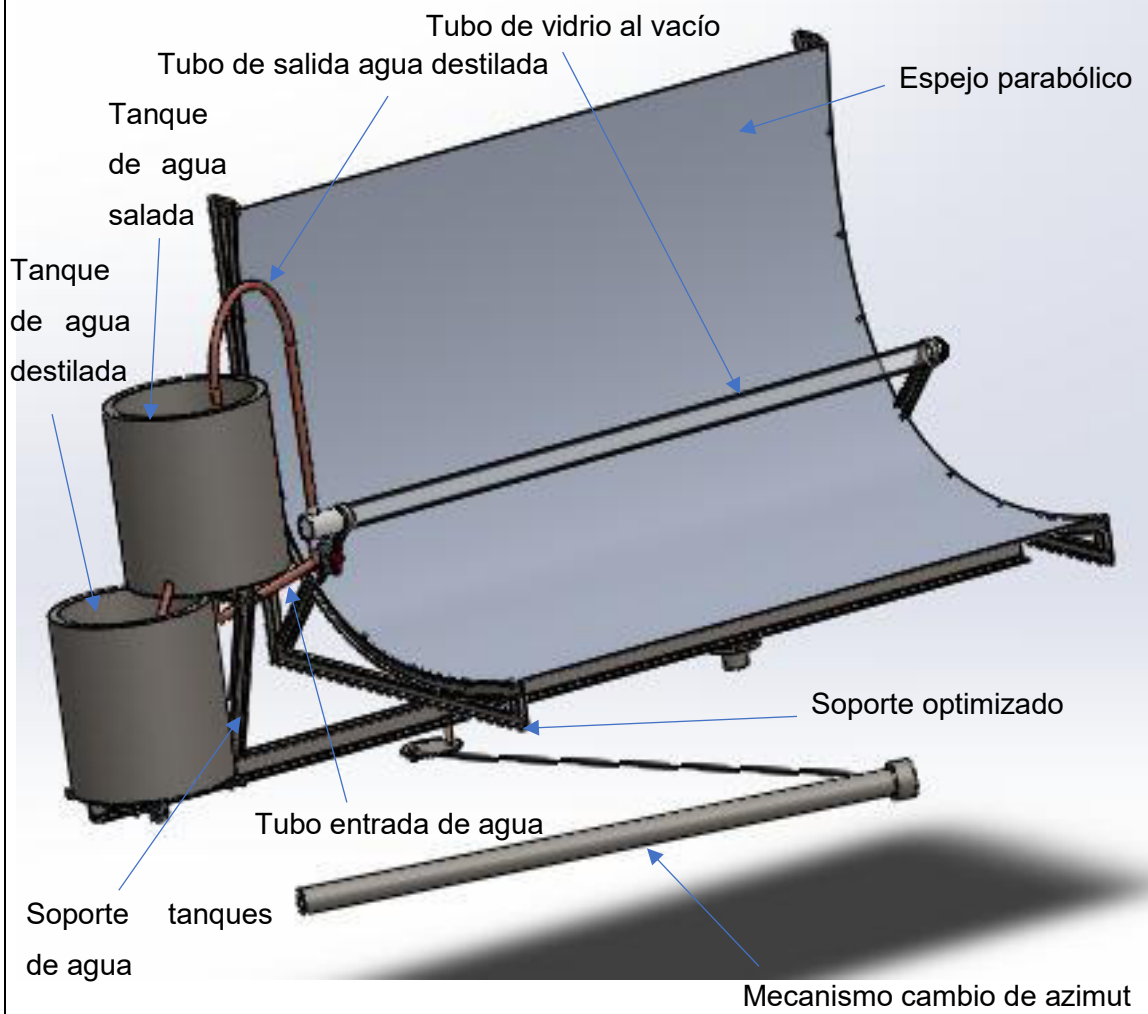


Figura 8. Partes del equipo

5.2.1. Subconjunto mecanismo cambio de azimut

Se muestra el subconjunto a continuación, correspondiente al plano Nro. 2

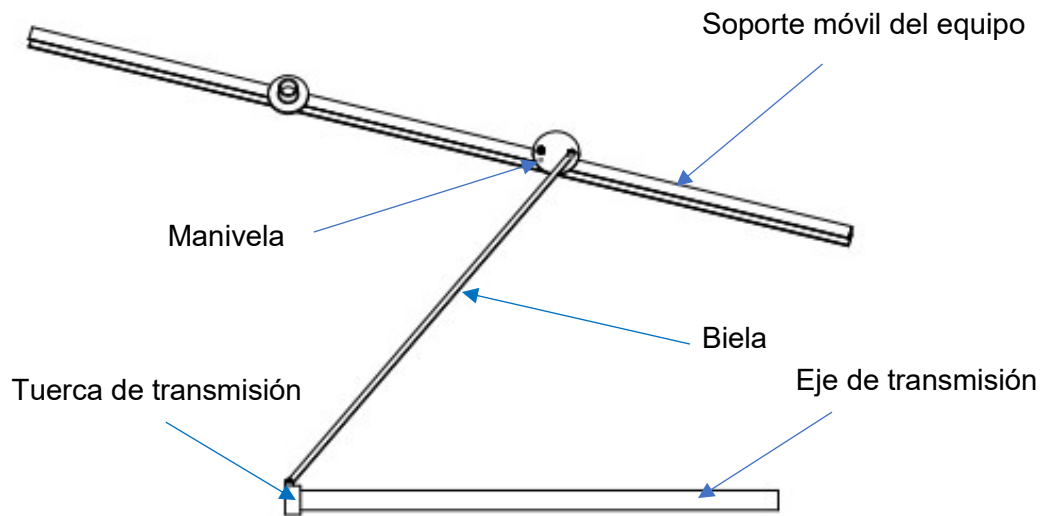


Figura 9. Subconjunto mecanismo cambio de azimut

5.3. Cálculo de producción del equipo

En esta sección se realiza el cálculo de la capacidad teórica del equipo de acuerdo al tamaño y estación del año.

De acuerdo a la radiación solar que recibe la zona atlántica de Río Negro y las horas de sol relevadas de publicaciones del servicio meteorológico nacional, se calculó la energía irradiada en verano y en invierno por metro cuadrado para determinar la producción de la cantidad de litros de agua desalada por día y por cada módulo de 6 metros de longitud de equipo. Se utilizaron las estaciones de invierno y verano, puesto que, al ser estaciones extremas, podemos tener la producción mínima y máxima respectivamente.

Se realizaron cálculos teóricos para conocer las dimensiones del espejo parabólico y la producción que tendría de acuerdo a esas dimensiones, buscando una relación tamaño – producción más conveniente, porque el equipo se encuentra sometido a los vientos del sur, para esto se consideró la norma CIRSOC-102-Reglamento.

En la siguiente tabla se presentan los valores de las diferentes dimensiones del espejo parabólico para una misma longitud de equipo. En la misma tenemos columnas que representan las dimensiones, por ser un espejo parabólico, se calcularon las dimensiones y la superficie transversal para obtener un estimado de la energía solar concentrada en el eje del foco del espejo y conociendo la energía necesaria para

evaporar agua, que dimensiones y producción de agua destilada teórica por día tendría el equipo.

Dimensiones del equipo (m)			Energía irradiada kWh-día colectada verano	Energía irradiada kWh-día colectada invierno	Energía necesaria para evaporar el agua/lts kWh	lts/día verano/6m	lts/día invierno/6m
x	y	L					
0,25	0,06	6	21	6	0,63	33,44	9,56
0,50	0,25	6	42	12	0,63	66,89	19,11
0,75	0,56	6	63	18	0,63	100,33	28,67
1,00	1,00	6	84	24	0,63	133,78	38,22
1,25	1,56	6	105	30	0,63	167,22	47,78
1,50	2,25	6	126	36	0,63	200,67	57,33
1,75	3,06	6	147	42	0,63	234,11	66,89
2,00	4,00	6	168	48	0,63	267,56	76,44
2,25	5,06	6	189	54	0,63	301,00	86,00
2,50	6,25	6	210	60	0,63	334,44	95,56

Se debe aclarar que aún no se tienen en cuenta los esfuerzos debido al viento sobre el equipo.

5.4. Antecedentes

Dentro de las primeras aplicaciones de la historia podemos citar a Horace de Saussure inventó en 1767 lo que él mismo llamó "la caja caliente". Esta consistía en una caja acristalada por la parte por la que entran los rayos del sol, mientras que el interior iba pintado de negro. Salvo la cara de cristal, todas contaban con material aislante que permitía retener el calor en el interior. De esta manera, las temperaturas que se alcanzaban podían llegar a los 109°C.

Este pequeño invento fue el primer colector solar de la historia de la energía solar térmica.

Se logró desarrollar calentadores solares de placa plana para obtener agua caliente solar en las viviendas. Fue uno del origen de los sistemas para calentar agua y el aire a bajas temperaturas en la historia de la energía solar, también dio lugar a los hornos solares. Estos consistían en cajas calientes cuya finalidad era la cocción de alimentos. Su invento transformó también el mundo de la cocina.

Posteriormente, Lavoisier y Charles Wilson continuaron avanzando en la historia de la energía solar térmica. El primero de ellos creó hornos solares que lograban fundir metales, mientras que el segundo se centró en la destilación del agua marina.

En 1874 el inglés Charles Wilson diseñó y dirigió una instalación para la destilación del agua marina en el desierto de Atacama (Chile) para la Salitrera Las Salinas. Esta central era capaz de proporcionar un promedio de 22.500 litros de agua diarios y estuvo en funcionamiento hasta el año 1907. Esta instalación contaba con una superficie de captación superior a los 4000 metros cuadrados. Se trata esta de la primera central conocida de estas características en el mundo, la misma se puede apreciar en la figura 6.

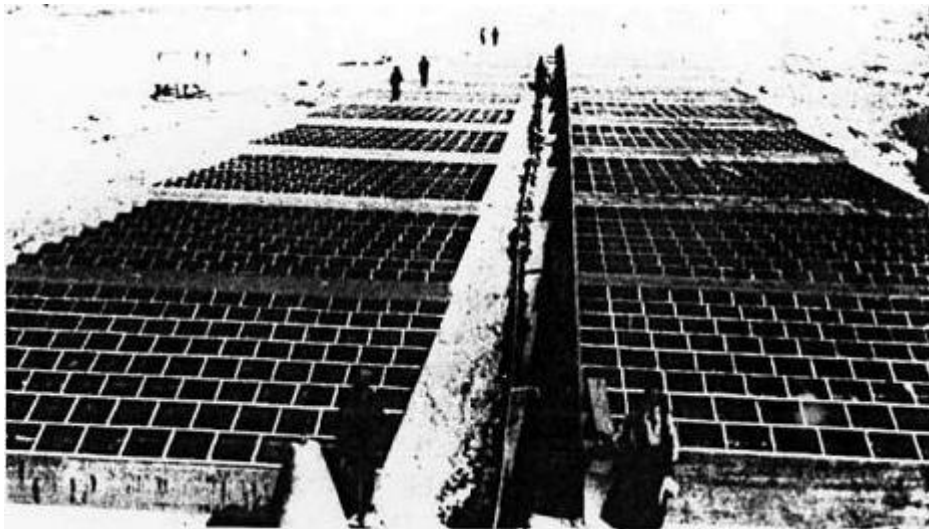


Figura 10. Planta de agua de las Salinas, Chile.

El uso de la energía solar para propósitos de depuración de agua varía según la escala de producción que se quiera obtener. Uno de los inventos de mayor impacto tal vez sea el destilador solar portátil para balsas salvavidas que ideó María Telkes para la Armada de EE.UU. en la segunda guerra mundial y que ha seguido siendo perfeccionado, pero cuyo concepto se mantiene. [xii]

Actualmente se utiliza la osmosis inversa en casos de agua con elevadas concentraciones de sales, pero como anteriormente se mencionó, existen dificultades para suministrar energía eléctrica a estos dispositivos en el caso de locaciones aisladas en las zonas rurales.

En la Provincia de Río Negro, la empresa que se encarga de la potabilización del agua es Aguas Rionegrinas, obtiene agua potable a partir de la captación. Se destacan por sus volúmenes de captación, las ciudades de Viedma -con 2200 m³/h a 12 metros de columna de agua (mca)-; General Roca -con 2600 m³/h a 9 mca-; Ingeniero Cipolletti -con 1800 m³/h a 8 mca- y San Carlos de Bariloche (toma Lago Nahuel Huapi) -con 1200 m³/h a 140 mca-. A continuación, mencionamos los procesos de potabilización que actualmente se realiza al agua:

- Floculación o coagulación
- Filtración
- Desinfección

El agua tratada se almacena en cisternas y tanques elevados, desde donde se distribuye a la red de cañerías y finalmente los domicilios de los usuarios. El producto químico que Aguas Rionegrinas S.A emplea es el Hipoclorito de Sodio, tanto para fuentes de agua superficial, subterránea y pozos filtrantes (pozo a orillas del río que percola el agua del mismo). En cuanto a los pozos filtrantes, el único tratamiento potabilizador que requieren generalmente es la desinfección. [xiii]

5.4.1. Ósmosis inversa

En la línea sur, debido a la elevada concentración de flúor y arsénico que posee la fuente de agua disponible, se efectúa un proceso de potabilización no tradicional por medio de ósmosis inversa con la finalidad de alcanzar los niveles adecuados para el consumo humano. Las localidades servidas por Aguas Rionegrinas S.A. que poseen plantas de ósmosis inversa son: Ramos Mexía, Los Menucos, Sierra Colorada, Peñas Blancas y Aguada Guzmán. El agua de la red de distribución de las localidades mencionadas no es agua apta para el consumo humano en cuanto a parámetros fisicoquímicos; ésta sólo puede utilizarse para limpieza e higiene personal. El agua para consumo debe ser retirada del tanque ubicado en el Servicio de Aguas Rionegrinas S.A. o del tanque Municipal según corresponda. Para esta región se recomienda mantener la higiene de los bidones que oportunamente proveyó la empresa para la recolección del agua potable. [xiv]

En la provincia de Santa Fe, la potabilización del agua la realiza la empresa Aguas Santafesinas S.A., el proceso se realiza de forma tradicional como en la provincia de Río Negro, con los siguientes pasos:

El agua que proviene de fuentes superficiales (ríos, lagos) se potabiliza a través del siguiente proceso:

- Captación de agua
- Agregado de coagulantes
- Formación de flóculos (partículas agrupadas)
- Decantación, por acción de la gravedad, los flóculos caen al fondo de los decantadores.
- El agua decantada es enviada a los filtros, donde capas de arena retienen las partículas más pequeñas que han quedado.
- El agua queda cristalina
- Dosificación de cal para eliminar la acidez del agua
- Agregado de cloro para eliminar bacterias y microorganismos
- Distribución a la red de cañerías.

También según la información que publica Aguas Santafesinas existen 9 plantas potabilizadoras por ósmosis inversa y una en ejecución. [xv]

5.4.2. Fabricantes en el país

En el país existen fabricantes nacionales de bombas de osmosis inversa, como ser Aguas & Procesos situada en la ciudad de Sunchales, Santa Fe.

5.5. Equipos patentados

En el país podemos mencionar que se encontró una patente de invención número DI-2018-181-APN-ANP#INPI la cual ha sido desistida. Consistía en una placa plana formada por una lámina plástica flexible donde se colocaba el agua contaminada o

salina para ser tratada. En los extremos del perímetro cuadrado de la lámina se ubican los colectores de agua desalinizada. [xvi]

En estados unidos, existe una patente de 1990 que consiste calentar el agua salada contenida en un recipiente esférico (11) que se sitúa en el foco de una superficie convexa (17), recolectar el vapor producido y conducirlo hacia un depósito donde se condensa, la circulación del agua se realiza a través de una bomba de vacío que es accionada por un motor alimentado con energía solar. [xvii]

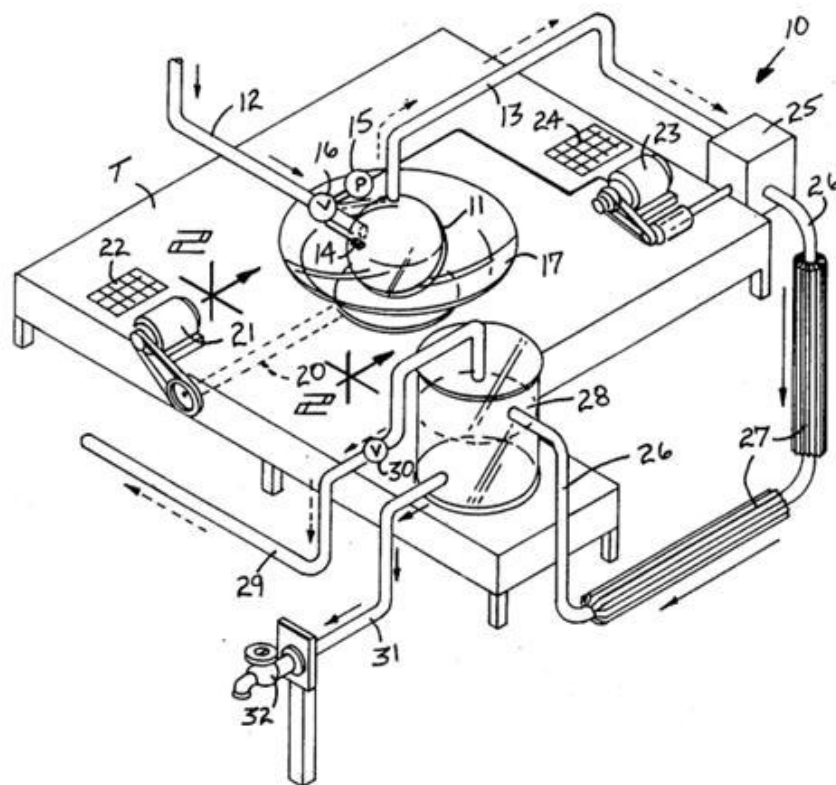


Figura 11. Patente US4921580

Otra patente de 2007 que consiste de placas inclinadas donde se han dispuesto tubos de vidrio al vacío en las cuales se realiza el calentamiento del agua o el fluido a destilar/pasteurizar, este es conducido hacia el recipiente de almacenaje (40) donde es condensado o enfriado por una serpentina en la que circula un fluido de menor temperatura, de acuerdo a si se realiza destilación o pasteurización. [xviii]

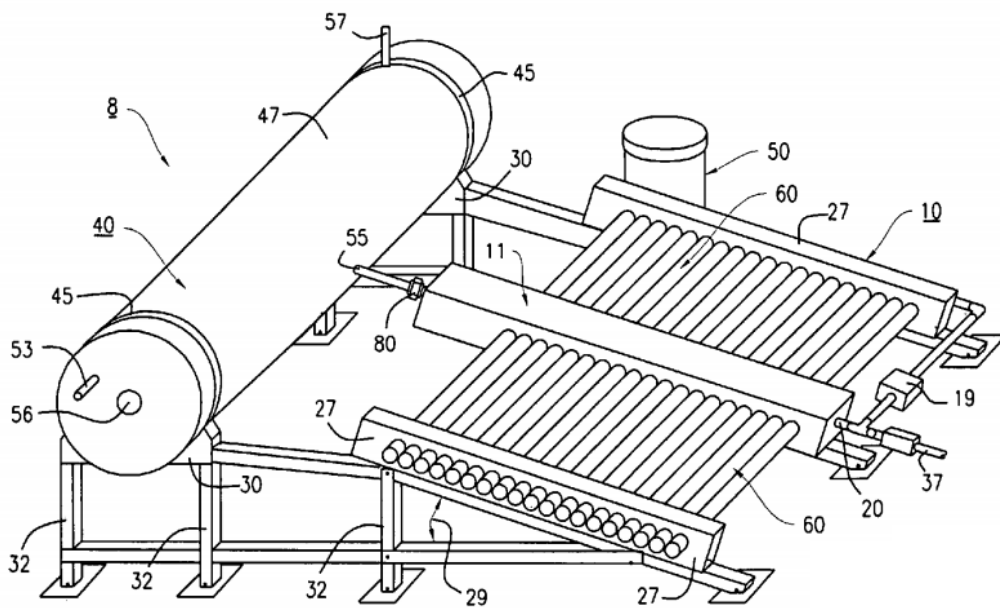


Figura 12. Patente US 2007/0193872 A1

5.6. Principio de funcionamiento del equipo propuesto

El equipo utilizará la energía solar para evaporar agua con contenidos salobres, que hacen imposible el consumo directo para personas y ganado vacuno. Sobre todo, si la misma posee elevados contenidos de flúor y arsénico como ocurre en las localidades mencionadas anteriormente, al igual que con el agua de mar. Asu vez, en la provincia de Rio Negro, tenemos localidades situadas en la denominada “Línea Sur” (marcado con rojo en el mapa) que además de la presencia de arsénico, también se pueden encontrar parajes que no cuentan con suministro de energía eléctrica. Como se presenta en el mapa a continuación.



xix

5.7. Funcionamiento del equipo

Se presenta un esquema del equipo, anteriormente se mencionaron las partes

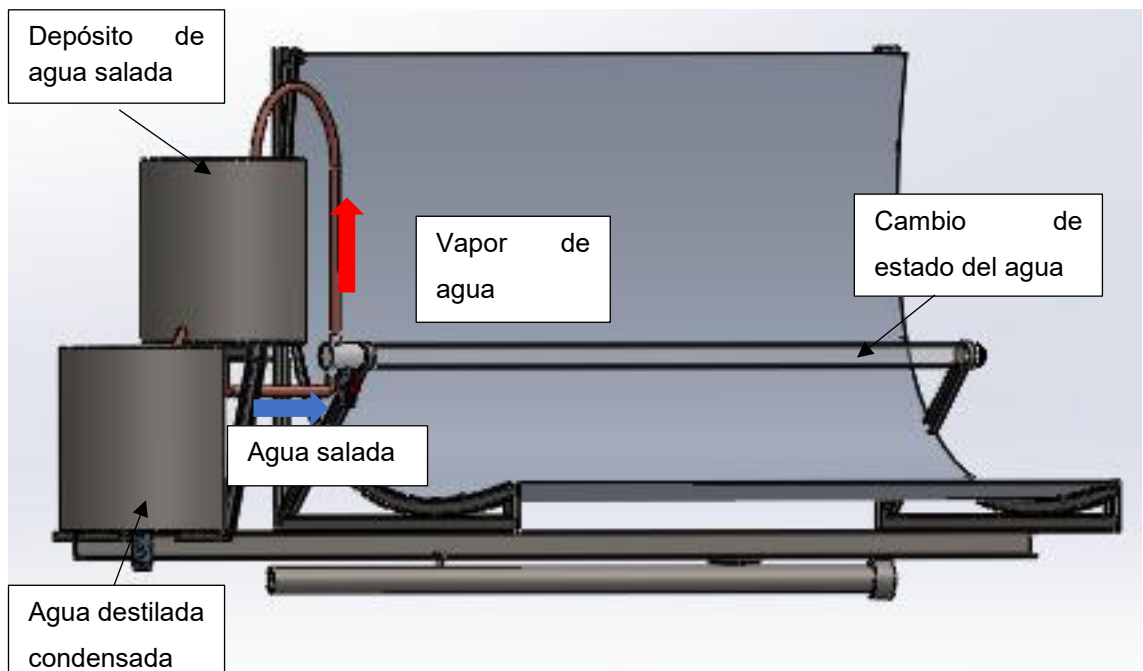


Figura 13. Esquema de funcionamiento

El agua del tanque de agua salada es precalentada al intercambiar calor por la cañería de cobre que sale del tubo de vidrio al vacío.

Esta agua que se incrementó su temperatura es conducida por el caño de ingreso de agua al tubo de vidrio al vacío.

En el tubo de vidrio al vacío, el agua salada cambia de estado, debido al calor que recibe por estar en el foco del espejo parabólico, este vapor es conducido por la cañería de cobre que oficia de intercambiador de calor, a través del tanque de agua salada hasta el tanque más abajo ubicado de agua destilada.

Los niveles de ingreso de agua al tubo de vidrio se controlan por un sensor capacitivo de nivel que verifica que siempre tenga líquido el tubo de vidrio.

Es inevitable pensar que la evaporación constante del agua, aumentará la concentración de sales en el líquido contenido en el tubo de vidrio al vacío. Por ello, periódicamente se produce la apertura de la electroválvula que permite el vaciado de este concentrado.

5.7.1. Destilación del agua

Con este equipo destilador solar, se espera bajar la concentración de sales presentes en el agua para hacerla potable.

Para determinar el volumen necesario de agua salada necesaria para obtener agua con una concentración, apta para el consumo humano, podemos estimarla a partir de la dilución para disminuir la concentración, utilizando agua destilada, que es lo que se obtiene con el equipo solar.

“El agua desalinizada suele mezclarse con volúmenes pequeños de agua más rica en minerales para mejorar su aceptabilidad y, en particular, para reducir su agresividad. El agua utilizada en la mezcla debe ser plenamente potable, según lo descrito aquí y en otros apartados de las Guías. Cuando se utiliza agua de mar para este fin, los principales iones añadidos son sodio y cloruro. Esto no contribuye a mejorar la dureza ni el equilibrio iónico, y únicamente pueden añadirse cantidades pequeñas (por ejemplo, del 1 al 3%) sin ocasionar problemas de aceptabilidad”. [xx]

5.7.2. Diluciones

Para calcular la cantidad de agua destilada y la cantidad de agua con contenido salino, se utilizarán las fórmulas de diluciones vistas en química. Existe una expresión muy útil para calcular la concentración de una solución

cuando se debe diluir desde un volumen V_1 de concentración N_1 , hasta un volumen V_2 de normalidad N_2 . xxi y xxii

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

Se calculará para la peor de las condiciones, que se corresponde con el agua de mar, que tiene una salinidad de 35grs/lts. Sin embargo, este cálculo de proporciones se debe adaptar a cada situación particular, es decir, en los casos que se utilizará este equipo, se debe realizar un análisis previo de la calidad del agua que se destilará.

5.7.3. Sólidos disueltos totales

La palatabilidad del agua con una concentración de SDT menor que 600 mg/l suele considerarse buena, pero a concentraciones mayores que aproximadamente 1000 mg/l la palatabilidad del agua de consumo disminuye significativa y progresivamente. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para los SDT. (p. 201, Guías para calidad del agua de la OMS, 2006).

5.7.4. Cálculo de la cantidad necesaria de agua a destilar para disminuir la concentración del agua salobre

Tomando como valores de referencia los investigados como sólidos totales disueltos para el agua de mar y lo sugerido por la OMS, podemos calcular el volumen inicial de agua de mar y cuantos litros de agua destilada se deben agregar para disminuir la concentración de sales a valores aceptables para el consumo humano. Para obtener 600 lts de agua potable para una familia tipo. Según la OMS la concentración máxima de sólidos totales disueltos en el agua debe ser de 600mg/lts o 0.600grs/lts.

$$35 \frac{grs}{lts} \times V_1 = 0.600grs/lts \times 600lts$$

$$V_1 = 0.600 \times \frac{600}{35} = 10.28 lts$$

$$volumen \ a \ agregar \ de \ agua \ destilada = 600 - 10.28 = 589.72 lts$$

Podemos decir que prácticamente se requieren destilar los 600lts de agua para hacerla potable, para la peor de las condiciones que corresponde al agua de mar. De esta manera la eficiencia del equipo para menores concentraciones de sal sería mayor.

5.8. Dimensionamiento del equipo

5.8.1. Capacidad

La OMS considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 litros/habitante/día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 litros/habitante/día.

“En Argentina, el consumo medio a nivel nacional real es del orden de los 180 litros/habitante/día, superando el promedio recomendado por la OMS. Sin embargo, existen al interior de nuestro país grandes diferencias regionales respecto del acceso a agua potable. Hay provincias argentinas que sufren la escasez de este recurso tanpreciado. En consecuencia, se generan problemas de salud por deshidratación o por falta de alimentos, merced del deterioro y destrucción de los ecosistemas.

La Ciudad de Buenos Aires, por el contrario, es una ciudad privilegiada a la hora de hablar de saneamiento y consumo de agua. Aproximadamente, el 99% de su población cuenta con servicio de abastecimiento del agua potable, proviniendo ésta en su mayoría del Río de la Plata. La empresa AySA es la encargada de potabilizar esta agua para luego distribuirla a la Ciudad y su Área Metropolitana (AMBA). Este proceso implica el uso de grandes cantidades de energía, tiempo y dinero.” [xxiii y xxiv]

Se relevo la cantidad de horas de sol y la energía irradiada sobre la superficie terrestre en diferentes estaciones del año, para determinar las dimensiones más adecuadas para el equipo.

Debemos tener en cuenta que coincidentemente con la estación del año y la energía solar recibida, tenemos la necesidad y consumo de agua. Es decir, en verano con mayores temperaturas e irradiación tenemos más consumo de agua y viceversa en invierno.

A continuación, se muestran los resultados calculados, donde se buscó una producción de 600 litros. Este valor es suficiente para abastecer a una familia tipo, con esto, determinamos el tamaño ideal del equipo. Para ello, se consideraron los resultados de la tabla del apartado 5.3.

x	y	L	Área transv. de la parábola m ²	Energía irradiada kWh-día verano	Energía irradiada kWh-día invierno	Energía necesaria para evaporar el agua/lts kWh	lts/día verano 36m	lts/día invierno 36m
0,25	0,0625	6	3	21	6	0,6	200,7	57,3
0,5	0,25	6	6	42	12	0,6	401,3	114,7
0,75	0,5625	6	9	63	18	0,6	602,0	172,0
1	1	6	12	84	24	0,6	802,7	229,3
1,25	1,5625	6	15	105	30	0,6	1003,3	286,7
1,5	2,25	6	18	126	36	0,6	1204,0	344,0

De acuerdo a los estudios realizados por el INTA de vientos en la zona del valle inferior de la provincia de Río Negro, donde se sitúa la localidad de Viedma, podemos encontrar valores estadísticos de los mismos. Con estos se calculó el esfuerzo al que se encontrará sometido el equipo en particular el espejo cuya superficie ofrece mayor resistencia al viento. Se realizaron los cálculos tanto con valores mínimos como máximos y en función de estos resultados, se dimensionó el soporte de la estructura. También se considerado lo sugerido por la norma CIRSOC-102-Reglamento.

5.9. Cálculo de los elementos que componen el equipo y descripción

5.9.1. Esfuerzo debido al viento sobre la superficie proyectada del espejo parabólico

Una característica considerable de las localidades del sur del país, es el viento considerable que se tiene en las diferentes estaciones del año. Se considero el comportamiento del viento como un fluido que ejerce presión sobre la superficie proyectada del equipo.

Se tomaron en cuenta los conceptos vistos en mecánica de fluidos y la ecuación de Bernoulli para realizar este análisis de fuerzas. También se tomaron los valores del

viento promedio relevados por el INTA^{xxv} de Viedma, donde se consideraron los valores promedios del viento medidos entre 1965 y 2018, se presentan los valores mínimo y máximo del mismo en km/h

Valor Max	16,5
Valor min	5

Energía por unidad de volumen antes = Energía por unidad de volumen después

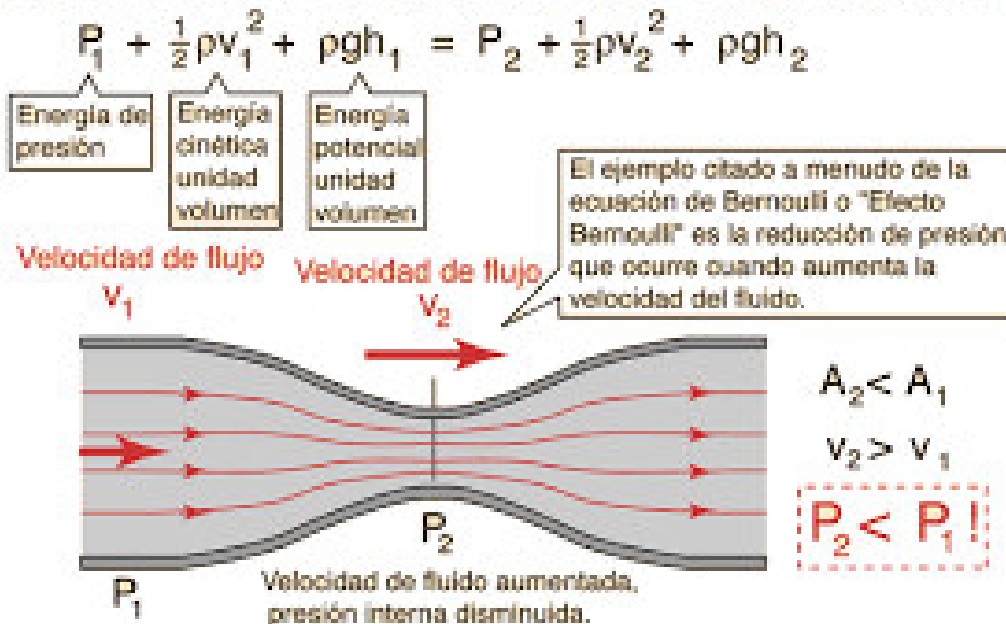


Figura 14. Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

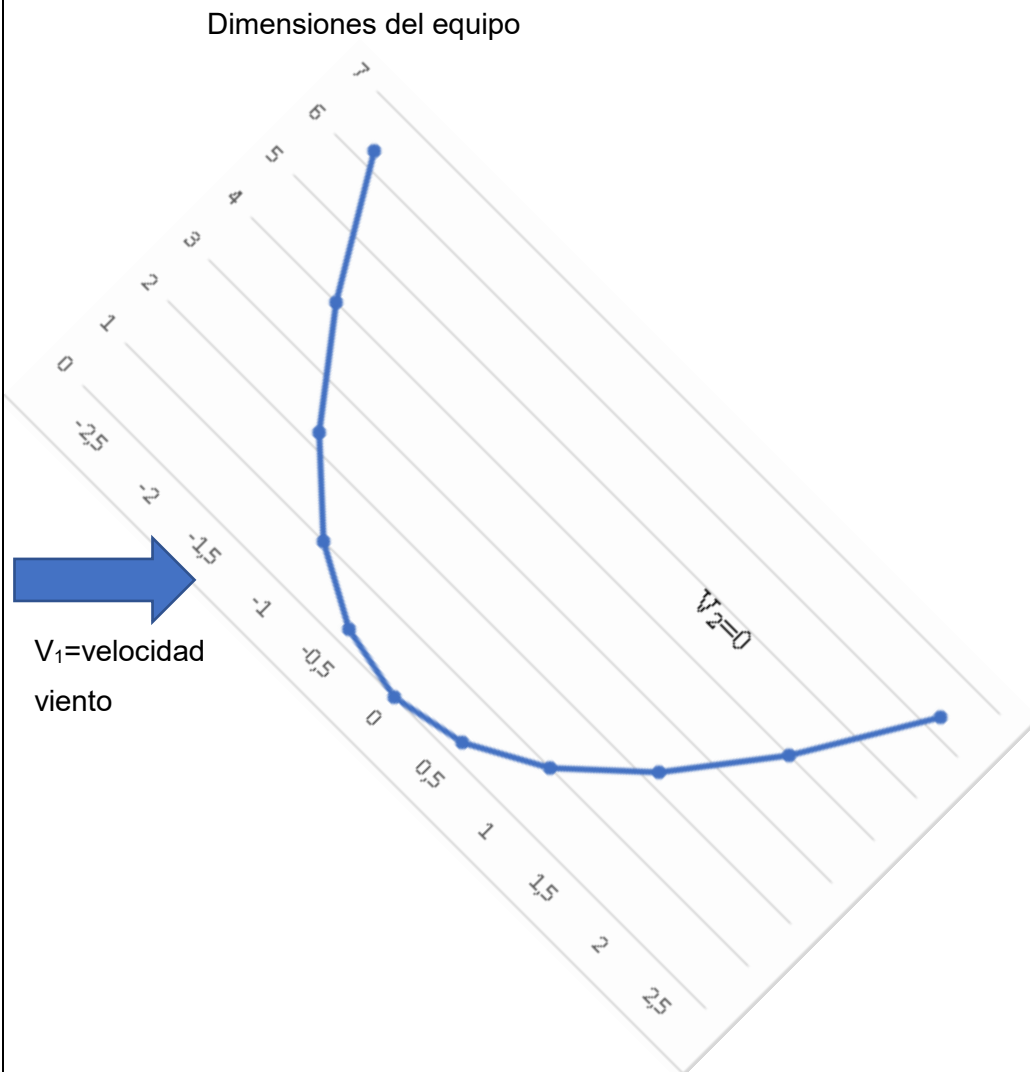


Figura 15. Gráfica para calculo dimensiones del espejo parabólico

$$P_1 - P_2 = -\frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Los términos $\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$ se consideran 0 porque no tiene perforaciones la estructura como para permitir el paso del viento, y h2 consideró en la base del espejo parabólico por lo que es 0.

$$P_1 - P_2 = -\frac{1}{2}\rho v_1^2 - \rho g h_1$$

Está bien que el resultado de negativo ya que la presión debido al viento va a ser mayor en P2 que en P1 porque la estructura debe resistir la fuerza que ejerce el viento.

5.9.2. Valores calculados para determinar por esfuerzo mecánico el valor optimo del equipo

Con publicaciones de IDEVI, se relevaron los valores máximos y mínimos del viento en la zona del valle inferior de Río Negro. Se tuvo en cuenta el anterior relevamiento junto con la influencia del viento como un fluido sobre una superficie curva para calcular la fuerza total en Newtons de acuerdo a las dimensiones del espejo parabólico.

Área proyectada del espejo en m ²				Fuerza debida al viento en N			
x	y	L	Área	Mayor prom.	Menor prom.	Max prom.	Mín. Prom.
0,25	0,0625	6	0,35	315,2	280,9	413,8	257,2
0,5	0,25	6	0,71	630,4	561,7	827,5	514,3
0,75	0,5625	6	1,06	945,6	842,6	1241,3	771,5

Para realizar los cálculos estructurales, se trabajará con la fuerza en kgf:

$$F = \frac{1241.3N}{9.8m/s^2} = 126.66 \text{ kgf}$$

La fuerza debido al viento, corresponde a 126.66 kgf

5.10. Cálculo de los elementos de sujeción

5.10.1. Cálculo de la estructura considerando los valores de vientos relevados según INTA. Tornillos espejo parabólico

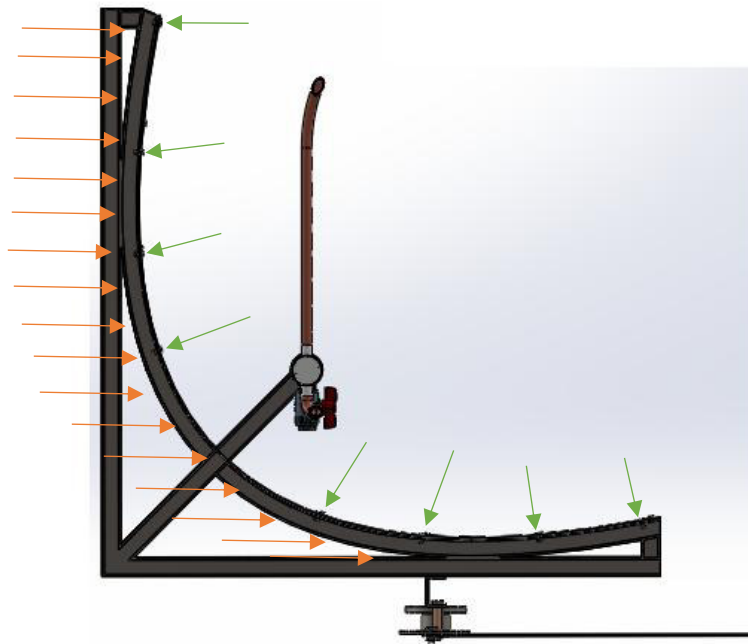


Figura 16. Fuerza debida al viento y reacciones de tornillos sujeción espejo

Sustituyendo estos valores de s_d en $F = sA$, hallamos

$$(5.1) \quad F_c = \frac{s_y}{15,24} (A_s)^{1/2} A_s = \frac{s_y}{15,24} A_s^{3/2} \text{ (kg)} \quad [D < 19,05 \text{ mm}]$$

$$(5.1') \quad F_c = \frac{s_y}{6} (A_s)^{1/2} A_s = \frac{s_y}{6} A_s^{3/2} \text{ (lb)} \quad [D < 3/4 \text{ pulg}]$$

xxvi

Si bien cada tornillo se encuentra inclinado respecto de la fuerza debida al viento y la reacción correspondiente. Se considera que los tornillos que sujetan la estructura con el espejo trabajan a tracción-compresión.

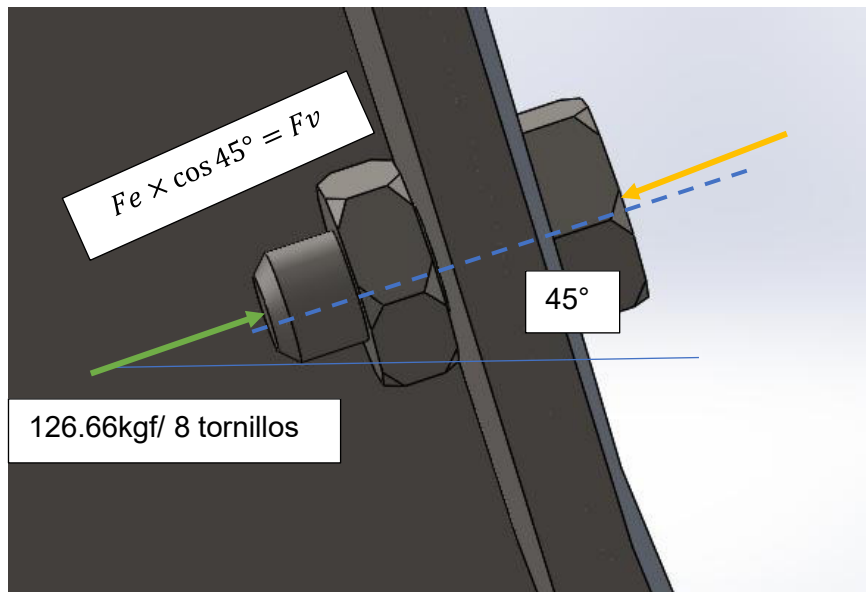


Figura 17. Análisis de las solicitaciones del tornillo que sujeta al espejo

Considerando los 45° de la inclinación del tornillo respecto de la fuerza ejercida por el viento y distribuida en 8 tornillos por cada soporte, vamos a tener que la fuerza ejercida sobre el tornillo es de:

$$\frac{F_e}{8} \times \cos 45^\circ = F_v$$

$$F_e = \frac{F_v}{\cos 45^\circ} = \frac{126.66 \text{kgf} / 8}{\cos 45^\circ} = \frac{179.12 \text{kgf}}{8 \text{ tornillos}} = 22.39 \text{kgf}$$

Se utiliza la fórmula:

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

De aquí que para determinar el área A, realizo la siguiente expresión

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}}$$

Considerando como σ_{adm} , lo que Faired menciona como S_y , en el caso de este diseño, el diámetro del tornillo se supone que será menor de 19,05mm porque lo que, se adopta la siguiente fórmula, ya que originalmente se consideró desconocida la tracción inicial:

$$F_e = \frac{S_y}{15,24} A^{3/2}$$

Y despejando A para el caso de tornillos SAE grado 5 $S_y=6187\text{kg/cm}^2$:

$$A = \sqrt[3]{\left(F_e \times \frac{15,24}{S_y}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(29.85\text{kgf} \times \frac{15,24}{6187\text{kg/cm}^2}\right)^2} = 0.175\text{cm}^2$$

Sabiendo que $A = \pi r^2$, entonces $r = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{0.175/\pi} = 0.236\text{cm}$, de lo que el diámetro es $D = 0.472\text{cm} = 4.72\text{mm}$ correspondiente a $1/4''$ con un largo de $5/8''$.

Considerando los tornillos de grado 5 con un $S_y=5694\text{kg/cm}^2$, recalculando $S=0.185\text{cm}^2$ con lo que el diámetro del tornillo queda de 0.48cm . Nos sigue verificando con un tornillo de $1/4''$.

5.10.2. Tornillos del soporte

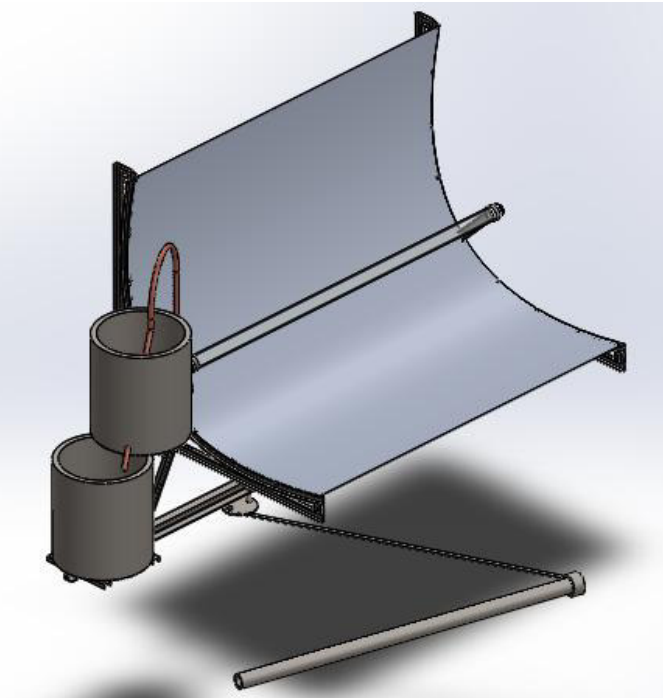


Figura 18. Detalle sujeción soporte

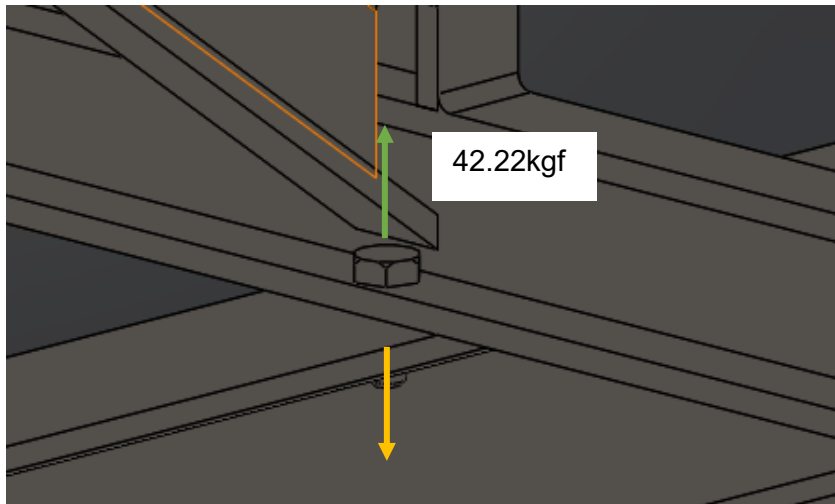


Figura 19. Esfuerzos en el tornillo de sujeción del soporte

Considerando como σ_{adm} , lo que Faies menciona como S_y , en el caso de este diseño, el diámetro del tornillo se supone que será menor de 19,05mm porque lo que, se adopta la siguiente fórmula, ya que originalmente se consideró desconocida la tracción inicial:

$$F_e = \frac{S_y}{15,24} A^{3/2}$$

Y despejando A para el caso de tornillos SAE grado 5 $S_y=6187\text{kg/cm}^2$:

$$A = \sqrt[3]{\left(F_e \times \frac{15,24}{S_y}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(42.22\text{kgf} \times \frac{15,24}{6187\text{kg/cm}^2}\right)^2} = 0.221\text{cm}^2$$

Sabiendo que $A = \pi r^2$, entonces $r = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{0.221/\pi} = 0.26\text{cm}$, de lo que el diámetro es $D = 0.53\text{cm} = 5.3\text{mm}$ correspondiente a 1/4" con un largo de 3/4".

Considerando los tornillos de grado 5 con un $S_y=5694\text{kg/cm}^2$, recalculando $S=0.233\text{cm}^2$ con lo que el diámetro del tornillo queda de 0.54cm. Nos sigue verificando con un tornillo de 1/4".

Cálculo del momento flexor al que se encuentran sometidos los tornillos del soporte debido al viento que ejerce una fuerza sobre el soporte.

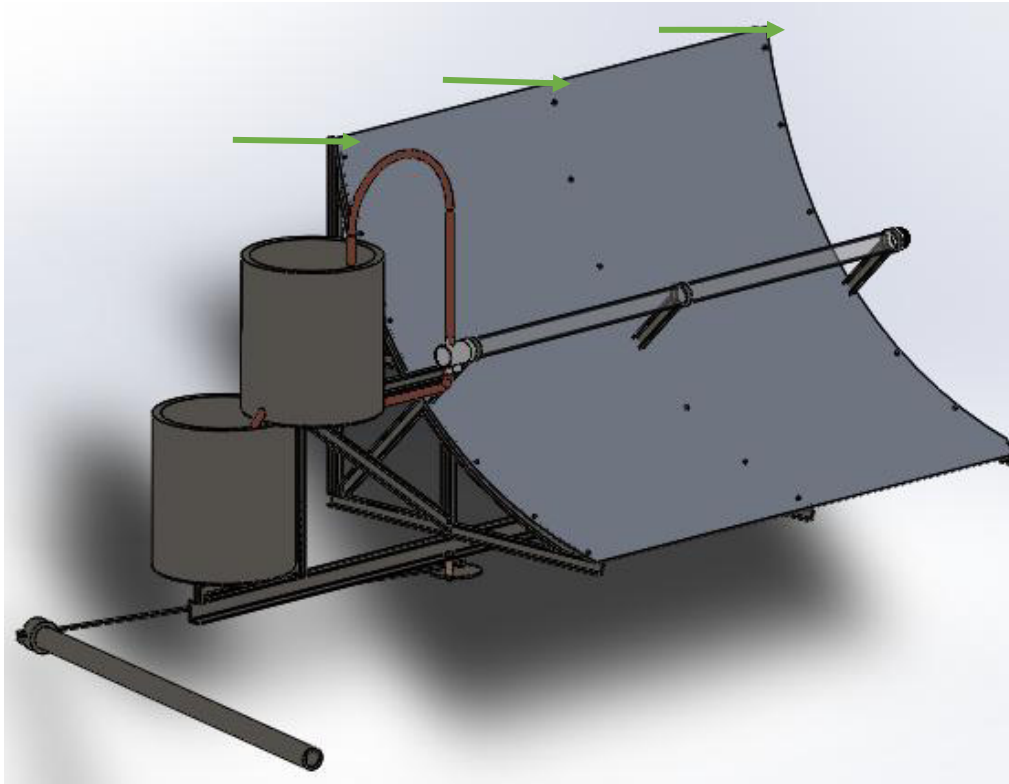


Figura 20. Fuerza debida al viento ejercida en el soporte

$$M_f = F \times d = \frac{126.66 \text{ kgf}}{3 \text{ tornillos}} \times 1.095 \text{ m} = 46.23 \text{ kgfm}$$

5.10.3. Cálculo de la estructura y análisis de esfuerzos debido al viento

El soporte tendrá forma tal, que al situarse en una base de hormigón a nivel del piso o elevado, el espejo parabólico se encontrará inclinado a 45° , inclinación necesaria para captar la mayor cantidad de radiación solar posible. Como se ve en la imagen a continuación. Se paso por varios diseños, a continuación, se muestran bocetos de los diferentes diseños y el adoptado:

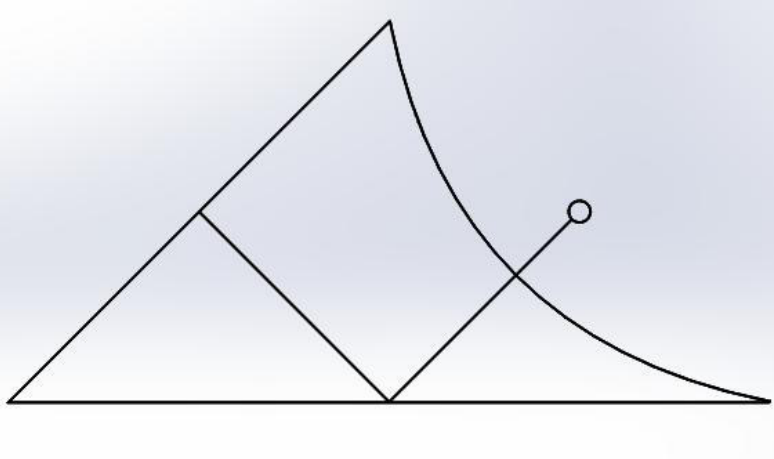


Figura 21. Soporte equipo destilador solar (a). Plano N° 18

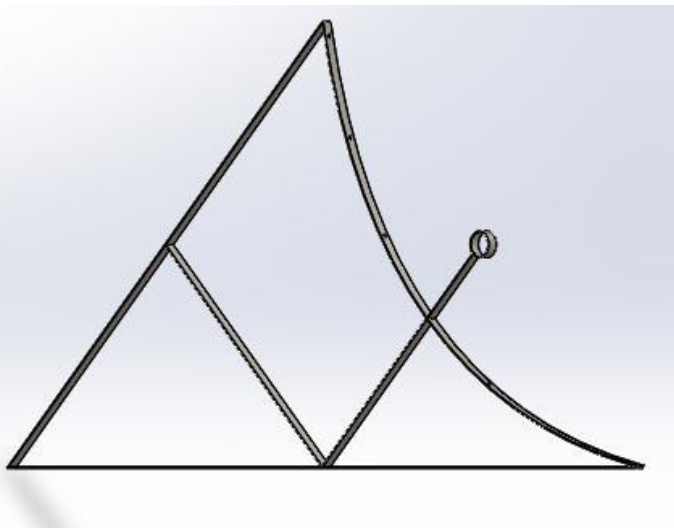


Figura 22. Soporte original (b). Plano N°18

Cálculo de la estructura del soporte del tubo de vidrio al vacío. A continuación, se puede ver el diseño del soporte original, corresponde al Plano Nro. 18.

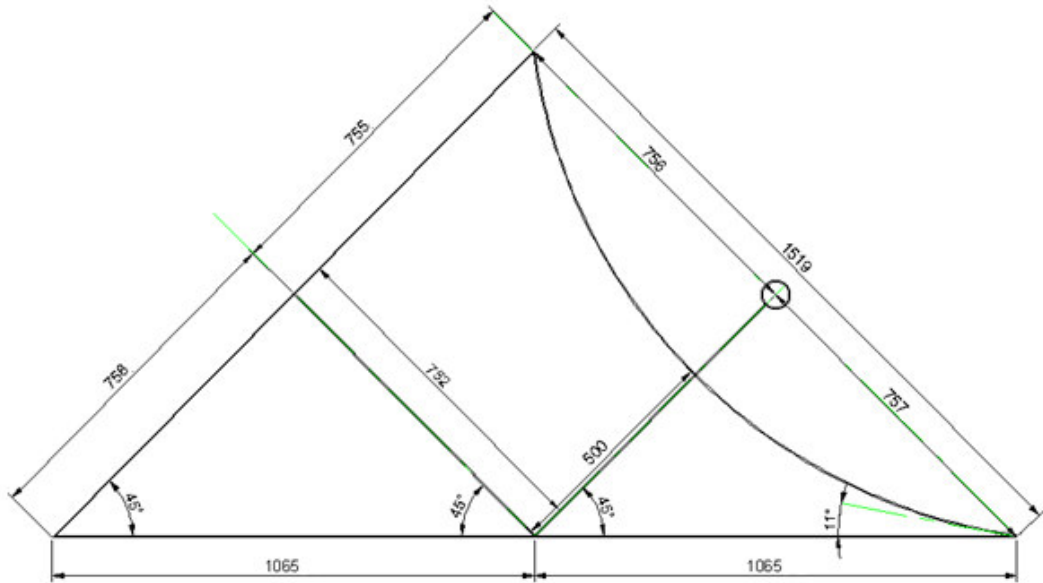


Figura 23. Dimensiones soporte

Nombramos los nodos

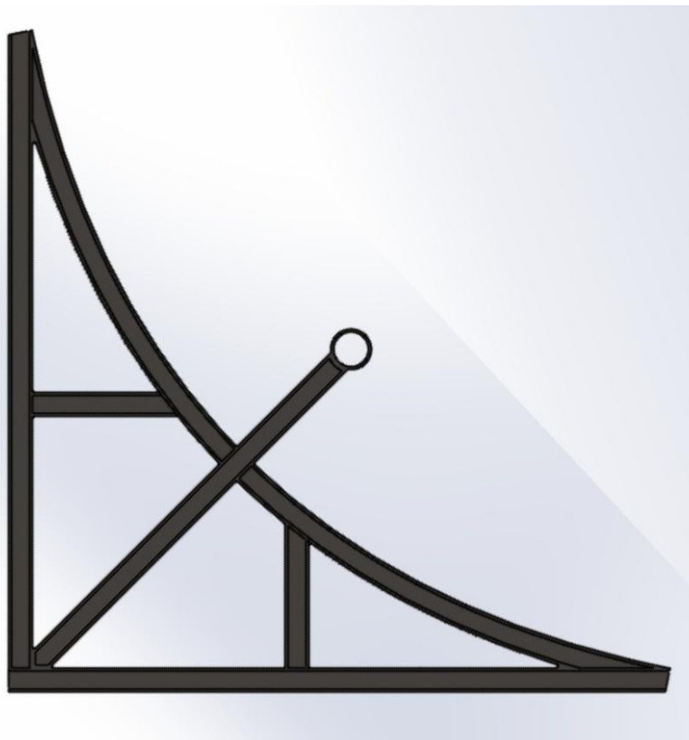


Figura 24. Segundo prototipo de soporte

Se calculará esta estructura teniendo en cuenta el esfuerzo que debe soportar debido al viento de la zona. Considerando cada sección como una viga simple.

Teniendo en cuenta lo que se mencionó anteriormente de cálculo de fuerza debida al viento, se toma como una carga distribuida a lo largo de la viga que soporta el espejo parabólico.

$$F_{Viento} = 126.66\overline{kgf}$$

$$l_{viga} = 797.20 + 797.44 = 1594.64mm$$

$$Q = \frac{126.66\overline{kgf}}{1.594m} = 79.42\overline{kgf/m}$$

Teniendo en cuenta Q, se plantean las reacciones de vínculo para cada viga definida entre los nodos marcados anteriormente (ver anexo)

5.10.4. Simulación con SolidWorks. Optimización del soporte

Se analizó la estructura y se planteó una optimización de los materiales utilizando un cambio en la estructura para reducir la cantidad de materiales y, por ende, el peso de la misma. En consecuencia, la potencia eléctrica del motor que moverá el equipo, será menor. Este soporte se puede observar en detalle en el plano N° 3. También se tuvo en consideración lo sugerido por la normativa CIRSOC, adoptando la situación de carga más desfavorable para tener un mayor margen de seguridad en el diseño ante ráfagas de vientos.

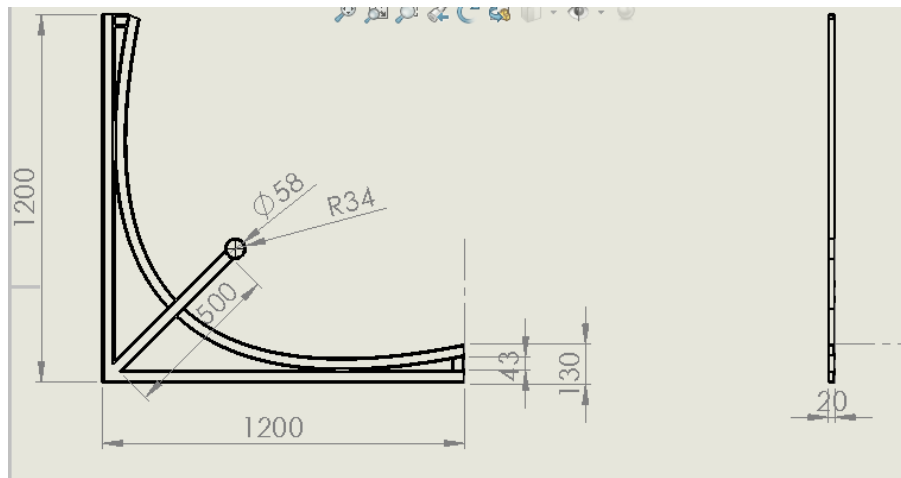


Figura 25. Soporte optimizado. Captura de pantalla

A continuación, se presentan capturas de pantalla de la simulación del comportamiento del soporte ante la fuerza del viento.

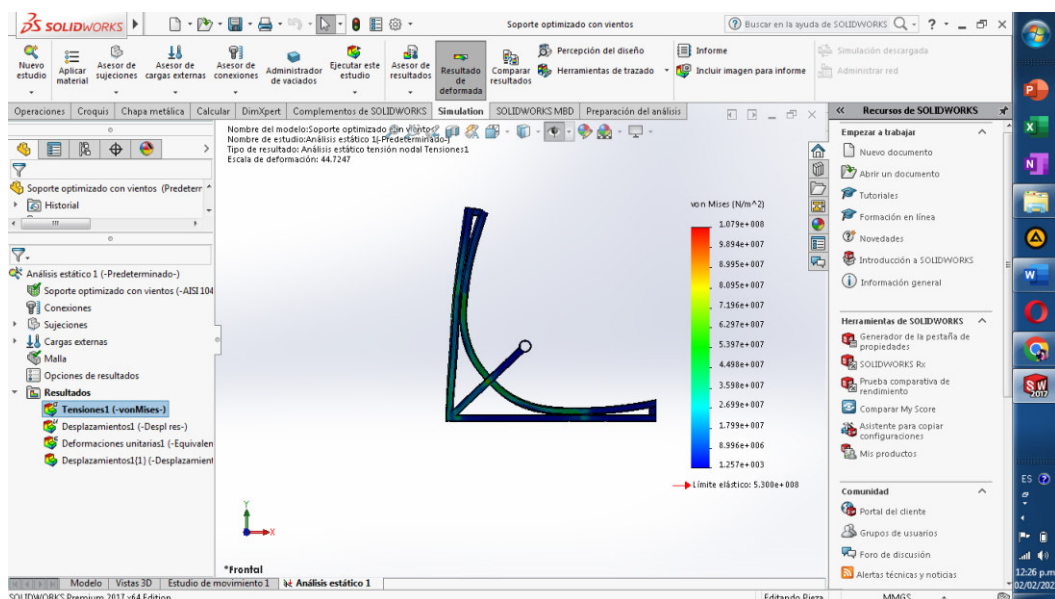


Figura 26. Análisis de tensiones soporte optimizado

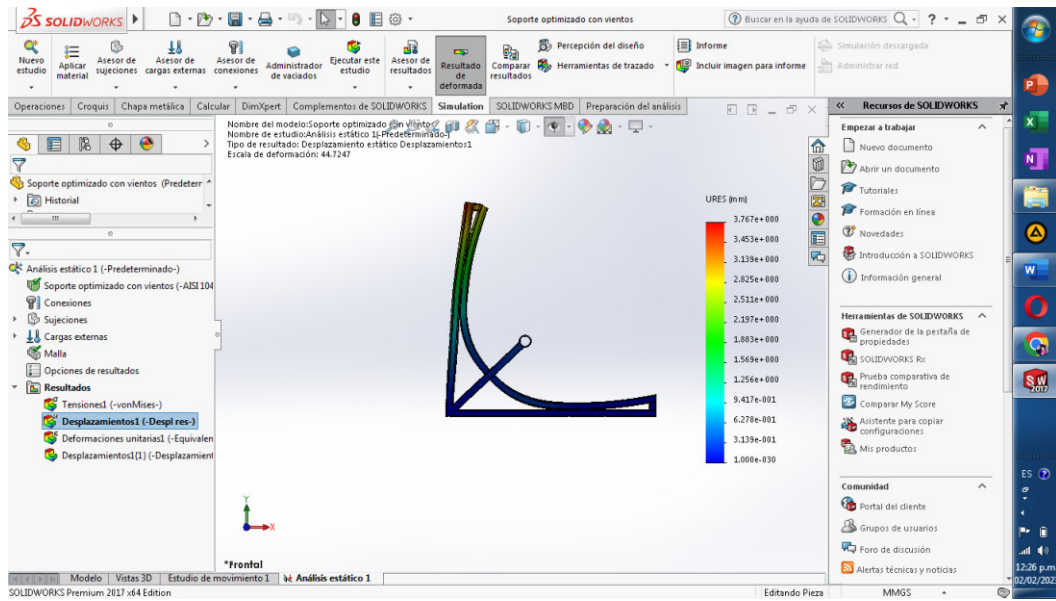


Figura 27. Simulación desplazamientos soporte optimizado

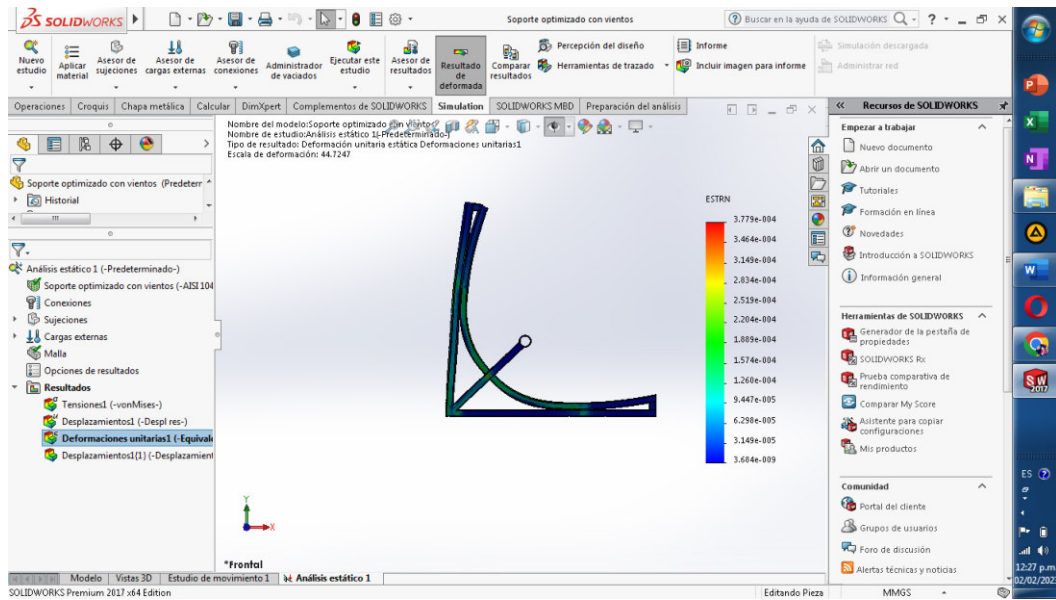


Figura 28. Análisis de deformaciones debido a la fuerza del viento

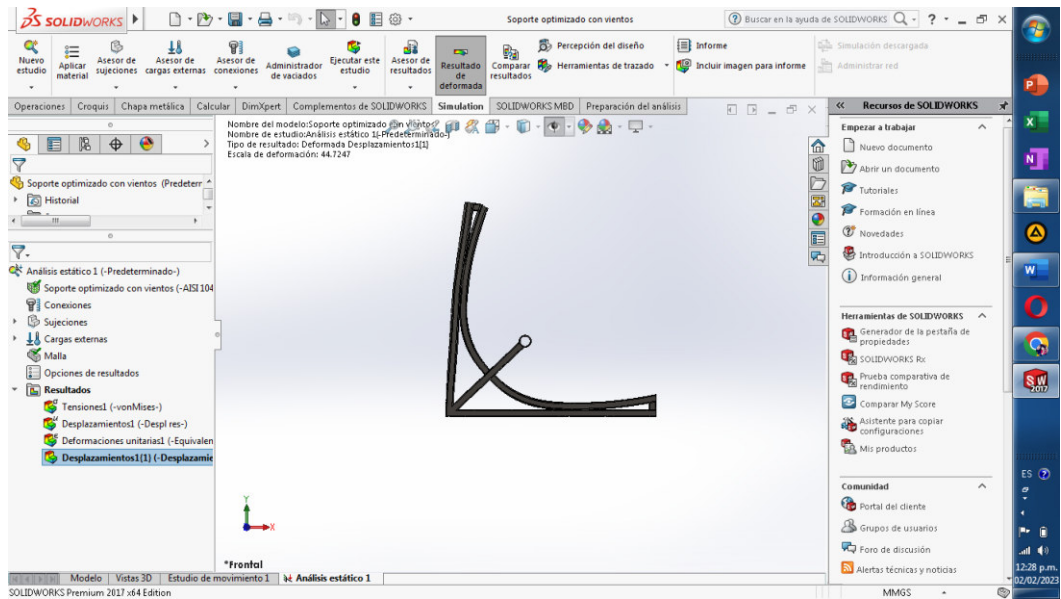


Figura 29. Deformaciones del soporte del equipo

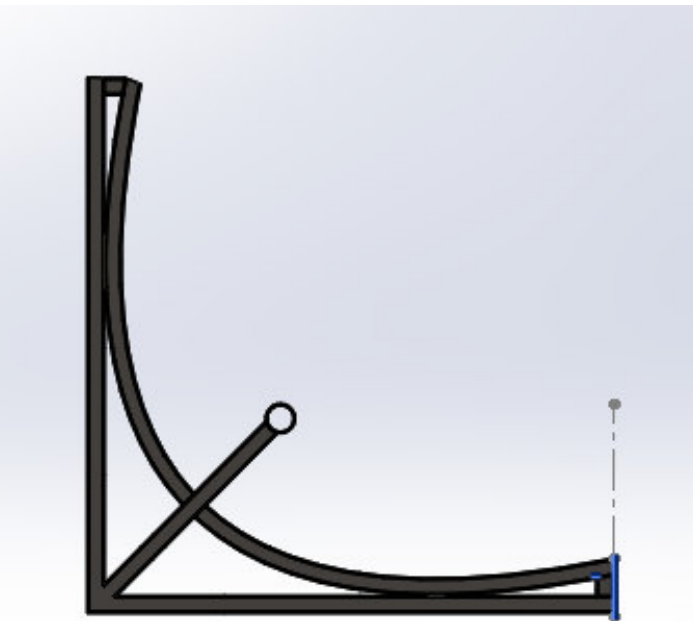


Figura 30. Soporte optimizado, modelo 3

5.10.5. Análisis de nodos y esfuerzos en el soporte

A partir del modelo planteado con la reducción de materiales, se identificaron los diferentes nodos que van a comportarse como vínculos para su análisis como vigas isostáticas.

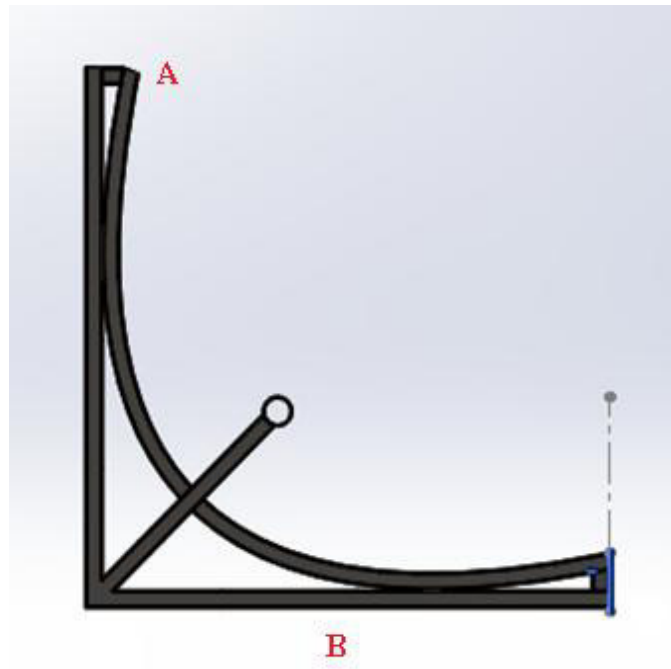


Figura 31. Nodos en la estructura soporte espejo

Se analizaron los esfuerzos y se calcularon las reacciones que tendrían los vínculos de acuerdo a la posición donde se encuentran dentro de la estructura.

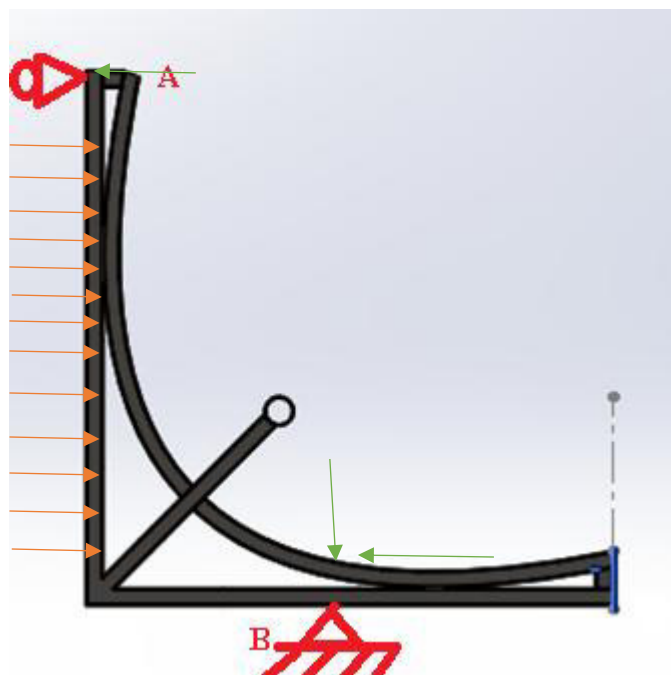


Figura 32. Viga isostática AB

Se calculo la estructura como si estuviera compuesta por una viga isostática AB

Viga AB

$$q = \frac{283.47 \text{ kgf}}{1.2 \text{ m}} = 236.22 \text{ kgf}$$

$$\sum MB = 0 = -q \times \frac{l^2}{2} - RAx \times l$$

$$RAx = q \times \frac{l^2}{2} \div 1.20 \text{ m} = 236.22 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{(1.20\text{m})^2}{2} \div 1.20 \text{ m} = 141.73\text{kgf}$$

$$\sum Fx = 0 = Fx - RA - RBx$$

$$RBx = q \times l - RAx$$

$$RBx = 236.22 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times 1.2\text{m} - 141.73 \text{ kgf}$$

$$RBx = 141.73 \text{ kgf}$$

$$\sum Fy = 0 = -P + RBy = -14\text{kgf} - 30\text{kgf} + RBy$$

$$RBy = 44\text{kgf}$$

5.10.6. Cálculo de la estructura de acuerdo a las normas CIRSOC-102

A continuación, se extraen puntos de la norma y se indican los valores adoptados para calcular el esfuerzo debido al viento. Para el dimensionamiento y verificación de la estructura se utilizó el método 1, procedimiento del capítulo 4, método simplificado.

El procedimiento de diseño es el sugerido por la norma en el punto 4.5

4.2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

1. Se determina la velocidad básica de viento V según el artículo 5.4. Debe suponerse que el viento sopla desde cualquier dirección horizontal.

2. Se determina un factor de importancia I de acuerdo con el artículo 5.5.
3. Se establece una categoría o categorías de exposición de acuerdo con el artículo 5.6.
4. Se fija la categoría de cerramiento según el artículo 5.9.
5. Las cargas de viento para el sistema principal resistente a la fuerza del viento se determinan a partir de la Tabla 2. Las cargas de viento de diseño se deben aplicar normales a la superficie, y se considerará que actúan simultáneamente con la presión neta combinada de pared aplicada sobre todas las superficies de pared a barlovento, y con la presión neta de cubierta aplicada sobre todas las superficies de cubierta.
6. La carga de viento de diseño para los elementos componentes y de revestimiento se calcula a partir de la Tabla 3.

Estas presiones netas de diseño se deben aplicar a cada superficie exterior.

Se determina la velocidad básica de viento V según el artículo 5.4. Debe suponerse que el viento sopla desde cualquier dirección horizontal.

5.4. VELOCIDAD BÁSICA DEL VIENTO

La velocidad básica del viento V que se usa en la determinación de las cargas de viento de diseño sobre edificios y otras estructuras se debe obtener del mapa de la Figura 1 A o de la Tabla de la Figura 1 B, con excepción de lo dispuesto en los artículos 5.4.1. y 5.4.2.

Se debe suponer que el viento proviene de cualquier dirección horizontal.

De acuerdo con la norma y la figura (que se encuentra en anexo) la ráfaga de viento correspondiente a 3 segundos en m/s para la zona de Viedma, Rio Negro es de 60m/s con una probabilidad anual de 0.02

5.4.1. Regiones especiales de viento

La velocidad básica del viento se debe incrementar donde los registros o la experiencia indiquen que las velocidades del viento son más altas que aquellas indicadas en la Figura 1 A. Los terrenos montañosos, quebradas y regiones especiales del país se deben examinar para condiciones de viento inusuales. La autoridad jurisdiccional puede ajustar si es necesario los valores dados en la Figura 1 A para tener en cuenta

velocidades de viento locales más altas. Tal ajuste debe estar basado en la información meteorológica y en una estimación de la velocidad básica del viento obtenida de acuerdo con las disposiciones del artículo 5.4.2.

5.4.2. Estimación de las velocidades básicas del viento a partir de datos climáticos

Regionales

Los datos climáticos regionales se pueden usar en lugar de las velocidades básicas del viento dadas en la Figura 1 A, solamente cuando la autoridad jurisdiccional juzgue que se han cumplido las siguientes condiciones:

- (1) Se han utilizado procedimientos estadísticos aprobados para el análisis de valores extremos en el tratamiento de los datos y
- (2) Se han tenido en cuenta la longitud del registro, el error del muestreo, el tiempo promedio, la altura del anemómetro, la calidad de los datos, y la exposición del terreno.

5.4.4. Factor de direccionalidad del viento

El factor de direccionalidad del viento, K_d , se debe obtener de la Tabla 6 y se debe aplicar solamente cuando se use conjuntamente con las combinaciones de carga especificadas en los respectivos Reglamentos de aplicación.

En el caso de la estructura que es similar a un cartel lleno, corresponde un valor de $K_d=0.90$ según tabla.

5.5. FACTOR DE IMPORTANCIA

El factor de importancia I para un edificio u otra estructura que se obtiene de Tabla 1, se debe determinar en base a las categorías de edificios y otras estructuras indicadas en la Tabla A-1, del Apéndice A. (ver anexo)

Según estas tablas, el factor de importancia que corresponde a la estructura del equipo $I=0.87$

Exposición C. Terrenos abiertos con obstrucciones dispersas, con alturas generalmente menores que 10 m. Esta categoría incluye campo abierto plano y terrenos agrícolas.

Este tipo de exposición se determinó en función de los sitios donde estará instalado el equipo, por lo general a campo abierto.

Según el punto 5.9.4. de la norma, a la estructura del equipo como un edificio cerrado.

5.10. PRESIÓN DINÁMICA

La presión dinámica q_z , evaluada a la altura z , se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (13)$$

siendo:

K_d el factor de direccionalidad del viento definido en el artículo 5.4.4., adoptando el valor 0.90

K_z el coeficiente de exposición para la presión dinámica definido en el artículo 5.6.4. adoptando el valor 0.87

K_{zt} el factor topográfico definido en el artículo 5.7.2.

q_h la presión dinámica calculada mediante la expresión (13) a la altura media de cubierta h .

V la velocidad básica del viento obtenida de la Figura 1.

I el factor de importancia definido en el artículo 5.5., que se adoptó 0.87

5.7.2. Factor topográfico

El efecto del aumento de la velocidad del viento se debe incluir en el cálculo de las cargas de viento de diseño mediante el factor K_{zt} :

$$K_{zt} = (1 + K_1.K_2.K_3)^2 \quad (1)$$

donde K_1 , K_2 y K_3 se incluyen en la Figura 2, para esto se considerará la geometría correspondiente a la zona de lobería donde tenemos variación en la altura del terreno,

de las condiciones que es un acantilado o escarpa donde la altura H es de 10m y Ln es de 20m aproximadamente. (Aclaración, este cálculo se deberá realizar en cada uno de los sitios donde se instalará el equipo).

Siendo para estos valores $K_1=0.43$, $K_2=0.25$ y $K_3=0.22$

$$K_{zt} = (1 + 0.43 \times 0.25 \times 0.22)^2 = 1.047$$

Retomando el valor calculado de la presión dinámica de la estructura es

$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V \times 2 \times I \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$q_z = 0.613 \times 0.87 \times 1.047 \times 0.90 \times 60 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 2 \times 0.87 = 52.46 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Esta presión que se aplica a la estructura, se distribuirá en la superficie proyectada del equipo que es de 2.16m^2 aproximadamente, esto nos da una fuerza total de $\frac{52.46\text{N}}{\text{m}^2} \times 2.16\text{m}^2 = 113.69 \text{ N} = 11.60 \text{ kgf}$

De acuerdo a la tabla 2 de la norma, la estructura se calcula para la zona 4, que correspondería a las paredes de una estructura para un edificio cerrado

Se considera como área efectiva del viento 5m^2 , esto nos da una presión máxima de $+1772 \text{ N/m}^2$ y -1916 N/m^2 para una velocidad de 58 m/s , estos valores se multiplican por 1.4 ya que el tipo de exposición es C, la diferencia entre presiones nos da un valor de 3688 N/m^2 para la estructura, considerando que la superficie donde actúa el viento es de 1.8m^2 por espejo, nos da que la fuerza debida al viento es de $F = 3688 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 1.8\text{m}^2 = 6638.4 \text{ N}$ esto nos da un valor total de 677.38 kgf que debe distribuirse entre los 3 soportes del espejo, esto nos da una carga de 225.79 kgf por soporte a ser distribuida como carga lineal, a diferencia de los 126.66kgf que se calcularon con los valores de vientos promedios relevados de INTA.

Interpolando los valores de la tabla para una velocidad de 58m/s y una superficie proyectada correspondiente a 2.16m^2 .

Nos dan valores de presiones positivas de 1874.24 N/m^2 y -1984.16 N/m^2 . Esto nos arroja un valor de presión neto de 3858.4N/m^2 que produce una fuerza de $F =$

$\frac{3858.4N}{m^2} \times 2.16m^2 = 8334.14N$ que distribuido entre los tres soportes equivale a 2778.04N por soporte o 283.47 kgf.

5.10.7. Tornillos espejo parabólico. Cálculo de acuerdo a valores determinados por la norma

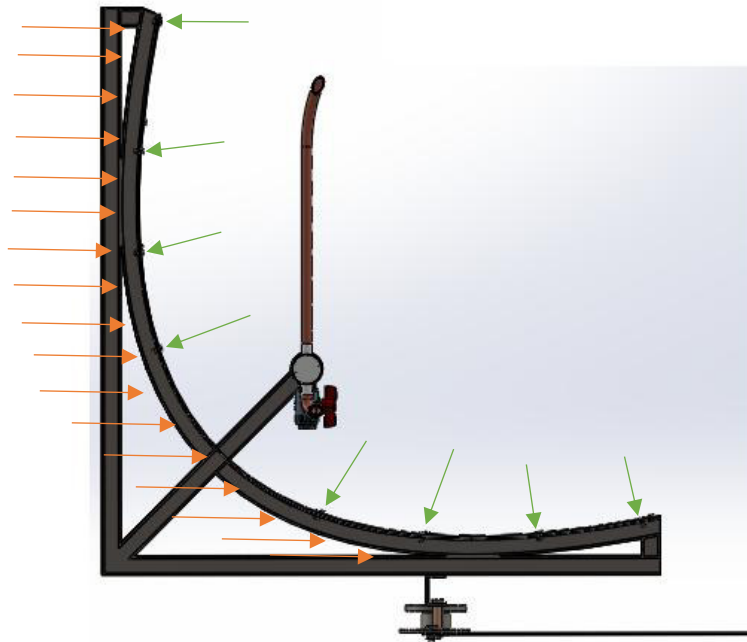


Figura 33. Fuerza debida al viento y reacciones de tornillos sujeción espejo

Sustituyendo estos valores de s_d en $F = sA$, hallamos

$$(5.1) \quad F_c = \frac{s_y}{15,24} (A_s)^{1/2} A_s = \frac{s_y}{15,24} A_s^{3/2} \text{ (kg)} \quad [D < 19,05 \text{ mm}]$$

$$(5.1') \quad F_c = \frac{s_y}{6} (A_s)^{1/2} A_s = \frac{s_y}{6} A_s^{3/2} \text{ (lb)} \quad [D < 3/4 \text{ pulg}]$$

xxvii

Si bien cada tornillo se encuentra inclinado respecto de la fuerza debida al viento y la reacción correspondiente. Se considera que los tornillos que sujetan la estructura con el espejo trabajan a tracción-compresión.

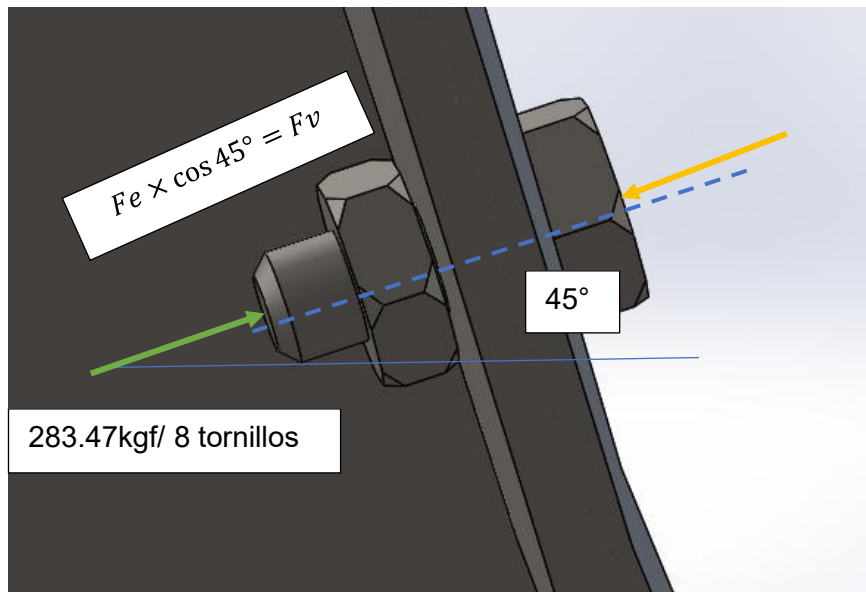


Figura 34. Análisis de las solicitaciones del tornillo que sujeta al espejo

Considerando los 45° de la inclinación del tornillo respecto de la fuerza ejercida por el viento y distribuida en 8 tornillos por cada soporte, vamos a tener que la fuerza ejercida sobre el tornillo es de:

$$\frac{F_e}{8} \times \cos 45^\circ = F_v$$

$$F_e = \frac{F_v}{\cos 45^\circ} = \frac{283.47 \text{kgf}}{\cos 45^\circ} = \frac{400.88 \text{kgf}}{8 \text{ tornillos}} = 50.11 \text{kgf}$$

Se utiliza la fórmula:

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$

De aquí que para determinar el área A, realizo la siguiente expresión

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}}$$

Considerando como σ_{adm} , lo que Faired menciona como S_y , en el caso de este diseño, el diámetro del tornillo se supone que será menor de 19,05mm porque lo que, se adopta la siguiente fórmula, ya que originalmente se consideró desconocida la tracción inicial:

$$F_e = \frac{S_y}{15,24} A^{3/2}$$

Y despejando A para el caso de tornillos SAE grado 5 $S_y=6187\text{kg/cm}^2$:

$$A = \sqrt[3]{\left(F_e \times \frac{15,24}{S_y}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(50.11\text{kgf} \times \frac{15,24}{6187\text{kg/cm}^2}\right)^2} = 0.247\text{cm}^2$$

Sabiendo que $A = \pi r^2$, entonces $r = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{0.247/\pi} = 0.280\text{cm}$, de lo que el diámetro es $D = 0.561\text{cm} = 5.61\text{mm}$ correspondiente a $1/4''$ con un largo de $5/8''$.

Considerando los tornillos de grado 5 con un $S_y=5694\text{kg/cm}^2$, recalculando $S=0.262\text{cm}^2$ con lo que el diámetro del tornillo queda de 0.577cm . Nos sigue verificando con un tornillo de $1/4''$.

5.10.8. Tornillos del soporte

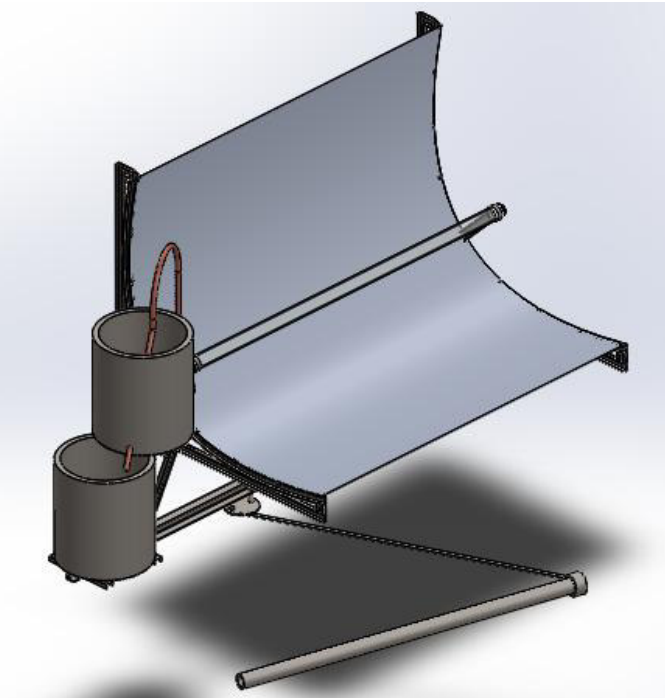


Figura 35. Detalle sujeción soporte

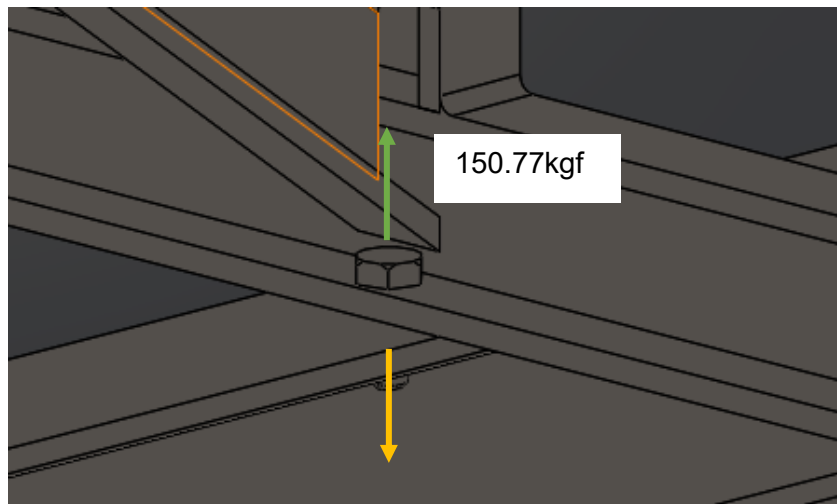


Figura 36. Esfuerzos en el tornillo de sujeción del soporte

Considerando como σ_{adm} , lo que Faies menciona como S_y , en el caso de este diseño, el diámetro del tornillo se supone que será menor de 19,05mm porque lo que, se adopta la siguiente fórmula, ya que originalmente se consideró desconocida la tracción inicial:

$$F_e = \frac{S_y}{15,24} A^{3/2}$$

Y despejando A para el caso de tornillos SAE grado 5 $S_y=6187\text{kg/cm}^2$:

$$A = \sqrt[3]{\left(F_e \times \frac{15,24}{S_y}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(150,77\text{kgf} \times \frac{15,24}{6187\text{kg/cm}^2}\right)^2} = 0,516\text{cm}^2$$

Sabiendo que $A = \pi r^2$, entonces $r = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{0,516/\pi} = 0,405\text{cm}$, de lo que el diámetro es $D = 0,810\text{cm} = 8,10\text{mm}$ correspondiente a 3/8" con un largo de 3/4".

Considerando los tornillos de grado 5 con un $S_y=5694\text{kg/cm}^2$, recalculando $S=0,546\text{cm}^2$ con lo que el diámetro del tornillo queda de 0,833cm. Nos sigue verificando con un tornillo de 3/8".

Cálculo del momento flexor al que se encuentran sometidos los tornillos del soporte debido al viento que ejerce una fuerza sobre el soporte.

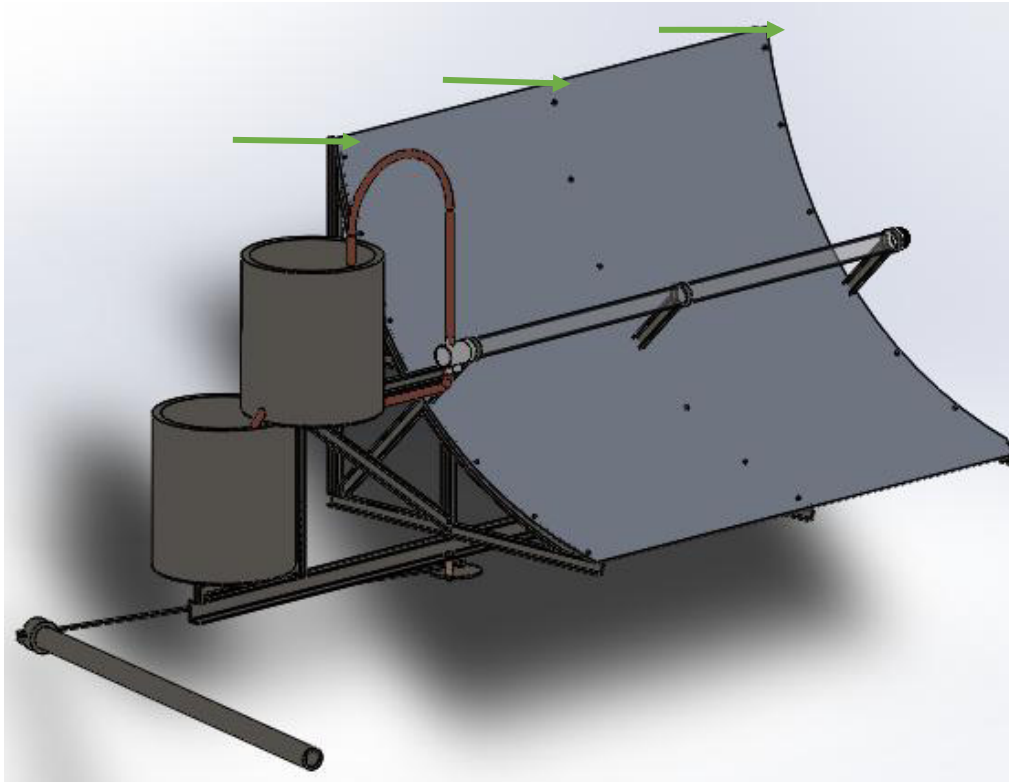


Figura 37. Fuerza debida al viento ejercida en el soporte

$$M_f = F \times d = \frac{850.42 \text{ kgf}}{3 \text{ tornillos}} \times 1.2 \text{ m} = 340.16 \text{ kgfm}$$

5.10.9. Comparación entre el cálculo y lo sugerido por la norma

Se procederá a recalculer la estructura para el valor de fuerza calculado de acuerdo a la norma CIRSOC-102.

Este valor duplica al calculado utilizando la ecuación de Bernoulli con los valores medios de los vientos máximos registrados por INTA. Por lo que se adoptan los valores calculados con la norma como esfuerzos a los que se encuentra sometido la estructura.

5.10.10. Verificación de los cordones de soldadura a la tracción

Se presenta un esquema de una sección del cordón de soldadura que se utilizará para unir el perfil en el soporte de tanques, soporte del espejo parabólico y en la unión entre el mecanismo de cambio de azimut con el soporte del espejo.

Los valores de esfuerzo a los que se encuentra sometido se adoptan de lo determinado en la simulación. Que corresponde a $6.297 \times 10^7 \text{ N/m}^2 = 642.55 \text{ kgf/cm}^2$. (ver simulación en punto 5.10.1 fig. 31)



Figura 38. Cordón de soldadura

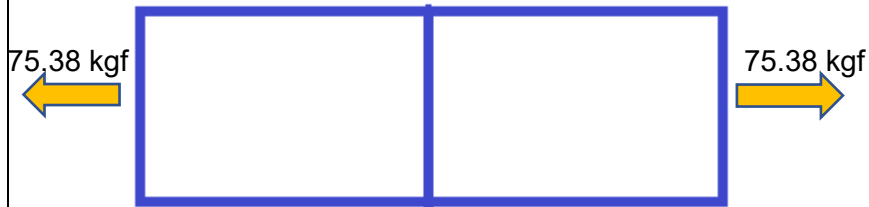


Figura 39. Análisis de esfuerzo cordón de soldadura

$$\sigma = \frac{P}{1.5 \times 2} = \frac{150.77}{3} = 50.25 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} < 70 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Se verifica que con cordones de soldadura de 15mm de espesor realizados en el largo del perfil que conforma la estructura, la tensión debida a la fuerza del viento, no supera la tensión admisible del cordón de soldadura.

5.10.11. Cálculo soporte móvil del equipo

Se presenta a continuación captura de pantalla de la simulación del soporte móvil con el peso del equipo y la fuerza del viento.

Se puede ver que la deformación máxima corresponde a 6cm.

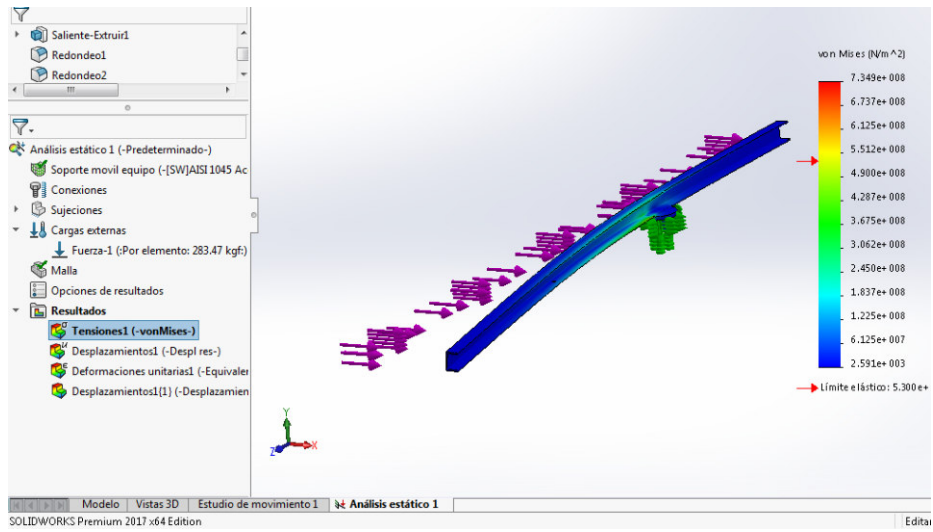


Figura 40. Simulación de tensiones en el soporte móvil del equipo

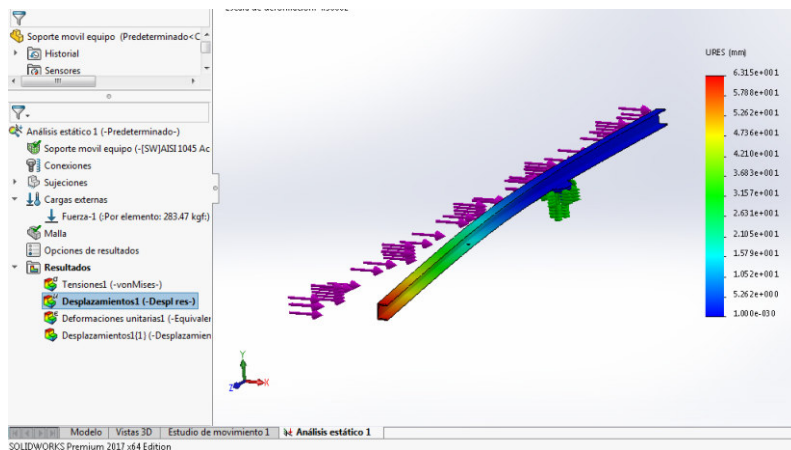


Figura 41. Análisis desplazamientos soporte

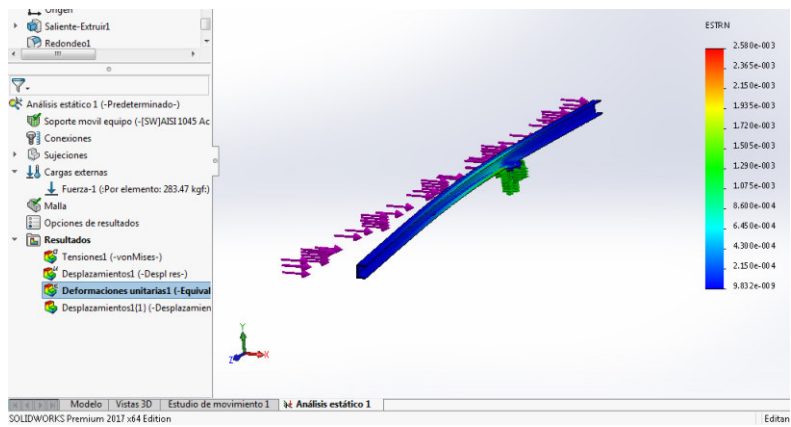


Figura 42. Deformaciones unitarias del soporte.

5.10.12. Cálculo esfuerzos, soporte de tanques de agua



Figura 43. Soporte tanques de agua

Identificamos la ubicación de las cargas y los nodos a analizar

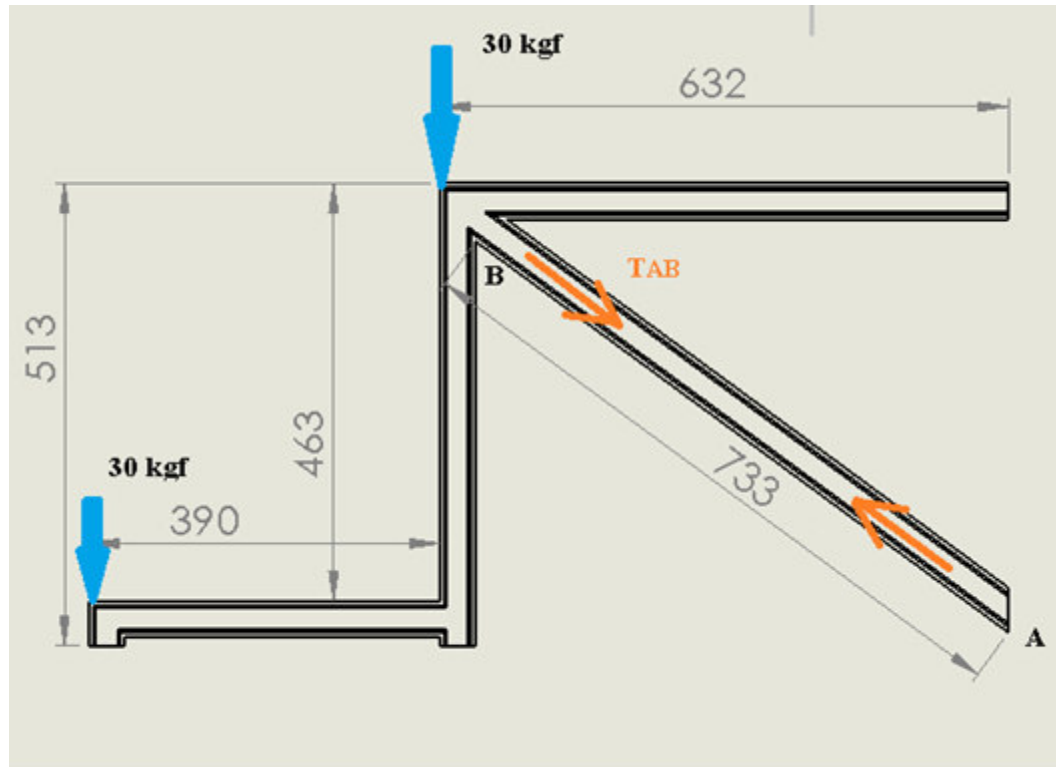


Figura 44. Esfuerzos soporte tanques de agua

$$\sum f_A = -30kgf \times 1022 = -30.66kgf$$

$$\sum f_y = -30kgf + RA \rightarrow RA = 30kgf$$

$$TAB = 30kgf \times \cos 84.41^\circ = 2.92kgf$$

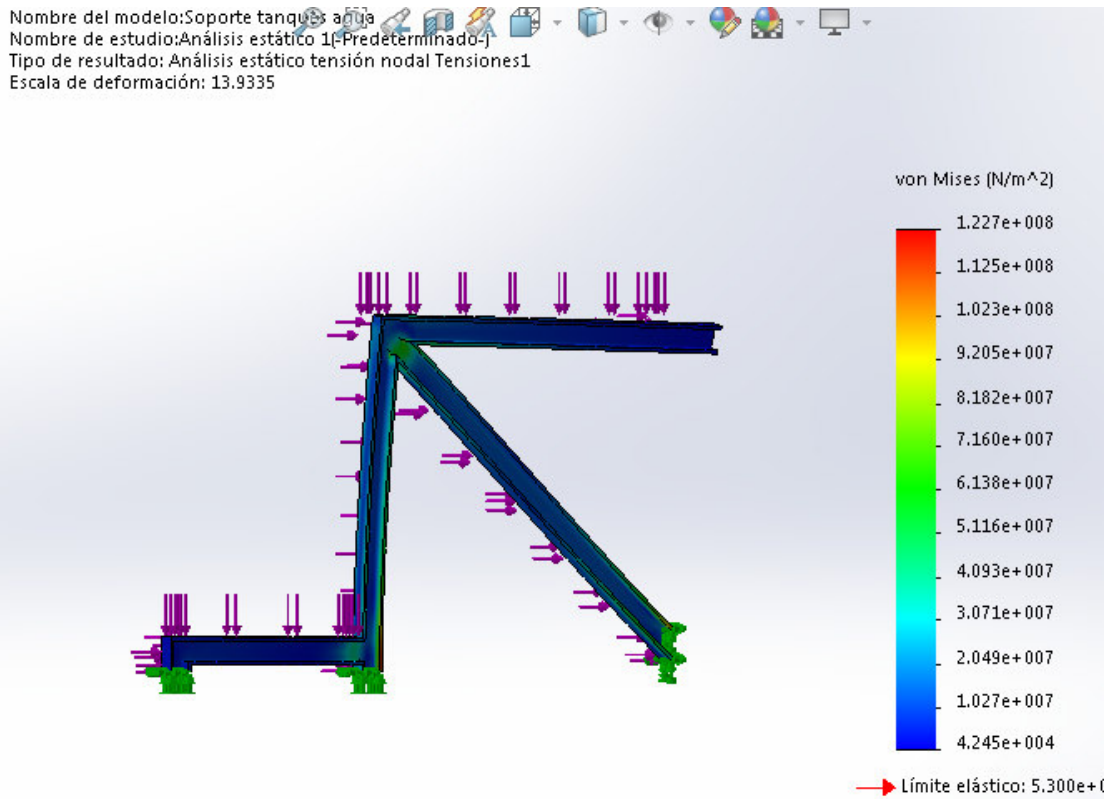


Figura 45. Análisis de tensiones en soporte de tanques

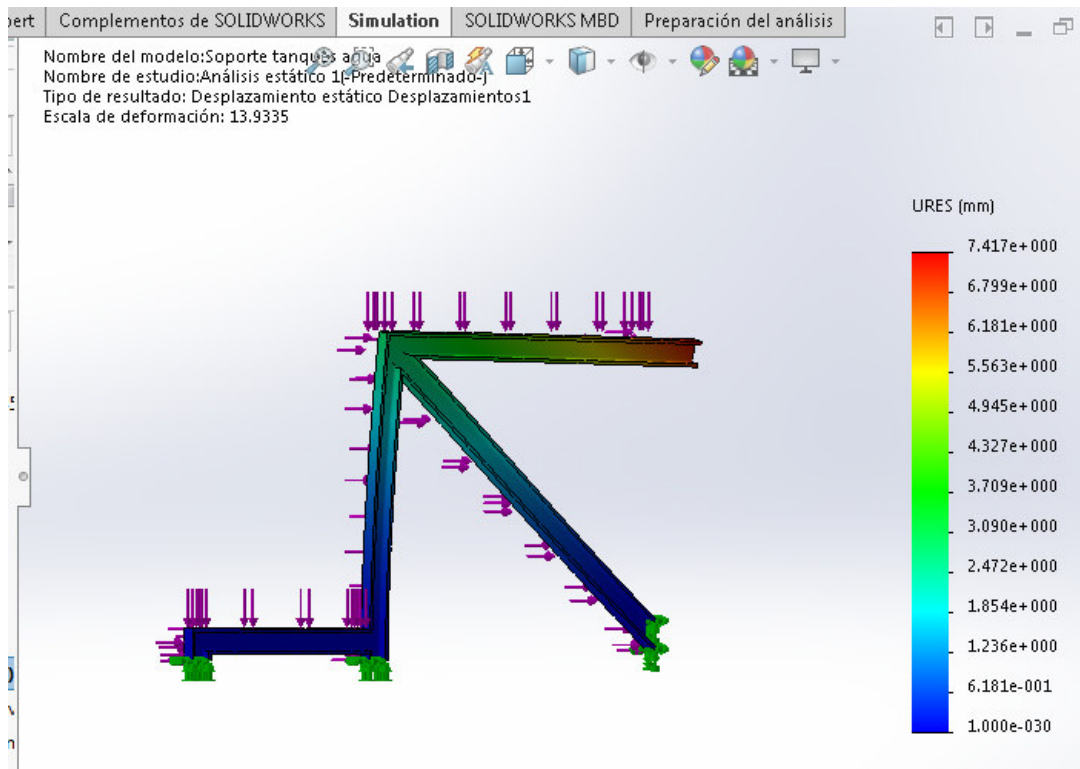


Figura 46. Estudio de deformaciones soporte de tanques

5.10.13. Tubo de vidrio al vacío

Se utilizarán los tubos de vidrio al vacío comerciales que se emplean en los calefones solares comerciales, sus dimensiones son:

Tubos de vacío	
Largo	1800 mm
Diámetro Exterior del tubo	58 mm
Diámetro Interior del tubo	47 mm
Espesor del vidrio	1.5 mm
Material	Vidrio de Borosilicato 3.3
Material de Absorción	AL/SS/CU
Coefficiente de Absorción	>90%
Vidrio	$P < 5 \times 10^{-2}$ Pa
Temperatura Máxima °C	<200
Peso Neto	2.23 g

5.10.14. Espejo parabólico

Respecto del espejo parabólico, se puede decir que el material del mismo son láminas de aluminio anodizadas de 1.5mm de espesor, el largo de las mismas es de 1750mm y el ancho de 2251mm. Se selecciono este material, ya que el aluminio al contar con un recubrimiento de su oxido se encuentra protegido de los agentes climáticos, evitando sulfatos u óxidos que modifiquen la reflexión de los rayos solares.

Se utilizarán tratamientos químicos de brillo químico mediante el ataque de ácido sulfúrico, fosfórico y nítrico para eliminar la rugosidad de la superficie y anodizado para mejorar la resistencia al impacto dando brillo electrolítico.

Determinación del largo de la placa que compone el espejo parabólico.

Siendo la función $y = x^2$ entre $[-750; 750]$

La derivada de esta función es $y' = 2x$

Longitud de la parábola

$$L = 2 \int_0^{750} \sqrt{1 + y'^2} dx$$

$$L = 2 \int_0^{750} \sqrt{1 + (2x)^2} dx$$

$$L = 2 \int_0^{750} \sqrt{1 + 4x^2} dx$$

$$L = 2 \int_0^{750} \sqrt{\frac{1}{4} + x^2} dx$$

$$L = \frac{x}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + x^2} + \frac{1}{4} / 2 \times \ln \left| x + \sqrt{\frac{1}{4} + x^2} \right| \Big|_0^{750}$$

$$L = 2 \times 1125.5 = 2251 \text{ mm}$$

5.10.15. Tubería de agua

El material a utilizar es cobre, siendo apto para agua potable y teniendo un buen valor de conductividad del calor para realizar el intercambio de calor y condensar nuevamente el agua.

5.10.16. Solicitación debida a la presión interna en una tubería

La solicitud debida a la presión interna en una conducción "a presión", lleva a la expresión de Mariotte (o de las calderas) válida para materiales de las tuberías homogéneos. La misma relaciona, en una forma simple, el espesor con la tensión de tracción en las paredes de la tubería, lo que es fácilmente deducible del esquema de la Figura.

En la misma se aprecia una tubería a presión, seccionada por un plano horizontal que contiene al eje, lo que permite el tratamiento como “cuerpo libre” poniendo en evidencia a las sollicitaciones actuantes.

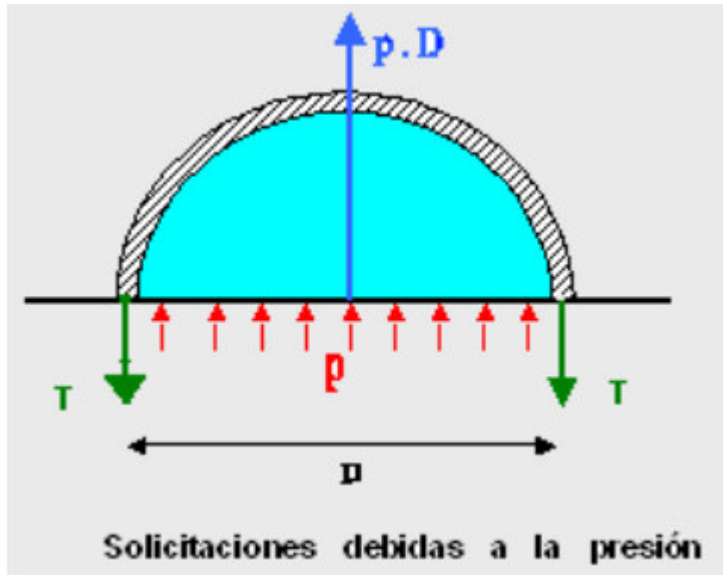


Figura 47. Solicitaciones debidas a presión, cálculo de cañería

El análisis a realizar se fundamenta en la simplificación de que, la distribución de tensiones que tendrá lugar en los espesores de la tubería, como respuesta a la sollicitación debida a la presión interna, será uniforme. Este concepto implica considerar “tuberías de pared fina”, es decir de relativamente poco espesor frente al diámetro.

En la figura se aprecia que la resultante de la presión distribuida en el diámetro deberá ser equilibrada por sendos esfuerzos de tracción, distribuidos uniformemente a su vez en el espesor de la tubería y configurando las dos fuerzas equilibrantes “T”.

En efecto, considerando una longitud unitaria de conducción (L =1 m) se tiene que:

$$p D = 2 T = 2 \sigma e$$

De donde:

$$e = \frac{p D}{2 \sigma}$$

En la que:

- e es el espesor de la tubería de material homogéneo.
- p es la presión actuante en el plano horizontal que contiene al eje.
- σ es la tensión de trabajo del material.

Los fabricantes de tuberías de materiales homogéneos adoptan valores de rotura para la presión interna y para la tensión de tracción, lo que posibilita la determinación del espesor, considerando previamente los correspondientes "Coeficientes de Seguridad". Como a cada espesor le corresponde una sollicitación admisible, ofrecen al mercado una serie estandarizada de tuberías aptas para resistir, en condiciones de régimen permanente, una determinada serie de presiones fijadas de antemano, éstas presiones definen las denominadas "Clases" de las tuberías.

La expresión anterior representa la forma más simple de cuantificar los conceptos que posibilitan el cálculo de los espesores, pero no es la única ni exclusiva. En efecto, los fabricantes adoptan expresiones, que, si bien son similares en lo conceptual, se adaptan más convenientemente a las propiedades geométricas y mecánicas de sus materiales y de su tecnología, aplicando, muchos de ellos, sumandos o coeficientes correctivos.

Características Mecánicas del Cobre

Estado	Resistencia a la tracción, kg/mm^2	Límite elástico, kg/mm^2	Alargamiento en la rotura, %
Fundido	15 - 22	-	25 - 15
Recocido	21 - 24	9	46 - 47
Templado	37 - 41	36	5 - 6

Se adopta como resistencia a la tracción s el valor promedio entre 15 y 22 kg/mm^2 , ese valor es de 18.5 kg/mm^2 .

La presión para el vapor de agua a 100°C es de 1 $\overline{\text{kg/cm}^2}$ según tabla 20, página 440 de "Curso de Termodinámica" de L.A. Facorro Ruiz.

Reemplazando con los valores adoptados, nos queda:

$$e = \frac{1 \frac{kg}{cm^2} \times 19.05mm}{2 \times 18.5 kg/mm^2 \times 100mm^2/cm^2} = 5.14 \times 10^{-3}mm$$

En la siguiente tabla se muestran los valores comerciales de las tuberías de cobre

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared	Espesor		Peso Teórico	Presión de Trabajo
	pulg.	mm		pulg.	mm		
1/4	3/8	9,52	0,035	0,89	0,216	1595	
3/8	1/2	12,70	0,049	1,24	0,400	1745	
1/2	5/8	15,87	0,049	1,24	0,512	1375	
5/8	3/4	19,05	0,049	1,24	0,622	1135	
3/4	7/8	22,22	0,065	1,65	0,954	1315	
1	1 1/8	28,57	0,065	1,65	1,249	1010	
1 1/4	1 3/8	34,92	0,065	1,65	1,548	820	
1 1/2	1 5/8	41,27	0,072	1,83	2,024	765	
2	2 1/8	53,97	0,083	2,11	3,066	665	
2 1/2	2 5/8	66,67	0,095	2,41	4,360	520	
3	3 1/8	79,37	0,109	2,77	5,953	605	
3 1/2	3 5/8	92,07	0,120	3,05	7,619	570	
4	4 1/8	104,77	0,134	3,40	9,688	555	

Para un diámetro de 3/4", tiene un espesor de pared de $0.065 \times 1pulg = 1.65mm$, superior al valor que se obtiene por cálculo, por lo que verifica.

5.10.17. Área del intercambiador de calor para condensación de agua

Cálculo del área del intercambiador de calor para realizar la condensación del vapor de agua.

Sabiendo que $Q = \frac{k \times A \times (t_1 - t_2)}{b}$

Donde:

- k: coeficiente de conducción térmica en Kcal m/m2h°C o Kcal/mh°C
- t1 y t2 temperaturas a ambos lados de la pared en °C.
- Q en Kcal/h cantidad horaria de calor

- A en m², área del intercambiador de calor
- b en m, espesor de pared

Calculando que el calor necesario para evaporar 1lts de agua es de 540 Kcal/lts, para 600lts tenemos que se requieren 324000 Kcal.

Despejando se tiene que

$$A = \frac{Q \times b}{k \times (t_1 - t_2)} = \frac{324000 \text{ Kcal} \times 1.65 \times 10^{-3} \text{ m}}{324.0 \frac{\text{Kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}} \times (100^\circ\text{C} - 41.8^\circ\text{C})} = 0.0283 \text{ m}^2$$

5.10.18. Cálculo por 1m de longitud de cañería, la superficie de intercambio:

$$A_t = \pi \times \emptyset \times 1 \text{ m} = \pi \times 22.22 \text{ mm} \times \frac{10^{-3} \text{ m}}{\text{mm}} \times 1 \text{ m} = 0.0698 \text{ m}^2$$

$$l = \frac{A}{A_t} = \frac{0.0283 \text{ m}^2}{\frac{0.0698 \text{ m}^2}{1 \text{ m de longitud}}} = 0.405 \text{ m}$$

Para obtener 600lts para consumo de una familia tipo, se requieren 36m de equipo. Cada equipo tiene 1.8m, lo que nos da 20 equipos para obtener 600lts de agua.

Cada sección de 1.80m tendrá 1 tanque de 30lts de polipropileno para almacenar el agua destilada y en otro tanque se recolectará el concentrado que se extrae de los tubos de vidrio al vacío.

5.10.19. Tanques de agua

El tanque que se utilizará para almacenar el agua salada a destilar tendrá una capacidad de 30 litros, será aislado térmicamente para evitar el congelamiento del contenido en estaciones frías.

A través del tanque de agua salada, pasará la cañería de cobre con vapor de agua destilada para producir un calentamiento del agua a destilar y aprovechar esta energía para condensar el vapor.

El tanque para almacenar el agua condensadas y destilada será de polipropileno.

5.10.20. Cálculo de la caída de presión en cañerías de agua en estado líquido y de vapor

Se considera un régimen laminar. Verificación del mismo.

5.10.21. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$Re = \frac{4\rho Q}{\pi D \mu}$$

r del vapor de agua a 100°C: 0.5797 kg/m³

la producción de agua destilada es de 602.0lts/día en 36m de equipo.

Se estiman 9.21hs que es el mínimo de horas de sol en junio y 15hs en diciembre.

Cada equipo produce 33.4 lts en verano y 9.55lts en invierno.

$$Q = \frac{33.4 \text{ lts}}{15 \text{ hs}} = \frac{2.22 \text{ lts}}{\text{hs}} \rightarrow 2.22 \frac{\text{lts}}{\text{hs}} \times 1 \frac{\text{hs}}{3600} \text{ seg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 6.16 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{seg} \quad \text{para verano}$$

$$Q = \frac{9.55 \text{ lts}}{9.35 \text{ hs}} = \frac{1.021 \text{ lts}}{\text{hs}} \rightarrow 1.021 \frac{\text{lts}}{\text{hs}} \times 1 \frac{\text{hs}}{3600} \text{ seg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 2.83 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{seg} \quad \text{para invierno}$$

Se adopta el caudal con el que se obtendría un mayor número de Reynolds, ya que, si se aproxima a un régimen turbulento, produciría mayores pérdidas de carga en la cañería.

$$D = 1.905 \times 10^{-2} \text{ m}$$

m del vapor de agua = 0.00013 Pa seg

$$Re = \frac{4 \times 0.5797 \text{ kg/m}^3 \times 6.16 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{seg}}{\pi \times \frac{19.05 \text{ m}}{1000} \times 0.000013 \text{ Pa seg}} = 1.83 \text{ régimen laminar}$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ para régimen laminar}$$

5.10.22. Pérdida de carga en cañería de agua

5.10.22.1. Pérdidas de carga primarias:

$$Hr1 = 0.08271 \times \lambda \times L \times \frac{Q^2}{D^5}$$

$$Hr1 = 0.08271 \times \frac{64}{1.83} \times 3 \times \frac{(6.61 \times 10^{-7} m^3/seg)^2}{(1.905 \times 10^{-2})^5} = 0.12m$$

5.10.22.2. Pérdida de cargas secundarias:

La cañería tiene dos codos a 90°.

$$Hrs = \frac{k \times v^2}{2g}$$

El factor k que tiene que ver con el rozamiento y la forma del cambio de dirección o de diámetro de la cañería, en este caso para los codos a 90° el factor k=0.75 de tabla.

$$Hrs = \frac{0.75 \times (2.31 \times 10^{-3} m/seg)^2}{2 \times 9.8 m/s^2} = 2.04 \times 10^{-7} m$$

5.10.23. Pérdida de carga a la entrada del tubo de vidrio

Se tiene una Te donde el k=1.80 según tabla

$$Hrs = \frac{1.80 \times (2.31 \times 10^{-3} m/seg)^2}{2 \times 9.8 m/s^2} = 4.90 \times 10^{-7} m$$

5.10.24. Pérdida de carga total:

Se procede a calcular la pérdida de carga total

$$0.12m + 2 \times 2.07 \times 10^{-7} m + 4.90 \times 10^{-7} m = 0.12m$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

P1 es la presión atmosférica

P2 es la presión atmosférica debido a la evaporación libre del agua.

Considerando z_2 y $\frac{v_2^2}{2g}$ como 0 ya que z_2 es el nivel de referencia y la velocidad a que llega al tubo de vidrio debe ser mínima, ya que actúa de depósito.

La ecuación de Bernoulli queda:

$$z_1 = H_{r1-2} - \frac{v_1^2}{2g}$$

$$z_1 = 0.12m - \frac{(2.31 \times 10^{-3})^2}{2 \times \frac{9.8m}{seg^2}} = 0.119m$$

A continuación se muestra una imagen de la misma, ver plano N° 8.

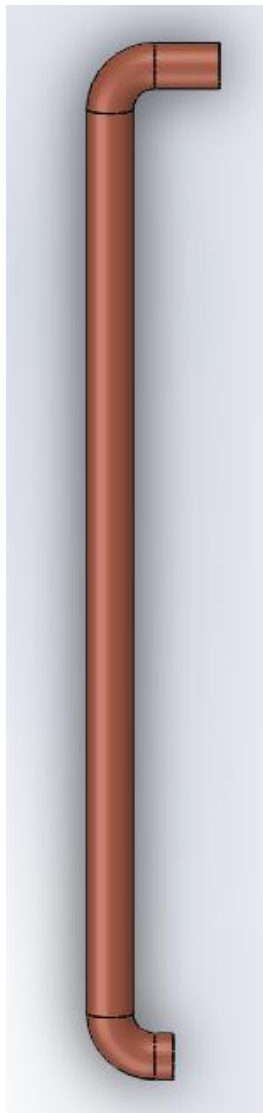


Figura 48. Cañería ingreso de agua salada al tubo de vidrio

5.10.25. Cálculo de la caída de presión en la salida del tubo de vidrio al vacío

Se supone 1.08 m que es la longitud de la cañería

$$H_{r1} = 0.08271 \times \frac{64}{1.83} \times 1.08 \times \frac{(6.61 \times 10^{-7} m^3/seg)^2}{(1.905 \times 10^{-2})^5} = 3.48 \times 10^{-9} m$$

5.10.26. Cálculo de la caída de presión debido a la cañería con forma de U

Se considera que la U está compuesta por dos curvas a 90°

El $k=0,6$ para cada curva, considero $k = 2 \times 0.6 = 1.2$

$$H_{rs} = \frac{1.2 \times (2.31 \times 10^{-3} m/seg)^2}{2 \times 9.8 m/s^2} = 3.26 \times 10^{-7} m$$

Para el caso de la curva a 45° adopto un $k=0.35$

$$H_{rs} = \frac{0.35 \times (2.31 \times 10^{-3} m/seg)^2}{2 \times 9.8 m/s^2} = 9.52 \times 10^{-8} m$$

Con estos datos, se calcula si la altura a la que se encuentra el tubo de vidrio al vacío respecto de la salida del agua condensada.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 - H_{r1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

P_1 es la presión atmosférica

P_2 es la presión atmosférica debido a la evaporación libre del agua.

Considerando $\frac{v_1^2}{2g}$ como 0 ya que la velocidad a que llega a la salida de la cañería es mínima.

z_2 debería ser 0 o algún valor positivo, nunca negativo, ya estaría faltando altura o presión para que el agua condensada pueda circular por la cañería y llegar a la salida.

z_1 está la altura a la que se encuentra el tubo de vidrio al vacío, respecto de la salida de la cañería, siendo este valor 0.724m

La ecuación de Bernoulli queda:

$$z_1 - H_{r1-2} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2$$

$$0.72m - (3.48 \times 10^{-9}m + 3.26 \times 10^{-7}m + 9.52 \times 10^{-8}m)$$

$$+ \frac{(2.31 \times 10^{-3}m/seg)^2}{2 \times 9.8 m/s^2} = z_2$$

$$0.71m = z_2$$

Verificando con ello, que es suficiente la altura a la que se encuentra ubicada la salida y el tubo de vidrio.

A continuación, se muestra una imagen de la cañería, ver plano N° 9

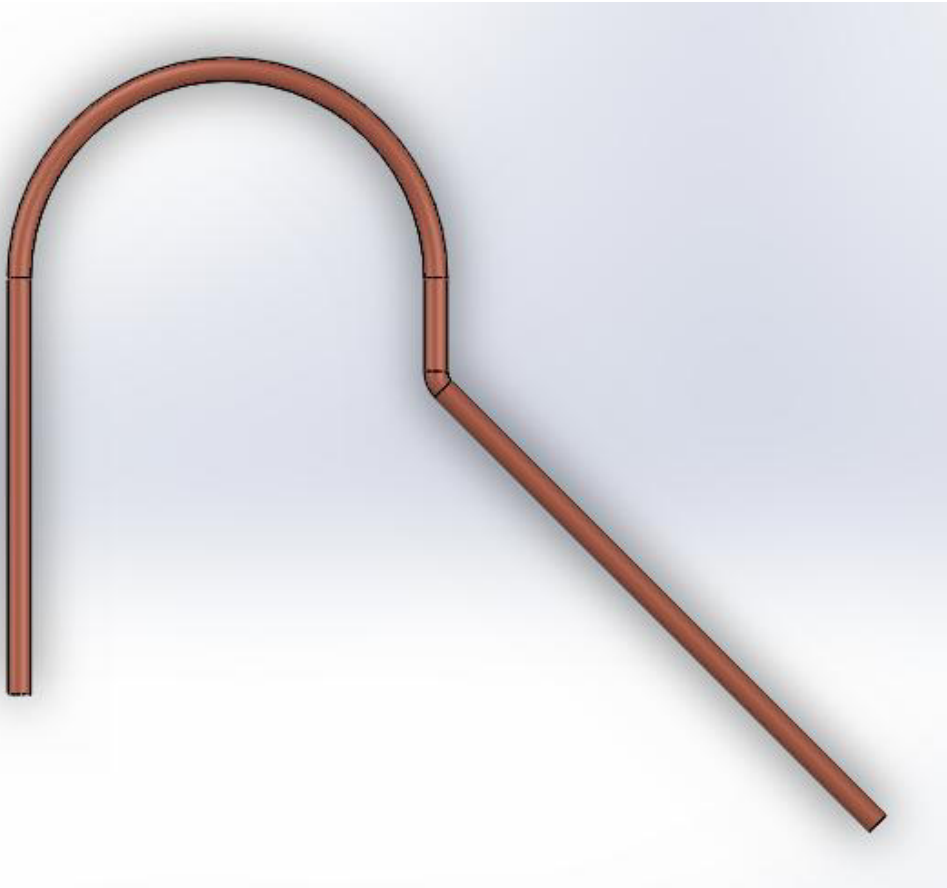


Figura 49. Cañería agua destilada egreso tubo de vidrio al vacío

5.11. Automatismo del equipo

Se preve realizar un automatismo mediante un mecanismo de seguimiento solar, según lo investigado tiene sus ventajas como aumentar la eficiencia del equipo, amortizarse en un corto plazo en relación a la vida útil del equipo. xxviii

Se realizará un sistema de seguimiento modificando el azimut del espejo parabólico mediante un mecanismo de biela y manivela, accionado por un motor eléctrico con reducción, como se presenta en la imagen siguiente.

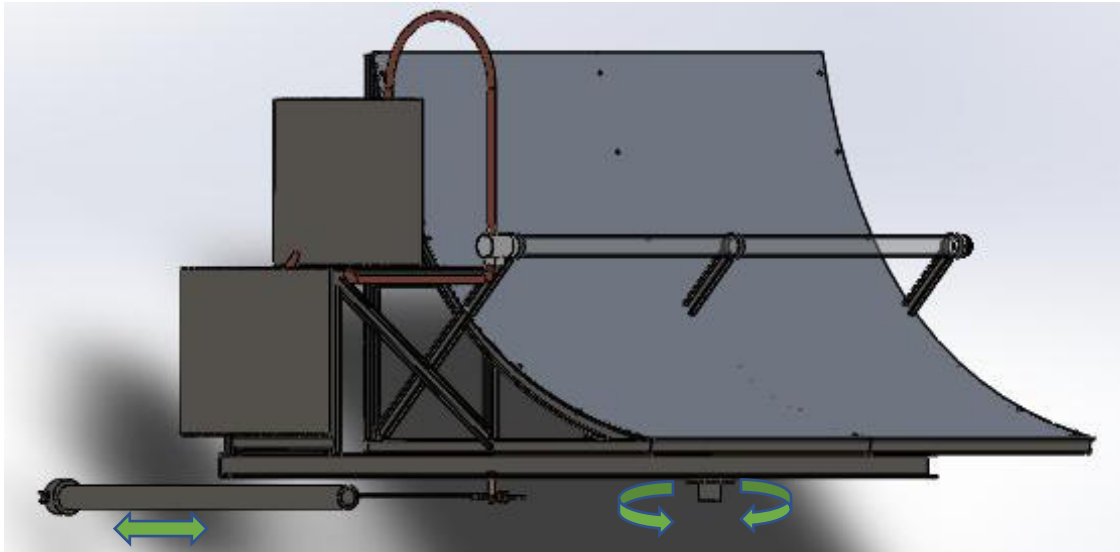


Figura 50. Automatismo equipo

5.11.1. Potencia eléctrica del motor

Para determinar la potencia eléctrica que debería tener el motor que movilizará al equipo, primeramente se calculará el peso del equipo.

- Peso del conjunto de soporte 42 kg
- Peso del soporte móvil 12.5 kg

La fuerza que se debe ejercer para mover el equipo y producir un cambio en el eje azimutal, es igual a la fuerza de rozamiento estática.

$$F_r = \mu_{estático} \times peso = 0.74 \times (42 + 12.5)kg \times \frac{9.8m}{s^2} = 395.2 N = 40.33kgf$$

$$M_t = F \times d = 40.33kgf \times 0.753m = 30.36 kgfm$$

$$N = 30.36kgfm \times 30 \frac{rpm}{716.20} = 1.27 CV = 0.93 kW$$

Para esta potencia se utilizará un moto reductor marca Rattini modelo 80 de 1.12 HP (ver catálogo de reductores pag 12).

Se utilizara una reducción compuesta por cuatro engranajes, como se muestra en la siguiente figura:

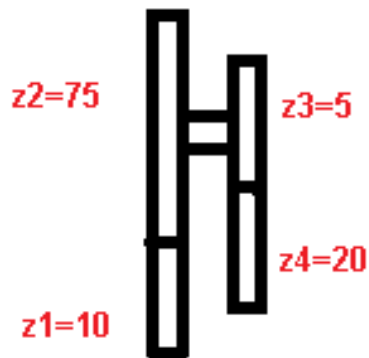


Figura 51. Reducción engranajes

5.11.2. Transmisión de engranajes

Verificación de la transmisión de engranajes, siendo z_1 el engranaje conductor, su paso será:

$$p = 76.6 \sqrt[3]{\frac{N}{\sigma_w \times \psi \times y \times z_1 \times n_1}}$$

Donde:

N es la potencia en CV a transmitir, en este caso 1.27 CV aproximadamente 1.2kW

σ_w es la tensión admisible del material de los engranajes, en este caso se utilizó SAE 4340 templado, y su valor se obtiene mediante la formula:

$$\sigma_w = \sigma_f \times \varphi_v \times \varphi_s$$

Donde σ_f es la tensión elástica del material, adoptando 4900kg/cm²

φ_v es un coeficiente de acuerdo a la velocidad tangencial del engranaje, en este caso se calcula como $\varphi_v = \frac{43}{43+\sqrt{V}} = \frac{43}{43+\sqrt{706.85}}$

V se obtiene de $V = \pi \times Dp \times n = \pi \times 0.150 \times 1500rpm = 706.85 m/min$

El diámetro 0.150m se obtuvo de suponer que los engranajes tienen un módulo igual a 2.

φ_s es un coeficiente de acuerdo a las horas de funcionamiento y tipo de carga, en nuestro caso, el funcionamiento de la transmisión es de unos pocos segundos, llegando al minuto como máximo, cada una hora durante el periodo de tiempo que hay sol, correspondiendo a un uso de 6hs con cargas estáticas. De lo que se obtiene un valor de 1.20

$$\sigma_w = \sigma_f \times \varphi_v \times \varphi_s = 4900 \times 0.61 \times 1.20 = 3586.8kg/cm^2$$

ψ es un factor que se corresponde a la relación entre el ancho y el paso del engranaje $\psi = \frac{b}{p} = 3$, se adopta un valor de 3, correspondiendo a dientes fresados con apoyos comunes.

y es un coeficiente que depende del número de dientes y del ángulo de engrane, que se considero igual a 20° , correspondiendo un valor de $y=0.142$.

Z1 es el número de dientes del engranaje, en este caso 10

n1 son las revoluciones por minuto del engranaje, en este caso 1500rpm, engranajes de diente helicoidal.

$$p = 76.6 \sqrt[3]{\frac{1.27}{3586.8 \times 3 \times 0.142 \times 10 \times 1500}} = 0.29 cm = 2.9mm$$

Verificación del módulo según H. Cosme

$$m = \frac{paso}{\pi} = \frac{2.9mm}{\pi} = 0.92mm$$

Según Cosme, el módulo normalizado correspondiente es de 1 mm como mínimo

Según el catálogo de Rattini, el modelo 80, tiene un diámetro exterior de 160 mm.

Según H. Cosme, el diámetro exterior de un engranaje se calcula con la siguiente fórmula

$$\varnothing_{exterior} = \varnothing_{primitivo} + 2h$$

Donde h es el módulo del engranaje.

Calculando el modulo con el dato del catálogo de Rattini y considerando que el engranaje de la reducción tiene $z=75$ dientes, se tiene

$$160 = 75 \times m + 2 \times m$$

$$160 = 77 \times m$$

$$m = \frac{160}{77} = 2.07mm$$

Que es un módulo mayor al ideal calculado por las fórmulas de Cosme. Lo cual verifica el cálculo realizado. El que no de exacto el calculo se debe a que el material que utiliza el fabricante no esta especificado. Para este módulo, el paso correspondiente es $paso = m \times \pi = 2.07 \times \pi = 6.50mm$, se adopta un paso de 6.5mm para el tornillo de transmisión.

5.11.3. Tiempo de accionamiento de la reducción

Según lo investigado, la variación en el azimut del equipo debe ser de 15° por hora, para optimizar la superficie de captación solar.

Para el movimiento del equipo, se utilizará un mecanismo de biela – manivela. En esta sección, se muestran los esquemas y cálculos de tiempo de funcionamiento del moto reductor para modificar el azimut.

La variación de un sistema de seguimiento solar deberá tener una variación de 15° en el ángulo azimutal por cada hora.

En un eje polar (1xp): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en

todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj de sol.xxix

Ángulo horario ω : es el desplazamiento angular del Sol (a este u oeste) respecto del meridiano local, debido a la rotación terrestre. El ángulo horario es negativo por la mañana y positivo por la tarde, con intervalos de crecimiento de 15° /hora. Este dato es especialmente relevante de cada a medir la precisión del seguimiento solar.xxx

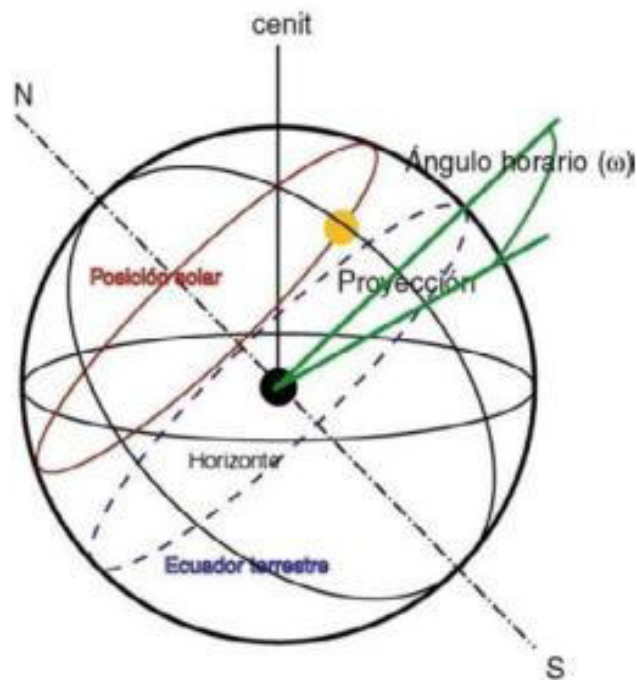


Figura 3.13. Ángulo horario (fuente: ETSII UPM)

Figura 52. Ángulo horario

5.11.4. Análisis del movimiento

Análisis del movimiento del mecanismo para determinar las dimensiones del mismo:

5.11.4.1. Situación A:

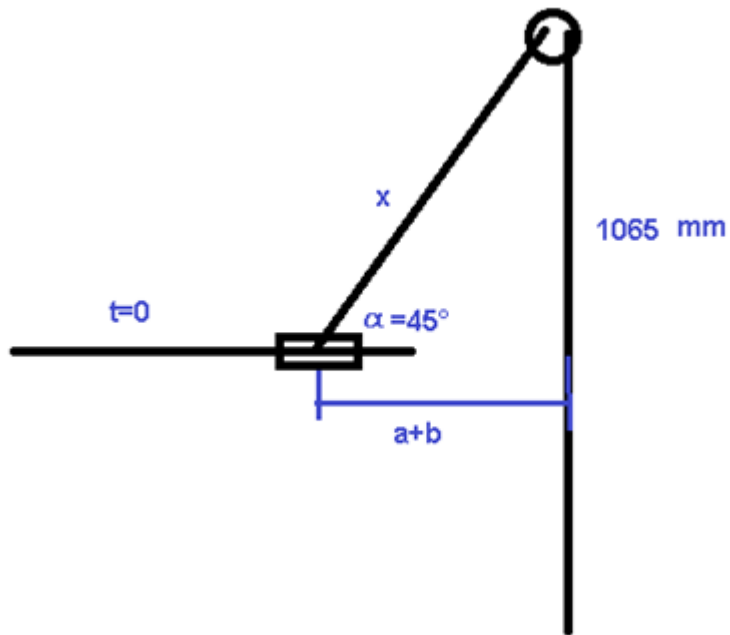


Figura 53. Situación A posición

$$\frac{\text{sen } 45^\circ}{1065.71} = \frac{\text{sen } 90^\circ}{x} = \frac{\text{sen } 45^\circ}{a+b}$$

$$x = \frac{\text{sen } 90^\circ}{\text{sen } 45^\circ} \times 1065.71 = 1507.14 \text{ mm}$$

$$a+b = 1065.71 \text{ mm}$$

5.11.4.2. Situación B

Situación B con un avance de 15°

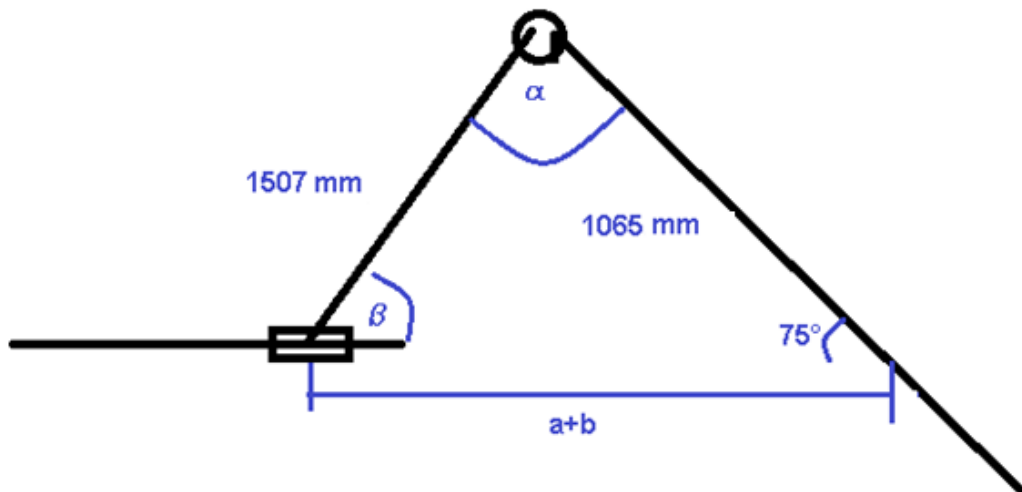


Figura 54. Situación B posición

$$\alpha = 180 - 75 - 43.07 = 61.93^\circ$$

$$\frac{\text{sen } \beta}{1065.71} = \frac{\text{sen } 75^\circ}{1507.14} \rightarrow \beta = 43.07^\circ$$

$$\frac{\text{sen } \alpha}{a + b} = \frac{\text{sen } 43.07^\circ}{1065.71}$$

$$a + b = \frac{\text{sen } 61.93^\circ}{\text{sen } 43.07^\circ} \times 1065.71 = 1377.01 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 1377.01 - 1065.71 = 311.30 \text{ mm}$$

$$p = 28.27 \text{ mm y } 50 \text{ rpm}$$

$$n = \frac{311.30}{6.5} = 47.89 \rightarrow \frac{47.89 \text{ rev}}{50 \text{ rpm}} = 0.95 \text{ min} = 57.46 \text{ seg}$$

5.11.4.3. Situación C

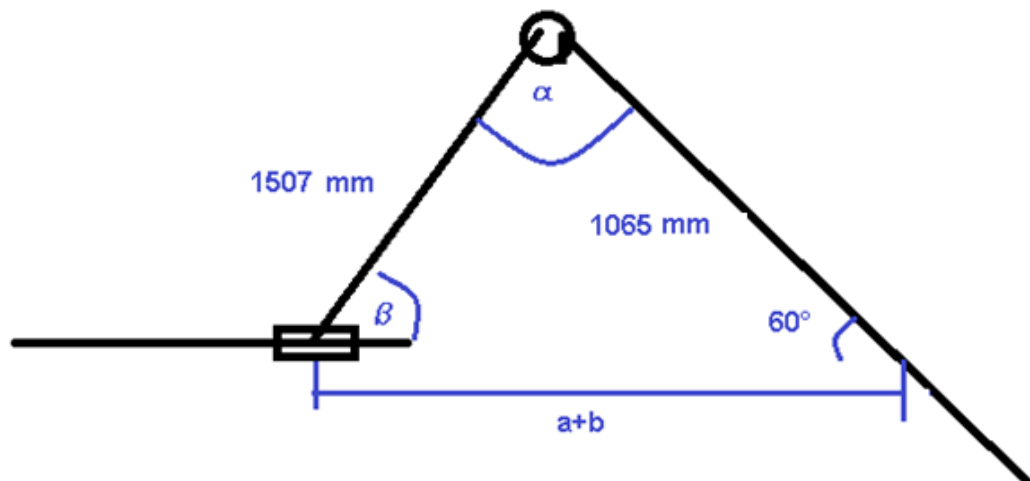


Figura 55. Situación C posición

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ - 37.76^\circ = 82.24^\circ$$

$$\frac{\text{sen } 60^\circ}{1507.14} = \frac{\text{sen } \alpha}{a + b} = \frac{\text{sen } \beta}{1065.71}$$

$$\text{sen } \beta = 0.61$$

$$\beta = 37.76^\circ$$

$$a + b = \frac{\text{sen } 82.24^\circ}{\text{sen } 60^\circ} \times 1507.14 = 1724.35 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 1724.35 - 1377.01 = 347.34 \text{ mm}$$

$$n = \frac{347.34 \text{ mm}}{6.5 \text{ mm/vuelta}} = 53.43 \text{ vueltas} \rightarrow \frac{53.43 \text{ rev}}{50 \text{ rev/min}} = 1.06 \text{ min}$$

5.11.4.4. Situación D

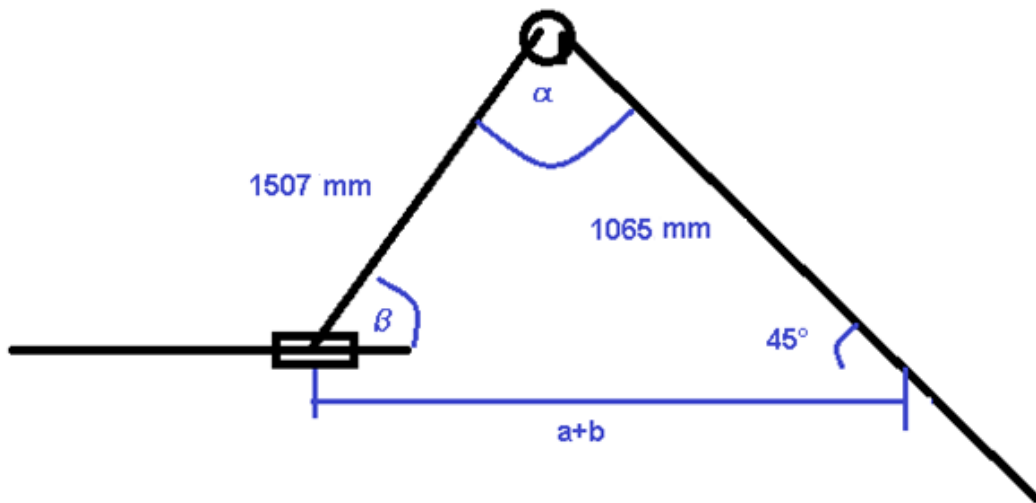


Figura 56. Situación D posición

$$\frac{\text{sen } 45^\circ}{1507.14} = \frac{\text{sen } \beta}{1065.71} = \frac{\text{sen } \alpha}{a + b}$$

$$\beta = 30^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 45^\circ - 30^\circ = 105^\circ$$

$$a + b = \frac{\text{sen } 105^\circ}{\text{sen } 45^\circ} \times 1507.14 \text{ mm} = 2058.79 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 2058.79 - 1724.35 = 334.44 \text{ mm}$$

$$n = \frac{334.44}{6.5} = 51.45 \quad \rightarrow \quad \frac{51.45 \text{ rev}}{50 \text{ rpm}} = 1.02 \text{ min}$$

5.11.4.5. Situación E

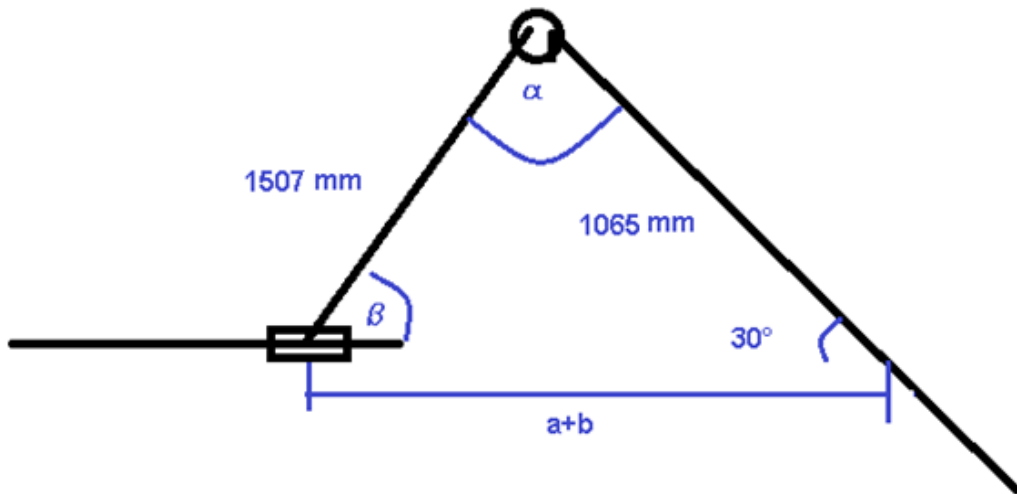


Figura 57. Situación E posición

$$\frac{\text{sen } 30^\circ}{1507.14} = \frac{\text{sen } \beta}{1065.71} = \frac{\text{sen } \alpha}{a + b}$$

$$a + b = \frac{\text{sen } 30^\circ}{1507.14} \times 1507.14 = 2332.57 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 2332.57 - 2058.79 = 273.78 \text{ mm}$$

$$n = \frac{273.78}{6.5} = 42.12 \rightarrow t = \frac{42.12 \text{ rev}}{50 \text{ rpm}} = 0.8424 \text{ min} = 50.54 \text{ seg}$$

5.11.4.6. Situación F

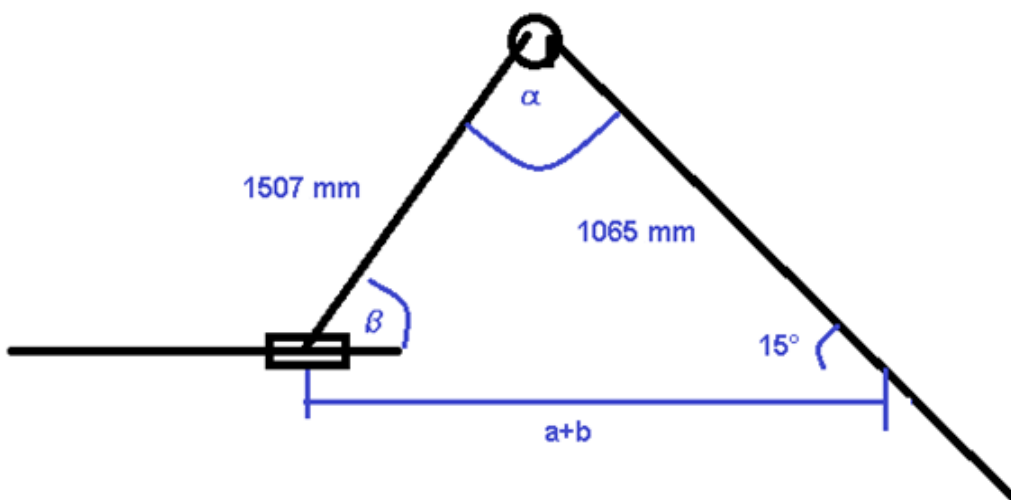


Figura 58. Situación F posición

$$\frac{\text{sen } 15^\circ}{1507.14} = \frac{\text{sen } \beta}{1065.71} = \frac{\text{sen } \alpha}{a + b}$$

$$\text{sen } \beta = \frac{\text{sen } 15^\circ}{1507.14} \times 1065.71 = 0.18$$

$$\beta = 10.54^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 15^\circ - 10.54^\circ = 154.46^\circ$$

$$a + b = \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } 15^\circ} \times 1507.14 = 2510.59 \text{ mm}$$

$$\Delta x = 2510.25 - 2332.57 = 178.02 \text{ mm}$$

$$n = \frac{178.02}{6.5} = 27.38 \rightarrow t = \frac{27.38}{50} = 0.54 \text{ min} = 32.86 \text{ seg}$$

5.11.4.7. Situación G



Figura 59. Situación G posición

$$a + b = 1507.14 + 1065.71 = 2573.85 \text{ mm}$$

$$\alpha = 180^\circ \quad \beta = 0^\circ$$

$$\Delta x = 2572.85 - 2510.25 = 62.6 \text{ mm}$$

$$n = \frac{62.6}{6.5} = 9.63 \text{ rev} \rightarrow t = \frac{9.63}{50} = 0.192 \text{ min} = 11.55 \text{ seg}$$

5.11.4.8. Situación H

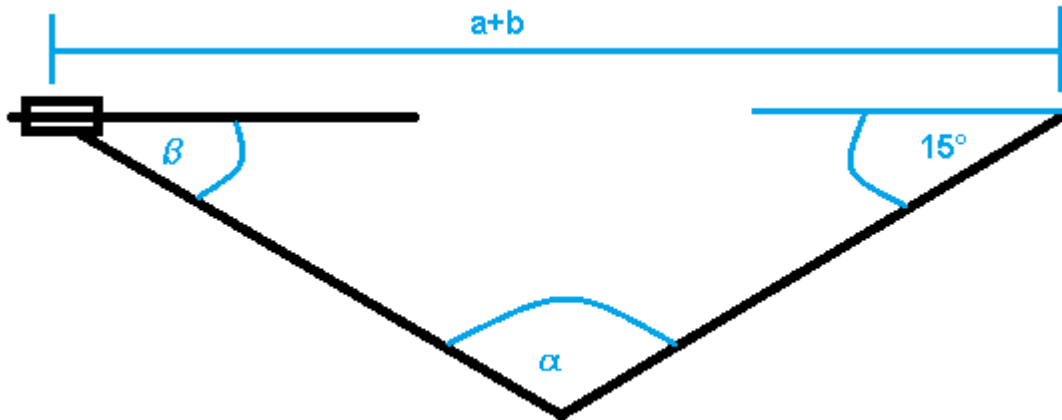


Figura 60. Situación H posición

$$\alpha = 154.46^\circ \quad \beta = 10.54^\circ \quad a + b = 2510.59 \text{ mm}$$

Se repiten los valores de la situación F

$$\Delta x = 2510.25 - 2332.57 = 178.02 \text{ mm}$$

$$n = \frac{178.02}{6.5} = 27.38 \text{ rev} \rightarrow t = \frac{27.38}{50} = 0.54 \text{ min} = 32.86 \text{ seg}$$

5.11.4.9. Situación I

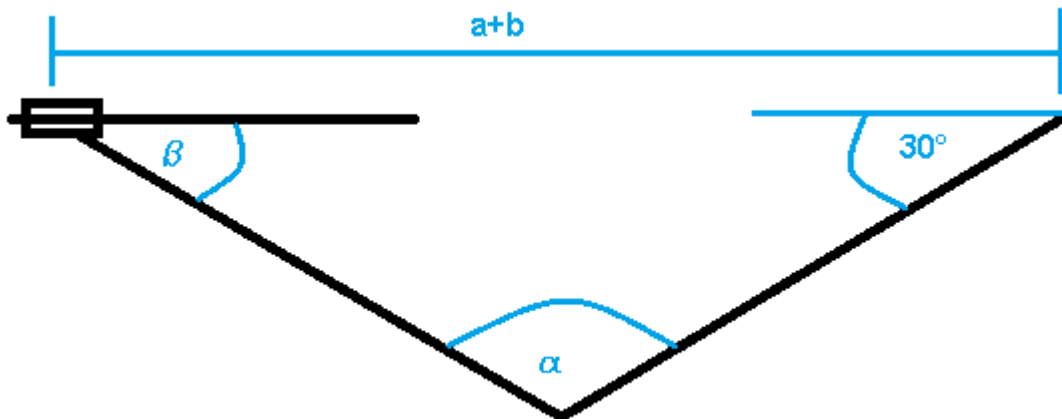


Figura 61. Situación I posición

$$a + b = 2332.57 \text{ mm} \quad \alpha = 129.3^\circ \quad \beta = 20.70^\circ$$

Se repiten los valores de la situación E

$$\Delta x = 2332.57 - 2058.79 = 273.78 \text{ mm}$$

$$n = \frac{273.78}{6.5} = 42.12 \rightarrow t = \frac{42.12 \text{ rev}}{50 \text{ rpm}} = 0.84 \text{ min} = 50.54 \text{ seg}$$

5.11.4.10. Situación J

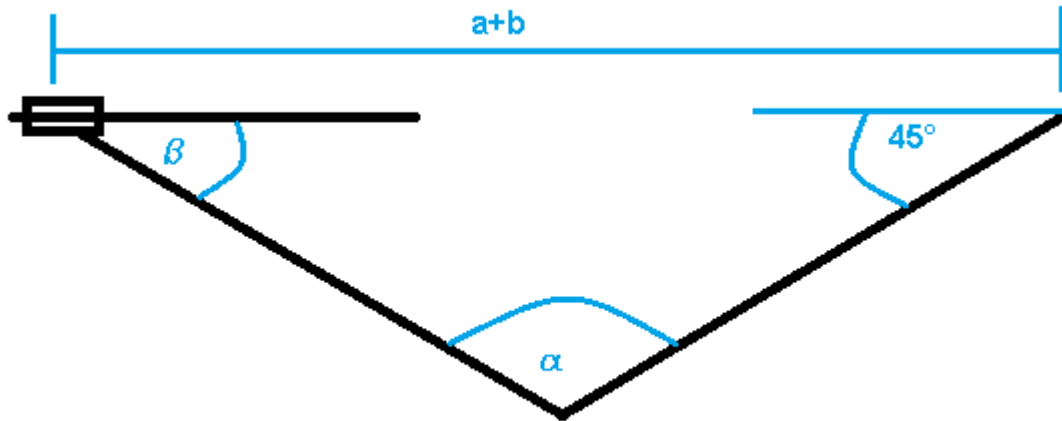


Figura 62. Situación J posición

$$a + b = 2058.79 \text{ mm} \quad \alpha = 105^\circ \quad \beta = 30^\circ$$

Se repiten los valores de la situación D

$$\Delta x = 2058.79 - 1724.35 = 334.44 \text{ mm}$$

$$n = \frac{334.44}{6.5} = 51.45 \rightarrow \frac{51.45 \text{ rev}}{50 \text{ rpm}} = 1.02 \text{ min}$$

5.11.4.11. Situación K

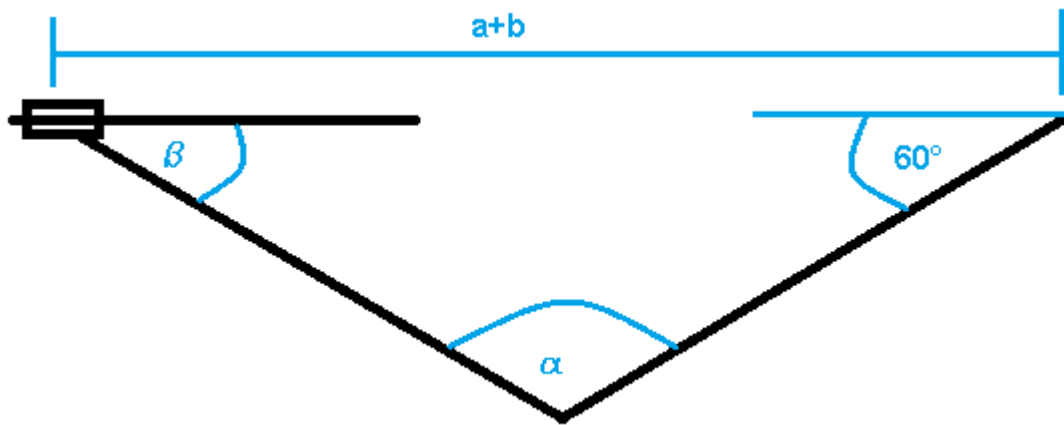


Figura 63. Situación K posición

$$a + b = 1724.35\text{mm} \quad \alpha = 82.24^\circ \quad \beta = 37.76^\circ$$

Se repiten los valores de la situación C

$$\Delta x = 1724.35 - 1377.01 = 347.34 \text{ mm}$$

$$n = \frac{347.34\text{mm}}{6.5\text{mm/vuelta}} = 53.43 \text{ vueltas} \rightarrow \frac{53.43\text{rev}}{50\text{rev/min}} = 1.06\text{min}$$

5.11.4.12. Situación L

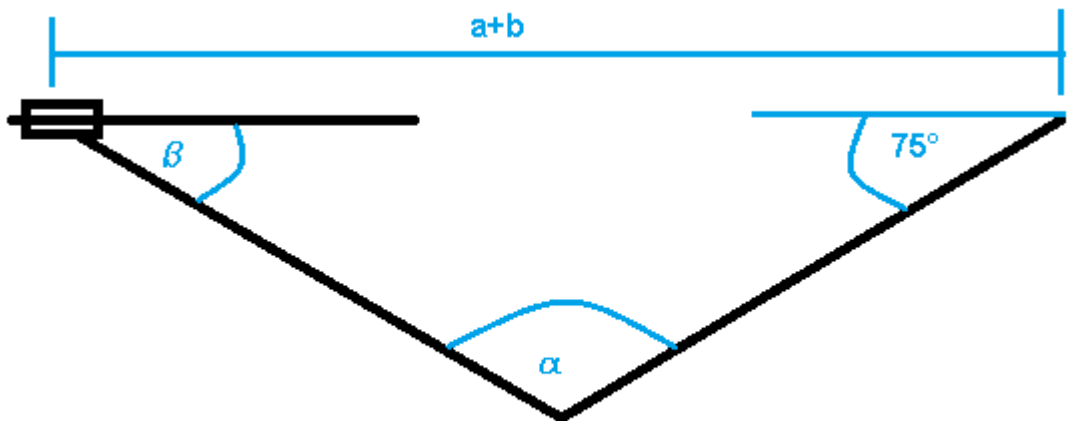


Figura 64. Situación L posición

$$a + b = 1377.01 \text{ mm} \quad \alpha = 61.93^\circ \quad \beta = 43.07^\circ$$

Se repiten los valores de la situación B

$$\Delta x = 1377.01 - 1065.71 = 311.30\text{mm}$$

$$p = 28.27\text{mm y } 50\text{ rpm}$$

$$n = \frac{311.30}{6.5} = 47.89\text{ vueltas} \rightarrow \frac{47.89\text{rev}}{50\text{rpm}} = 0.95\text{min} = 57.46\text{seg}$$

5.11.4.13. Situación M

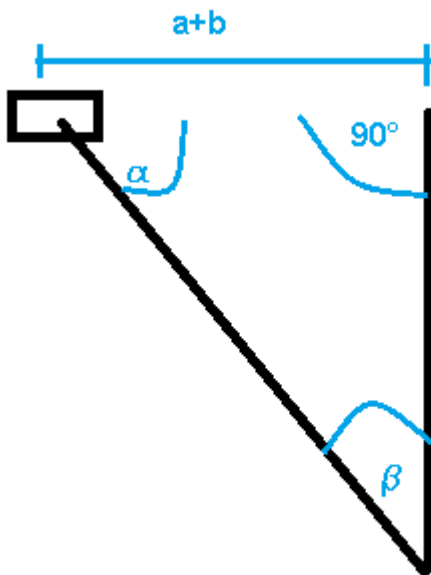


Figura 65. Situación M posición

$$a + b = 1065.71\text{mm} \quad \alpha = 45^\circ \quad \beta = 45^\circ$$

$$\Delta x = 1377.01 - 1065.71 = 311.3\text{ mm} \quad n = \frac{311.3}{6.5} = 47.89\text{ rev} \rightarrow t = \frac{47.89}{50} = 0.95\text{ min} \\ = 57.47\text{ seg}$$

Longitud del sin fin L=1507.14 mm adoptamos una longitud de 1600mm

5.11.5. Retroceso del equipo

Situación N retroceso

Para este calculo se debe tener en cuenta dos recorridos del sin fin para volver a la posición original (situación A) al equipo para un nuevo comienzo de ciclo:

$$\Delta x = 2 \times 1507.14 \text{ mm} = 3014.28 \text{ mm} \quad n = \frac{3014.28}{6.5} = 463.73 \text{ rev} \rightarrow t = \frac{463.73}{50}$$

$$= 9.27 \text{ min} = 556.4 \text{ seg}$$

5.12. Dimensionamiento de la manivela

Se calcula a la tracción, la fuerza de tracción es igual a la fuerza necesaria para poner en movimiento al equipo, que se corresponde con la fuerza de rozamiento = 40.33 kgf = 395.23N

Coefficiente de seguridad 0.8

$$\sigma_{admissible} = 210 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{F}{\sigma} = \frac{395.23 \text{ N}}{168 \times 10^6 \text{ Pa}} = 2.35 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Considerando una sección cuadrada:

$$l = \sqrt{2.35 \times 10^{-6}} = 1.53 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.53 \text{ mm}$$

Se presenta una captura de pantalla del ensamble del mecanismo de seguimiento solar con el que se realiza el cambio de azimut.

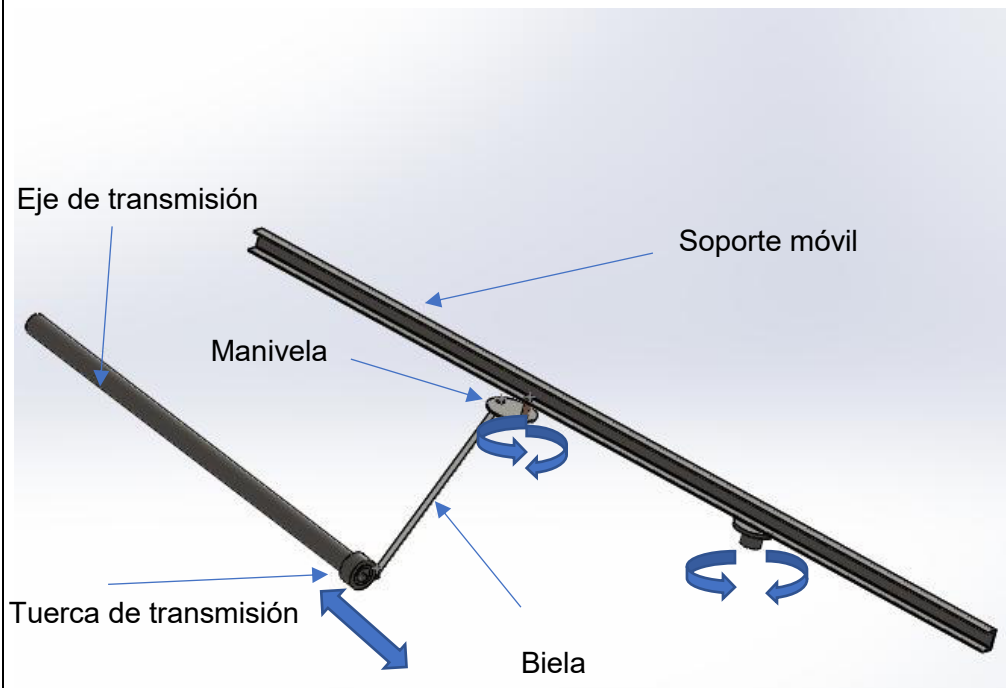


Figura 66. Movimiento mecanismo cambio azimut. Ver plano Nro. 2.

Como se puede observar en la imagen, el movimiento de la tuerca debido a la rotación de la reducción, produce el movimiento de la biela, que a través de la manivela hace rotar al soporte móvil del equipo sobre el eje.

5.13. Diagrama de conexiones

Se pensó realizar el automatismo primeramente con un puente H y fotoresistencias, sin embargo se descartó este modelo por las dificultades de mantenimiento y reparación y el factor de ensuciamiento de los sensores. Por lo que se pensó conducir el mecanismo a través de contactores y un PLC como temporizador.

Hasta el momento se dimensionó la estructura mecánica del automatismo, a continuación se presenta la lógica cableada:

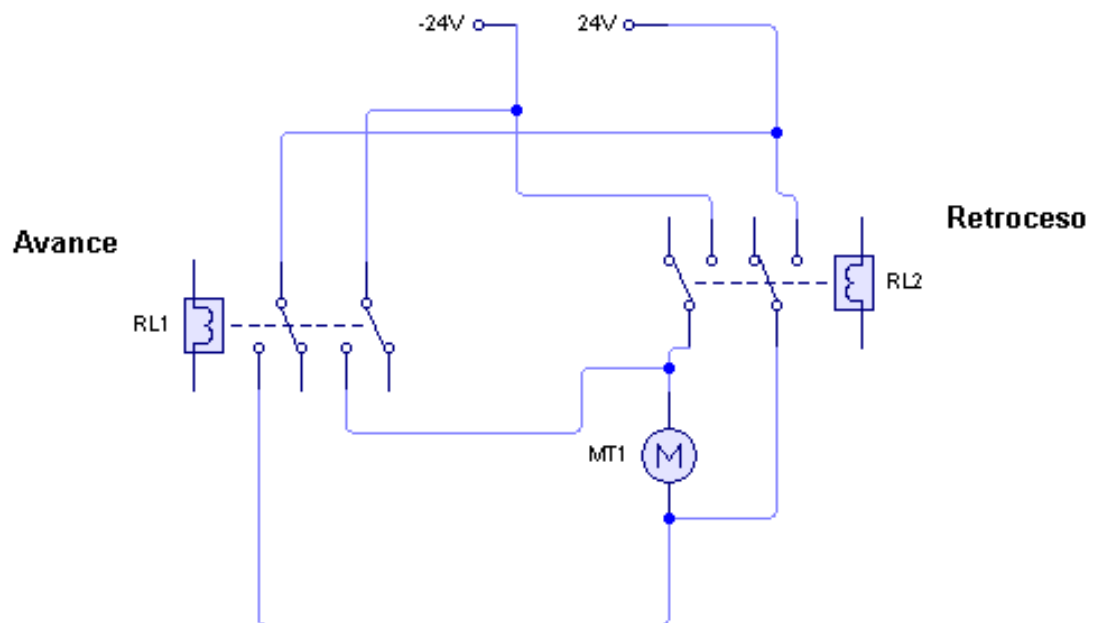


Figura 67. Esquema conexión eléctrica avance retroceso equipo

Se utilizarán dos contactores de 24V para producir el avance y retroceso del equipo.

Las bobinas primarias de ambos contactores serán comandadas por un PLC que energizará al contacto 1 o contacto 2 de acuerdo al avance o retroceso para inicio de ciclo del equipo.

El tiempo que será energizado el contactor de avance corresponde a los tiempos calculados en las situaciones A, B, C y D del movimiento del mecanismo.

El contactor 2 se energizará una vez terminado el ciclo (horas de sol diarias) para volver el equipo a la posición inicial.

A continuación se presenta una tabla con los avances y tiempo de energizado de los contactores.

Nro	Posición	Tiempo de avance min	Tiempo de avance en seg	Obs
1	Situación A	0	0	
2	Situación B	0.95	57.46	
3	Situación C	1.06	63.6	
4	Situación D	1.02	61.2	
5	Situación E	0.84	50.4	
6	Situación F	0.54	32.4	
7	Situación G	0.192	11.52	
8	Situación H	0.54	32.4	
9	Situación I	0.84	50.4	
10	Situación J	1.02	61.2	
11	Situación K	1.06	63.6	
12	Situación L	0.95	57.46	
13	Situación M	0.95	57.46	
14	Situación N	9.57	556.4	Retroceso a inicio de ciclo

A continuación se presenta captura de pantalla de la programación del PLC que comandaría estos reles.

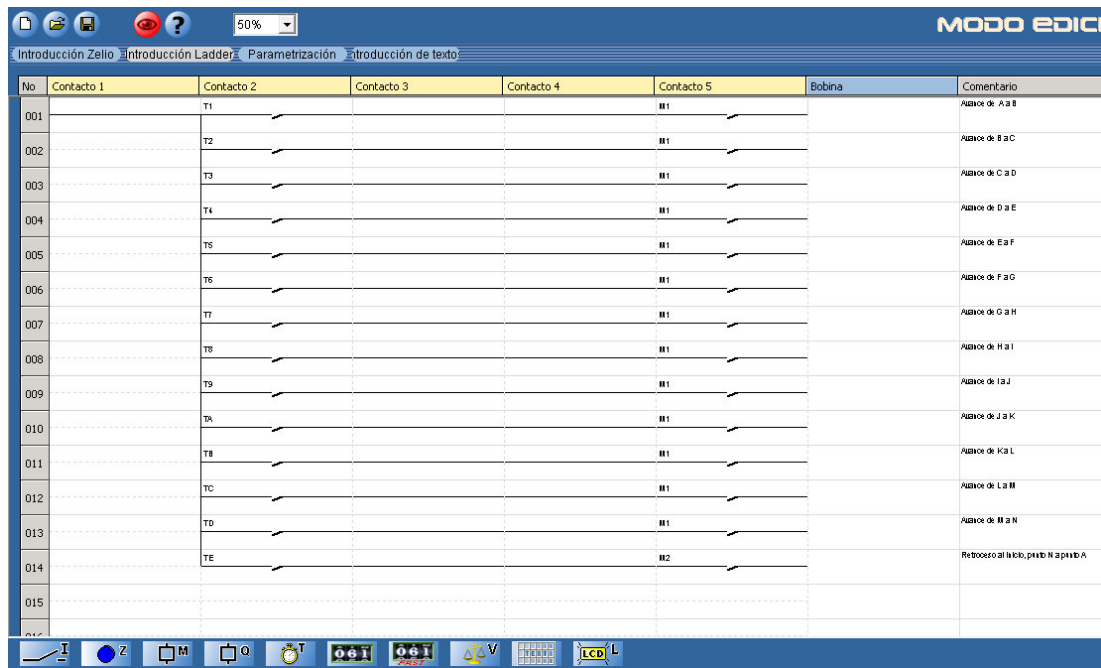


Figura 68. Diagrama de lógica PLC

5.14. Automatismo de carga y descarga del tubo de vidrio al vacio

El mismo se realizará a través de un puente de wheatstone que sensorá la presencia o no de líquido dentro del tubo de vidrio al vacio, mediante la medición de la conductividad electrica del agua a destilar.

Para ello se debe tener en cuenta la conductividad electrica del agua de mar que es de 5 S/m.xxxi

Si el equipo detecta conductividad electrica no actuará sobre la electroválvula que es normal cerrada de 24V, ahora bien si la resistencia aumenta o no hay conductividad accionará la electroválvula produciendo el llenado del tubo de vidrio.

La ubicación del sensor será tal que el llenado del tubo de vidrio sea siempre del 90-95%.

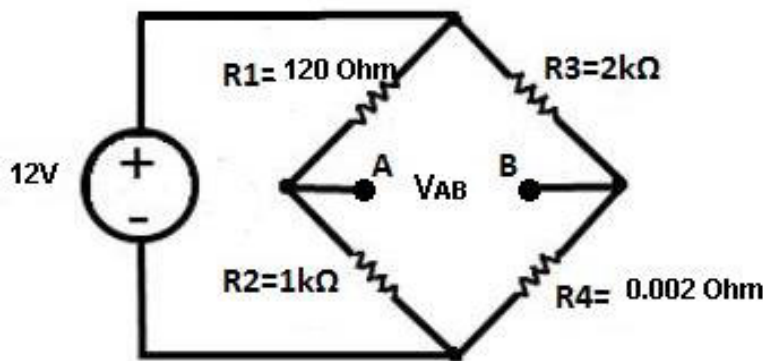
El vaciado del tubo de vidrio se realizará mediante una electroválvula normal cerrada de 24V que se accionará cuando detecte la ausencia de agua en el tubo de vidrio al vacio, con un sensor similar que accionará cuando el líquido sea del 5-10% dentro del tubo de vidrio.

Esto se realiza utilizando un puente de wheatstone donde la resistencia incognita sería la correspondiente al agua de mar presente en el tubo, siendo el resto de las resistencias valores conocidos y calibrados.

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V$$

$$V_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} * V$$

$$V_A - V_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) * V$$



Analizando el circuito, nos encontramos que:

$$V_A - V_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) * V$$

En el caso de tener líquido el tubo la tensión entre A y B es:

$$V_A - V_B = \left(\frac{1000}{120 + 1000} - \frac{0.002}{2000 + 0.002} \right) * 12V = 10.68V$$

Que es acorde a la entrada del PLC.

Ahora bien, cuando baja el nivel de liquido, la resistencia $R_4 \rightarrow \infty$ por lo que la cuenta nos quedaría:

$$\begin{aligned}
 V_A - V_B &= \left(\frac{1000}{120 + 1000} - \frac{\infty}{2000 + \infty} \right) \times 12V = \left(\frac{1000}{120 + 1000} - \frac{\frac{\infty}{\infty}}{\frac{2000}{\infty} + \frac{\infty}{\infty}} \right) \times 12V \\
 &= \left(\frac{1000}{120 + 1000} - \frac{1}{0 + 1} \right) \times 12V = -1.28V < 0
 \end{aligned}$$

Entonces se puede programar al PLC para que al tener 10V el rele correspondiente a la electroválvula NC no actúe, ahora bien cuando hay un cambio en la diferencia de potencial VAB, produzca el accionamiento de la electroválvula para producir el llenado del tubo de vidrio al vacío.

Para determinar la potencia eléctrica consumida por el circuito consideramos los extremos AB como abiertos, es decir cuando la electroválvula debe actuar.

Se tiene que las resistencias de 120Ω y $1k\Omega$ quedan en serie, al igual que las resistencias de $2k\Omega$ y 0.002Ω , esto nos da una resistencia equivalente de:

$$R_{eq} = \frac{(120 + 1000) \times (2000 + 0.002)}{120 + 1000 + 2000 + 0.002} = 717.94\Omega$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(12V)^2}{717.94\Omega} = 0.200W$$

5.15. Operación

Teniendo en cuenta las conexiones y las alturas del tanque depósito de agua y del tubo de vidrio al vacío, el equipo funcionará con la presión hidrostática generada y en la tercera conexión del tubo de vidrio al vacío se colocará una electroválvula alimentada por una batería con panel solar. La función de esta válvula es evacuar los residuos salinos que quedan precipitados en el fondo del tubo de vidrio al vacío.

Se muestra imagen de la conexión del tubo de vidrio al vacío a continuación (ver plano N° 7). Esta pieza se fabricará en teflón por método de extruido.

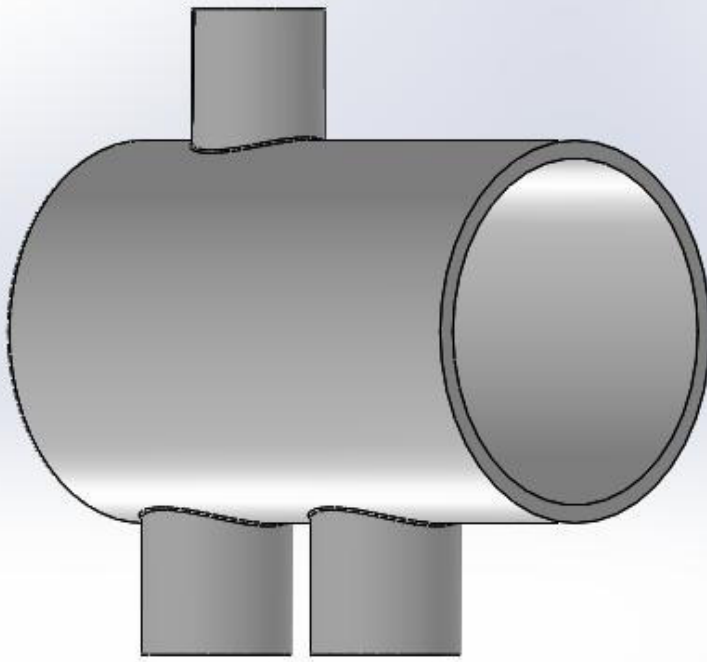


Figura 69. Conexión tubo de vidrio al vacío y cañerías

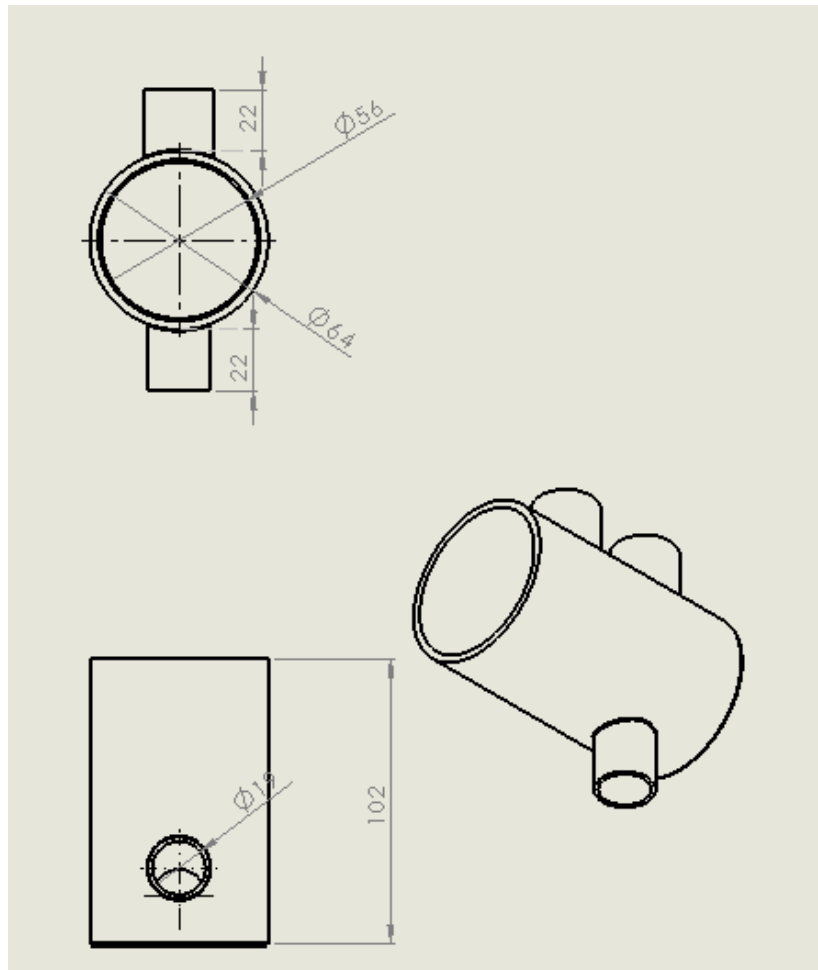


Figura 70. Plano N°7 conexión de tubo de vidrio al vacío

5.15.1. Tiempo de accionamiento de la electroválvula

$$Vol\ interior\ del\ tubo = \pi \times \left(\frac{0.047}{2}\right)^2 \times 1.8\ m^3 = 3.12 \times 10^{-3}\ m^3$$

Con un caudal de 2.22lts/h

$$t = 3.12 \times \frac{10^{-3}\ m^3}{\frac{2.22\ lts}{h} \times \frac{1}{1000\ lts/m^3}} = 1.40\ h\ tiempo\ que\ tarda\ en\ evaporar\ toda\ el\ agua\ del\ tubo\ de$$

vidrio.

Se establece que cada ¾ del volumen de agua contenido en el tubo de vidrio, se realizará la purga del mismo, accionando la electroválvula, eso nos da un valor de 1.05h de intervalo de tiempo para quitar sales precipitadas y evitar la formación de sarro en la superficie interior del tubo de vidrio.

5.16. Calidad del agua obtenida

Con este equipo se puede obtener a partir de agua con elevadas concentraciones de sólidos totales disueltos, como el agua de mar que tiene 35grs/lts, agua con una concentración de 0.600grs/lts.

Respecto de los microorganismos presentes en el agua, será necesario una cloración o tratamiento con peróxido de hidrógeno para eliminar los patógenos presentes y evitar daños a la salud. De esta manera estaremos garantizando la eliminación total de patógenos que resistan temperaturas superiores a los 100°C.

Se deberá realizar periódicamente mediciones de la calidad del agua como sólidos totales disueltos y microorganismos.

6. MONTAJE

El montaje del equipo se realizará en un terreno que no tenga presencia de vegetación de elevada altura que pueda proyectar sombra sobre el equipo, se colocará el soporte sobre una base de hormigón a nivel del piso o elevado. La disposición será mirando al punto cardinal Norte, con una inclinación del espejo parabólico de 45° para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible.

Se realizará con mano de obra terciarizada asesorada por personal técnico con conocimiento en equipos solares. Ver Plano Nro. 1 – Ensamble.

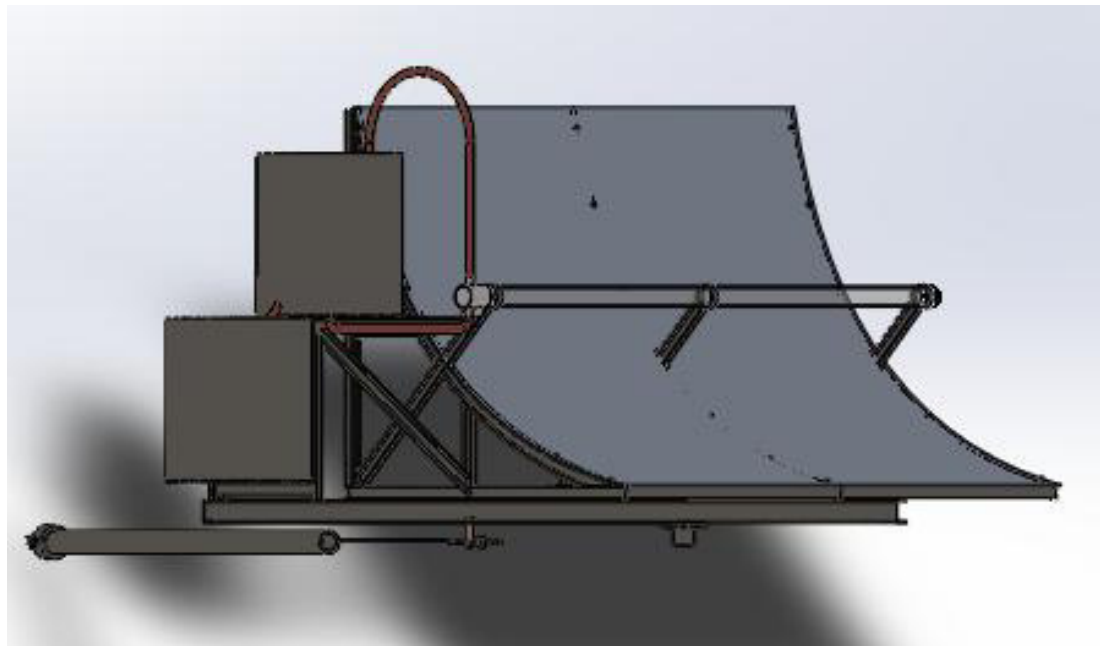


Figura 71. Ensamblaje espejo con soporte optimizado

7. ANÁLISIS AMORTIZACIÓN EQUIPO Y COMPARACIÓN CON ÓSMOSIS INVERSA

A continuación, se presenta una tabla con los diferentes elementos que componen cada equipo de 1.8m y los precios unitarios.

Componente	Precio
PLC Schneider SR2A101BD	\$11.500
Bomba de agua SUB - CC / 24V	\$18.000
Tubo de vidrio al vacío	\$1.900
Caño de cobre de ¾"	\$2.600
Caño de PVC con accesorios	\$1.000
Tanque de 30lts aislado térmicamente	\$25.000
Tanque de polipropileno	\$1.000
Planchuelas de hierro	\$3.600
Conexión	\$3.000
Chapa de aluminio	\$23.000
Electroválvula ½" NA de 14W	\$6.200
Batería con panel solar de 2000W	\$236.660
Total	\$333.460

Este equipo produciría 33,44 lts de agua en verano por día, considerando un costo de \$333.460 por equipo, nos estaría dando un costo inicial de:

$$\$333.460/33,44 = 9.971,88\$/lts$$

7.1. Consideraciones en comparación con el método de osmosis inversa

Si bien la destilación solar, como se conoce habitualmente, dista mucho en proceso, método, tiempos y volúmenes de producción respecto de la osmosis inversa, se pueden tener en cuenta los siguientes factores al momento de seleccionar el método a utilizar, estos son:

- El agua que ingresa al equipo de osmosis inversa debe tener una concentración salina mucho menor que la del agua de mar. Se deben utilizar filtros de sedimentos, carbón activado y un ablandador antes del equipo para no afectar a la vida útil de la membrana.
- Se debe considerar el recambio de la membrana del equipo de osmosis.
- Un equipo de osmosis inversa, consume energía eléctrica, una potencia eléctrica de 7000W aproximadamente.
- Se debe considerar los gastos de funcionamiento, mientras que, en el equipo de destilación solar por trabajar con energía solar, el gasto en el funcionamiento es de limpieza y reposición de componentes por roturas.
- En el cálculo de la inversión del equipo solar se debe tener en cuenta sólo una bomba de agua y automatismo, como consumo de energía eléctrico.

7.2. Calidad del agua obtenida

Respecto de la calidad del agua obtenida por osmosis inversa nos encontramos con los siguientes inconvenientes:

- Los filtros de agua por ósmosis inversa desmineralizan el agua, lo que significa que también eliminan los minerales saludables que se encuentran naturalmente en el agua. Por ello, deben complementarse con un filtro remineralizador.
- Una de las principales razones por las que no se recomienda beber agua purificada mediante ósmosis inversa es porque la eliminación de los minerales hace que el agua se vuelva ácida (a menudo muy por debajo de 7.0 pH). Beber agua ácida no ayuda a mantener un equilibrio saludable de pH en la sangre. El agua debe ser ligeramente alcalina.
- Según la OMS, el consumo de agua desmineralizada produce los siguientes inconvenientes en la salud:

- Los efectos directos sobre la mucosa intestinal, el metabolismo y la homeostasis mineral u otras funciones del cuerpo.
- Poca o ninguna ingesta de calcio y magnesio de agua mineral de baja.
- El bajo consumo de otros elementos esenciales y microelementos.
- La pérdida de calcio, magnesio y otros elementos esenciales en los alimentos preparados.
- Posible aumento de la ingesta dietética de metales tóxicos.

Respecto del destilador solar, para evitar la desmineralización completa del agua, se destilará el total del volumen de agua salada y se le adicionará mezcla de sales para evitar inconvenientes de salud, mencionados anteriormente, en las personas que ingieran el agua.

Para evitar la presencia de microorganismos perjudiciales para la salud se utilizará el método de cloración del volumen total de agua con hipoclorito de sodio como se hace habitualmente en las plantas de tratamiento de agua.

7.3. Cálculo de potencia del equipo solar para abastecer al destilador solar

Se debe considerar el consumo de los siguientes equipos

- Motor eléctrico de 1200 W para mover el equipo
- Electroválvula descarga de tubo de vidrio al vacío 14 W
- PLC Schneider SR2A101BD 0.096 W
- Bomba centrífuga para agua de mar SUB - CC / 24V 500 W (una cada 36m de equipo)
- Automatismo, puente de Wheatstone 0.200 W
- Potencia total del equipo de panel solar con batería
 $P=1200+14+0.096+500+0.200=1714.29W$

Se puede considerar un equipo de 2000W para abastecer al equipo, se debe tener en cuenta que los demás módulos de destilador solar carecerán de bomba centrífuga para el llenado de los tanques.

Debemos considerar, además, que el equipo de destilación solar no tiene consumo de energía eléctrica, lo que nos permite una autonomía tal que lo hace apto para cualquier tipo de agua y locación, siempre que la irradiación solar que reciba la zona lo permita.

8. CONCLUSIONES

A partir de la realización de este proyecto final se pudieron aplicar los conocimientos vistos a lo largo de la trayectoria universitaria.

Con una inversión de mediano valor, e inferior a un equipo de osmosis inversa, se puede adquirir un equipo con el cual se obtiene agua desalada sin requerir de energía eléctrica de la red, esto ofrece ventajas comparativas en lugares donde el suministro eléctrico no se encuentra instalado o tiene frecuentes interrupciones y el agua disponible tiene elevada cantidad de sólidos totales disueltos.

9. ANEXOS

Se anexan catálogo de cañería de cobre a continuación

Tuberías Cobre Tipo K



Cañerías de Cobre Tipo K Cañerías de Cobre Tipo L Cañerías de Cobre Tipo M

Cañerías Tipo K
 Tubo de cobre standard, Aleación C 12200 (contenido de cobre: 99.9%), según norma ASTM B88.
 Temple: Trefilado duro para uso general.
 Uso: Tubería de cobre para uso en plomería, oxígeno, gas, refrigeración y en general para fluidos con alta presión. Para usos médicos y de combustible se aplicaran los códigos locales pertinentes.
 Identificación: Fabricante + País de origen.



Diámetro Nominal	Diámetro Exterior	Espesor de Pared	Espesor	Peso Teórico	Presión de Trabajo
pulg.	pulg.	mm	pulg.	mm	kg/m
1/4	3/8	9.52	0.035	0.89	0.216
3/8	1/2	12.70	0.049	1.24	0.400
1/2	5/8	15.87	0.049	1.24	0.512
5/8	3/4	19.05	0.049	1.24	0.622
3/4	7/8	22.22	0.065	1.65	0.954
1	1 1/8	28.57	0.065	1.65	1.249
1 1/4	1 3/8	34.92	0.065	1.65	1.548
1 1/2	1 5/8	41.27	0.072	1.83	2.024
2	2 1/8	53.97	0.083	2.11	3.066
2 1/2	2 5/8	66.67	0.095	2.41	4.360
3	3 1/8	79.37	0.109	2.77	5.953
3 1/2	3 5/8	92.07	0.120	3.05	7.619
4	4 1/8	104.77	0.134	3.40	9.688

Empaque: Tiras de 6 Mts.
 Nota: El diámetro exterior real de la Tubería de cobre es de 1/8 pulgada mayor que el diámetro nominal, por el cual se conocen. Es decir, un tubo de cobre tipo L de 1/2 pulgada tiene en realidad un diámetro exterior de 5/8 pulgada. La Tubería de cobre tipo K, tiene un espesor de pared mayor que la Tubería de cobre tipo L, y el espesor de pared de la Tubería de cobre L es mayor que la pared de la Tubería de cobre M, para un diámetro dado.

Tanque aislado térmicamente

ACR Depósitos de inercia para primario, aislamiento rígido de 30 a 1500 litros



Modelo	Capacidad	Espesor Aislante	ØD mm	Altura mm	PVP
ACR 30	30 LTS	25 mm	410	460	266 €
ACR 50	50 LTS	25 mm	410	560	288 €
ACR 100	100 LTS	30 mm	460	890	445 €
ACR 200	200 LTS	50 mm	650	1005	581 €
ACR 300	300 LTS	50 mm	650	1470	698 €
ACR 500	500 LTS	50 mm	700	1915	863 €
ACR 750	750 LTS	80 mm	910	1945	1.353 €
ACR 1000	1000 LTS	80 mm	950	2250	1.452 €
ACR 1500	1500 LTS	80 mm	1160	2280	2.719 €
SOPORTE PARED ACR 30 y 50 - Montaje vertical y horizontal					50 €

Los depósitos de inercia para primario están diseñados para trabajar en instalaciones de calefacción y de refrigeración, la principal función es la de evitar los continuos encendidos y apagados de los generadores (quemadores y/o compresores), asegurando una temperatura media constante y estable del líquido caloportador, pueden trabajar en circuitos con agua glicolada, utilizados en sistemas solares.

- Construidos en acero negro de alta calidad.
- Aislamiento térmico de espuma rígida de inyección directa de poliuretano, exenta de CFC.
- Revestimiento exterior con lámina de aluminio gofrado, ajustado al depósito apto para intemperie.
- Tapa superior en todos los tamaños, sólo para los modelos de 30 a 300 litros tapa inferior y 3 calces adhesivas (para instalación vertical suelo)
- Todas las conexiones en rosca gas hembra, conexionado rápido.
- Temperatura de trabajo -10 ÷ +100 °C
- Presión máxima de trabajo de 6 bar.
- Tomas en el lateral de 1/2" para medición de temperatura.

Producto conforme al artículo 4.3 de la Directiva 2014/68/UE sobre los aparatos a presión.



Resistencias mínimas de tornillos para el cálculo de esfuerzos

TABLA 5.2 RESISTENCIAS MÍNIMAS DE PERNOS (ESPECIFICACIONES NORMALIZADAS SELECCIONADAS)

GRADO	TAMAÑOS, INCL.		s_p		s_u		s_y		
	mm	pulg	kg/cm ²	ksi	kg/cm ²	ksi	kg/cm ²	ksi	
SAE Grado 2	6,35- 19,05	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	3867	55	4 851	69			
	22,22- 25,40	$\frac{7}{8}$ -1	3656	52	4 500	64			
	28,57- 38,10	1 $\frac{1}{4}$ -1 $\frac{1}{2}$	1968	28	3 867	55			
SAE Grado 5 ASTM A325	6,35- 19,05	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	5976	85	8 437	120	6187	88	
	22,22- 25,40	$\frac{7}{8}$ -1	5484	78	8 085	115	5694	81	
	28,57- 38,10	1 $\frac{1}{4}$ -1 $\frac{1}{2}$	5202	74	7 381	105	5413	77	
ASTM 354	BB	6,35- 63,50	$\frac{1}{4}$ -2 $\frac{1}{2}$	5624	80	7 381	105	5835	83
		63,50-101,60	2 $\frac{1}{2}$ -4	5273	75	7 030	100	5483	78
	BC	6,35- 63,50	$\frac{1}{4}$ -2 $\frac{1}{2}$	7381	105	8 788	125	7662	109
		63,50-101,60	2 $\frac{1}{2}$ -4	6679	95	8 085	115	6960	99
	BD	6,35- 38,10	$\frac{1}{4}$ -1 $\frac{1}{2}$	8437	120	10 546	150	8788	125

xxxii

5.8 MATERIALES Y RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS ROSCADOS. El proyectista puede hacer uso del material que desee para pernos y tornillos, pero usará sólo acero «ordinario» (ASTM A 307 y SAE grado 1, s_u mínima = 3867 kg/cm² = 55 ksi, equivalente a 1015 aproximadamente, por ejemplo), y pernos de cabeza estampada en frío, cuando no haya otra razón que se oponga. Las entidades SAE y ASTM y varios departamentos oficiales han normalizado especificaciones para materiales para elementos de tornillería. Entre los aceros que más comúnmente se usan para pernos [2.1] figuran los AISI 1013, 1018, 1038, 1041, 1054, 1340, 4037, 4140, 4150, 50B40, 8635, 8735, 4340; pero un procedimiento particular de un determinado fabricante se puede adaptar más fácilmente a un acero que otro.

El cálculo de los pernos suele hacerse basándose en una *carga de prueba* o *esfuerzo de prueba* s_p . En general, una carga de prueba es la acordada por el comprador y el vendedor para que se cumplan los requisitos necesarios. Para pernos y tornillos parece que no existe una definición única, pero el esfuerzo de prueba s_p en las especificaciones SAE suele ser aproximadamente el correspondiente a un 96 % de la resistencia de fluencia con un 0,2 % de deformación permanente (que puede no ser la misma que la resistencia de fluencia de una probeta de tracción normalizada). Véase tabla 5.2.

Cálculo de estructura soporte 1

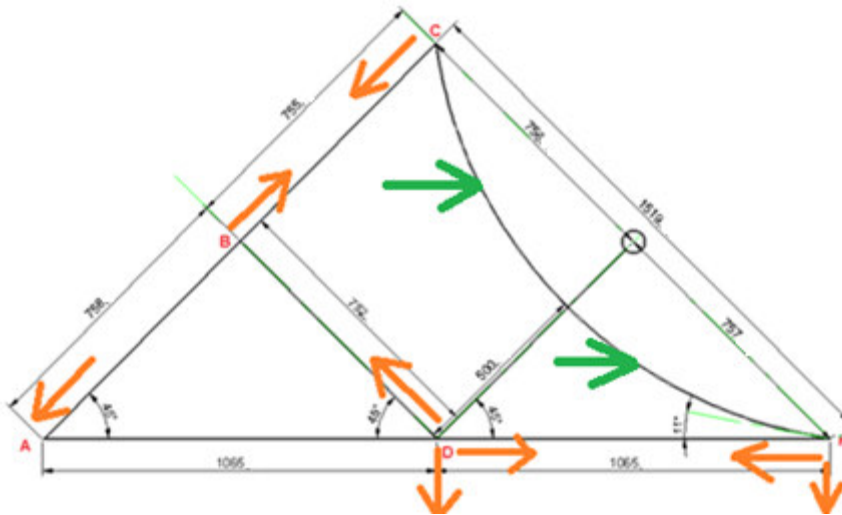


Figura 72. Fuerza ejercida por el viento en la estructura y reacciones

En la imagen podemos observar con flechas verdes la fuerza ejercida por el viento, considerándola como concentrada en un punto y las flechas en color naranja corresponden a las reacciones de los vínculos.

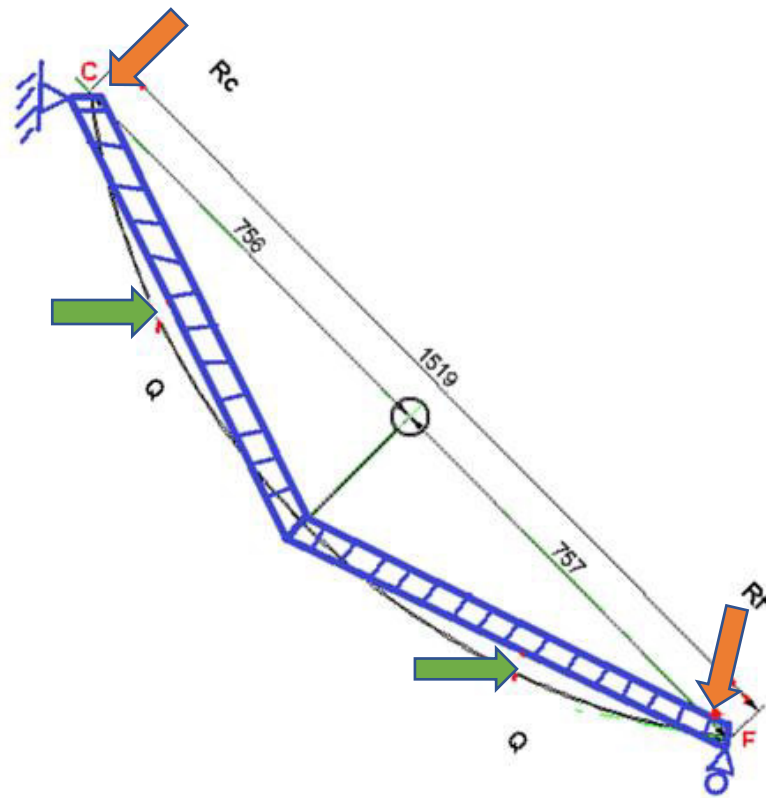


Figura 73. Viga CF

$$\sum F_x = 0 = -R_c \times \cos 18.27 + R_f \times \cos 18.27 + Q \times l \times \cos 18.27 - Q \times l \times \cos 18.27$$

$$R_c = R_f$$

$$\sum F_y = 0 = -R_c \times \sin 18.27 - R_f \times \sin 18.27 + Q \times l \times \sin 18.27 + Q \times l \times \sin 18.27$$

$$0 = -2R_c \times \sin 18.27 + 2 \times Q \times l \times \sin 18.27$$

$$2 \times R_c \times \sin 18.27 = 2 \times Q \times l \times \sin 18.27$$

$$R_c = Q \times l = \frac{79.42 \text{kgf}}{\text{m}} \times 0.797 \text{m} = 63.29 \text{kgf} = R_f$$

$$\sum M_c = 0 = -Q \times l \times l/2 - Q \times l \times \frac{l}{2} + R_f \times l$$

$$R_f = Q \times \frac{l^2}{l} = \frac{79.42 \text{kgf}}{\text{m}} \times 0.797 \text{m} = 63.29 \text{kgf}$$

Viga DF

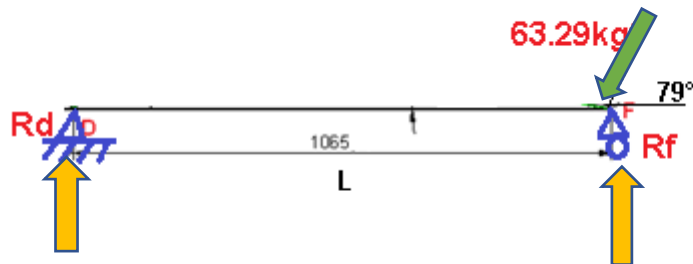


Figura 74. Viga DF

$$\sum F_x = 0 = R_{Dx} - 63.29 \text{kgf} \times \cos 79^\circ$$

$$\sum F_y = 0 = R_{Dy} + R_F - 63.29 \text{kgf} \times \sin 79^\circ$$

$$\sum MD = 0 = -R_F \times l + 63.29 \times \sin 79^\circ \times l$$

$$R_F \times l = 63.29 \times \sin 79^\circ \times l$$

$$R_F = 63.29 \times \sin 79^\circ \times \frac{l}{l} = 62.12 \text{kgf}$$

$$R_{Dy} = -R_F + 63.29 \times \sin 79^\circ = 7.18 \text{kgf}$$

$$R_{Dx} = 63.29 \text{kgf} \times \cos 79^\circ = 12.07 \text{kgf}$$

Viga BC

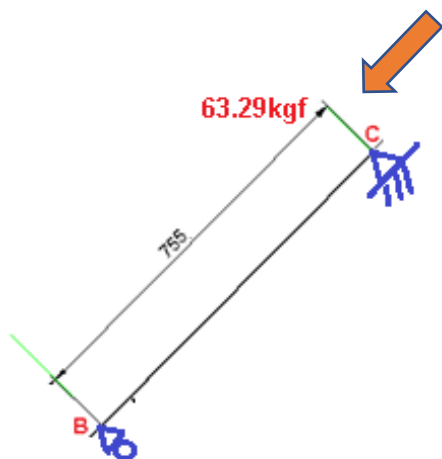


Figura 75. Viga BC

$$R_B = -R_C$$

$$R_B = 63.29kgf$$

Viga AB

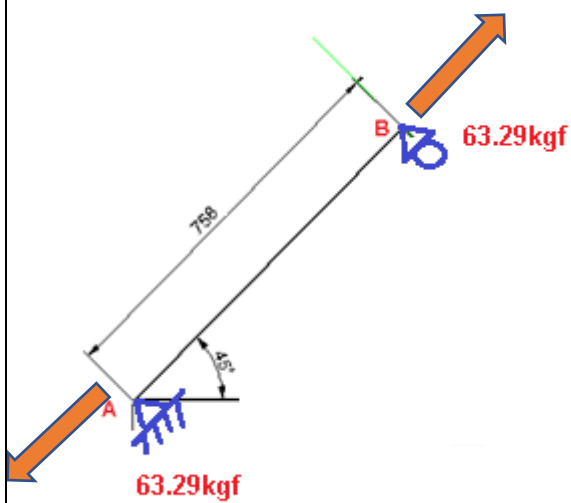


Figura 76. Viga AB

$$R_A = -R_B = 63.29kgf$$

Viga BD

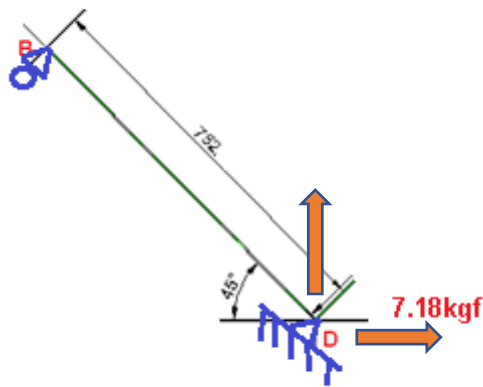


Figura 77. Viga BD

$$\sum Fy = 0 = R_{By} + R_{Dy} = R_{By} + 7.18kgf$$

$$R_{By} = -7.18kgf$$

$$\sum Fx = 0 = R_{Bx} + R_{Dx} = R_{Bx} + 12.07kgf$$

$$R_{Bx} = -12.07kgf$$

$$R_{Dx} = R_{Bx} = 12.07kgf$$

Viga AD

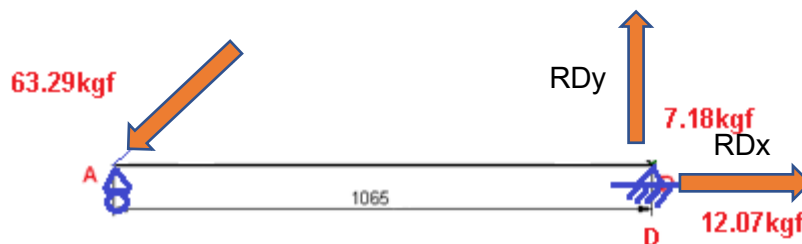


Figura 78. Viga AD

$$\sum Fx = 0 = R_{Dx} + 12.07 - 63.29 \times \cos 45^\circ$$

$$R_{Dx} = 32.68kgf$$

$$\sum F_y = 0 = R_{Ay} - R_{Dy} - 63.29 \times \text{sen}45^\circ + 7.18\text{kgf}$$

$$\sum MA = 0 = -7.18\text{kgf} \times 1065.71\text{mm} + R_{Dy} \times 1065.71\text{mm}$$

$$R_{Dy} = 7.18\text{kgf}$$

$$R_{Ay} = R_{Dy} + 63.29\text{kgf} \times \text{sen}45 - 7.18\text{kgf} = 44.75\text{kgf}$$

Cálculo de la estructura Soporte 2

Tomando los siguientes nodos para analizar los esfuerzos de la estructura

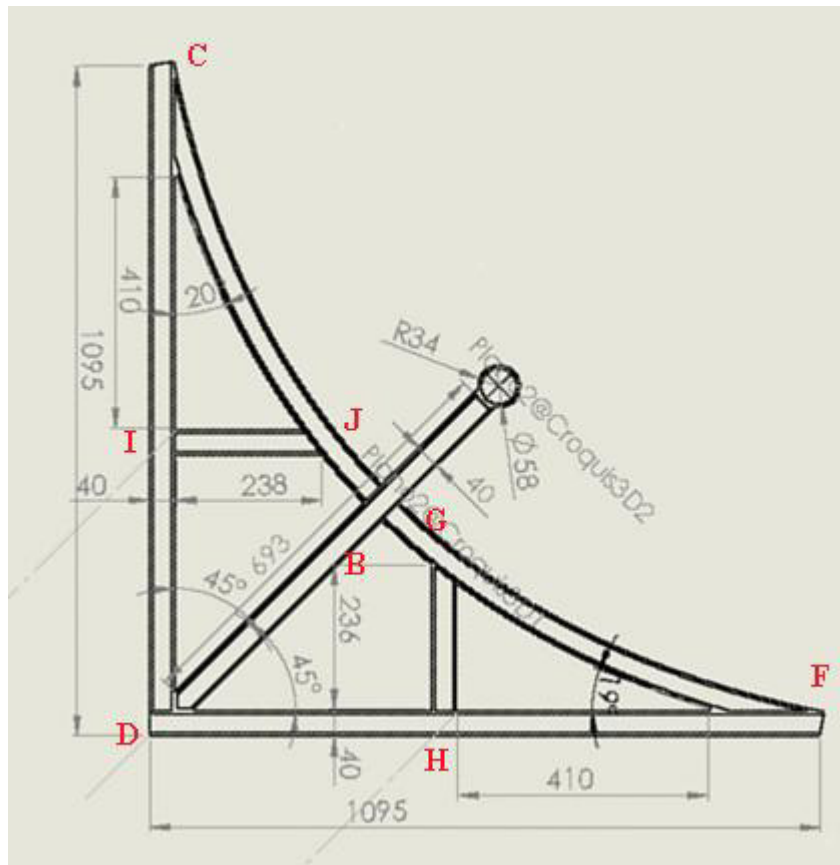


Figura 79. Soporte optimizado dimensiones

A continuación, se presenta un esquema con la fuerza debida al viento en color verde y las reacciones de vinculo en color naranja.

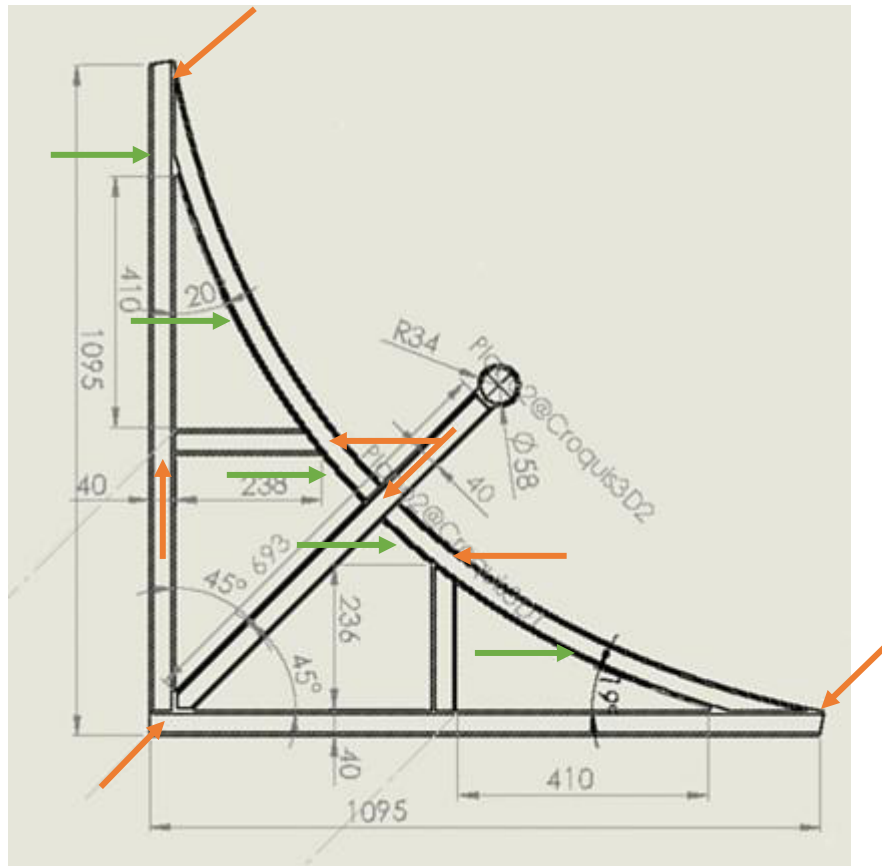


Figura 80. fuerzas y reacciones de vinculo en el soporte del espejo parabólico

Esfuerzos en la viga CJ

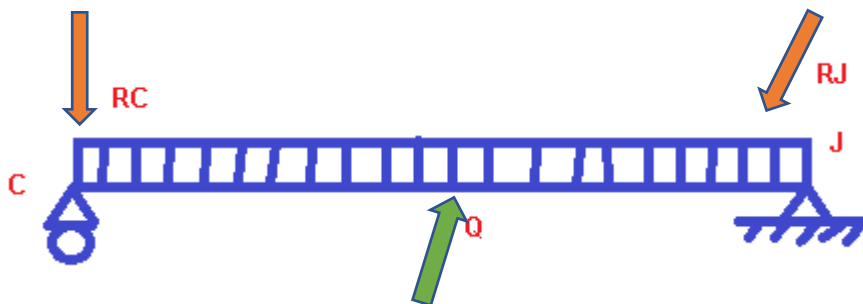


Figura 81. Viga CJ

$$\sum Mc = 0 = -Q \times \frac{l}{2} \times \text{sen } 18.27 Rjy \times l$$

$$Q \times \frac{l^2}{2} = Rjy \times l$$

$$\frac{79.42 \times \text{Sen}(18.27)}{2} \times 0.452 = 5.62 \text{ kgf} = R_{jy}$$

$$\sum F_x = 0 = -R_{jx} + Q \times l \times \cos 18.27$$

$$R_{jx} = Q \times l \times \cos 18.27$$

$$R_{jx} = 79.42 \times 0.452 \times \cos 18.27 = 34.08 \text{ kgf}$$

$$\sum F_y = 0 = -R_{cy} - R_{jy} + Q \times l \times \text{sen } 18.27$$

$$R_{cy} = -R_{jy} + Q \times l \times \text{sen } 18.27$$

$$R_{cy} = -5.62 \text{ kgf} + \frac{79.42 \text{ kgf}}{m} \times 0.452 \text{ m} \times \text{sen } 18.27 = 5.63 \text{ kgf}$$

Viga JB

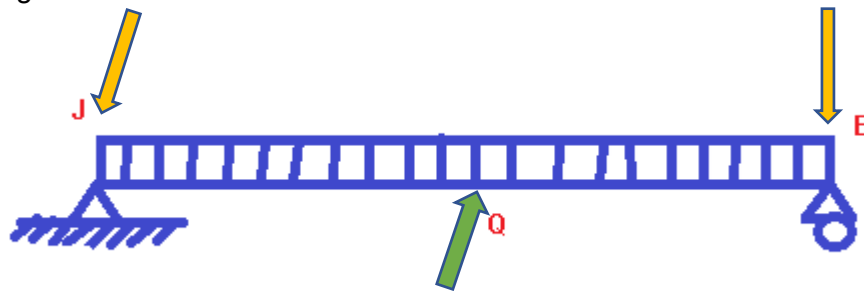


Figura 82. Viga JB

$$\sum F_y = 0 = -R_b + Q \times l - R_{jy}$$

$$\sum F_x = 0 = -R_{jx} + Q \times l \times \cos 18.27$$

$$R_{jx} = Q \times l \times \cos 18.27 = 79.42 \times 0.322 \times \cos 18.27 = 24.28 \text{ kgf}$$

$$\sum M_j = 0 = Q \times l \times \frac{l}{2} - R_{jy} \times l$$

$$R_{jy} = Q \times \frac{l}{2} = 79.42 \times \frac{0.322}{2} \times \text{sen } 18.27 = 4 \text{ kgf}$$

$$R_{jy} = Q \times l - R_{jy}$$

$$R_{jy} = 79.42 \times \frac{0.322}{2} \times \text{sen } 18.27 - 4 \text{ kgf} = 8.54 \times 10^{-3} \text{ kgf}$$

Viga BG

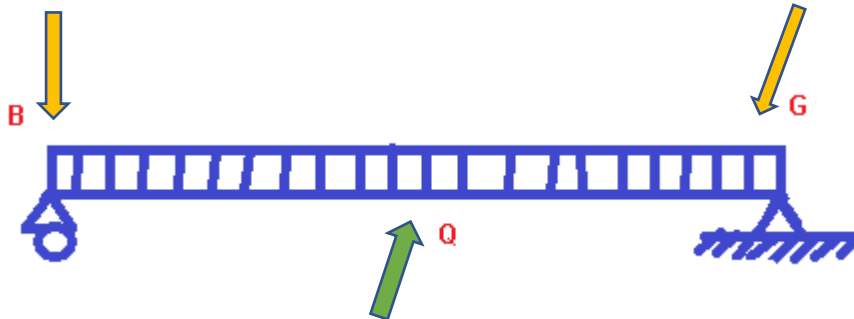


Figura 83. Viga BG

$$\sum Fy = 0 = -Rby + Q \times l - Rgy$$

$$\sum Fx = 0 = -Rgx + Q \times l \times \cos 18.27$$

$$Rgx = 79.42 \times 0.328 \times \cos 18.27 = 24.73 \text{ kgf}$$

$$\sum Mb = 0 = Q \times l \times \frac{l}{2} - Rgy \times l$$

$$Rgy = Q \times \frac{l}{2} = 79.42 \times \frac{0.328}{2} \text{ sen } 18.27 = 4 \text{ kgf}$$

$$Rjy = Q \times l \times \text{sen } 18.27 - Rgy$$

$$Rby = 79.42 \times 0.328 \times \text{sen } 18.27 - 4 \text{ kgf} = 4.16 \text{ kgf}$$

$$Rbx = 79.42 \times \frac{0.328}{2} \times \cos 18.27 - 24.73 \text{ kgf} = -12.36 \text{ kgf}$$

Viga GF

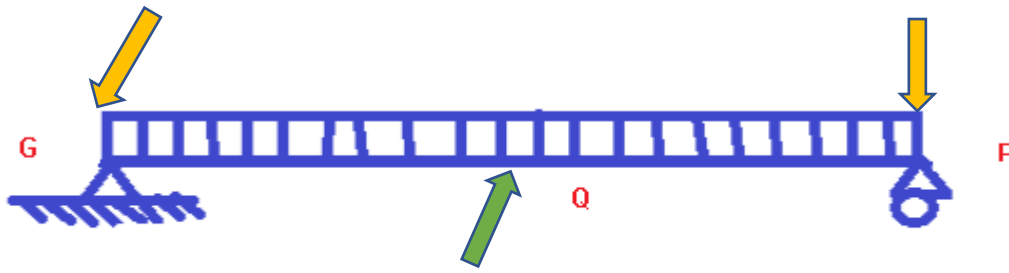


Figura 84. Viga GF

$$\sum Fx = 0 = -Rgx + Q \times l \times \cos 18.27$$

$$Rgx = Q \times l \times \cos 18.27 = 79.42 \times 0.446 \times \cos 18.27 = 33.63 \text{kgf}$$

$$\sum Mg = 0 = Q \times l \times \frac{l}{2} - Rfy \times l$$

$$Rfy = 79.42 \times \frac{0.446}{2} \times \text{sen } 18.27 = 5.55 \text{kgf}$$

$$\sum Fy = 0 = -Rgy + Q \times l \times \text{sen } 18.27 - Rfy$$

$$Rgy = 79.42 \times 0.446 \times \text{sen } 18.27 - 5.55 \text{kgf} = 5.55 \text{kgf}$$

Viga IJ

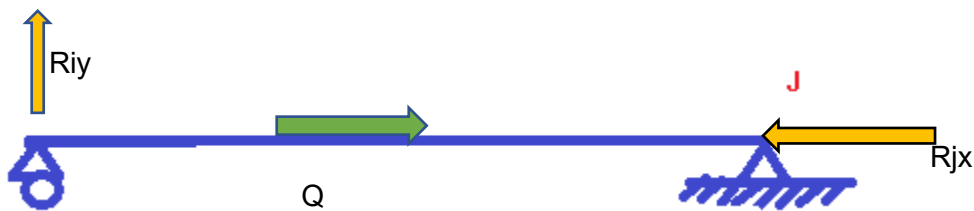


Figura 85. Viga IJ

$$\sum Fy = 0 = Riy - 5.63 \text{kgf}$$

$$\sum Fx = 0 = Rjx - Q \times l$$

$$\sum MJ = -Riy \times 0.238 = 5.63 \times 0.238 = 1.33 \text{kgfm}$$

$$Rjx = Q \times l = 34.08 \text{kgf}$$

Viga DB

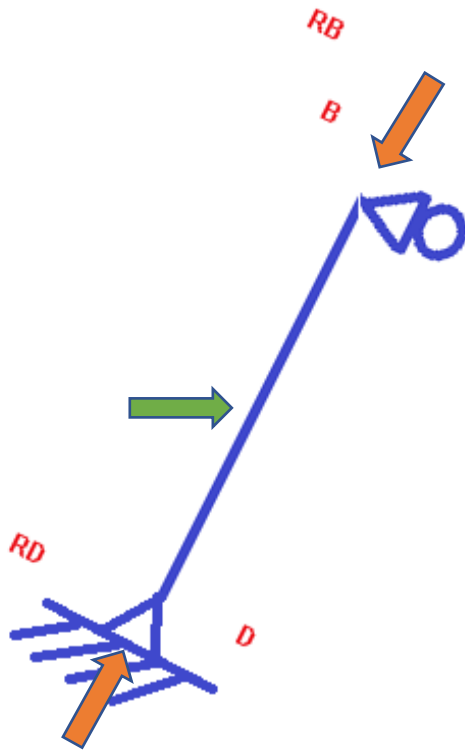


Figura 86. Viga DB

$$\sum F_x = 0 = Q \times l \times \cos 45 - R_{bx} - R_{dx}$$

$$R_{dx} = Q \times l \times \cos 45 - R_{bx} = 79.42 \times 0.443 \times \cos 45 - 12.43 \text{kgf} = 12.44 \text{kgf}$$

$$\sum M_d = 0 = Q \times \frac{l^2}{2} \times \cos 45 - R_{bx} \times l$$

$$R_{bx} = Q \times \frac{l}{2} \times \cos 45 = 79.42 \times \frac{0.443}{2} \times \cos 45 = 12.43 \text{kgf}$$

$$\sum F_y = 0 = R_{dy} - R_{by}$$

$$R_{dy} = R_{by} = 4.16 \text{kgf}$$

Viga GH

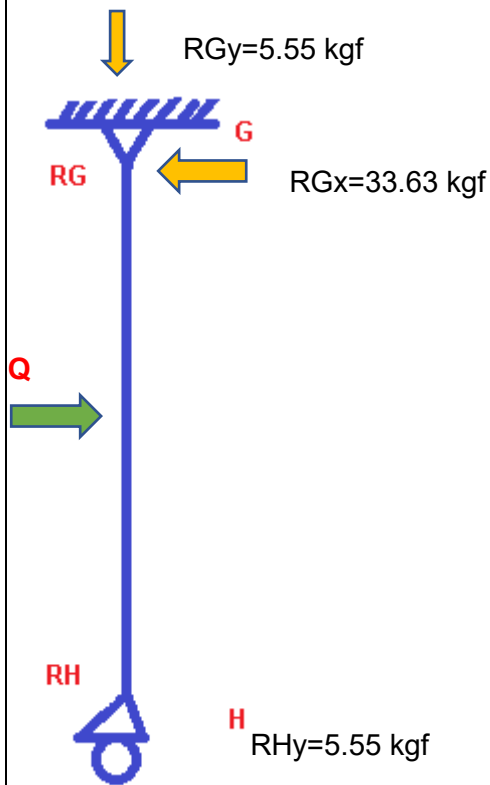


Figura 87. Viga GH

$$R_{gy} = R_{hy} = 5.55 \text{ kgf}$$

$$R_{gx} = 33.63 \text{ kgf}$$

Viga DF

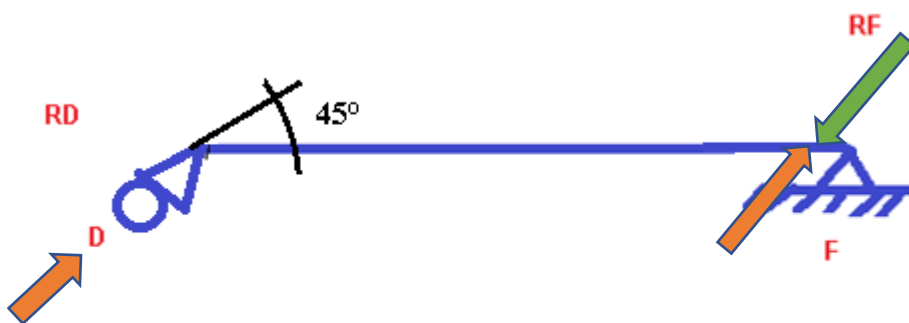


Figura 88. Viga DF

$$R_{dx} = 12.44 \text{ kgf}$$

$$R_{dy} = 4.16 \text{ kgf}$$

$$R_{fx} = 33.63 \text{ kgf}$$

$$R_{fy} = 5.55 \text{ kgf}$$

Viga CD

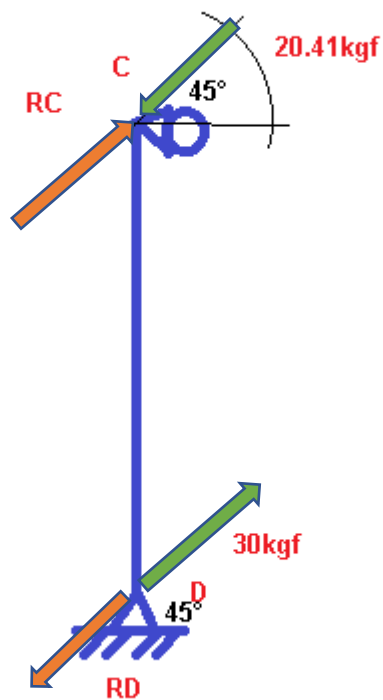


Figura 89. Viga RD

$$\sum F_x = 0 = -R_{cx} + Q \times l + R_{dx}$$

$$R_{cx} = 79.42 \times 1.095 + 12.44 \text{ kgf} = 99.40 \text{ kgf}$$

$$\sum F_y = 0 = -R_{cy} + R_{dy} \rightarrow R_{cy} = R_{dy} = 4.16 \text{ kgf}$$

$$\sum M_c = 0 = R_{dx} \times l + Q \times \frac{l^2}{2} \rightarrow R_{dx} = -Q \times \frac{l}{2} = -79.42 \times \frac{1.095}{2} = -43.48 \text{ kgf}$$

Figura 1A Norma CIRSOC

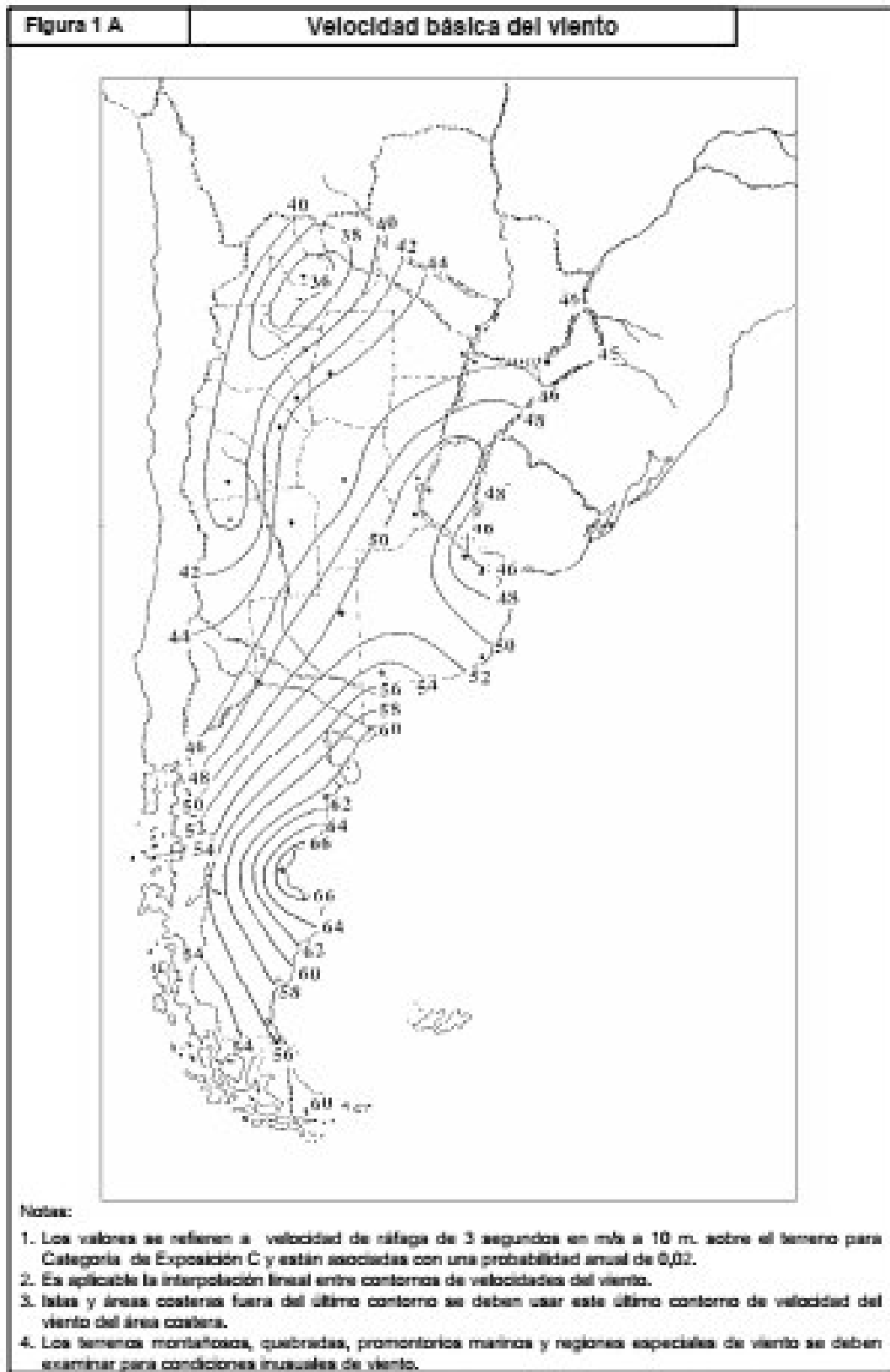


Tabla 6 pagina 53 de norma CIRSOC-102

Tipo de estructura	Factor de direccionalidad K_d *
Edificios	
Sistema principal resistente a la fuerza de viento	0,85
Componentes y revestimientos	0,85
Cubiertas abovedadas	0,85
Chimeneas, tanques y estructuras similares	
Cuadradas	0,90
Hexagonales	0,95
Redondas	0,95
Carteles llenos	0,85
Carteles abiertos y estructura reticulada	0,85
Torres reticuladas	
Triangular, cuadrada, rectangular	0,85
Toda otra sección transversal	0,95

Tabla A, factor de importancia I

Categoría	<i>I</i>
I	0,87
II	1,00
III	1,15
IV	1,15

Nota:

1. La clasificación de edificios y estructuras en categorías se indican en la Tabla A-1 del Apéndice A.

Extracto de la Tabla 1-A del Apéndice A

APÉNDICE A - CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS Y OTRAS ESTRUCTURAS

A los fines de la aplicación del presente Reglamento los edificios y otras estructuras se clasifican, basados en la naturaleza de su ocupación, de acuerdo con la Tabla A-1.

TABLA A-1 - Clasificación de Edificios y Otras Estructuras para Cargas de Viento

Naturaleza de la Ocupación	Categoría
Edificios y otras estructuras que representan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a: <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones Agrícolas. • Ciertas instalaciones temporarias. • Instalaciones menores para almacenamiento. 	I
Todos los edificios y otras estructuras excepto aquellos listados en Categorías I, III y IV.	II
Edificios y otras estructuras que representan un peligro substancial para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a: <ul style="list-style-type: none"> • Edificios y otras estructuras donde se reúnen más de 300 personas en un área. • Edificios y otras estructuras para guarderías, escuelas primarias y secundarias con capaci- 	

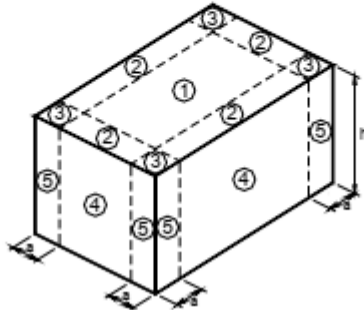
Parte de la tabla 5

Tabla 5		Coeficientes de exposición para la presión dinámica, K_h y K_z					
Altura sobre el nivel del terreno, z (m)	Exposición (Nota 1)						
	A		B		C	D	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2	
0 – 5	0,68	0,33	0,72	0,59	0,87	1,05	
6	0,68	0,36	0,72	0,62	0,90	1,08	
7,50	0,68	0,39	0,72	0,66	0,94	1,12	

Figura 2 de la norma CIRSOC-102 página 51

Parte de la tabla 3A página 50

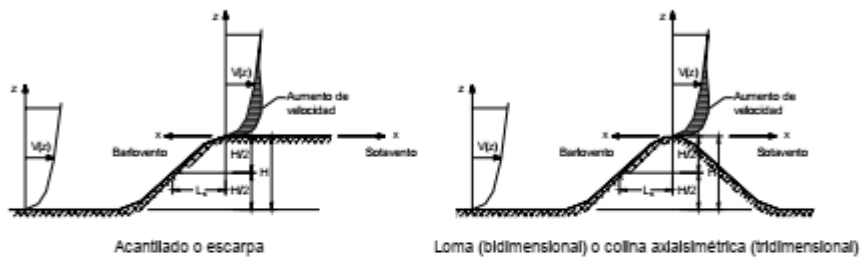
Componentes y revestimientos		$h \leq 10 \text{ m}$
Tabla 3 A (cont.)	Presiones del viento de diseño	Procedimiento simplificado Paredes
Edificios cerrados		



PRESIONES DEL VIENTO DE DISEÑO (N/m ²)										
Ubicación	Zona	Área efectiva de viento (m ²)	Velocidad básica del viento V (m/seg)							
			38	40	45	49	54	58	63	67
Paredes	4	1	+623	+719	+862	+1054	+1245	+1437	+1677	+1916
			-871	-766	-910	-1150	-1341	-1581	-1820	-2108
		5	+575	+623	+766	+910	+1102	+1293	+1485	+1724
		-623	-671	-862	-1054	-1245	-1437	-1677	-1916	
	50	+500	+527	+623	+766	+910	+1102	+1245	+1437	
		-527	-575	-719	-862	-1006	-1198	-1389	-1629	
5	1	1	+623	+719	+862	+1054	+1245	+1437	+1677	+1916
			-814	-910	-1150	-1389	-1677	-1964	-2251	-2587
	5	+575	+623	+766	+910	+1102	+1293	+1485	+1724	
	-719	-766	-958	-1198	-1389	-1629	-1916	-2203		
50	+500	+527	+623	+766	+910	+1102	+1245	+1437		
	-527	-575	-719	-862	-1006	-1198	-1389	-1629		

Figura 2

Factor topográfico, K_{zt}



Multiplicadores topográficos para exposición C

H/L_b	Multiplicador K_1			x/L_b	Multiplicador K_2		z/L_b	Multiplicador K_3		
	Loma bidim.	Escarpa bidim.	Colina tridim. axialsim.		Escarpa bidim.	Todos los otros casos		Loma bidim.	Escarpa bidim.	Colina tridim. axialsim.
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Notas:

1. Para valores de H/L_b , x/L_b y z/L_b distintos a los indicados, se permite la interpolación lineal.
2. Para $H/L_b > 0,5$, suponer que $H/L_b = 0,5$ para la evaluación de K_1 , y substituir L_b por $2H$ para la evaluación de K_2 y K_3 .
3. Los multiplicadores se basan en la suposición de que el viento se aproxima a la colina o escarpa en la dirección de máxima pendiente.

4. Simbología:

- H : altura de la colina o escarpa referida al terreno ubicado a barlovento, en m.
- L_b : distancia hacia barlovento, desde la cresta hasta el punto en que la diferencia de elevación del terreno es la mitad de la altura de la colina o escarpa, en m.
- K_1 : factor que tiene en cuenta las características topográficas y el efecto de máximo aumento de velocidad.
- K_2 : factor que tiene en cuenta la reducción en el aumento de velocidad, con la distancia desde la cresta, a barlovento o sotavento.
- K_3 : factor que tiene en cuenta la reducción en el aumento de velocidad con la altura sobre el terreno local.
- x : distancia (a barlovento o a sotavento) desde la cresta hasta el lugar del edificio, en m.
- z : altura sobre el nivel del terreno local, en m.
- μ : factor de atenuación horizontal.
- γ : factor de atenuación en altura.

10. ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Planta de destilación simple.....	14
Figura 2. Planta de Destilación en Múltiple Efecto	16
Figura 3. Presión osmótica (izquierda). Esquema de funcionamiento de la ósmosis inversa (derecha).....	19
Figura 4. Proceso de electrodiálisis.	20
Figura 5. Diferentes diseños de Solar Still.	22
Figura 6. Esquema destilador solar	25
Figura 7. Ensamble equipo propuesto	26
Figura 8. Partes del equipo	27
Figura 9. Subconjunto mecanismo cambio de azimut	28
Figura 10. Planta de agua de las Salinas, Chile.....	31
Figura 11. Patente US4921580.....	34
Figura 12. Patente US 2007/0193872 A1	35
Figura 13. Esquema de funcionamiento.....	36
Figura 14. Ecuación de Bernoulli	41
Figura 15. Gráfica para calculo dimensiones del espejo parabólico	42
Figura 16. Fuerza debida al viento y reacciones de tornillos sujeción espejo.....	44
Figura 17. Análisis de las sollicitaciones del tornillo que sujeta al espejo	45
Figura 18. Detalle sujeción soporte.....	46
Figura 19. Esfuerzos en el tornillo de sujeción del soporte	47
Figura 20. Fuerza debida al viento ejercida en el soporte	48
Figura 21. Soporte equipo destilador solar (a). Plano N° 18	49
Figura 22. Soporte original (b). Plano N°18	49
Figura 23. Dimensiones soporte	50
Figura 24. Segundo prototipo de soporte.....	50
Figura 25. Soporte optimizado. Captura de pantalla	52
Figura 26. Análisis de tensiones soporte optimizado	53
Figura 27. Simulación desplazamientos soporte optimizado.....	53
Figura 28. Análisis de deformaciones debido a la fuerza del viento	53
Figura 29. Deformaciones del soporte del equipo	54
Figura 30. Soporte optimizado, modelo 3	54
Figura 31. Nodos en la estructura soporte espejo.....	55
Figura 32. Viga isostática AB.....	55
Figura 33. Fuerza debida al viento y reacciones de tornillos sujeción espejo.....	61

Figura 34. Análisis de las solicitaciones del tornillo que sujeta al espejo 62

Figura 35. Detalle sujeción soporte..... 63

Figura 36. Esfuerzos en el tornillo de sujeción del soporte 64

Figura 37. Fuerza debida al viento ejercida en el soporte 65

Figura 38. Cordón de soldadura 66

Figura 39. Análisis de esfuerzo cordón de soldadura..... 66

Figura 40. Simulación de tensiones en el soporte móvil del equipo 67

Figura 41. Análisis desplazamientos soporte 67

Figura 42. Deformaciones unitarias del soporte..... 67

Figura 43. Soporte tanques de agua..... 68

Figura 44. Esfuerzos soporte tanques de agua..... 69

Figura 45. Análisis de tensiones en soporte de tanques 70

Figura 46. Estudio de deformaciones soporte de tanques 70

Figura 47. Solicitaciones debidas a presión, cálculo de cañería 73

Figura 48. Cañería ingreso de agua salada al tubo de vidrio 79

Figura 49. Cañería agua destilada egreso tubo de vidrio al vacío 81

Figura 50. Automatismo equipo 82

Figura 51. Reducción engranajes 83

Figura 52. Ángulo horario 86

Figura 53. Situación A posición..... 87

Figura 54. Situación B posición..... 88

Figura 55. Situación C posición 89

Figura 56. Situación D posición 90

Figura 57. Situación E posición..... 91

Figura 58. Situación F posición..... 91

Figura 59. Situación G posición 92

Figura 60. Situación H posición 93

Figura 61. Situación I posición..... 93

Figura 62. Situación J posición 94

Figura 63. Situación K posición..... 95

Figura 64. Situación L posición 95

Figura 65. Situación M posición..... 96

Figura 66. Movimiento mecanismo cambio azimut. Ver plano Nro 2..... 97

Figura 67. Esquema conexión eléctrica avance retroceso equipo..... 98

Figura 68. Diagrama de lógica PLC 101

Figura 69. Conexión tubo de vidrio al vacío y cañerías	104
Figura 70. Plano N°7 conexión de tubo de vidrio al vacío	105
Figura 71. Ensamblaje espejo con soporte optimizado	107
Figura 72. Fuerza ejercida por el viento en la estructura y reacciones.....	115
Figura 73. Viga CF.....	116
Figura 74. Viga DF.....	117
Figura 75. Viga BC	118
Figura 76. Viga AB.....	118
Figura 77. Viga BD	119
Figura 78. Viga AD	119
Figura 79. Soporte optimizado dimensiones	120
Figura 80. fuerzas y reacciones de vinculo en el soporte del espejo parabólico	121
Figura 81. Viga CJ.....	121
Figura 82. Viga JB	122
Figura 83. Viga BG	124
Figura 84. Viga GF	125
Figura 85. Viga IJ.....	125
Figura 86. Viga DB	126
Figura 87. Viga GH.....	127
Figura 88. Viga DF.....	127
Figura 89. Viga RD	128

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

i Pacheco Alonso, A. (14 de Septiembre de 2022), Incendios en Argentina: por qué son una problemática devastadora y cuál es su vínculo con el cambio climático. *En Infobae*. Recuperado de: <https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2022/09/14/incendios-en-argentina-por-que-son-un-problematika-devastadora-y-cual-es-su-vinculo-con-el-cambio-climatico/>

ii Klink, F. A. (1994). Agua, economía y medio ambiente: interdependencias físicas y la necesidad de nuevos conceptos. *Revista de Estudios Agrosociales*, (167), 113-130.

iii Pflüger, J. C. (2007). El agua potable en la República Argentina – Diagnóstico de fuentes de agua en algunas localidades.

iv Vázquez, H., Ortolani, V., Rizzo, G., Bachur, J., & Pidustwa, V. (2000, Diciembre). Arsénico en aguas subterráneas. Criterios para la adopción de límites tolerables. In *XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Brazil*.

v Oliva, A.; Staffolani, C.; Di Leo, N.; Montico, S.; David, F. (12 de mayo de 2019). Advierten que el agua tiene muy mala calidad en la Región Centro. *Diario Uno*. Recuperado de <https://www.unoentrerios.com.ar/pais/advierten-que-el-agua-tiene-muy-mala-calidad-la-region-centro-n1762350.html>

vi Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable, recomendaciones*. (Primer apéndice a la tercera edición Vol. 1).

vii Luque, J. L. (3 agosto 2018). CALIDAD DE AGUA PARA BEBIDA DE ANIMALES. Lugar de publicación: *Página oficial del INTA*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_guia_calidad_agua_bebida_animales.pdf

viii Schumkler, M., & Garrido, S. (2015). Energías renovables y políticas de electrificación rural en Argentina. Análisis de la trayectoria socio-técnica del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER). *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 19.

ix Moya, E. Z. (1997). Desalinización del agua del mar mediante energías renovables. In *Actas del I y II seminario del agua* (pp. 199-226). Instituto de Estudios Almerienses.

x De la Cruz, C. (2006). *La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables*. Fundación Alternativas.

xi Moya, E. Z. (1997). Desalinización del agua del mar mediante energías renovables. In *Actas del I y II seminario del agua* (pp. 199-226). Instituto de Estudios Almerienses.

xii Luna Palma, H. M. (2018). Uso de células solares destiladoras en lixiviados de residuos sólidos domésticos, para su tratamiento, en planta piloto acondicionada en vivienda del distrito de Independencia, Huaraz–Ancash, octubre 2015–julio 2016.

xiii Potabilización del agua en Río Negro, publicado en: <https://aguasrionegrinas.com/potabilizacion/>

xiv Ósmosis inversa en Río Negro, publicado en: <https://aguasrionegrinas.com/control-de-calidad/#osmosis>

xv Potabilización del agua en Santa Fe, publicado en: <https://www.aguasantafesinas.com.ar/portal/calidad-del-agua/>

xvi CONJUNTO DE DESTILADOR SOLAR. Lugar de publicación: <https://portaltramites.inpi.gob.ar/Home/frame?page=https://consultas.inpi.gob.ar/patconsultaavanzada.aspx>

xvii Solar water distiller, patente número 4921580, de 1 de mayo de 1990. Publicado en <https://patents.google.com/patent/US4921580A/en>

xviii Integrated solar liquid heater, distiller and pasteurizer system, patente número US 2007/0193872 A1, de 23 de Agosto de 2007. Publicado en <https://patents.google.com/patent/US20070193872>

xix Mapa de la “Línea Sur”, ruta 23 de la provincia de Río Negro, en <https://www.patagonia-argentina.com/la-ruta-nacional-23/>

xx Desalinización del agua, Organización Mundial de la Salud. (p. 98, 2006). Guías para la calidad del agua potable, recomendaciones. (Primer apéndice a la tercera edición Vol. 1).

xxi Ejercicios de soluciones, en <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%2>

0CATEDRA/cesar%20Romero/ACTUALIZACION%20EN%20SOLUCIONES%20Y%20SUS%20APLICACIONES%20PRACTICAS.pdf

xxii Química, Conceptos fundamentales, UNL en <http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/quimica/#1501904958175-c4bc657c-b680>

xxiii Fuente consultada: Tolcachier, Alberto Jorge. Medicina Ambiental - Contaminación del Agua. Libro Virtual Intramed.

xxiv Consumo cuidado extraído de: https://www.buenosaires.gob.ar/areas/educacion/recursos/medio_ambiente/sumo_cuidado.pdf?menu_id=31059

xxv Gallego, J. J., Neira Zilli, F., Baffoni, P., & Garcilazo, M. G. Estación Experimental Agropecuaria Valle inferior del Río Negro.

xxvi Página 209, V.M. Faires, “Diseño de elementos de máquinas”, 4ta edición.

xxvii Página 209, V.M. Faires, “Diseño de elementos de máquinas”, 4ta edición.

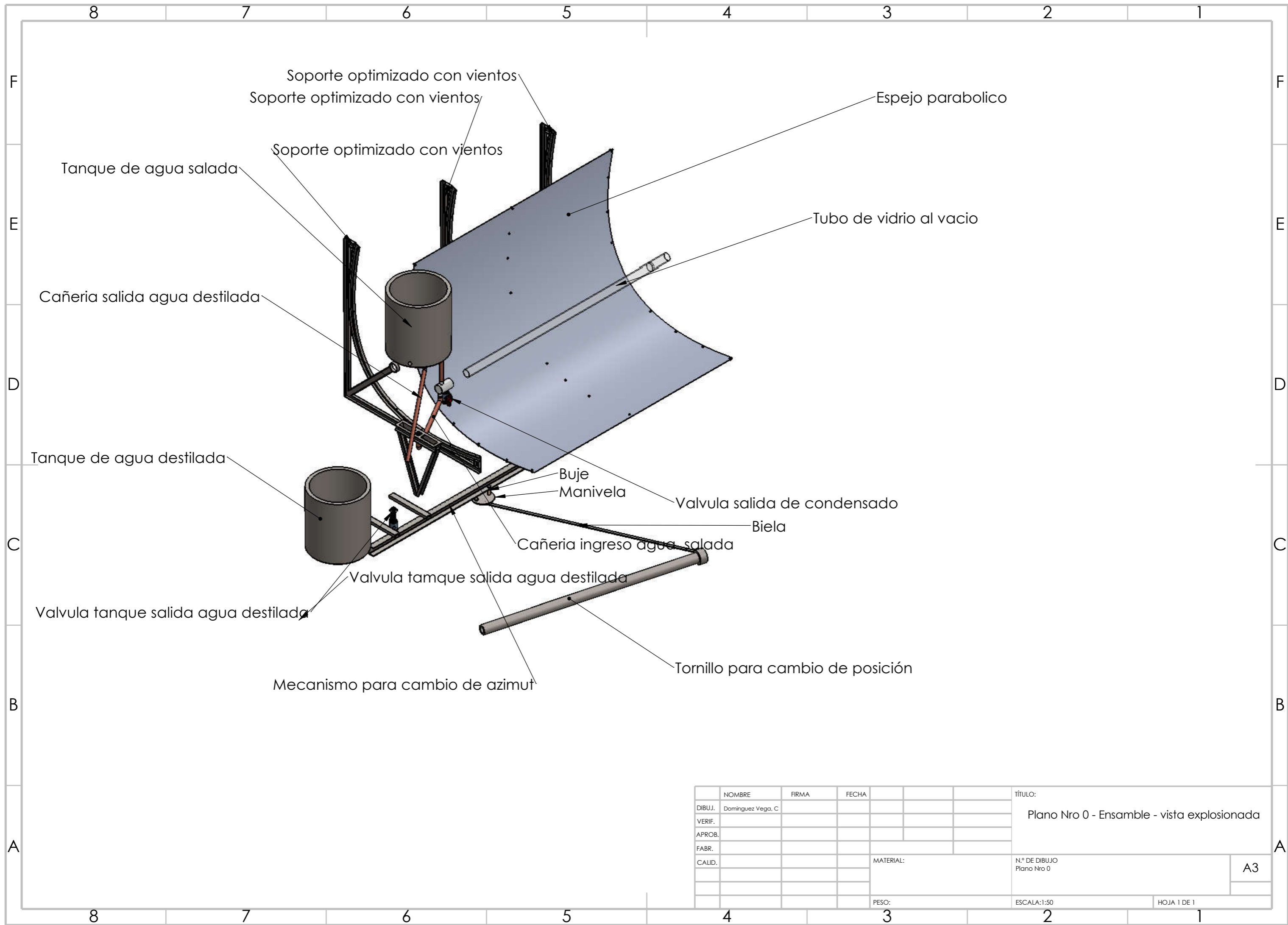
xxviii Ventajas y desventajas de los seguidores solares. Disponible en: <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>

xxix De Wikipedia, seguidores solares. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Seguidor_solar

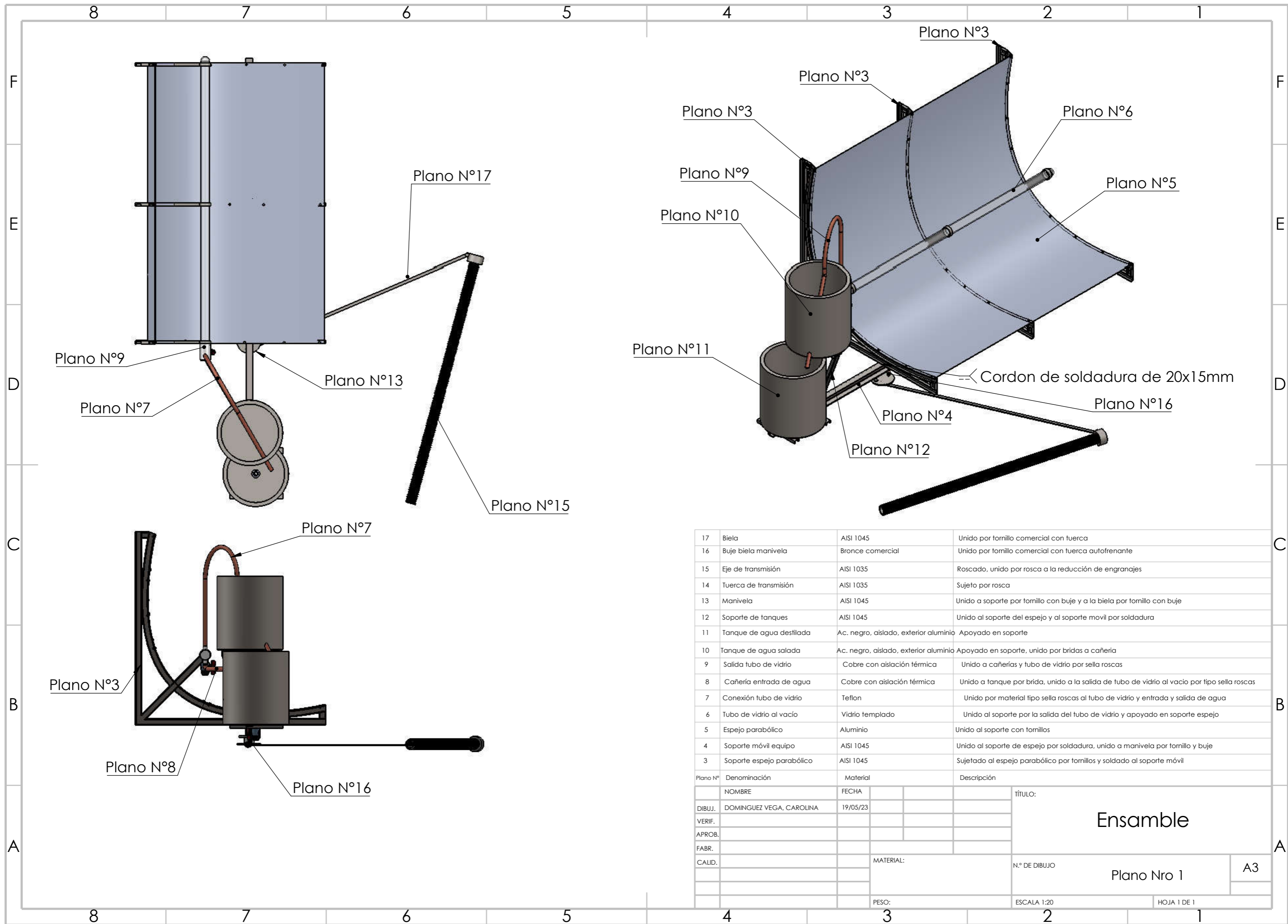
xxx Díaz Velilla, J. P. (2018). Desarrollo de un prototipo mecatrónico de seguidor solar parabólico para la edificación (Doctoral dissertation, Edificación).

xxxi Jorroto Zaguirre, S., Pulido-Bosch, A., Gisbert Gallego, J., & Sánchez Martos, F. (2005). Las diagráffas y la caracterización de la influencia de los bombeos de agua de mar sobre el acuífero del delta del Andarax (Almería). Ind Minería, 362, 15-21.

xxxii Página 209, V.M. Faires, “Diseño de elementos de máquinas”, 4ta edición.

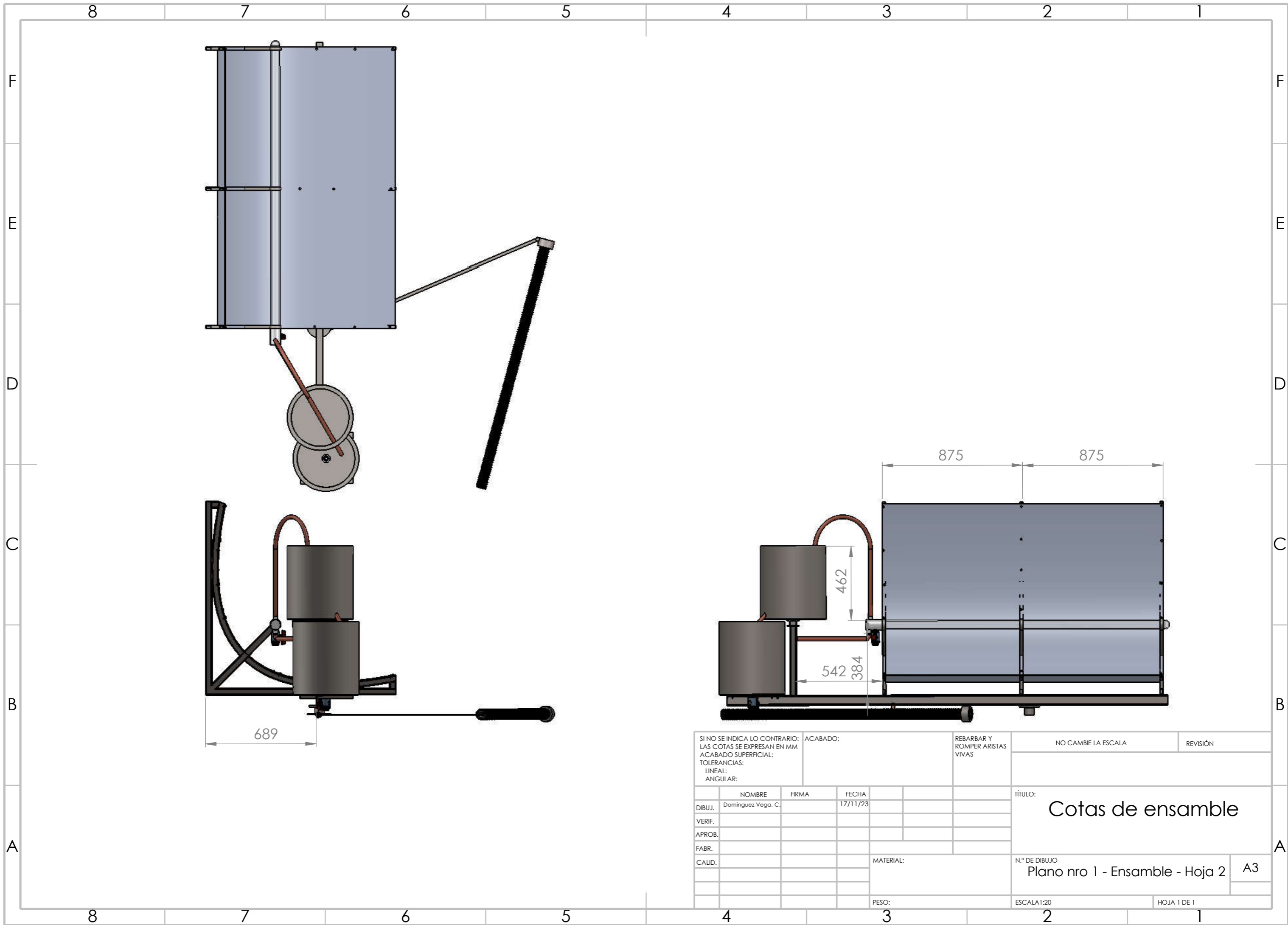


	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	Dominguez Vega, C					Plano Nro 0 - Ensamble - vista explosionada
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO Plano Nro 0
						A3
				PESO:		ESCALA:1:50
						HOJA 1 DE 1

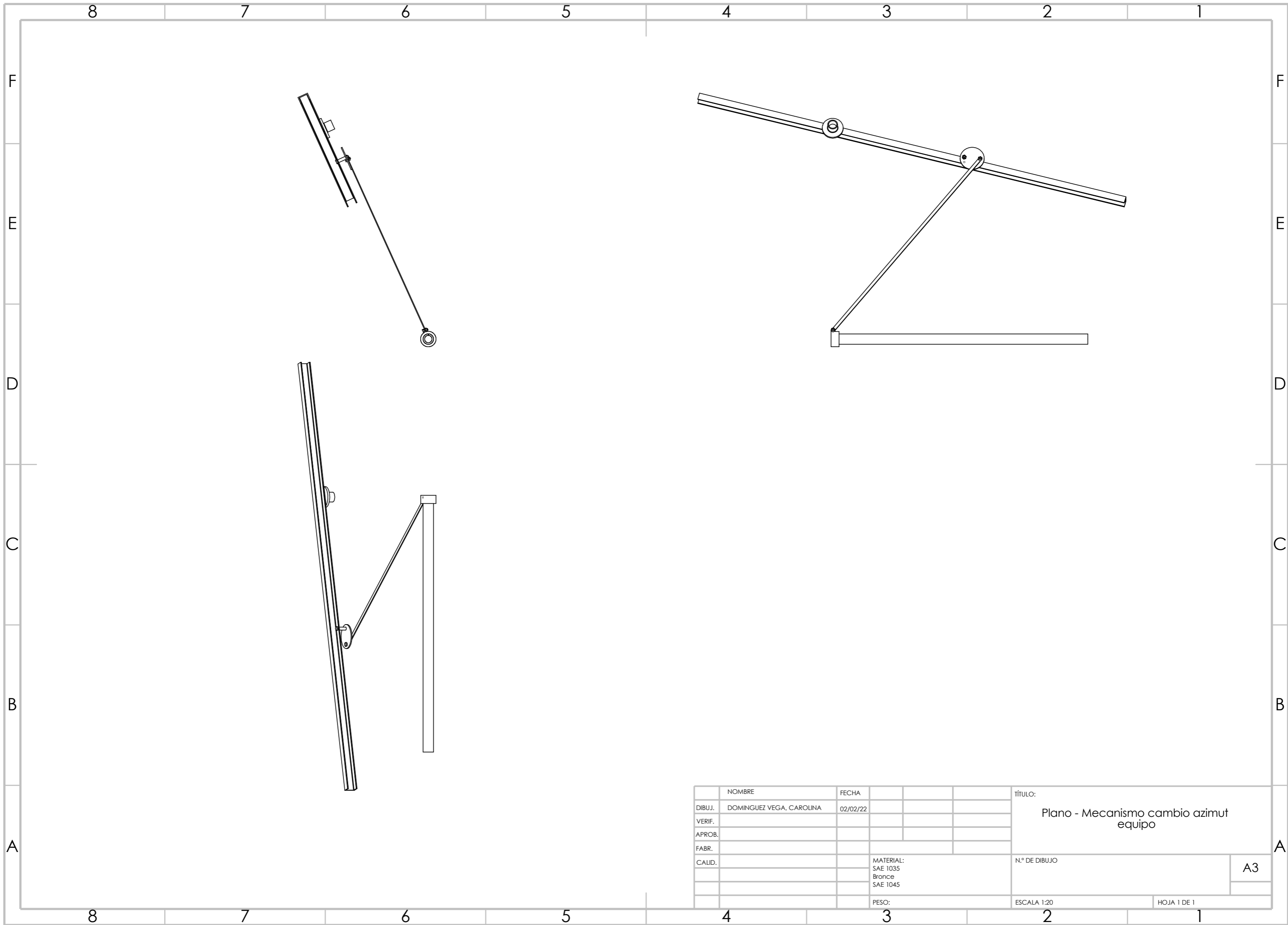


17	Biela	AISI 1045	Unido por tornillo comercial con tuerca
16	Buje biela manivela	Bronce comercial	Unido por tornillo comercial con tuerca autofrenante
15	Eje de transmisión	AISI 1035	Roscado, unido por rosca a la reducción de engranajes
14	Tuerca de transmisión	AISI 1035	Sujeto por rosca
13	Manivela	AISI 1045	Unido a soporte por tornillo con buje y a la biela por tornillo con buje
12	Soporte de tanques	AISI 1045	Unido al soporte del espejo y al soporte móvil por soldadura
11	Tanque de agua destilada	Ac. negro, aislado, exterior aluminio	Apoyado en soporte
10	Tanque de agua salada	Ac. negro, aislado, exterior aluminio	Apoyado en soporte, unido por bridas a cañería
9	Salida tubo de vidrio	Cobre con aislación térmica	Unido a cañerías y tubo de vidrio por sella roscas
8	Cañería entrada de agua	Cobre con aislación térmica	Unido a tanque por brida, unido a la salida de tubo de vidrio al vacío por tipo sella roscas
7	Conexión tubo de vidrio	Teflon	Unido por material tipo sella roscas al tubo de vidrio y entrada y salida de agua
6	Tubo de vidrio al vacío	Vidrio templado	Unido al soporte por la salida del tubo de vidrio y apoyado en soporte espejo
5	Espejo parabólico	Aluminio	Unido al soporte con tornillos
4	Soporte móvil equipo	AISI 1045	Unido al soporte de espejo por soldadura, unido a manivela por tornillo y buje
3	Soporte espejo parabólico	AISI 1045	Sujetado al espejo parabólico por tornillos y soldado al soporte móvil
Plano N°	Denominación	Material	Descripción

	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	19/05/23			Ensamble
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	Plano Nro 1
			PESO:	ESCALA 1:20	A3
				HOJA 1 DE 1	



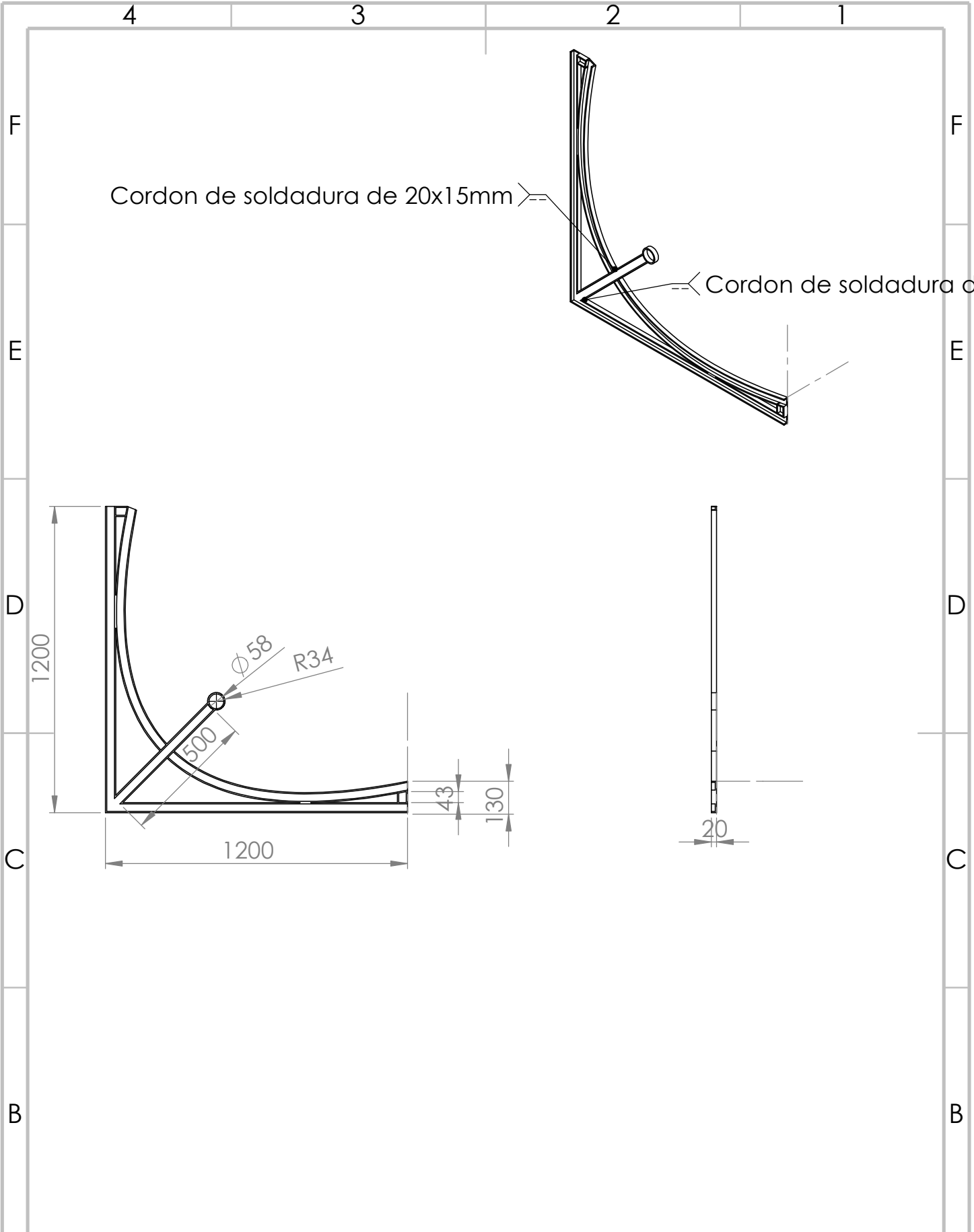
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE Dominguez Vega, C.	FIRMA	FECHA 17/11/23		TÍTULO: Cotas de ensamble	
VERIF.					N.º DE DIBUJO Plano nro 1 - Ensamble - Hoja 2	A3
APROB.				MATERIAL:	ESCALA 1:20	HOJA 1 DE 1
FABR.				PESO:		
CALID.						



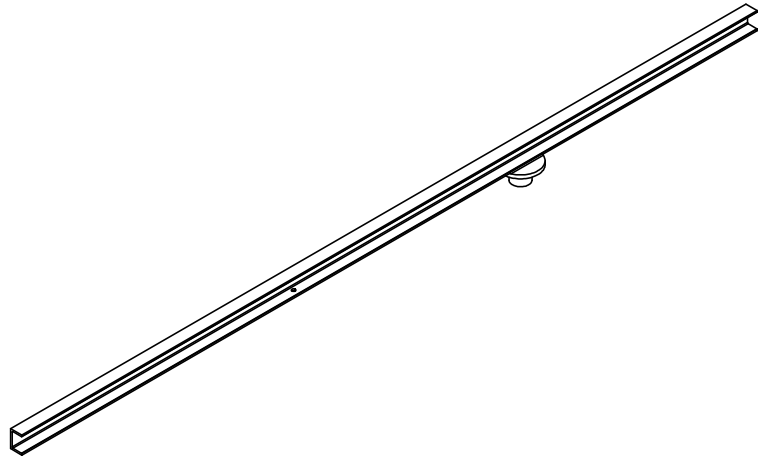
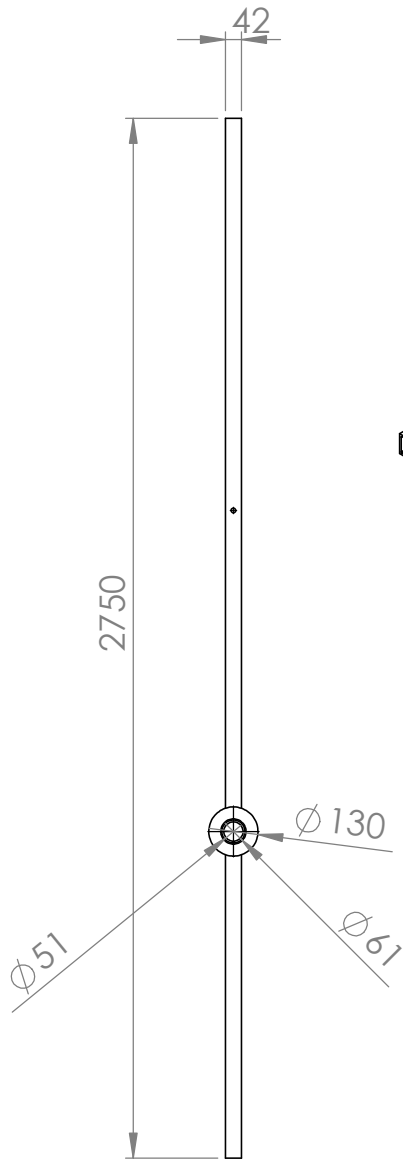
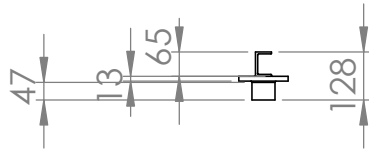
	NOMBRE	FECHA				título:
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	02/02/22				Plano - Mecanismo cambio azimut equipo
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.			MATERIAL:			N.º DE DIBUJO
			SAE 1035			A3
			Bronce			
			SAE 1045			
			PESO:			ESCALA 1:20
						HOJA 1 DE 1

Cordon de soldadura de 20x15mm

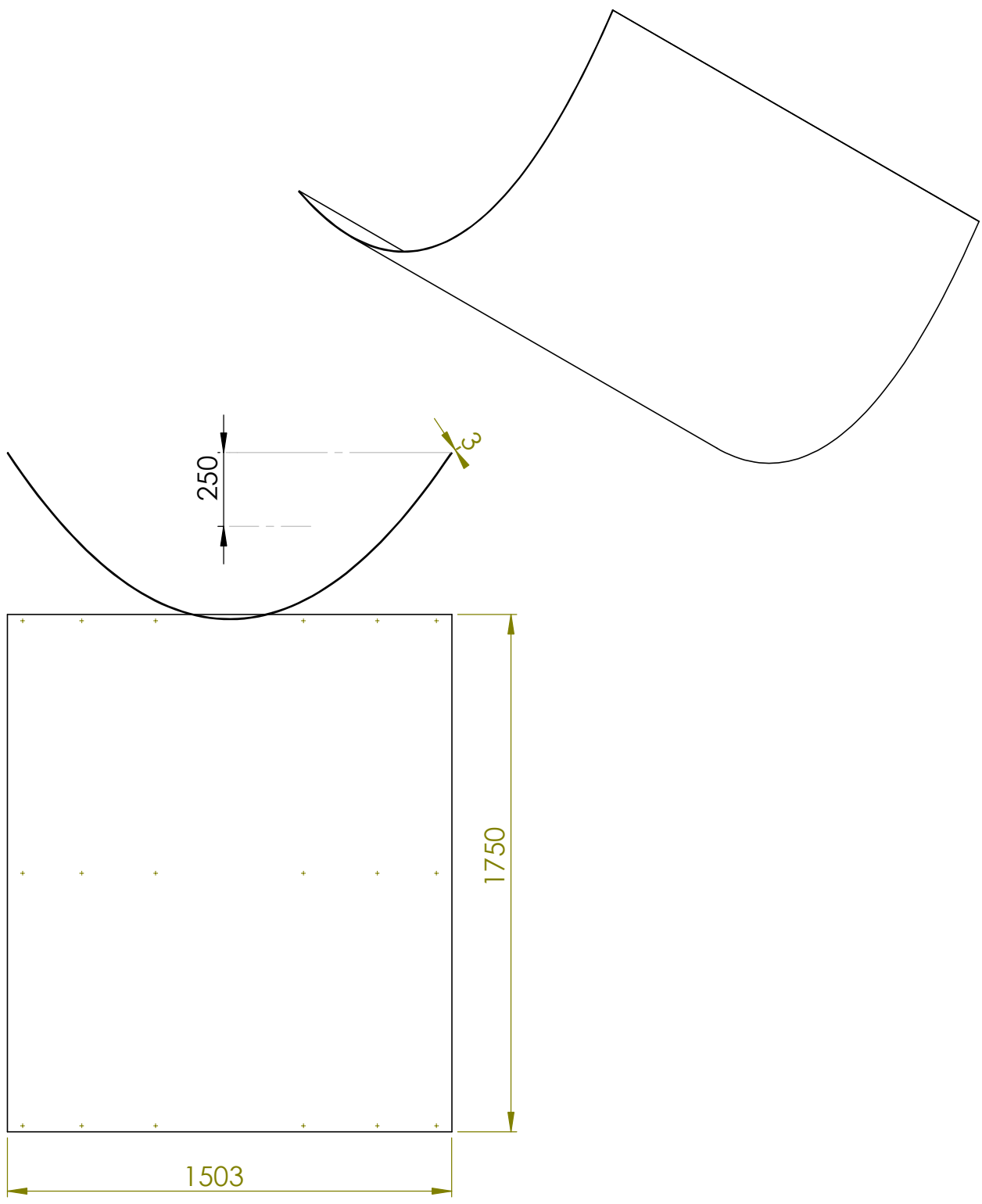
Cordon de soldadura de



	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, C		06-02-23		Plano Nro 3 - Soporte optimizado con vientos
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
				AISI 1045	Plano N° 3
				PESO: 14 KG aprox	ESCALA: 1:20
					HOJA 1 DE 1
					A4



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22			Soporte móvil equipo
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL: AISI 1045	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1

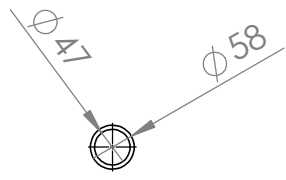


	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:	<h1>Espejo parabólico</h1>	
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22					
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.			MATERIAL: ALEACIÓN DE ALUMINIO 1060	N.º DE DIBUJO	Plano Nro 5	A4	
			PESO:	ESCALA 1:20	HOJA 1 DE 1		

4 3 2 1

F

F



E

E

D

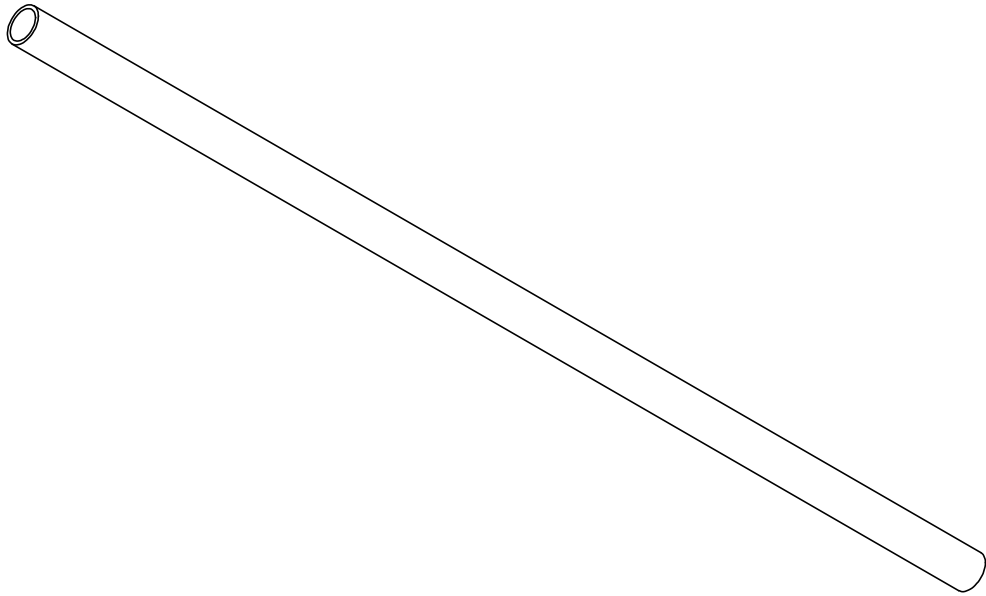
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
			MATERIAL: VIDRIO DE BORO SILICATO	
			PESO:	

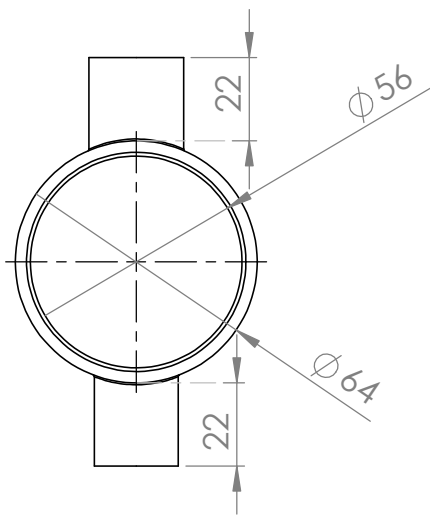
TÍTULO:	Tubo de vidrio al vacío		
N.º DE DIBUJO	Plano Nro 6	A4	
ESCALA 1:10		HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

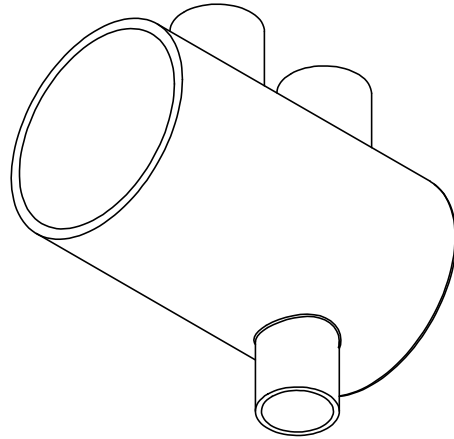


E

E

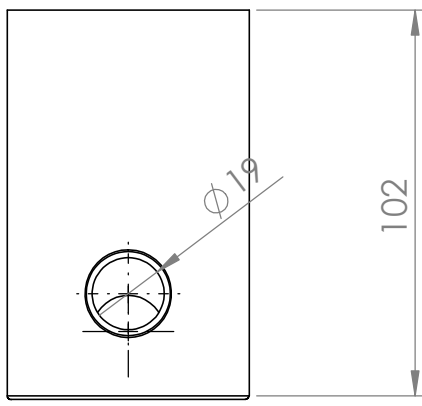
D

D



C

C



B

B

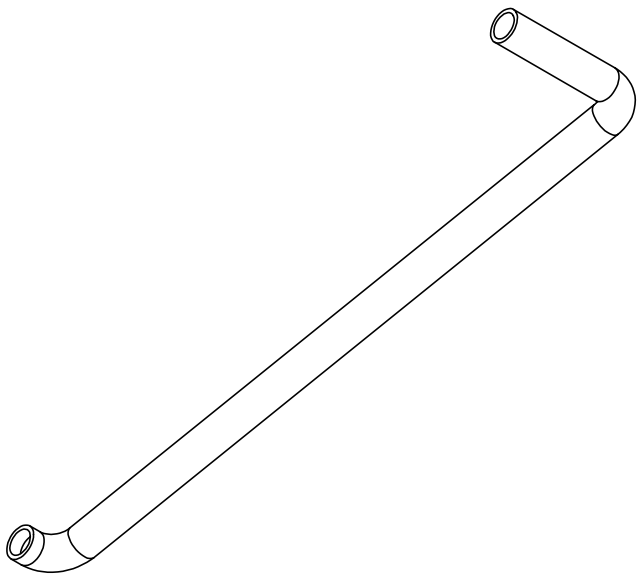
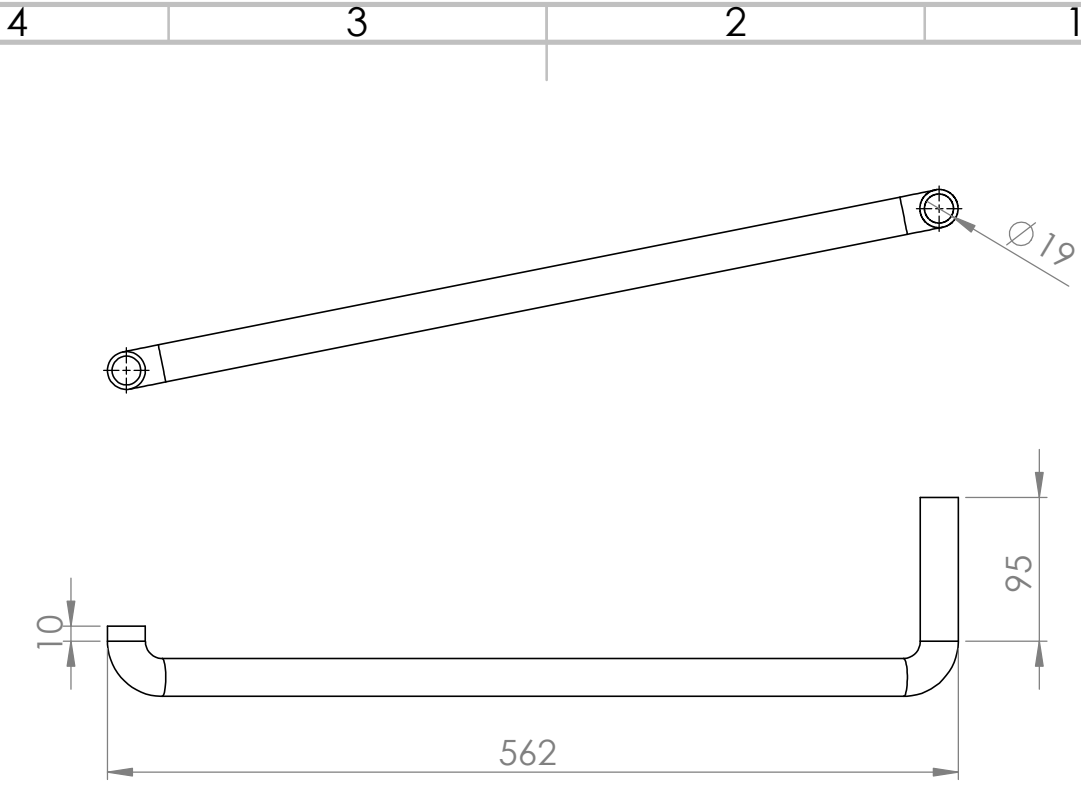
A

A

	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.			MATERIAL: TEFLON	
			PESO:	

TÍTULO:	Conexión tubo de vidrio		
N.º DE DIBUJO	Plano Nro 7	A4	
ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:	Cañería entrada de agua	
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22					
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		A4	
			COBRE	Plano Nro 8			
			PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1		

4 3 2 1

F

F

E

E

D

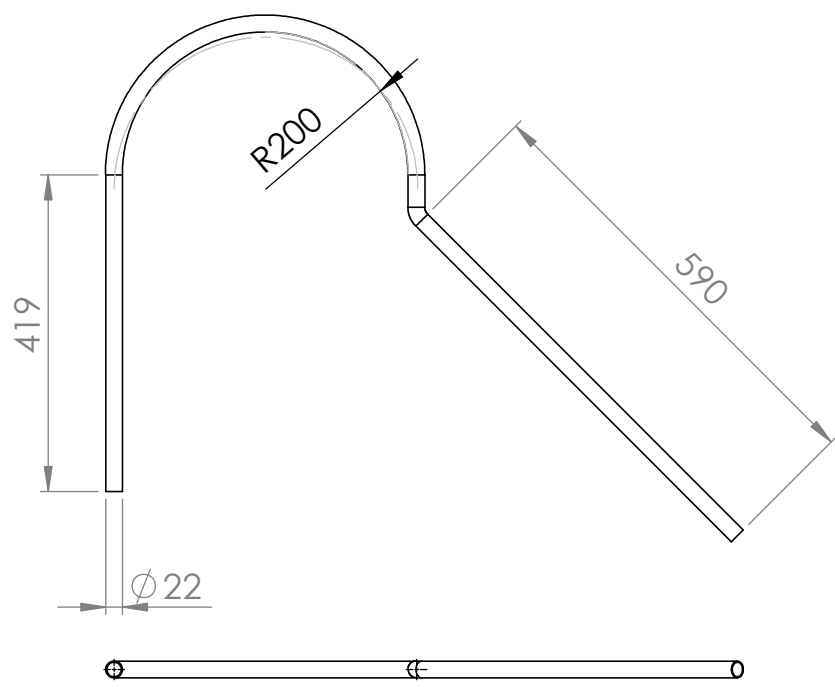
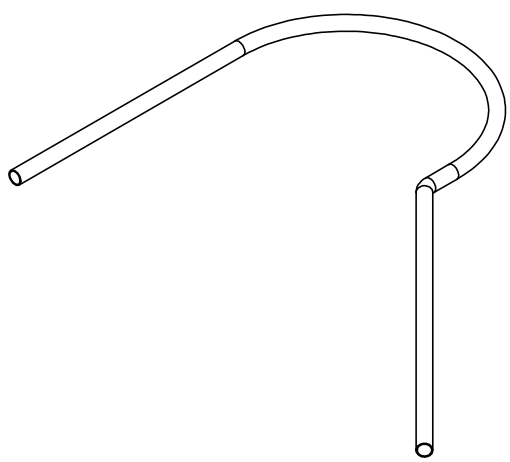
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.			MATERIAL: COBRE	
			PESO:	

TÍTULO:	Salida tubo de vidrio al vacío		
N.º DE DIBUJO	Plano Nro 9	A4	
ESCALA:	1:10	HOJA	1 DE 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

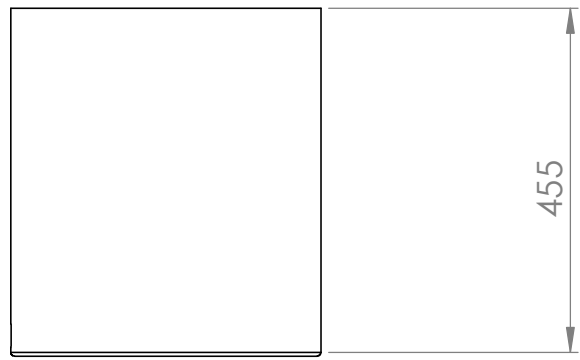
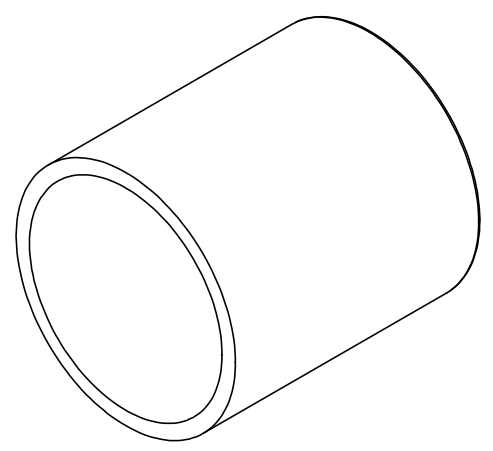
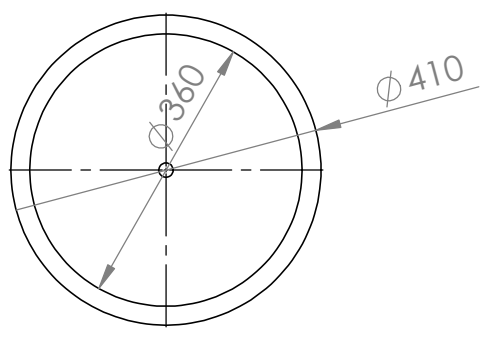
D

C

C

B

B



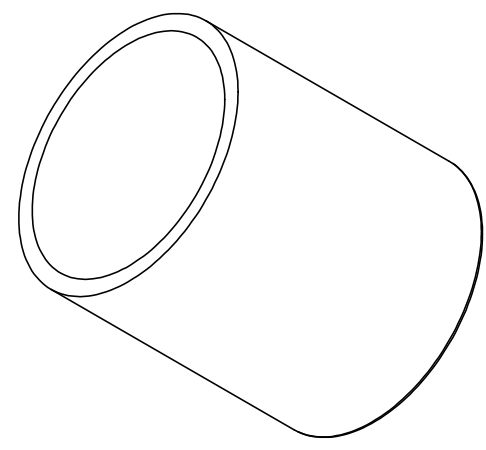
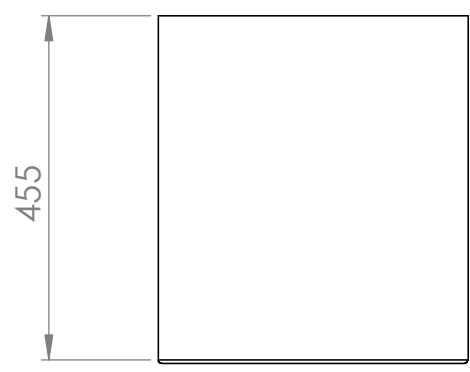
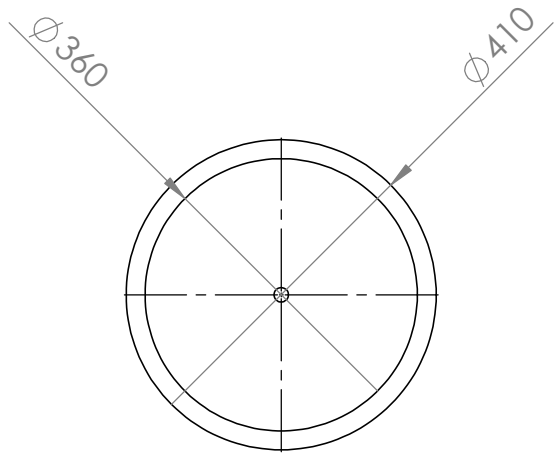
A

A

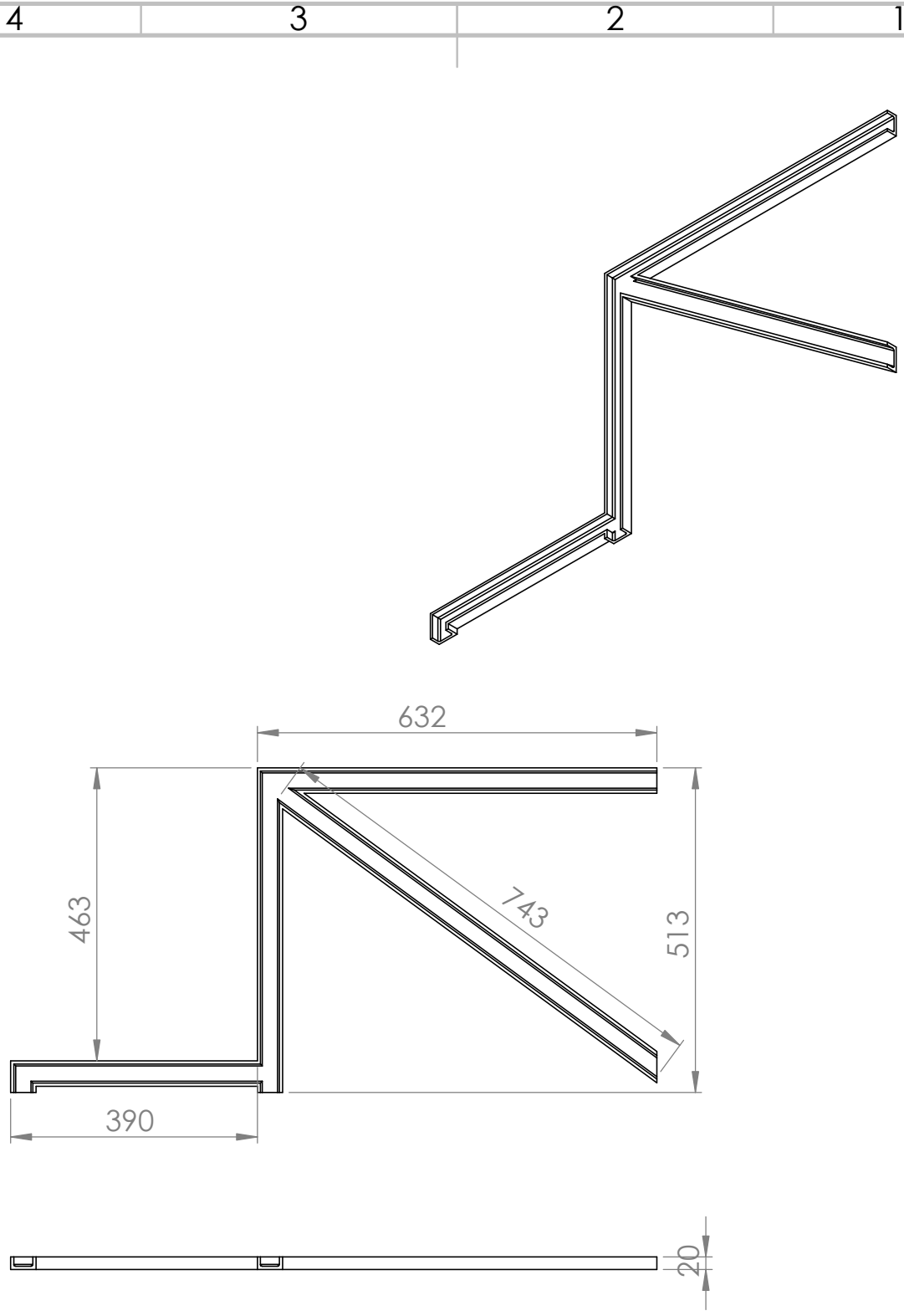
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
	MATERIAL / DESCRIPCIÓN		N.º DE DIBUJO	
	AISI 1045 (acero negro) con aislación		Plano Nro 10	
	térmica (POLIURETANO) y exterior de			
	ALUMINIO		A4	
	Ver catagolo tanques modelo ACR 30			
	PESO:		ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1

TÍTULO:
Tanque agua salada

4 3 2 1



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22			Tanque agua destilada
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
			MATERIAL: AISI 1045 POLIURETANO ALUMINIO	N.º DE DIBUJO	
			PESO:	ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1
					Plano Nro 11
					A4



	NOMBRE	FECHA		TÍTULO:	<h1>Soporte tanques de agua</h1>	
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22				
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.			MATERIAL: AISI 1045	N.º DE DIBUJO	Plano Nro 12	A4
			PESO:	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

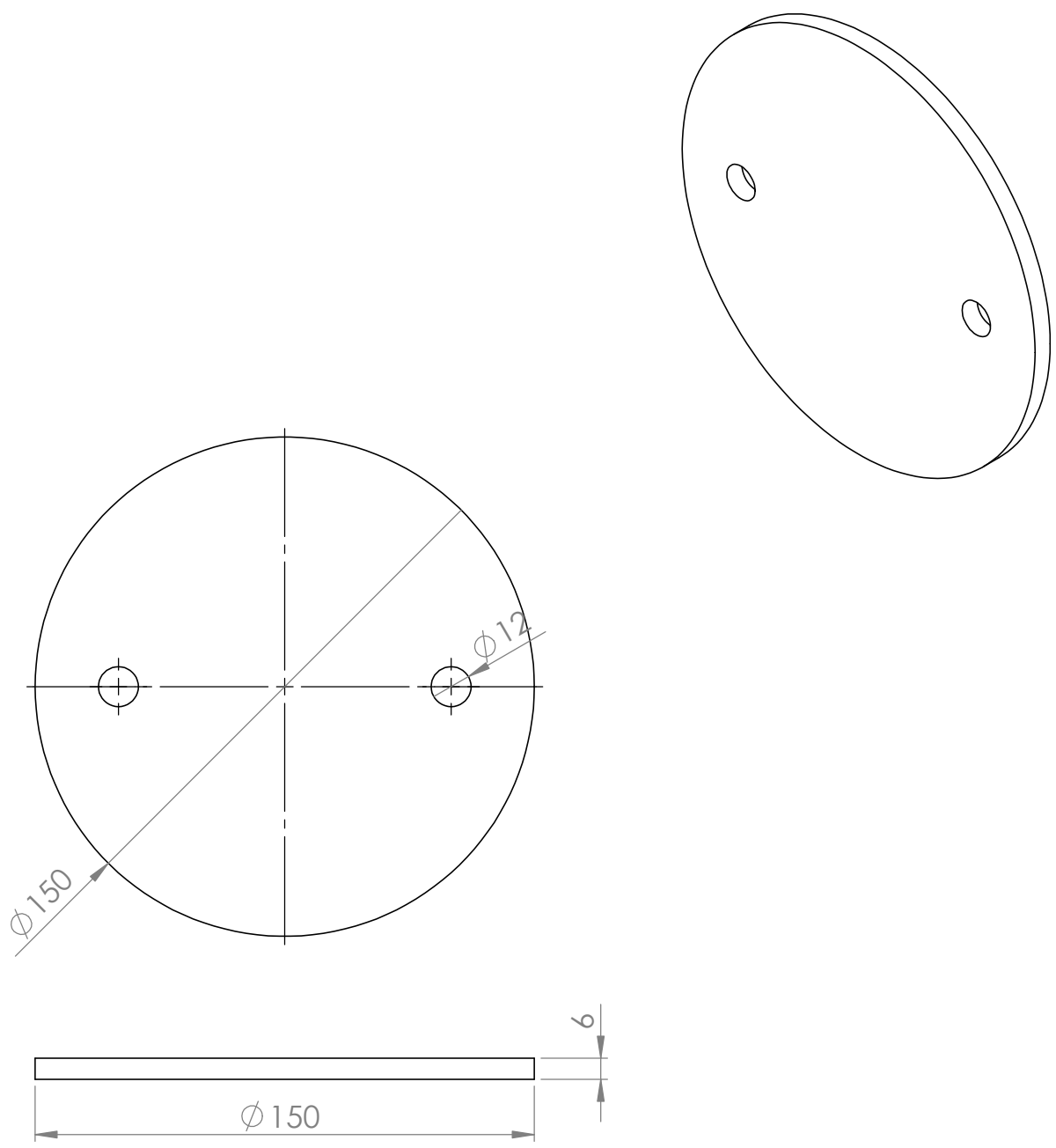
D

C

C

B

B



A

A

	NOMBRE	FECHA			
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22			
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL: AISI 1045		
			PESO:		

TÍTULO:	Manivela	
N.º DE DIBUJO	Plano Nro 13	A4
ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

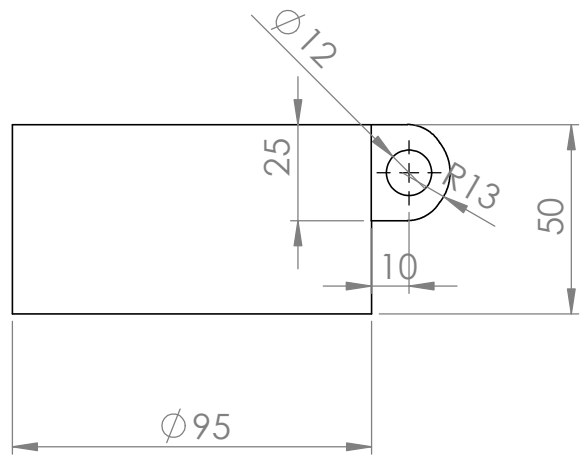
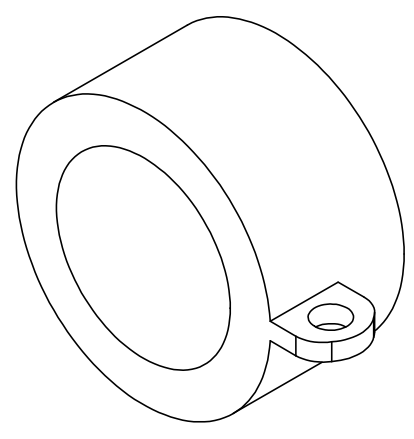
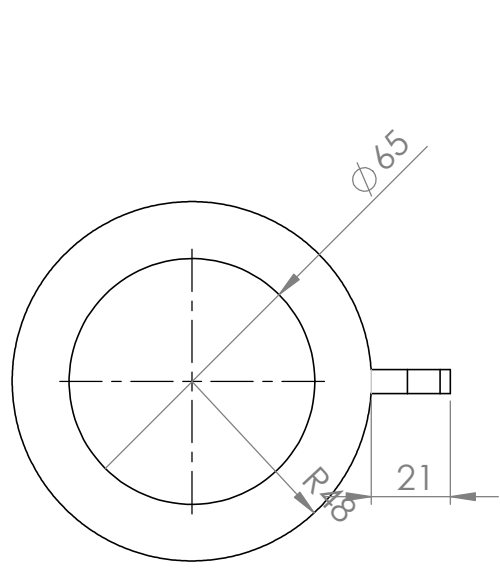
D

C

C

B

B



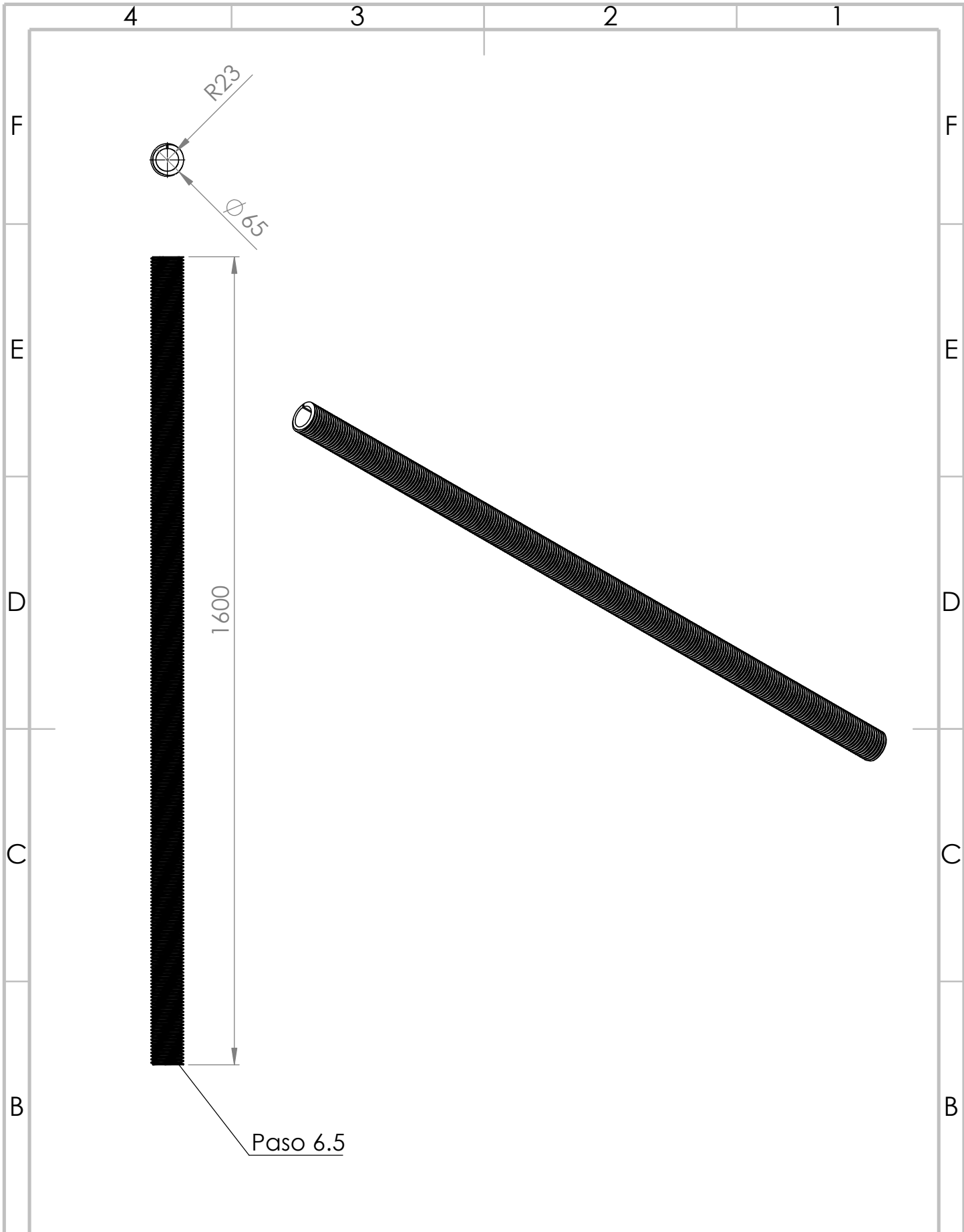
A

A

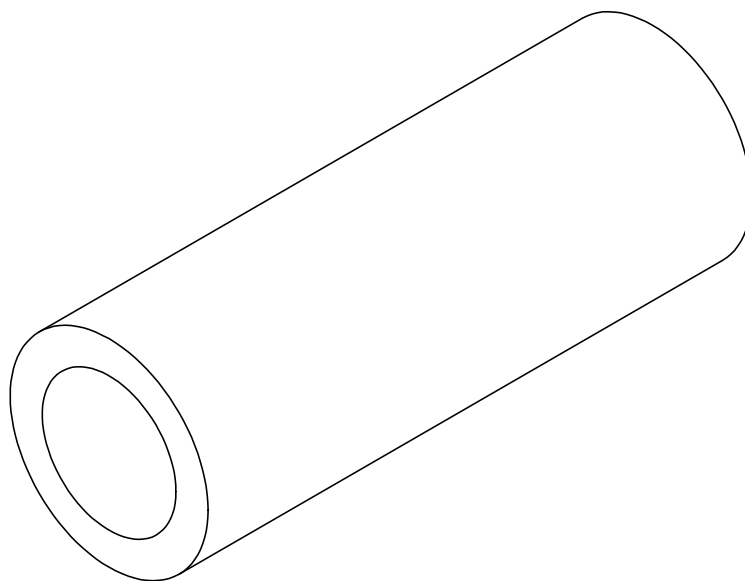
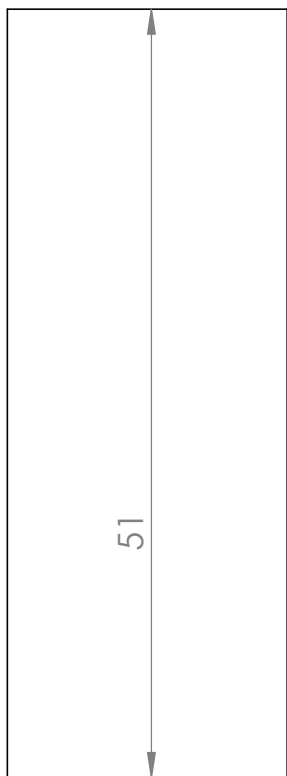
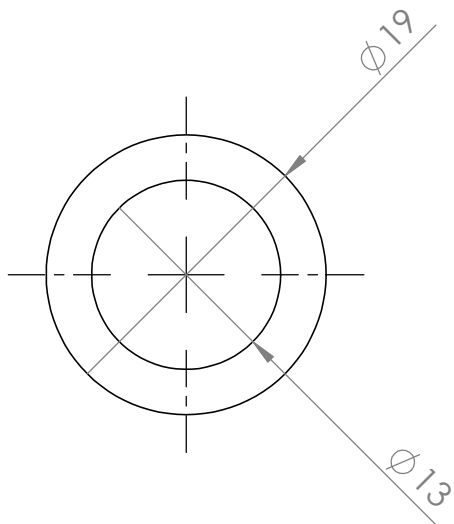
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.			MATERIAL: AISI 1035	
			PESO:	

TÍTULO:	Tuerca transmisión cambio de azimut		
N.º DE DIBUJO	Plano Nro 14	A4	
ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22			Eje de transmisión		
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	Plano Nro 15	A4	
			AISI 1035				
			PESO:	ESCALA 1:10	HOJA 1 DE 1		



F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

A

A

	NOMBRE	FECHA		
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22		
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.			MATERIAL: BRONCE COMERCIAL	
			PESO:	

TÍTULO:

Buje de biela manivela

N.º DE DIBUJO

Plano Nro 16

A4

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1

4

3

2

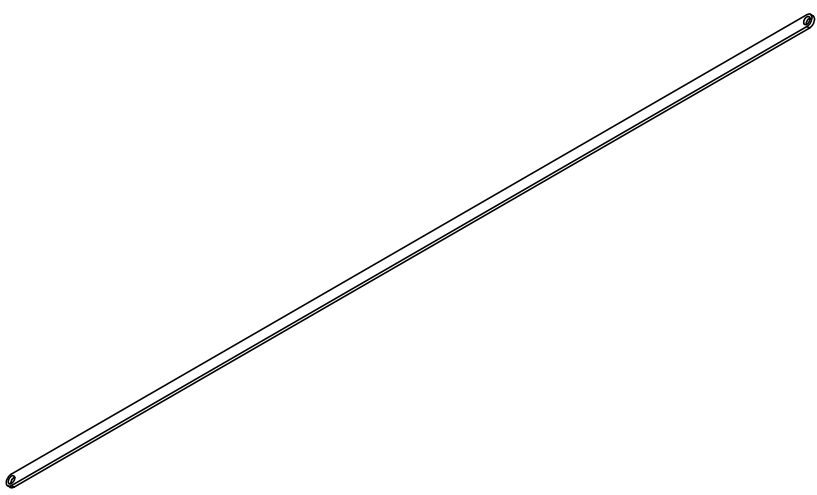
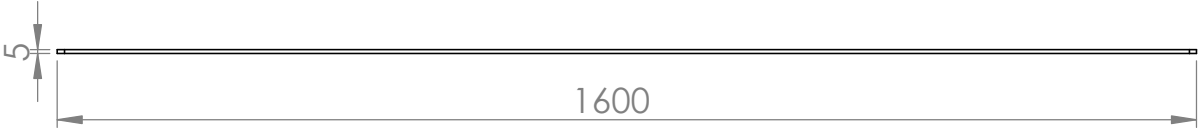
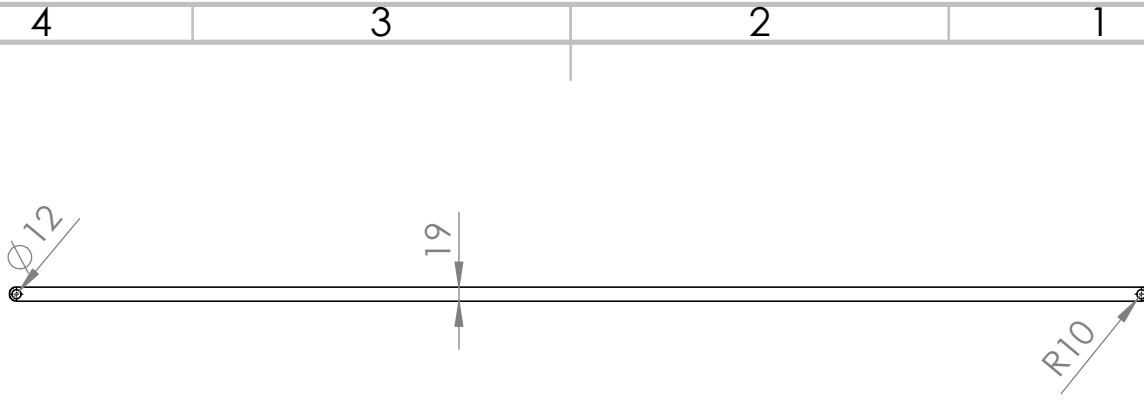
1

4

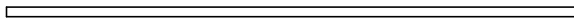
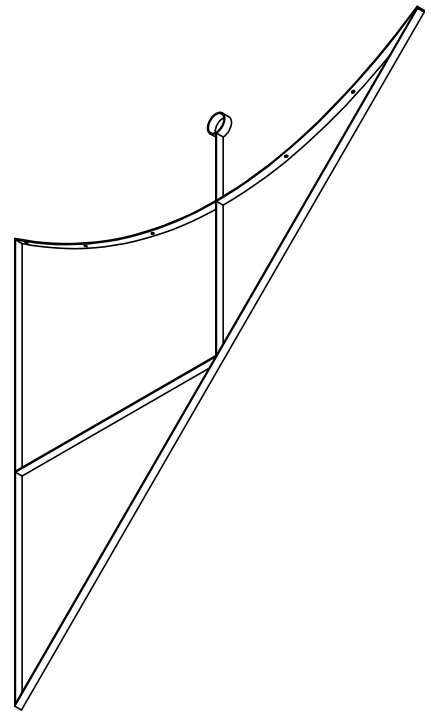
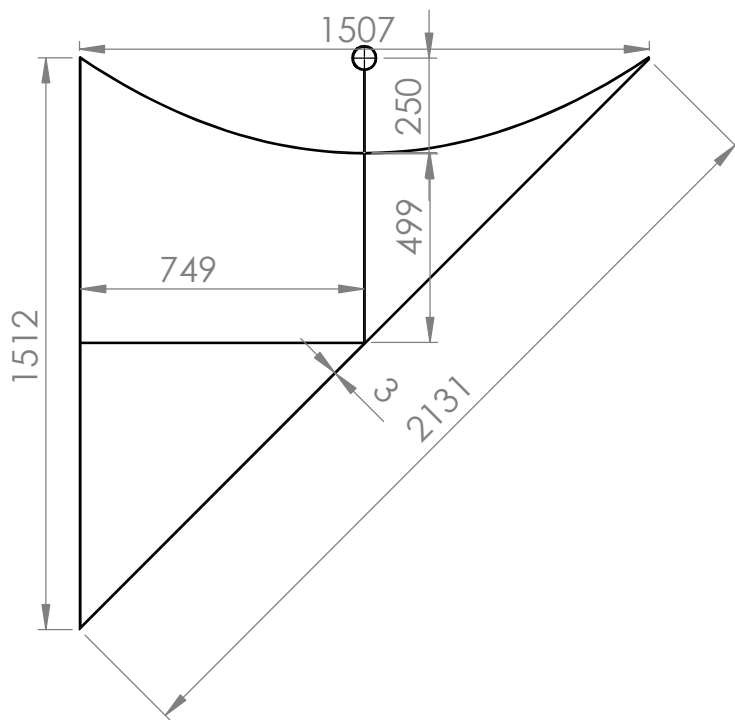
3

2

1



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:	Biela	
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLINA	07/02/22					
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4
			AISI 1045		Plano Nro 17		
			PESO:		ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1



	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:	Soporte original	
DIBUJ.	DOMINGUEZ VEGA, CAROLNA	07/02/22					
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	Plano Nro 18	A4
			AISI 1045				
			PESO:		ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1	