

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA**

VALPARAISO-CHILE



**INNOVACION Y DISEÑO DE SISTEMA DE LIMPIEZA DE
COLECTORES PARA GRAN PLANTA TERMOSOLAR EN EL NORTE
DE CHILE**

SEBASTIÁN DANIEL HÉCTOR ALEJANDRO OTAZO CASANOVA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
INDUSTRIAL

PROFESOR GUIA: Dr. Ing. Pedro Sarego Pastén

CORREFERENTE: Dr. Ing. Jorge Mendoza Ramos

MAYO – 2021

AGRADECIMIENTOS

En este momento de mi vida, no queda más que recordar y agradecer a cada una de las personas que me ayudaron a llegar al punto donde me encuentro hoy. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, J. Rodrigo Otazo Smith y Mariela B. Casanova Alarcón y a mis hermanos Cristian y German por su apoyo incondicional, por entregarme siempre lo máximo que podían dar, por darme una familia unida que siempre me cuida y por darme todo lo necesario para mi formación como profesional y más aún como persona.

También agradezco a mis compañeros, colegas y amigos, Gonzalo Garín; M. Francisca Sáez; Mario Farias; Jaime Reyes; Boris Arriagada; Diego Aguilar; Alonso Peñaylillo; Luis Rivera; Mario Santoni y Alex Vidal; por acompañarme, apoyarme y motivarme en todos mis años de universidad hasta el presente.

En este momento, no puedo olvidar a los distintos profesores que me entregaron sus conocimientos y me hicieron crecer como profesional, no puedo dejar la oportunidad de mencionar al profesor Eugenio González Vergara quien me dio la oportunidad de ser su ayudante y al profesor Pedro Sarego Pastén, quien fue un gran mentor y me entregó todo su apoyo y tiempo para llevar a cabo este trabajo de título.

Por último, me queda agradecer a la mujer de mi vida, Liliana P. Briceño González, quien, con su amor y apoyo, me motivaron a dar el último paso y cerrar este hermoso ciclo que fue mi paso por la universidad.

DEDICATORIA

“Quisiera dedicar este trabajo en especial a mi Papá, J. Rodrigo Otazo Smith y a mi Mamá, Mariela B. Casanova Alarcón, quienes siempre han estado conmigo apoyándome, siendo un ejemplo de vida, enseñándome valores y que a pesar de todas las adversidades que se presentaron en diferentes momentos de la vida, siempre encontraron la manera de salir adelante y entregarme todo lo necesario para que pudiera alcanzar mis metas y ser la persona que soy hoy”.

RESUMEN

En el presente trabajo de título se realizó el estudio de las condiciones específicas de la zona donde se encuentra la planta solar “Pampa Elvira Solar”, de manera de conocer cómo afectan estas condiciones a la eficiencia de la planta a medida que pasa el tiempo. De este estudio se concluyó que el factor que más influye en la eficiencia de la planta, es el nivel de limpieza con el que cuenta la planta en el tiempo, y que al contar con más del 60% de los paneles limpios se obtiene un aumento de eficiencia del 5.68% con respecto a la eficiencia obtenida al no limpiar periódicamente la planta.

Junto a lo anterior, se realizaron distintas pruebas de concepto de limpieza de los paneles, con el fin de buscar el que sea más eficaz y de un mejor resultado. Al realizar las distintas pruebas se obtuvo que la manera más eficaz y eficiente de limpiar los paneles, era a través de un equipo que pudiese ser acoplado a un tractor pequeño y que realizara la funciones de remojado de los vidrios, luego de un a remoción del polvo a través de un material abrasivo y un posterior remojado y secado de la superficie del vidrio del colector solar.

Conjuntamente se estudió tanto el polvo como el vidrio, con el cual están fabricado los colectores solares. De este estudio se descubrió que el polvo tiene una alta concentración de sulfato de calcio lo que provoca que en los colectores se genere una capa blanca en el vidrio lo que produce una baja en la eficiencia de la planta, además se descubrió que el mejor método para retirar este polvo era utilizando agua a una baja temperatura o al menos en temperatura ambiente y junto a esto que se debe utilizar un material abrasivo que tenga un tamaño de pelos pequeños que sean capaz de retirar el polvo de la rugosidades que posee el vidrio, ya que el vidrio tiene cavidades de un tamaño mayor a las partículas más pequeñas presente en el polvo de la zona.

Finalmente se diseñó un equipo que pueda cumplir con los requisitos que entrego el análisis y estudios anteriormente mencionado. para tener el diseño optimo, se utilizó una matriz morfológica de manera de encontrar los sistemas más adecuado para realizar las distintas tareas que debe concretar el equipo diseñado.

ABSTRACT

The present final project research analysed how the specific conditions of the area where is located the "Pampa Elvira Solar" solar plant affect the efficiency of this plant throughout the time. From this study, it concluded the factor that most influences the efficiency of the plant has been the level of cleaning over time. By having more than 60% of the panels clean, the efficiency increases of 5.68% compared to the efficiency obtained by not periodically cleaning the plant.

Therefore, they were made different panel cleaning concept tests to find the one that is more efficient and gives the best result. By making the different tests, it has been found that the most effective and efficient way to clean the panels was through equipment that could join a small tractor. This small tractor could perform the functions of soaking the glass after removing the dust through an abrasive material and a subsequent soaking and drying of the glass surface of the solar collector.

Besides, it has been studied the dust and glass that solar collectors are built. From this study, it has been discovered that dust has a high concentration of calcium sulfate. As a consequence, a white layer develops on the glass of the collectors. This chemical process produces a decrease in the efficiency of the plant. However, It has been found the best method of removing this dust was using water at a low temperature or at least room temperature. In addition, an abrasive material must be used that has a size of small hairs that are capable of removing dust from the roughness that the glass has since the glass has cavities that are larger than the smallest particles present in the dust of the glass zone.

Finally, It was designed equipment that could fulfil all the requirements given by the previous analysis and studies. To have the optimal design, it has used a morphological matrix that makes it possible to find the most appropriate systems to develop the different tasks that the designed equipment must carry out.

GLOSARIO

PES	Pampa Elvira Solar
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
m	Metros
m²	Metros Cuadrados
m³	Metros cúbicos
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt Hora
MWh/años	Mega Watt hora al año
°C	Grados Celsius
bar	Bar
Mpa	Megapascal
Kg	Kilogramos
h	Horas
cm	Centímetros
l/min	Litros por min
l/h	Litros por hora
CaSo4	Sulfato de Calcio
So4	Sulfato
Ca	Calcio
Mol	Moles
HP	Caballos de fuerza

INDICE

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA.....	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
GLOSARIO	5
I) INTRODUCCION	12
II) OBJETIVOS.....	13
1 OBJETIVOS GENERALES.....	13
2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
III) DESARROLLO DEL PROBLEMA.....	14
CAPITULO 1	15
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES	15
1.2 ESTADO DEL ARTE	16
1.3 DESCRIPCION DE LA EMPPRESA.....	18
1.4 PLANTA PAMPA ELVIRA SOLAR	19
1.5 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
CAPITULO 2	22
2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.....	22
2.2 DIMENSIONES DE LA PLANTA Y COLECTORES	23
CAPITULO 3	28
3.1 ANALISIS DE EFICIENCIA DE LA PLANTA.	28
3.1.1 Cronología de Hechos	28
3.1.2 Radiación Solar vs Eficiencia.....	31

3.1.3 Nivel de limpieza de la planta vs eficiencia	33
3.1.4 Turnos vs eficiencia.....	36
3.1.5 Uso de Calentadores	38
3.1.6 Temperatura de retorno vs eficiencia	41
3.1.7 Conclusiones análisis de eficiencia de la planta.....	42
3.2 ANALISIS AL APLICAR DE DISTINTOS CONCEPTOS DE LIMPIEZA.....	43
3.2.1 Limpieza con vapor de agua a presión, sin secado.....	44
3.2.2 Limpieza con vapor de agua a presión, secado con plumilla	45
3.2.3 Limpieza con agua caliente a presión con gran caudal y secado con plumilla	46
3.2.4 Limpieza con agua fría a presión y secado con plumilla.....	47
3.2.5 Limpieza con método abrasivo, agua fría y secado con plumilla.....	47
3.2.6 Resultados y conclusiones de la pruebas.....	48
3.3 SISTEMA DE LIMPIEZA ACTUAL	51
3.4 CALCULO DE TIEMPOS Y COSTOS	53
CAPITULO 4	55
4.1 ANALISIS DE MUESTRA DE POLVO DE COLECTORES SOLARES	55
4.1.2 Análisis de tamaño de partículas de la muestra de polvo	55
4.1.2 Análisis de concentraciones en muestra de polvos de colectores solares.....	58
4.1.3 Solubilidad del Sulfato de Calcio a diferentes temperaturas.....	59
4.2 ANALISIS DE VIDRIO	60
4.2.1 Estudio de rugosidad	60
CAPITULO 5	63
5.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO	63
5.2 PRINCIPIO BASICO DE FUNCIONAMIENTO.....	65
5.3 MATRIZ MORFOLOGICA.....	66

5.3.1 Sistema abrasivo para remoción de polvo	67
5.3.2 Sistema de secado	72
5.3.3 Sistema de desplazamiento vertical	74
5.3.4 Sistema de control	77
5.3.5 Matriz de Morfológica.....	78
5.4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL EQUIPO DE LIMPIEZA.....	82
5.5 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE LIMPIEZA.....	83
5.5.1 Estructura base.....	83
5.5.2 Brazo Móvil	86
5.5.3 Estructura del Cepillo	89
5.5.4 Estructura de Riego y Secado.....	92
5.5.5 Mecanismo de Desplazamiento Vertical	95
5.6 RIESGOS GENERALES	98
5.6.1 Proyección de partículas.....	98
5.6.2 Vuelco de maquinaria.....	98
5.6.3 Choque.....	99
5.6.4 Precipitación del brazo	99
5.6.5 Desprendimiento de mangueras	99
IV) CONCLUSION y SUGERENCIAS	100
V) BIBLIOGRAFIA.....	102
VI) ANEXOS	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas sistema de limpieza manual con equipos comerciales.....	17
Tabla 2: Días no utilizado para el análisis de datos	28
Tabla 3: Cronología de Hechos	30
Tabla 4: Periodos característicos de eficiencia promedio.....	32
Tabla 5: Porcentaje de limpieza vs promedio de eficiencia	35
Tabla 6: Rendimiento Operarios.....	36
Tabla 7: Eficiencia Promedio obtenida por cada Operario.....	37
Tabla 8: Promedio de Uso de Calentadores	38
Tabla 9: Energía Requerida v/s Uso de Calentadores	38
Tabla 10: Eficiencia v/s Temperatura de Retorno	41
Tabla 11: Especificaciones equipo HDS 1000 DE.....	43
Tabla 12: Datos Obtenidos Experimentalmente.....	51
Tabla 13: Estimación de Costos de limpieza de la Planta.....	53
Tabla 14: Concentraciones de Calcio y Sulfato	58
Tabla 15: Pesos Moleculares.....	58
Tabla 16: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema abrasivo.	70
Tabla 17: Ventajas y desventajas de alternativas de cepillos.	71
Tabla 18: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de secado.....	73
Tabla 19: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de secado.....	76
Tabla 20: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de control.....	78
Tabla 21: Alternativas de Diseño	79
Tabla 22: Criterios de evaluación	80
Tabla 23: Evaluación de Matriz Morfológica	81
Tabla 24: Especificaciones Winche Eléctrico.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Planta Pampa Elvira Solar -2342399, -68.823574	19
Figura 2: Esquema de Planta Solar “PES” [2].....	23
Figura 3: Planta Solar “PES” [3]	24
Figura 4: Pasillo de colectores de planta Solar PES.....	25
Figura 5: Partes de un colector solar plano [4].....	26
Figura 6: Dimensiones Colector Solar Plano	27
Figura 7: Angulo de Inclinación de Colectores	27
Figura 8: Gráfico de dispersión Eficiencia – Radiación solar periodo 2014 -2015	31
Figura 9: Gráfico de dispersión Eficiencia – Radiación solar - meses característicos	32
Figura 10: Estado de la planta en el mes de febrero 2014 [5]	33
Figura 11: Grafico Dispersión - Eficiencia vs % de colectores Limpios.	34
Figura 12: Zoom área círculo rojo	34
Figura 13: Grafico Eficiencia obtenida por cada turno, año 2015	36
Figura 14: Grafico Eficiencias alcanzada por cada turno con nivel de limpieza sobre el 50%..	37
Figura 15: Grafico Eficiencia VS % de horas de uso de calentadores	39
Figura 16: Grafico Requerimiento de energía vs uso de calentadores	39
Figura 17: Uso diario de Calentadores 1,2 y 3- turno A.....	40
Figura 18: Grafico Eficiencias vs T° de Retorno- radiación superior a 240 [mwh].....	41
Figura 19 : Grafico Eficiencias vs Temperatura de Retorno –limpieza sobre el 50 %.	42
Figura 20: Colector durante la limpieza	44
Figura 21: Colectores después de la limpieza	45
Figura 22: Colectores durante y después de la limpieza con agua caliente y secado.....	46
Figura 23: Colectores durante y después de la limpieza con agua fría y secado.....	47
Figura 24: Colectores limpiados con elemento abrasivo, agua fría y secado.....	47
Figura 25: Resultado método con Vapor de agua a presión, sin secado	48
Figura 26: Resultado método con vapor de agua a presión y secado con plumilla.....	48
Figura 27: Resultado método con agua caliente a presión y secado con plumilla	49
Figura 28: Resultado método con agua fría a presión y secado con plumilla	49
Figura 29: Resultado método con elemento abrasivo, agua fría y secado con plumilla.....	49
Figura 30: Grafico de distribución de Tiempos.....	54

Figura 31: Polvo presente en colectores a 50x con lupa estereoscópica	56
Figura 32: Polvo presente en colectores a 50x con lupa estereoscópica	56
Figura 33: Polvo presente en colectores a 100x con microscopio.....	57
Figura 34: Polvo presente en colectores a 100x con microscopio.....	57
Figura 35: Grafico Solubilidad de Sulfato de Calcio a diferentes temperaturas [/]	59
Figura 35: Perfil N°1 Superficie del vidrio	61
Figura 37: Perfil N°2 Superficie del vidrio	61
Figura 38: Perfil N°3 Superficie del vidrio	62
Figura 39: Perfil N°4 Superficie del vidrio	62
Figura 40: Dimensiones de base de acoplamiento.....	64
Figura 40: Diagrama de etapas de limpieza	65
Figura 42: Esquema cepillo rectangular fijo.....	67
Figura 43: Esquema cepillo cilíndrico.....	68
Figura 44: Esquema cepillos planos con desplazamiento	69
Figura 45: Cepillo de polietileno [8]	70
Figura 46: Cepillo Carlite [9]	71
Figura 47: Esquema equipo de secado con plumilla	72
Figura 48: Esquema de equipo de secado con aire.....	73
Figura 49: Alternativas sistema de desplazamiento vertical	75
Figura 50: Dimensiones estructura base.....	83
Figura 51: Medidas Perfil Tipo U	84
Figura 52: Despiece de estructura base	84
Figura 53: Estructura Brazo Móvil.....	86
Figura 54: Despiece de Brazo Móvil.....	87
Figura 55: Dimensiones Estructura del Cepillo.....	89
Figura 56: Despiece de Estructura del Cepillo	90
Figura 57: Dimensiones Estructura de Riego y Secado	92
Figura 58: Detalle resorte para movilidad	92
Figura 59: Despiece de Estructura de Riego y Secado.....	93
Figura 60: Medidas Winche Eléctrico [10]	95
Figura 61: Despiece de Mecanismo de Desplazamiento Vertical	96

I) INTRODUCCION

La forma de generación de energía que se adoptara en el futuro es uno de los desafíos más importantes que deberá afrontar la humanidad en los próximos años.

El modelo actual de desarrollo económico y crecimiento, está sustentado principalmente en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósiles, método que está siendo insostenible y, por lo tanto, no puede mantenerse de forma indefinida. El agotamiento de los combustibles fósiles, junto con el impacto ambiental y económico que provocan, está obligando a buscar nuevas formas de generación de energía que sean sostenibles y que garanticen el crecimiento de la economía, la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos.

Debido a lo anterior, es que en Chile se está potenciando el uso de energías renovables como lo son la energía solar y eólica. Siendo principalmente implementadas por las grandes empresas mineras en el norte grande del país, los cuales cuentan con los recursos necesarios para financiar estas nuevas tecnologías y la capacidad de aprovechar el lugar en el mundo con mayor nivel de radiación solar.

Actualmente en el norte grande del Chile, se han instalado diversas plantas de generación de energía renovable, siendo principalmente plantas que absorben la radiación solar para generar energía. Hoy en día las plantas más utilizadas para entregar energía a los procesos mineros son las plantas que transforman la radiación solar en energía térmica, de forma de entregar agua caliente a los diversos procesos mineros. Estas plantas necesitan de mantenciones constantes para su óptimo funcionamiento, teniendo como preocupación principal mantener la mayor eficiencia posible en la transformación de la energía.

Es por lo anterior, que se necesita conocer y estudiar de qué forma afecta a la eficiencia de este tipo de plantas, la suciedad que se depositan sobre los colectores solares, de manera de conocer que tanto se ve afectada este tipo de plantas al acumularse polvo sobre los colectores, cada cuanto y de qué manera se debe limpiar para tener un funcionamiento óptimo de la planta.

II) OBJETIVOS

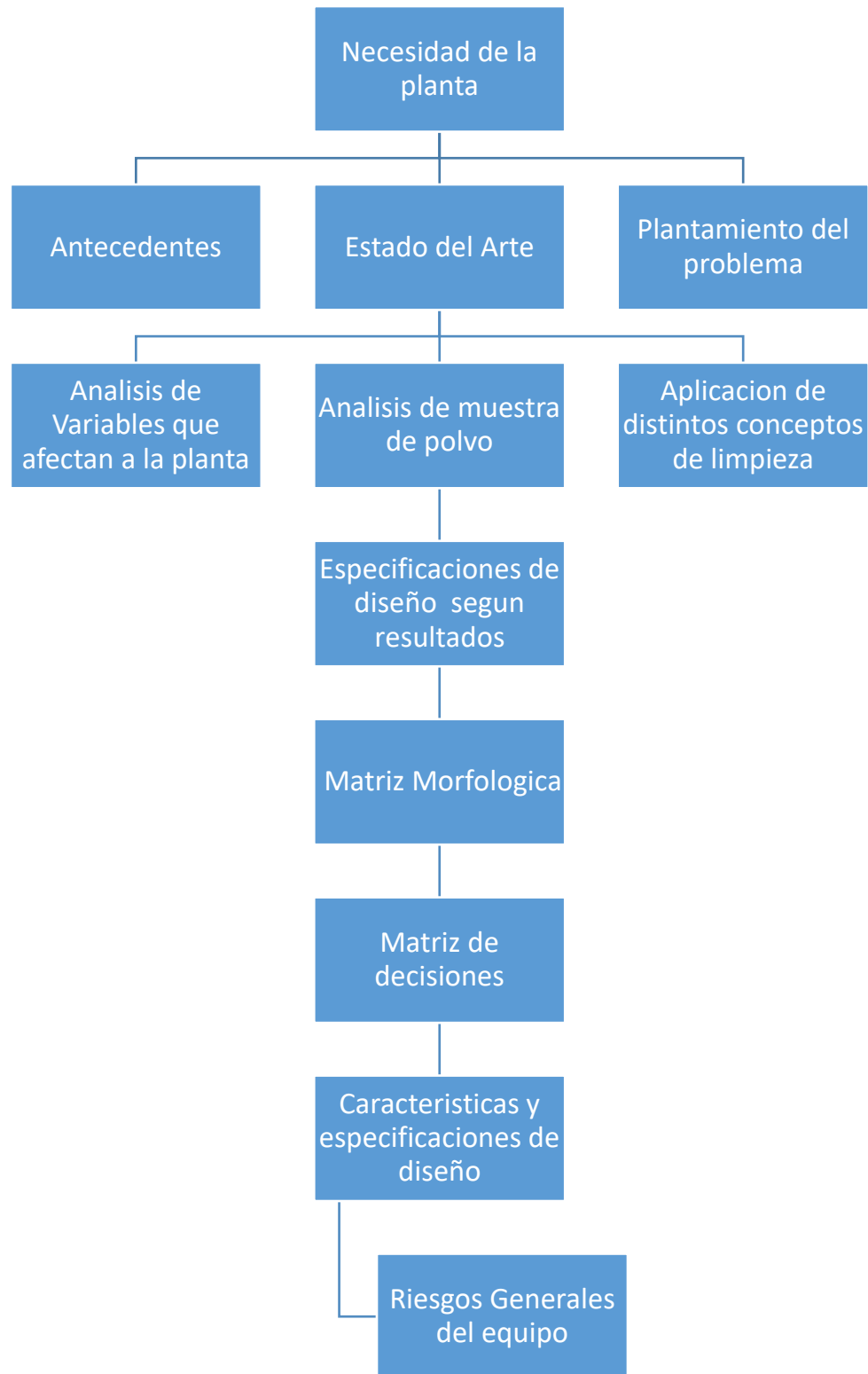
1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del presente trabajo de título es la innovación y diseño de sistema de limpieza de colectores para una gran planta termosolar, ubicada en el norte grande de Chile. Se han de estudiar las condiciones ambientales específicas de la zona donde la planta se ha instalado, definiendo la forma que estas condiciones a los factores de eficiencia de la planta a medida que pasa el tiempo y los colectores se van ensuciando. Con esa base se ha desarrollar un sistema de limpieza innovador y eficaz que permita obtener las eficiencias esperadas de los colectores y que pueda ser implementado en el corto plazo.

2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir a base de los datos históricos medidos en la planta, los efectos que generan la acumulación de polvos sobre los colectores en el tiempo.
- Determinar las características y propiedades del polvo.
- Estudiar y determinar las características del vidrio de los colectores y cómo interactúan con el polvo.
- Desarrollar ensayos con distintos conceptos de limpieza, con el propósito de estudiar los efectos que resultaron de la acción de diversos factores e interacciones.
- Establecer matriz morfológica de alternativas.
- Definir criterios de selección y pesos correspondientes para matriz de decisiones.
- Seleccionar el mejor método de limpieza y diseñar un prototipo de equipo automatizado que realice el mismo procedimiento escogido y que pueda ser aplicado a corto plazo.

III) DESARROLLO DEL PROBLEMA



CAPITULO 1

1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES

La Empresa Energía Llaima está dedicada a diseñar, instalar, financiar y operar plantas solares de gran tamaño, prestando principalmente servicios a empresas del rubro de la minería ubicadas en el norte grande del país. Actualmente se destaca la planta Pampa Elvira Solar (PES), planta que está catalogada dentro de las plantas termosolar más grandes del mundo. Junto a esto, se encuentra en proceso de instalación de una nueva planta termosolar dentro de las dependencias de la División Zaldívar de Codelco, que se proponen ser los pioneros y quedar en la vanguardia a lo que se refiere con instalación y operación de este tipo de planta en las faenas mineras en el norte del país.

Es por este motivo que también son los primeros en tener que enfrentar con la implementación de un sistema para la mantención y limpieza de los colectores solares, de forma de poder lidiar con las condiciones ambientales y geográficas únicas que se encuentran en la zona norte de Chile, además de tener que enfrentarse con las condiciones adversas generadas por el desarrollo de las actividades mineras presentes en las cercanías de la zona de instalación de las plantas.

En un principio y como parte del diseño de la planta PES, se tenía pensado tener un sistema de limpieza, el cual consistía en realizar limpieza de los colectores una vez cada 3 meses, mediante solo la aplicación de agua a presión sobre los vidrios, metodología que durante los primeros meses de funcionamiento de la planta no dio buenos resultado por culpa del polvo acumulado, que provocaba que la mayor parte de la radiación solar era reflejada y no absorbida por el colector provocando una baja en la eficiencia de la planta durante las primeras semana de su puesta en marcha. Esto fue causado por la poca efectividad del método de limpieza y a que el polvo se acumuló más rápidamente de lo que se tenía previsto.

Lo anterior se debió principalmente a tres factores: El primero de ellos tiene relación con las características del suelo de la zona, ya que el clima en la localidad es desértico, por lo que el suelo es árido y genera gran cantidad de polvo en suspensión que se desplaza con las corrientes de aire, además de esto, hay que agregar el levantamiento de polvo generado por los procesos mineros desarrollados en la zona. El segundo factor que agrava la acumulación de polvo sobre los

colectores fue el tránsito de camiones de gran escala por las carreteras aledañas a la planta, tránsito que no estaba previsto al momento de diseñar la planta solar y que provoca un aumento considerable del polvo en suspensión que luego se deposita sobre los vidrios de los colectores solares. Finalmente, el tercer factor es el tipo de polvo presente en la zona, que, por ciertas características estudiadas en esta memoria, hacen más compleja su remoción.

A causa de estos acontecimientos nace la inquietud y motivación de realizar un estudio apropiado de las características de la zona y del estado óptimo que se deben mantener los vidrios de los colectores para que permita alcanzar las eficiencias máxima de funcionamiento, todo esto con el fin último de realizar un diseño de sistema de limpieza de los colectores solares para plantas termo solares.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Actualmente para realizar la mantención y limpieza de las distintas plantas solares en el mundo, la industria ofrece diversas alternativas de equipos de limpieza tanto para plantas solares que utilizan paneles hechos con celdas fotovoltaicas que generan energía eléctrica, como para los colectores de las plantas solares térmicas, las cuales utilizan la radiación solar para absorber y luego entregar energía térmica a un líquido de manera de aumentar su temperatura. Las alternativas que se ofrecen principalmente utilizan uno de los siguientes tres conceptos de sistema de limpieza.

1.- Sistema de limpieza manual:

Son equipos que funcionan de forma manual, por lo que es el operador del equipo quien genera el desplazamiento y control del equipo para la realización de la tarea de limpieza.

El principio de funcionamiento de estos equipos consiste que a través de la misma agua que se utiliza para limpiar los colectores o paneles, se genera la energía mecánica para realizar el movimiento de rotación de un cepillo, el que ayuda a desprender la suciedad adherida al vidrio. Este sistema se utiliza principalmente en pequeñas plantas solares y en donde la suciedad presente en los vidrios es difícil de desprender.

Tabla 1: Ventajas y desventajas sistema de limpieza manual con equipos comerciales

Ventajas:	Desventajas:
• Bajo costo de implementación. • Se pueden utilizar en espacio reducidos. • Bajos costo de mantención.	• Lento avance en la limpieza • Gran desgaste del operario • Mayor gasto en horas hombre

2.- Sistema de riego móvil:

Son equipos de mayor tamaño que comúnmente son acoplados a vehículos pequeños como tractores, los cuales recorren la planta limpiando los vidrios de los colectores mediante la aplicación de agua desionizada o con algún químico que ayude a la disolución de la suciedad. Este tipo de sistema de limpieza se utiliza en mediana y grandes plantas solares que suelen estar instaladas en lugares donde las condiciones ambientales son óptimas, estas condiciones son que no se generen grandes capas de suciedad a corto y mediano plazo sobre los vidrios o que los compuestos de los elementos que se depositan no sean difíciles de remover o disolver.

Tabla 2: Ventajas y desventajas sistema de riego móvil con equipos comerciales

Ventajas:	Desventajas:
• Avances de lavado rápido • No genera desgaste en los operarios • Puede ser implementado en espacio reducido • No genera daños en la superficie de los vidrios	• Utilizan grandes cantidades de agua • Costo medio en implementación y mantención • No retira material insoluble

3.- Sistema abrasivo automatizado:

Son equipos de gran tamaño y complejidad, comúnmente consisten en un brazo de funcionamiento hidráulico que es acoplado a un vehículo. El brazo a su vez sostiene y moviliza el sistema de dispersión de agua junto a uno o varios cepillos con movilidad, que tiene como función remover y capturar la suciedad de la misma forma que lo realiza el sistema manual.

Tabla 3: Ventajas y desventajas sistema abrasivo automatizado con equipos comerciales

Ventajas:	Desventajas:
• Avances de limpieza rápido • No genera desgaste en los operarios • Consumen menos agua	• Mayores costos en implementación y mantención • No puede ser implementado en espacios muy reducidos

1.3 DESCRIPCION DE LA EMPPRESA

Energía Llaima es una empresa chilena, dedicada al desarrollo, implementación y operación de proyectos de energía renovable tales como plantas termosolares y mini centrales hidráulicas. Su casa matriz se encuentra ubicada en Isidora Goyenechea 3477 piso 17 Las Condes, Santiago. La empresa que se refuerza con las mejores empresas de energía para el desarrollo de la ingeniería en detalle de sus proyectos solares. Los proyectos dan solución de energía solar térmica en ambientes sustentables y además asegura un precio estable en el tiempo frente a la volatilidad de los combustibles convencionales.

La empresa funciona bajo la modalidad de una ESCO (Energy Service Company), es decir, es una empresa de servicios energéticos que diseña, desarrolla, instala, opera y financia proyectos de energía renovables en base a energía solar, con el objetivo de reducir los costos de inversión, operación y mantención del cliente y potenciar la calidad del servicio.

Su principal servicio es ofrecer el suministro de energía térmica utilizando energía solar a través de plantas solares de gran escala y con los sistemas convencionales solamente de apoyo, logrando reemplazar en algunos casos hasta 90% de la energía tradicional.

Actualmente Energía Llaima diseñó y desarrollo la Planta Pampa Elvira Solar (PES), la cual es una planta solar térmica instalada a finales del año 2013, que suministra energía térmica a las operaciones de electro-obtención de la División Gabriela Mistral de Codelco en la comuna de Sierra Gorda en el norte grande de Chile (Región de Antofagasta).

1.4 PLANTA PAMPA ELVIRA SOLAR

La planta Pampa Elvira Solar (PES) es una planta solar térmica que genera un aporte de 54.000 [MWh/año] calóricos promedio, generadas a través de sus 2928 colectores de 15 [m²] cada uno y los cuales en conjunto abarcan un área total de 33.920 [m²]. Esta planta puede generar una potencia máxima de 32,2 [MW], lo cual conlleva a reemplazar el 85 % del combustible diésel utilizado en la generación de energía térmica en las operaciones de electro-obtención.

La planta pampa Elvira Solar consiste en una explanada con 2.928 colectores solares planos instalados, los cuales absorben la incidencia de la luz solar y las transforma en calor, los colectores absorben la radiación solar tanto directa como difusa, que luego es absorbida por un fluido térmico que recorre por completo el sistema de colectores para posteriormente a través de un intercambiador de calor entrega la energía térmica recolectada al agua almacenada en un estanque de 17[m] de alto y 17[m] de diámetro y que posee un capacidad de 4.000 [m³] y en donde se pueden obtener temperaturas del estanque cercanas a los 120 [°C]. El calor generado posteriormente es entregado a la planta de electro-obtención de cobre.

La planta PES se encuentra en la Región de Antofagasta, comuna de Sierra Gorda, aproximadamente a 120 kilómetros al suroeste de Calama y a 2.660 metros de altitud. Como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 1: Ubicación Planta Pampa Elvira Solar [1]

1.5 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas solares térmicas una de las principales causas de la pérdida de eficiencia en sus colectores se debe a la acumulación de polvo fino que se deposita sobre los vidrios de los colectores solares. Este polvo provoca que la radiación solar que incide en la superficie del colector sea reflejada y no absorbida por éste, llevando a una disminución de la temperatura dentro del colector y por consiguiente a una disminución del calor recibido por el fluido que circula por el sistema.

Para tratar este problema de acumulación de polvo actualmente la planta PES, cuenta con un equipo de tres personas, las cuales con un sistema manual limpian y secan cada colector. Este sistema demora aproximadamente 13 días en limpiar los 2928 colectores con los que cuenta la planta. Sistema en el que se utilizan grandes cantidades de agua, provocando un aumento en los costos de mantención de la planta, además, de no ser eficaz para alcanzar la eficiencia óptima esperada en la planta.

Junto a lo anterior, la planta se ve afectada por varios agentes diferentes que origina levantamiento de polvo, ya que al estar ubicada en un sector minero se recibe una gran cantidad de material en suspensión generado por las distintas operaciones que se llevan a cabo en la minera y por el tránsito de camiones que trasladan material, a esto se debe sumar el polvo propio de la zona que es levantado por el viento.

Las pérdidas por la suciedad en los colectores de placa plana pueden llegar a alcanzar un 10% del total de la producción, lo cual, comparado con otros sistemas, como es el caso de los concentradores solares, que pueden tener una pérdida del 20%, no es un hecho catastrófico. De todas formas, sigue siendo un porcentaje alto por el cual preocuparse. En diferentes estudios y en lo medido y observado en la planta PES, se ha comprobado que el rendimiento de los colectores disminuye progresivamente a medida que el tiempo transcurre, como consecuencia del incremento en la suciedad acumulada en la superficie del vidrio.

Principalmente la planta PES (Pampa Elvira Solar) debe lidiar con el problema de acumulación de polvo en sus 2.928 colectores por 2 frentes, uno es la acumulación de polvo producida por el tránsito de camiones que pasan por el camino aledaño a la planta, en donde existe la necesidad de encontrar una solución para disminuir las emisiones generadas por este tránsito de camiones y de esta forma disminuir la cantidad de polvo en suspensión en la cercanía de la planta. Y por otro

lado se debe implementar una solución para limpiar el polvo que de todas formas siempre estará presente en los colectores, esta solución debe generar un punto óptimo entre lo invertido en la limpieza de la planta y los beneficios económicos obtenidos por el aumento de la eficiencia del mismo.

CAPITULO 2

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

Para poder estudiar los efectos del polvo en los colectores de la Planta Pampa Elvira Solar, se debe conocer de forma general su funcionamiento. Dicho esto, la planta PES divide sus operaciones en tres etapas. La primera etapa se le denomina sistema principal, el cual consiste en la explanada de 2.920 colectores solares que están conectados en serie por una red de cañerías que transportan un líquido compuesto por agua y un anticongelante. Este líquido circula a través de todos los colectores con el fin de aumentar su temperatura en el proceso, para esto se utilizan dos bombas conectadas en paralelo.

Luego de recorrer todos los colectores, el líquido es introducido a un intercambiador de calor donde entrega la energía térmica recolectada al sistema secundario, disminuyendo de esta forma su temperatura para volver a circular por los colectores.

La segunda etapa es denominada sistema secundario o de almacenamiento. Este sistema absorbe la energía proveniente del sistema principal mediante el intercambiador de calor mencionado anteriormente. Luego con dos bombas se hace circular el líquido por dos vías. Una de las vías envía el líquido a un estanque de calor estratificado, el cual tiene la capacidad de almacenamiento de 4.000 [m³] y se encuentra aislado térmicamente permitiendo almacenar agua a distintas temperaturas de manera estratificada. Con este estanque se logra guardar energía calórica para usarla durante la noche o en momentos en donde los colectores solares no están recibiendo la radiación solar suficiente. Por otra parte, la segunda vía direcciona parte del líquido a un intercambiador de calor que se encarga de entregar energía al sistema terciario.

Finalmente, la tercera etapa denominada sistema terciario, constituye el circuito cerrado en donde se encuentra el sistema de respaldo, sistema que está compuesto por tres calentadores que dan respaldo a la planta solar antes cualquier eventualidad, dando mayor seguridad y estabilidad al sistema. El sistema de respaldo se utiliza principalmente cuando las temperaturas de los líquidos que circulan por esa etapa no es la suficiente para poder alimentar la energía requerida para el proceso de electro-obtención de cobre.



Figura 2: Esquema de Planta Solar "PES" [2]

2.2 DIMENSIONES DE LA PLANTA Y COLECTORES

Para el desarrollo de este trabajo de título se estudiará la Planta Pampa Elvira Solar como modelo de este tipo de plantas. La planta PES una explanada con más de 2.920 colectores solares planos, los cuáles abarcan una superficie de 39.300 [m²]. Estos colectores se encuentran instalados de forma de recrear el logotipo de Codelco visto desde las alturas. Esta forma se logró instalando los colectores uno al lado de otro, formando pasillos que van desde los 16 a 48 colectores dependiendo de la sección del círculo que dan forma al logo de la empresa Codelco.

Cada pasillo formado por los colectores consta con un ancho de 1,75 [m] y tienen una longitud máxima de 300 [m] en su sección más larga (sección con 48 colectores continuos). Los colectores están conectados en bloques de máximo 16 colectores como se puede apreciar en la siguiente figura.

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

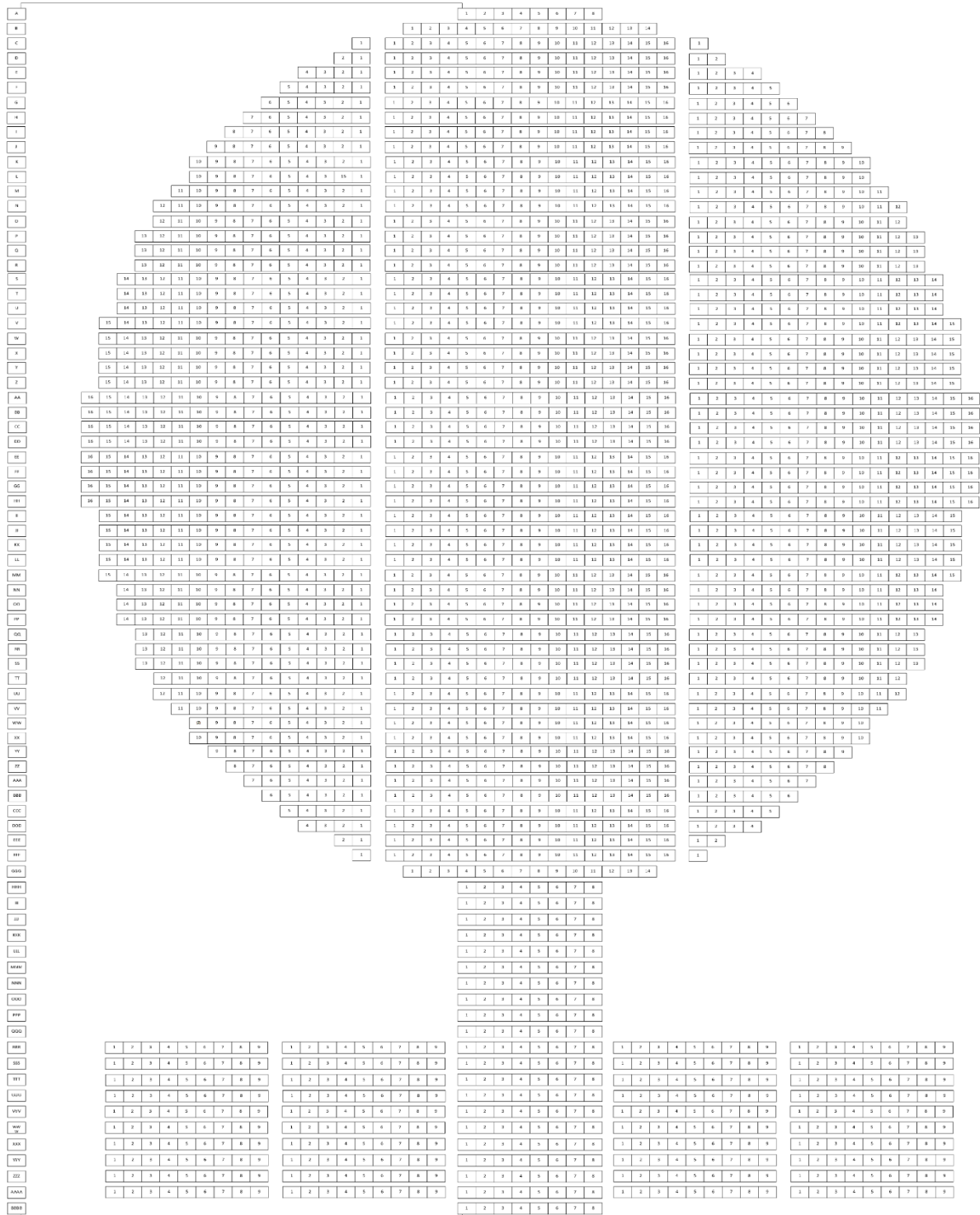


Figura 3: Planta Solar "PES" [3]

Cabe destacar que la separación entre los colectores de cada pasillo es de 2 [m], pero la medida del ancho de cada pasillo se ve disminuida a 1,75 [m], debido a que, en las separaciones entre bloques de colectores, se encuentran instaladas las tuberías y válvulas de bypass que disminuyen el ancho transitable del pasillo como se aprecia en la Figura 3.

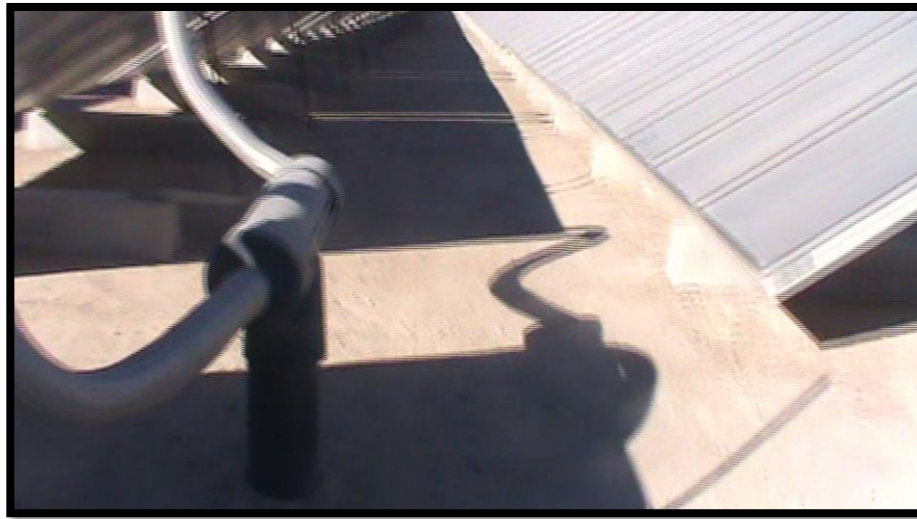


Figura 4: Pasillo de colectores de planta Solar PES

En cuanto a los colectores utilizados en las plantas termosolares, son colectores de placa plana que se componen básicamente de 7 partes como se indica en la figura 4.

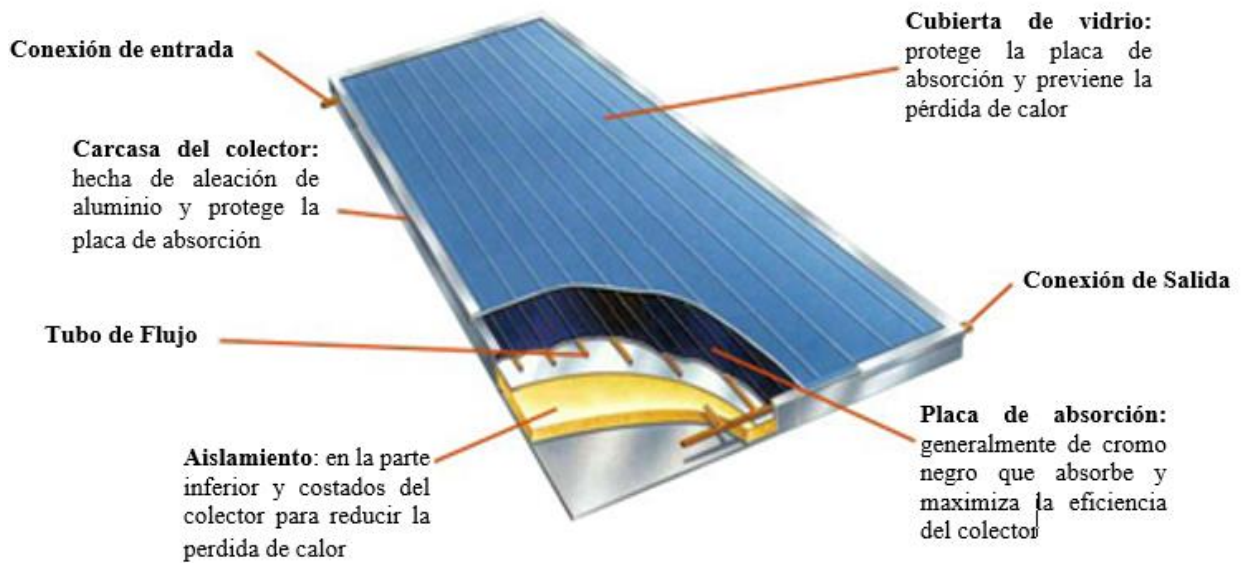


Figura 5: Partes de un colector solar plano [4]

Los colectores de origen danés, que utiliza la empresa Energía Llaima en las instalaciones de la planta PES, son colectores planos de gran tamaño compuesto de cinco vidrios instalados en una sola estructura de aluminio. Estos colectores están montados sobre dos bases de hormigón y tienen la capacidad de inclinarse mediante un sistema no automatizado y que requiere la instalación de motores eléctricos que hará descender o elevar uno de sus extremos para proporcionar cierto grado de inclinación.

Los colectores tienen un tamaño de 6200[mm] de largo, 2500[mm] de ancho y para el caso de la planta PES, todos sus colectores están inclinados en 30 grados con respecto al suelo.

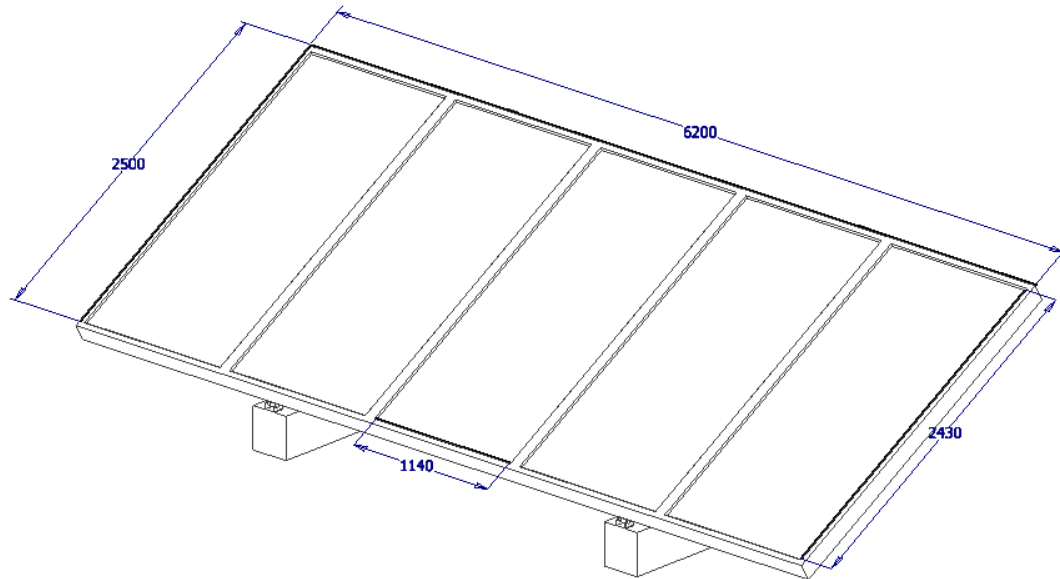


Figura 6: Dimensiones Colector Solar Plano

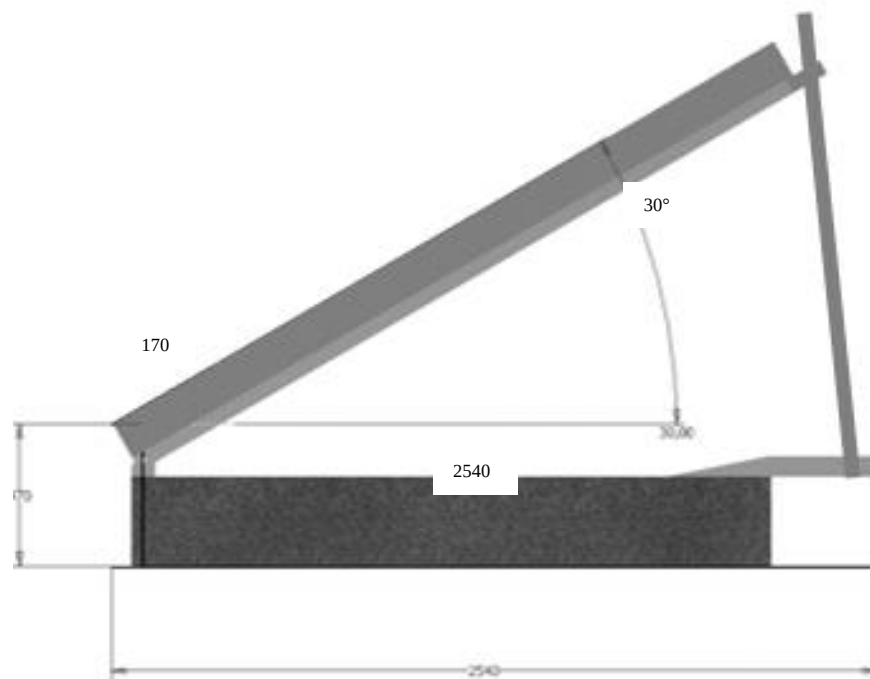


Figura 7: Angulo de Inclinação de Colectores

CAPITULO 3

3.1 ANALISIS DE EFICIENCIA DE LA PLANTA.

Una vez conocido el funcionamiento y las características de la planta PES, se procedió a realizar un estudio de los datos históricos obtenidos por la planta durante su operación, con este estudio se busca conocer el comportamiento de la eficiencia de la planta a medida que transcurre el tiempo y los colectores se van ensuciando.

Para conocer claramente como el polvo va afectando la eficiencia de la planta PES, se estudiaron las siguientes relaciones: Radiación Solar – Eficiencia; Nivel de limpieza – Eficiencia; Turnos – Eficiencia; Uso de Calentadores; Temperatura de retorno – Eficiencia.

3.1.1 Cronología de Hechos

Para el desarrollo de un estudio efectivo de los datos obtenidos durante las operaciones de la planta PES, fue necesario conocer y determinar primero, los distintos eventos ocurridos durante el período de captura de datos (Año 2014 y 2015), para poder así determinar los datos que causan grandes variaciones en el total de muestras y que no son consecuencias de las variables que se desean estudiar. Algunas causas que provocan estas variaciones son: detención de planta, climas extremos (gran nivel de nubosidad o lluvia), días con baja radiación, entre otras.

Tabla 2: Días no utilizados para el análisis de datos

Fechas	Motivos
4 y 5 febrero 2014	Detención de la planta
5 y 6 de abril 2014	Muy baja radiación
15 de mayo del 2014 al 4 de julio del 2014	Se realizaron inclinaciones de los colectores, pero de los Piranómetro que mide la radiación, produciendo cálculos erróneos en la eficiencia.
8 de agosto 2014	Baja radiación
17 de septiembre 2014	Baja radiación
21 de octubre 2014	Baja radiación
5 de enero 2015	Baja radiación
24 y 25 marzo del 2015	Baja radiación y lluvias
25 y 32 de mayo 2015	Baja radiación

A continuación, se presenta cronología de hechos del período 2014-julio 2015.

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

			Inicio del tránsito de empresa santa Elvira			
			Se contrata personal para lavado de planta			
			Lavado manual planta	RIS (reporte de incidente significativo) Emitidos por Problemas de Polvo		
			Administradores de contrato mina y servicios para pedir soluciones del problema	Quejas en Informe Mensual	Inicio de proceso de regado del camino donde transita empresa Santa Elvira	RIS Emitidos Por Problemas de Polvo
Adjudicación del proyecto	Consignación de terreno	Partida de Planta	Récord de baja Producción	inicio de contaminación y baja de eficiencia	mejora eficiencia, pero no se alcanza la eficiencia requerida	Se continúa lavado de planta
		ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14
			Construcción de Camino Minero			
						Empieza periodo de inclinación de Paneles

Solicitud de Respuesta de solución vía LOD	Se vuelve a pedir solución al polvo en reunión con gerente PES y superintendente			Se vuelve a pedir solución al polvo en reunión con gerente PES y Super- intendente		
Presentación de Solución	Continua Lavado además con personal Femac	Continua lavado además con personal de Femac	Se continua lavado manual con nuevo sistema (compra de tractor)	RIS emitidos por Problemas de polvo	RIS emitidos por Problemas de Polvo	
RIS emitidos por problemas de Polvo	Sigue Lavado Manual de Planta	GSSO nos exige portar mascarillas tipo "trompa" por aumento de polvo ambiente en el área	Llega Nuevo Sistema de Lavado para adosar a tractor en planta	Se continua lavado manual y con tractor	Se vuelve a pedir solución al polvo en reunión con gerente de proyecto PES y Superintendente	RIS emitidos por problemas de Polvo
Se continua lavado de planta	Se logra una mejora de eficiencia algunos días por limpieza y menor paso de camiones	Baja nuevamente la eficiencia por contaminación de polvo por camiones	Este mes por aproximadamente no hay paso de camiones por 20 días	Vuelve contaminación de camiones	Se continua el lavado con tractor	se continua lavado manual con tractor
jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14	nov-14	dic-14
se continua con la inclinación de paneles	Se ajusta a principio de julio el Pyranometro			Lavado de planta solo con Agua		Reunión con sustentabilidad de Codelco para reclamar por polvo y pedir apoyo a solución
Periodo del 15 de mayo al 4 de julio en que no se ajusta la inclinación del Pyranometro Produciendo error en la medición de eficiencia						

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

RIS Emitidos por problemas de polvo	RIS emitidos por Problemas de polvo	Por Lluvia en los días 24 y 25, los paneles quedan limpios en un 80% con una producción promedio de 170 MWh por día			Se prueba sistema de lavado con vapor de agua húmedo con resultados negativos	
Se continua con equipo de lavado manual y este mismo es reforzado	se continúa con equipo de lavado manual y este mismo es reforzado	se continua con equipo de lavado manual y este mismo es reforzado	se continua con equipo de lavado manual	se continua con equipo de lavado manual	Se Inicia lavado manual de la planta con 2 turnos	Continúa lavado manual de la planta con 2 turnos
ene-15	feb-15	mar-15	Abr-15	May-15	Jun-15	Jul-15
Sustentabilidad pide respuesta a los compromisos adquiridos por gerencia mina sin respuesta						

Tabla 3: Cronología de Hechos

3.1.2 Radiación Solar vs Eficiencia

Se estudió la relación entre la eficiencia total de la planta y la radiación solar observada diariamente durante el periodo de enero 2014 a julio 2015, para poder detectar cuáles son los meses con mejores eficiencias y con qué nivel de radiación solar fueron obtenidos.

En el gráfico de dispersión (figura 7) se observa, destacado con un círculo rojo la zona donde se obtuvieron las mayores eficiencias “rango entre 50% y 55%” valores ideales para la planta, en esta zona se encuentran los meses de junio y julio del 2015 (color naranja y azul oscuro respectivamente). Encerrado en amarillo se encuentra la situación promedio de la planta en donde las eficiencias están entre 49% y 43%, Un mes característico de esta situación es diciembre del 2014. Finalmente, encerrado en verde corresponde a los valores obtenidos en el mes de febrero del 2014 en donde se obtuvieron las más bajas eficiencias de la planta, en el rango de 32% y 40%.

Figura 8: Gráfico de dispersión Eficiencia – Radiación solar periodo 2014 -2015

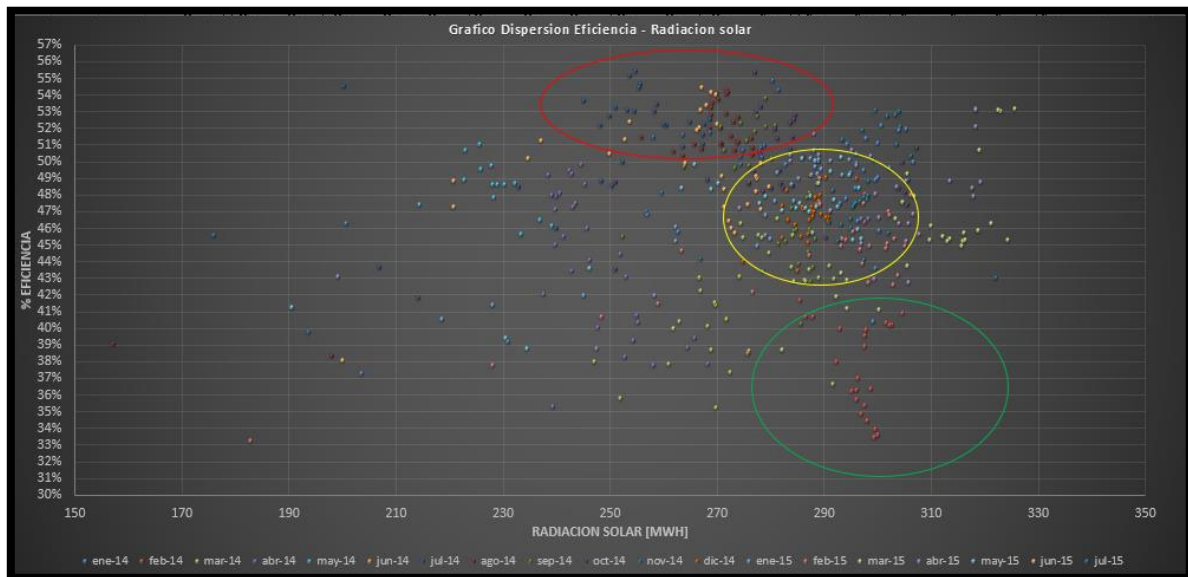


Figura 9: Gráfico de dispersión Eficiencia – Radiación solar - meses característicos

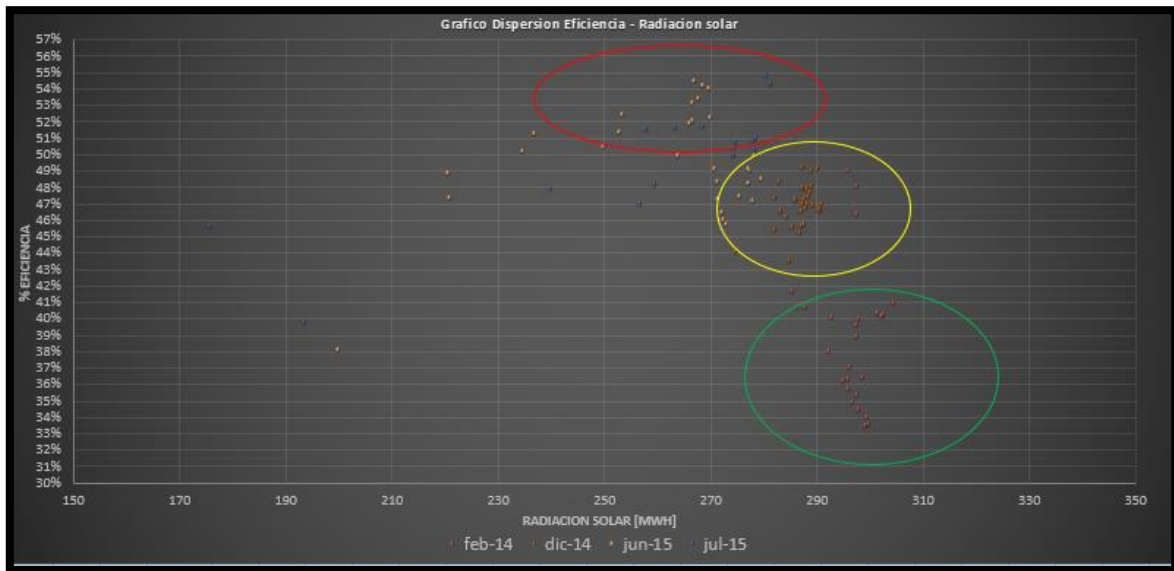


Tabla 4: Periodos característicos de eficiencia promedio

	Periodo de mínima eficiencia	Periodo de eficiencia media	Periodo de máxima eficiencia
	feb-14	dic-14	jun-15
Promedio Eficiencia [%]	38,88	46,84	49,43
Promedio Radiación Solar [mWh]	296,74	286,98	261,83

En la tabla anterior se muestran las eficiencias y radiaciones solares promedio alcanzadas en los periodos característicos de cada zona. Lo primero que se destaca es el bajo promedio de eficiencia obtenido el mes de febrero del 2014. Este nivel se obtuvo al contar con un nivel de limpieza mínimo y con un gran tránsito de camiones en las cercanías. Estas condiciones llevaron a tener a la planta en el estado que se muestra en la siguiente imagen.



Figura 10: Estado de la planta en el mes de febrero 2014 [5]

Junto con lo anterior, se puede apreciar que, en junio del 2015, se obtuvo una eficiencia 3% superior a la eficiencia obtenida en el mes de diciembre del 2014 que corresponde a un mes común de la planta. Se puede suponer que este aumento es debido a que, en el mes de junio, como se indica en el cronograma de hechos, se comenzó a realizar la limpieza de la planta en dos turnos. Para confirmar que la limpieza ayudó a aumentar la eficiencia en este mes, se estudió el comportamiento de la eficiencia a distintos niveles de limpieza de la planta.

3.1.3 Nivel de limpieza de la planta vs eficiencia

Para estudiar la efectividad de la limpieza de la planta, fue comparado el estado de limpieza de la planta con su eficiencia obtenida en cada día. Para ello fue considerado que un colector completo se demora 15 días en llegar a un nivel de suciedad máximo después de ser limpiado, es decir, si se limpiara la planta completa (limpieza de los 2928 colectores) en un día, se tendría un 100% de limpieza en la planta. Al día siguiente y durante los días posteriores iría disminuyendo proporcionalmente el porcentaje de limpieza de la planta hasta llegar al día 15, en donde se alcanzaría un nivel de limpieza del 0%.

El dato de los 15 días fue obtenido en base a lo observado por los propios operadores durante los 2 años de operación de la planta. A continuación, se presenta los gráficos de dispersión obtenidos.

Figura 11: Grafico Dispersión - Eficiencia vs % de colectores Limpios.



Figura 12: Zoom área círculo rojo



El gráfico de dispersión de la Figura 10, se puede apreciar que las mayores eficiencias son obtenidas cuando el porcentaje de limpieza de la planta supera el 40% (puntos encerrados con rojo). Dicha condición se alcanzó en los periodos de marzo y abril en donde hubo presencia de lluvias en los días 24 y 25 de marzo, y en los meses de junio y julio del 2015, en donde se aumentó la frecuencia de la limpieza de la planta debido a la implementación de dos turnos, en vez de uno para esta labor.

Tabla 5: Porcentaje de limpieza vs promedio de eficiencia

Periodos		Porcentaje de limpieza de la planta				
		0-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80 %	81- 100 %
2014	Promedio Eficiencia	47,02	45,27	48,20	50,15	49,39
2015	Promedio Eficiencia	46,12	45,95	48,28	51,80	51,57

Con los datos obtenidos se confirmó que al tener sobre el 60 % el nivel de limpieza de la planta, la eficiencia promedio alcanza alrededor **51%**, la cual es una mejora del **5,68%** en la eficiencia en comparación al tener la planta con un nivel muy bajo de limpieza, rango entre el **0% y 20%**. Para mantener un nivel de colectores limpios sobre el **60%** es necesario limpiar diariamente **230** colectores.

3.1.4 Turnos vs eficiencia

Para este estudio se revisaron los datos capturados durante el año 2015, periodo del 1 enero al 18 de julio, los datos comparados fueron en días en donde se obtuvieron mediciones de radiación solar normales, por lo que las eficiencias medidas solo estaban influenciadas por las condiciones de operaciones y los niveles de la limpieza de los colectores.

Este estudio se realizó para conocer en qué grado afecta el desempeño de cada operario sobre la eficiencia, para posteriormente conocer de forma real en la que influye la limpieza en la eficiencia de la planta.

Figura 13: Grafico Eficiencia obtenida por cada turno, año 2015

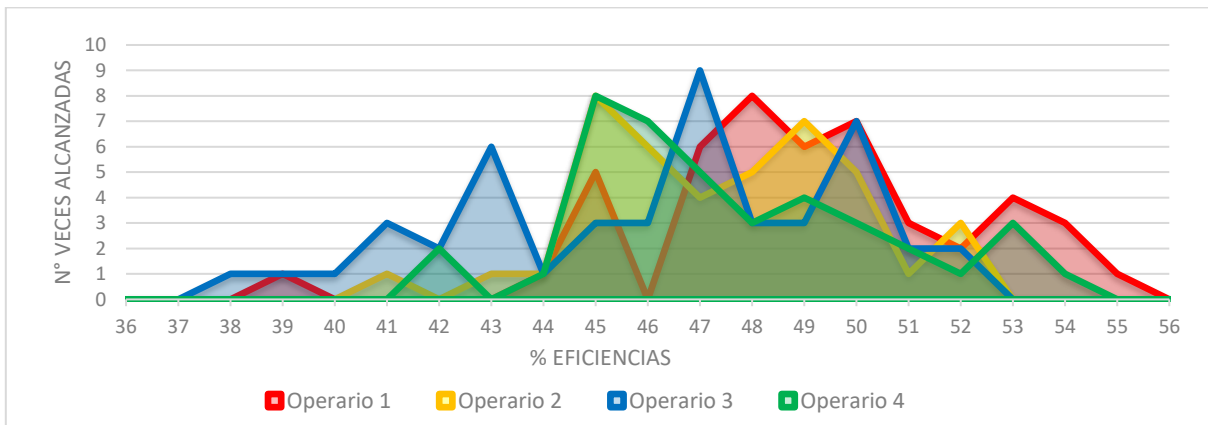


Tabla 6: Rendimiento Operarios

Jefe de Turno	N° Días evaluados	Promedio Eficiencia [%]	Moda
Operario 1	50	49,02	48
Operario 2	46	47,43	45
Operario 3	48	46,15	47
Operario 4	32	47,55	45

Como se observa en la figura 11 y en la tabla 6 de datos. Durante la primera mitad del 2015, el periodo que ha entregado los mejores desempeños de la planta fue en el turno de Operario 1, alcanzando un promedio del 49,02 % de eficiencia y obteniendo mayormente eficiencias

cercanas al 48%. En el caso del turno del Operario 3 que entrega el menor promedio de eficiencia, se puede apreciar mediante el gráfico que el comportamiento fue más irregular.

Al analizar el desempeño de cada jefe de turno solo con los datos de los días que se alcanzó un nivel de limpieza superior al 50% y una radiación solar superior a 240 [mwh]. Se apreció que el turno del Operario 1 mantuvo el mejor desempeño. En cuanto al turno del Operario 3, no se obtuvieron datos debido a que no tuvieron días en que se cumplieron las condiciones de limpieza y radiación solar.

Figura 14: Grafico Eficiencias alcanzada por cada turno con nivel de limpieza sobre el 50%

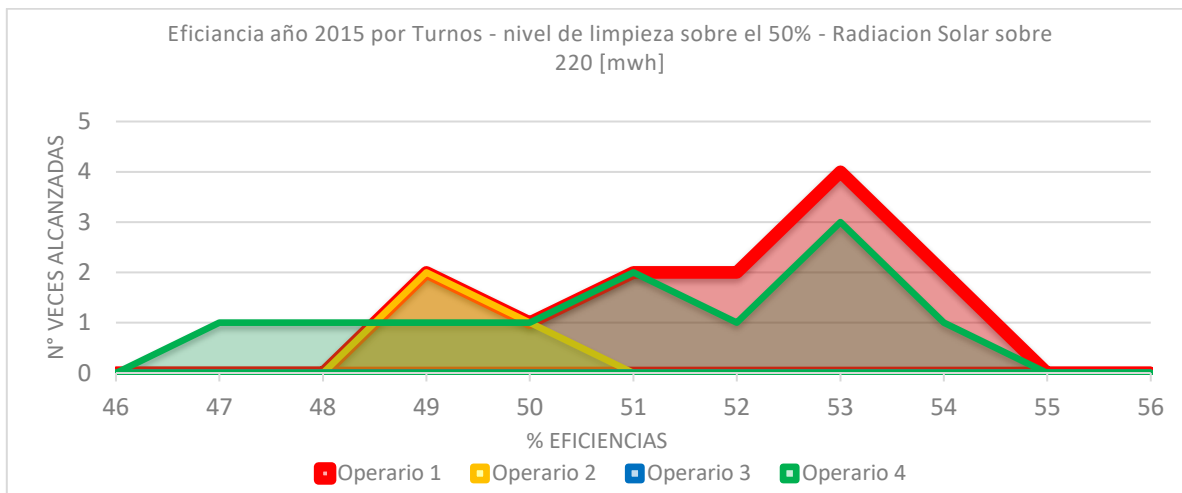


Tabla 7: Eficiencia Promedio obtenida por cada Operario

	Promedio Eficiencia	Datos	MODA
Operario 1	51,85	13	53
Operario 2	49,33	3	49
Operario 3	0,00	0	0
Operario 4	51,00	11	53

Se aprecia en los datos obtenidos que el desempeño de los operarios en cada turno no afectó a la eficiencia con la misma gravedad que produjo la acumulación de polvo sobre los colectores, por lo que no es una variable que afectara para la determinación del grado de influencia en la eficiencia de la limpieza.

3.1.5 Uso de Calentadores

Fue estudiado el comportamiento de la eficiencia con respecto al uso de calentadores en el turno “A” de la planta. Como se observó en el gráfico de la figura 14 “Eficiencia v/s % de hora de uso de calentadores”, no se pudo determinar de qué modo se vio afectada la eficiencia al aumentar el uso de los calentadores, debido a que la tendencia de la curva de eficiencia se mantuvo constante al ir aumentando el porcentaje de uso de calentadores.

Por otro lado, se detecta en el gráfico de la figura 16 de “uso de calentadores 1, 2 y 3 en turno A”, a medida que paso el tiempo y sobre todo en los últimos meses, hubo una clara tendencia a usar por más tiempo los calentadores, alcanzando en el periodo de abril 2015 a julio 2015 un uso de los calentadores **3,25** veces (aumento del 325 %) superior que en el periodo de septiembre 2014 a marzo 2015.

Tabla 8: Promedio de Uso de Calentadores

Promedio de uso de calentadores diario septiembre 2014 - marzo 2015	Promedio de uso de calentadores diario abril 2015 - 18 julio 2015
6,73 %	21,87 %

El aumento del uso de calentadores se pudo entender al revisar el comportamiento de la cantidad de energía requerida por “Gaby” para sus procesos, en donde se apreció que durante el último periodo “Gaby” requirió más energía, por lo que se entiende el aumentado del uso de calentadores para suministrar la energía extra requerida. Analizando los últimos meses con lo que se cuenta registro de los requerimientos de “Gaby”, se tuvo un aumento del **62,2%** de la energía requerida desde enero del 2015 a mayo del mismo año.

Tabla 9: Energía Requerida v/s Uso de Calentadores

	enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Promedio de energía requerida por "Gaby" [mwh]	155,0	173,0	188,7	214,5	249,1
Promedio operación de calentadores	3,8	7,1	6,9	16,4	21,7

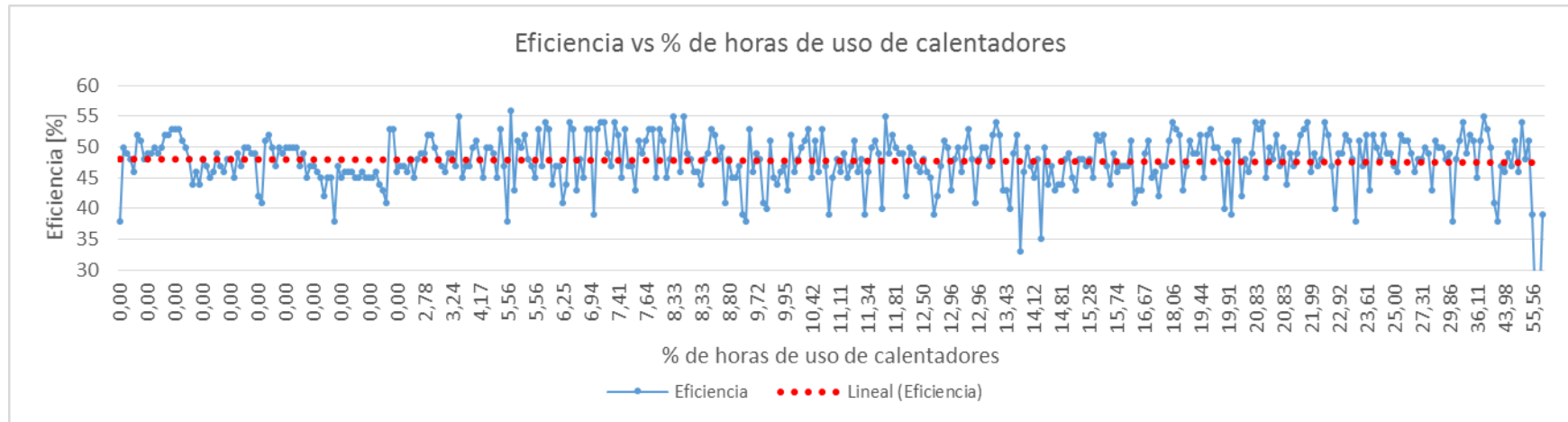


Figura 15: Grafico Eficiencia VS % de horas de uso de calentadores

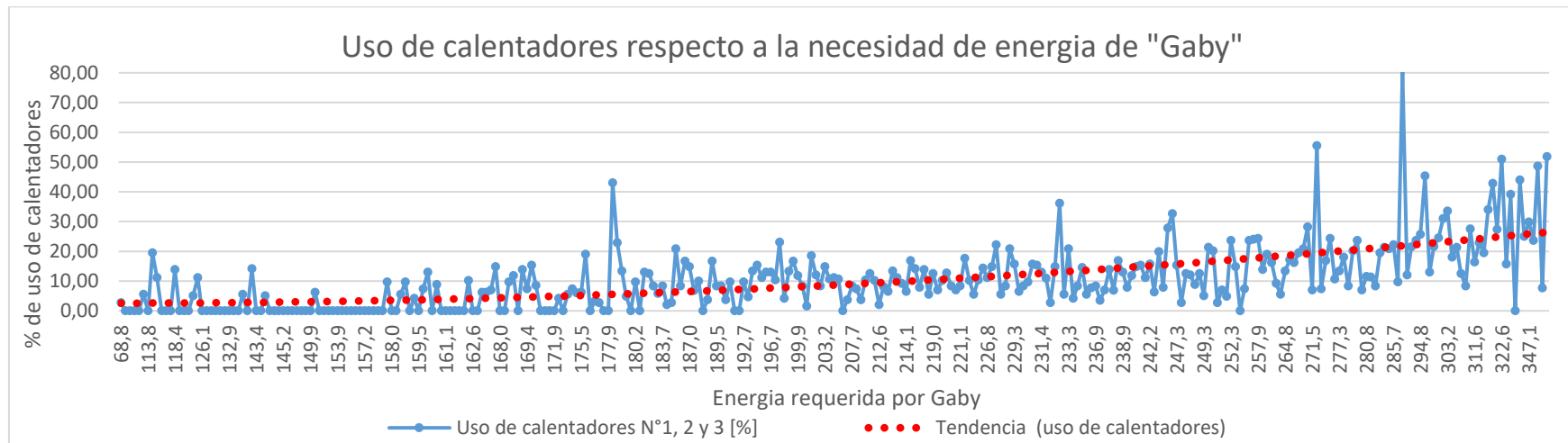


Figura 16: Grafico Requerimiento de energía vs uso de calentadores

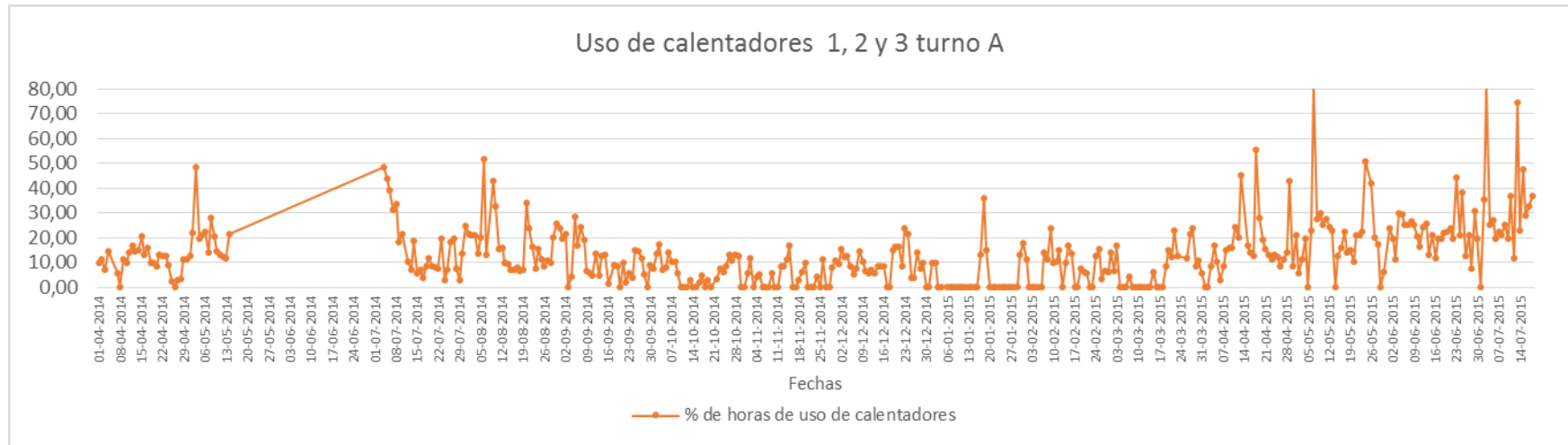


Figura 17: Uso diario de Calentadores 1,2 y 3- turno A

3.1.6 Temperatura de retorno vs eficiencia

El estudio del comportamiento de la temperatura de retorno de los días con radiación solar superior a 240 [MWh], entregó una tendencia de tener un promedio de eficiencia más alta (cercano al 47,4%) al tener temperaturas de retorno entre 52°C y 58°C. Sin embargo, como se apreció en el gráfico N°10 que contiene solo los datos con porcentaje de limpieza de la planta superior al 30 %, los efectos de la temperatura de retorno se pueden amortiguar al contar con un nivel de limpieza sobre el 30 %.

Tabla 10: Eficiencia v/s Temperatura de Retorno

Rango de T° de Retorno [°C]	50 - 52	52 - 54	54 - 56	56 - 58	58 - 60	60 - 63
Eficiencia [%]	45,15	47,33	47,59	47,48	45,91	43,10

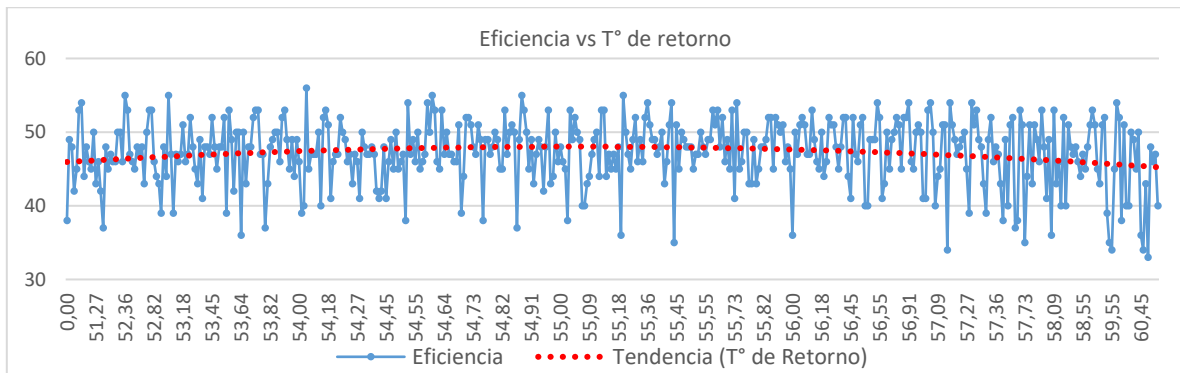


Figura 18: Grafico Eficiencias vs T° de Retorno- radiación superior a 240 [mwh]

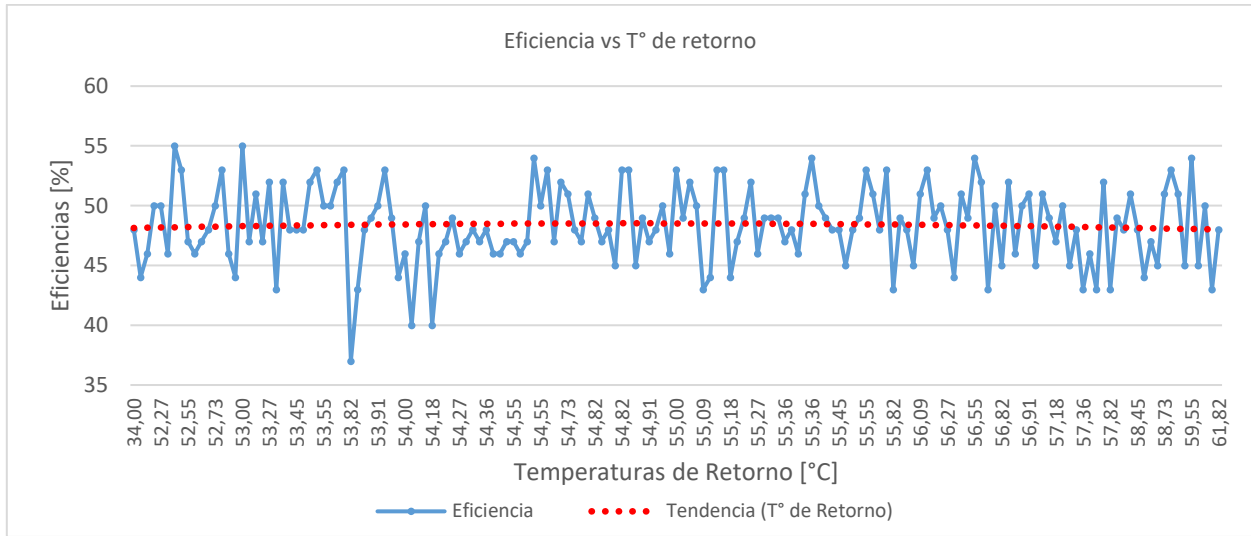


Figura 19 : Grafico Eficiencias vs Temperatura de Retorno –limpieza sobre el 50 %.

3.1.7 Conclusiones análisis de eficiencia de la planta

Una vez analizados todas las variables que pueden afectar a la eficiencia de la planta PES, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Tener mayores niveles de radiación no aumenta la eficiencia de la planta.
- Tener sobre el 40% de la planta limpia, se obtiene eficiencias sobre el 45 %
- Al alcanzar el 60% de limpieza de la planta se obtiene en promedio un 51% de eficiencia en la planta. Lo cual nos indica que el grado de limpieza de la planta afecta de manera significativa a la eficiencia, por sobre todas las otras variables.
- Finalmente se concluye que para aumentar la eficiencia de la planta se requiere de un sistema de limpieza que pueda limpiar más de 230 colectores diarias de manera de alcanzar una tasa de limpieza sobre el 60% todo el tiempo de funcionamiento de la planta PES.

3.2 ANALISIS AL APLICAR DE DISTINTOS CONCEPTOS DE LIMPIEZA.

Con el fin de conocer el método de limpieza más efectivo y eficiente que pueda ser implementado en un sistema automatizado, es que, fueron realizados diversos ensayos de limpieza. En estos ensayos se variaron distintos factores como son; el flujo de agua aplicado, presión y temperatura del agua, boquillas de aspersión, aplicación de secado y elemento abrasivos.

Para realizar esta tarea fue utilizado el equipo Karcher HDS 1000 DE, el cual permite varia la presión, temperatura, caudal y dirección del flujo de agua y además cuanta con las siguientes características técnica.

Datos Técnicos Equipo HDS 1000 DE



Tabla 11: Especificaciones equipo HDS 1000 DE [6]

Presión	(bar /MPa)	40 - 400 / 4 - 20
Volumen transportado	(l/h)	450-900
Temperatura Máx.	(°C)	Max. 150
Consumo de Gasóleo a Plena Carga	(Kg/h)	5,6
Tipo de Motor		L 100 AE / Gasoil
Fabricante		Yanmar
Potencia del Motor Bruta	(kW/PS)	7,4 / 10
Peso	(kg)	185
Dimensiones	(mm)	1130 x 750 x 855

A continuación, se presenta los resultados obtenidos después de realizar la limpieza de los colectores solares con cinco diferentes conceptos de limpieza.

3.2.1 Limpieza con vapor de agua a presión, sin secado

El primer ensayo con el equipo HDS 1000 DE consistió en aplicar sobre la superficie del vidrio con polvo, un flujo de 450 [l/h] (6,67 l/min) de vapor de agua húmedo con una presión aproximada de 100 bar. Para esta prueba se utilizó una boquilla de salida de 40 grados.

El procedimiento para este ensayo, fue realizar la limpieza de varios colectores a una distancia entre la boquilla y la superficie de 25[cm] aproximadamente y sin aplicación de ningún otro elemento.



Figura 20: Colector durante la limpieza

Con la limpieza realizada se obtuvo una superficie más limpia, pero con la permanecía de una capa blanca de polvo sobre el vidrio, dicha capa es un elemento altamente perjudicial para los colectores, ya que, produce gran reflexión de la radiación solar que incide en el vidrio, disminuyendo notoriamente su eficiencia.

3.2.2 Limpieza con vapor de agua a presión, secado con plumilla

Esta consistió en realizar el mismo procedimiento aplicado en el ensayo anterior, suministrando un flujo de 450 l/h (6,67 l/min) de vapor de agua húmedo con una presión aproximada de 100 bar, pero con la diferencia de que se procedió a realizar un secado inmediatamente después utilizando una plumilla.



Figura 21: Colectores después de la limpieza

Los resultados obtenidos en este ensayo, son los mismo que se obtuvieron al realizar la limpieza sin secado. Se obtuvo una notoria capa blanca de polvo.

Con este ensayo se puede llegar a la conclusion que probablemente el vapor de agua es un factor que favorece la generacion de esta capa blanca, independiente a la velocidad del secado del colector.

3.2.3 Limpieza con agua caliente a presión con gran caudal y secado con plumilla

Esta consistió en aumentar el flujo de agua 900[l/h], con lo que ya no se obtiene vapor de agua húmedo, sino que se obtiene agua caliente a alta presión. El fin de este ensayo fue comprobar si la cantidad de flujo de agua es determinante en la generación de la capa blanca de polvo que permanece en el panel después del lavado.



Figura 22: Colectores durante y después de la limpieza con agua caliente y secado

Después de realizar la limpieza con este método se observó que se mantiene la capa blanca de polvo adherida al vidrio de colector. Con esto se comprueba que el nivel de suciedad producido por la permanencia de la capa blanca de polvo, no se ve modificada por la cantidad de agua caliente aplicada en el lavado.

Esto lleva a pensar que al aplicar agua caliente sobre el vidrio se favorecen las condiciones, para que se genere la mencionada capa blanca de polvo que interfiere con la eficiencia de la radiación solar.

3.2.4 Limpieza con agua fría a presión y secado con plumilla

Este ensayo fue realizado para comprobar si el agua caliente favorece a la generación de una capa blanca de polvo adherido al vidrio del colector. Para esto se procedió a realizar una limpieza aplicando gran caudal de agua fría a alta presión (900l/h a 200[bar]).



Figura 23: Colectores durante y después de la limpieza con agua fría y secado

Después de realizar la limpieza se pudo observar que el colector queda con una capa de polvo blanco adherido en las zonas donde el flujo de agua no impacto directamente, como se puede apreciar en la figura 20.

3.2.5 Limpieza con método abrasivo, agua fría y secado con plumilla

La última prueba consistió en lavar un grupo de colectores con el método manual aplicado actualmente en la planta Pampa Elvira Solar. Esto consiste en remojar el vidrio, luego aplicar una mopa de microfibra para remover el polvo adherido, posteriormente se enjuaga el vidrio y finalmente se procede al secado con una plumilla.



Figura 24: Colectores limpiados con elemento abrasivo, agua fría y secado

Con este procedimiento se obtiene la mejor calidad de limpieza de los colectores, lo que confirma que es necesario aplicar un método abrasivo para poder dejar en las mejores condiciones los colectores.

3.2.6 Resultados y conclusiones de las pruebas

A continuación, se presentan los resultados finales obtenidos con cada método de limpieza aplicado en los ensayos.



Figura 25: Resultado método con Vapor de agua a presión, sin secado



Figura 26: Resultado método con vapor de agua a presión y secado con plumilla

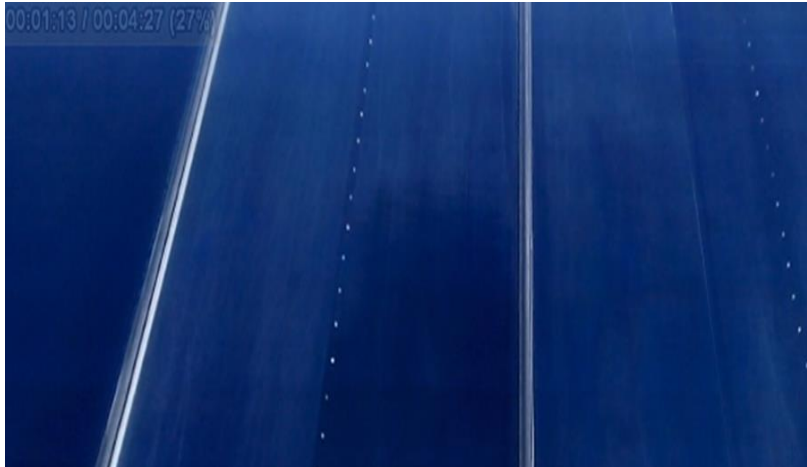


Figura 27: Resultado método con agua caliente a presión y secado con plumilla



Figura 28: Resultado método con agua fría a presión y secado con plumilla



Figura 29: Resultado método con elemento abrasivo, agua fría y secado con plumilla

Finalmente, con las pruebas realizadas se pudo concluir que para obtener un nivel de limpieza óptimo se requieren realizar las siguientes tareas:

- Aplicación de agua fría (temperatura ambiente).
- Aplicación de material abrasivo para la remoción eficaz del polvo
- Secado con plumilla para la remoción del agua que queda en el vidrio.

Con este método no se necesita gran presión de agua y un flujo muy grande, ya que, la remoción del polvo la genera principalmente la aplicación de la mopa abrasiva sobre el vidrio. Cabe destacar que este es el sistema actual que utiliza la planta en forma manual.

3.3 SISTEMA DE LIMPIEZA ACTUAL

El sistema de limpieza actual de la planta PES consiste en realizar 4 pasos para la limpieza de los colectores. Estos pasos son: remojado del colector, remoción de polvo con elemento abrasivo (mopa), enjuague y posterior secado. Para realizar la labor, se utiliza un tractor ensamblado a un carro con un estanque de agua de 800 lt., el cual tiene incorporado una bomba de desplazamiento positivo acoplado a un eje rotativo del tractor, además de esto, se cuenta, con una cuadrilla de 3 personas, una manguera de ½” y de 100 [m] de largo, una mopa y una plumilla de goma.

El método consiste en desplazar todos los equipos cada 100 [m] a lo largo de toda la planta de manera de ir limpiando cada vidrio aplicando los 4 paso mencionados.

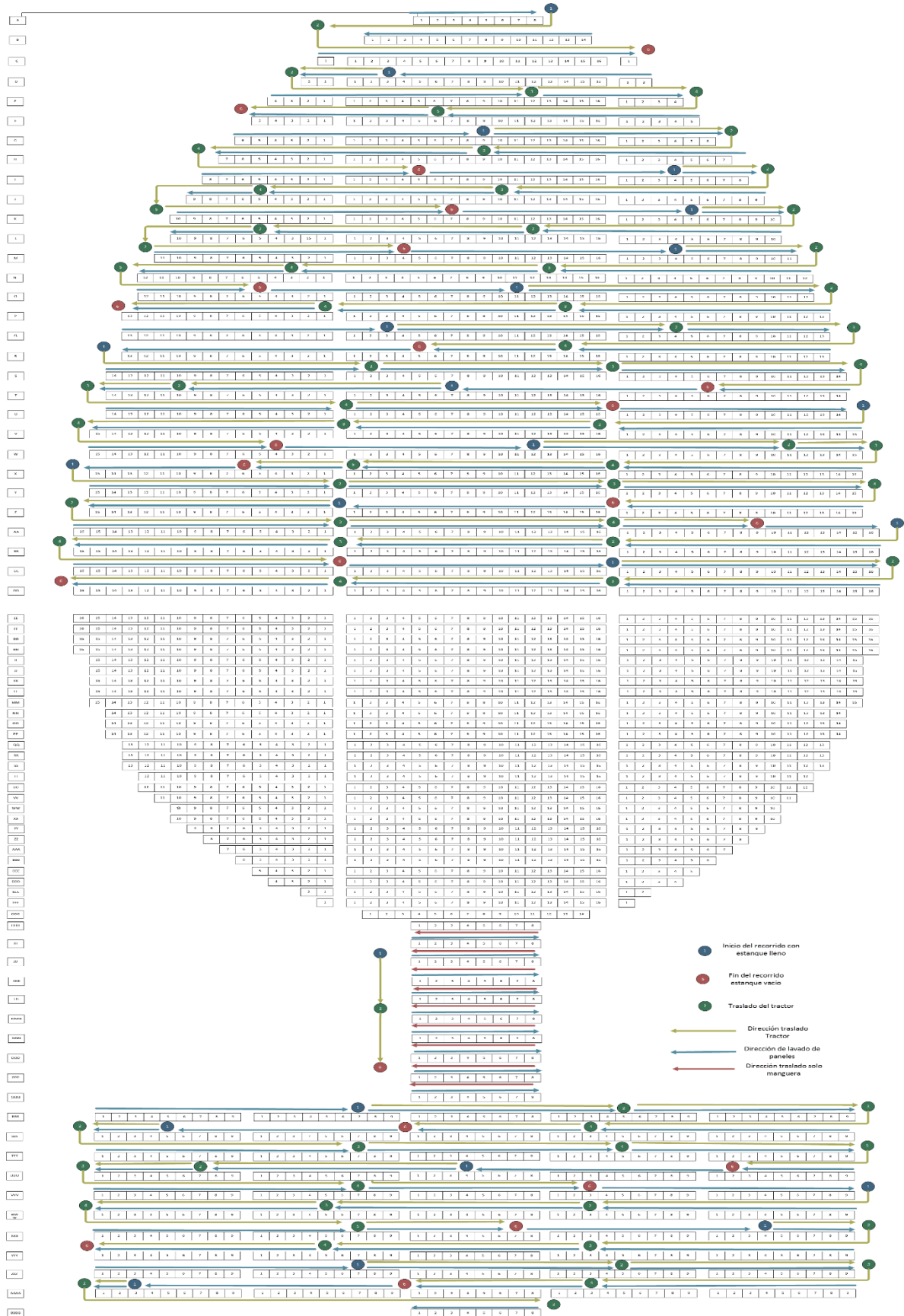
Para determinar los tiempos, el agua utilizada y la cantidad de colectores limpiados con una cierta cantidad de agua. Se procedió a realizar una limpieza de la planta utilizando sólo una recarga del estanque el cual equivale a 800 [lt] de agua. De este procedimiento se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 12: Datos Obtenidos Experimentalmente

Datos obtenidos	
Colectores limpiados	70 colectores
Agua utilizada	800 [lt]
Tiempo de limpieza de cada colector	50 seg.
Tiempo utilizado para traslado del tractor	5 min
Cantidad máxima de colectores limpiados sin mover tractor	16 colectores
Tiempo de recarga del estanque promedio	30 min

Con estos datos y procedimiento se realiza la planificación para la limpieza de la planta completa y se determinan los tiempos y costos asociados.

En la siguiente figura se muestra, el paso a paso de la limpieza de la planta completa que se muestra en la siguiente imagen. Cabe mencionar que sólo se realizó la planificación en una de las mitades de la parte circular de la planta, ya que, la otra mitad se debe realizar un procedimiento simétrico.



3.4 CALCULO DE TIEMPOS Y COSTOS

En base a la planificación paso a paso mencionada anteriormente se estiman los siguientes datos para el proceso de lavado completo de la planta solar:

Tabla 13: Estimación de Costos de limpieza de la Planta

Estimaciones costos de operación	
Numero de operarios	3
Costo de 3 trabajadores con turno 7x7 - 12 horas diarias	\$ 4.500.000 al Mes
Costo de 3 trabajadores para limpieza completo de la planta	\$ 2.992.500
Número de recarga de estanque	40
Tiempo perdido por las recargas	1.200 [min] – 20 horas
Cantidad de agua utilizada	32.000 [Lt]
Costo del agua utilizada	\$ 960.000
Cantidad de traslado del tractor (sin considerar recargas de estanque)	166
Tiempo utilizado para traslado del tractor	830 [min] – 13.83 [horas]
Colectores limpiados	2928
Tiempo de limpieza promedio por colector	50 [seg] - 0.8333 [min]
Tiempo de limpieza de todos los colectores	2.440 [min] – 40,66 [horas]
Tiempo total limpieza Planta Completa	74,49 horas
Días totales para limpieza completo (8 horas diarias de trabajo continuo)	9.31 Días
Colectores limpiados por día	300
Costo total de limpieza completo de la planta	\$ 3.952.500

Estos costos no incluyen mantención o compras de herramientas, ni gasto de combustible en la utilización del tractor.

Cabe destacar que cerca del 48% del tiempo utilizado se pierde en recargar el estanque y posicionamiento del tractor para realizar cada operación de limpieza como se puede observar en el siguiente gráfico:

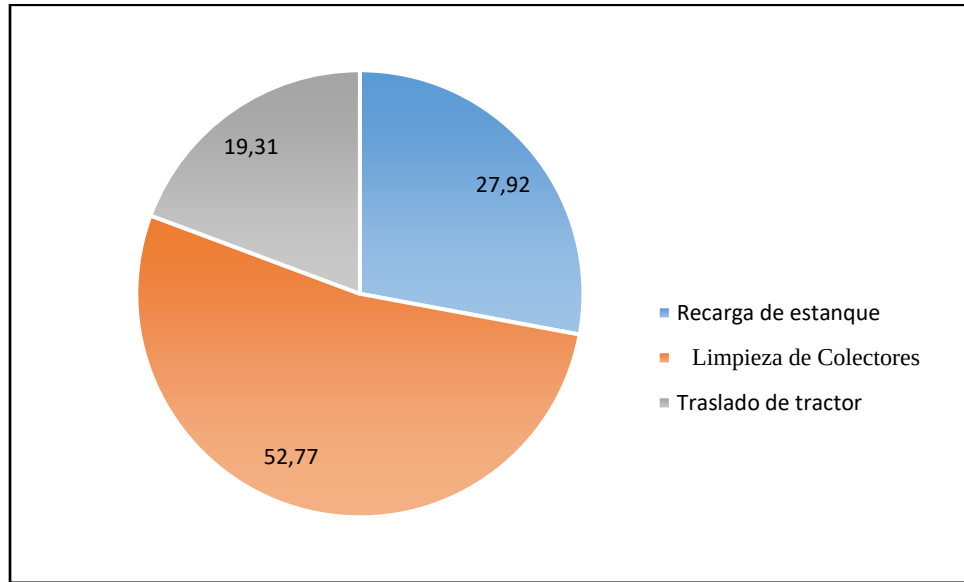


Figura 30: Grafico de distribución de Tiempos

Con esta informacion se puede concluir que hay una gran pérdida de tiempo en el traslado del tractor y recargar el estanque y que una forma de disminuir costos y aumentar la velocidad de limpieza de la planta, es disminuyendo cada uno de estos tiempo.

CAPITULO 4

4.1 ANALISIS DE MUESTRA DE POLVO DE COLECTORES SOLARES

Este análisis se realizó para confirmar la presencia de sulfato de calcio en el polvo presente en los colectores. Y determinar si el sulfato de calcio es la causa de la generación de la capa blanca de polvo que se obtiene después de realizar la limpieza de los colectores, todo esto para posteriormente buscar la forma más efectiva para removerlo.

4.1.2 Análisis de tamaño de partículas de la muestra de polvo

Mediante un análisis visual de polvo a través de una lupa estereoscópica y un microscopio digital, se detectó que el polvo posee gran cantidad de minerales y componente finos como se puede observar en las figuras 30 y 31. Además se pudo medir las partículas más pequeñas del polvo, las cuales tienen un tamaño aproximado de 1,4 micrómetros como se observa en la figura 33. Dicho tamaño de partícula puede ser lo suficientemente pequeñas para que estas se incrusten en las rugosidades de los vidrios con los que cuenta los colectores, lo que explicaría por qué sólo un método abrasivo es capaz de remover el polvo adherido.

Por otra parte, y debido a los ensayos realizados en los colectores con diferentes conceptos de limpieza a distintas temperaturas del agua aplicada. Se cree que es posible que el polvo en suspensión contenga una cantidad importante de Sulfato de Calcio (CaSO_4) conocido como yeso. Gracias a otros estudios se conoce que este compuesto tiene la propiedad de ser menos soluble en agua a mayor temperatura. Esto explicaría la formación de la capa blanca que se produce al aplicar vapor de agua húmedo sobre los vidrios, ya que, el sulfato de calcio no es disuelto y ni arrastrado por el vapor aplicado.

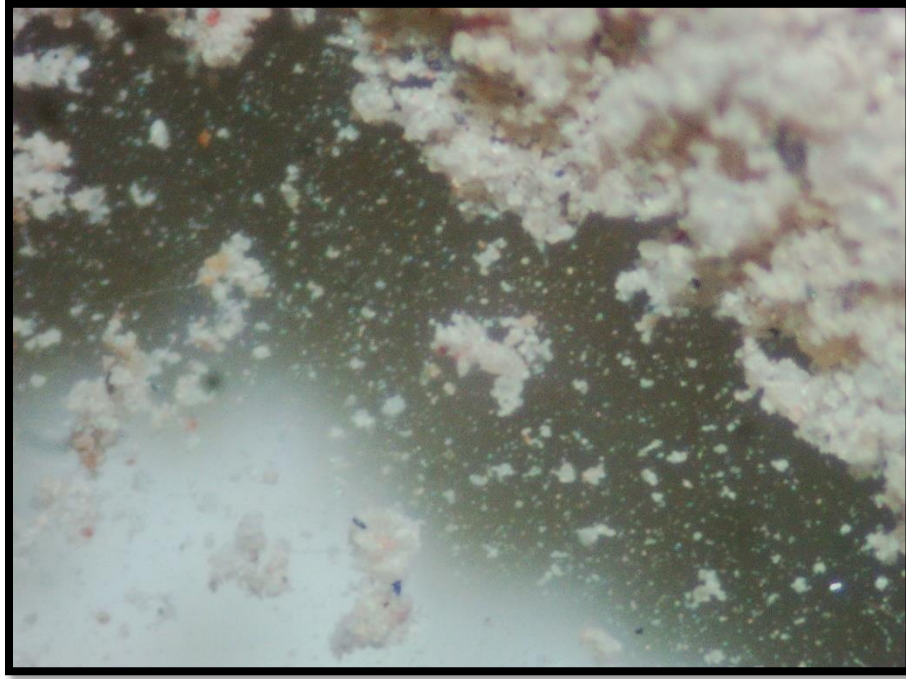


Figura 31: Polvo presente en colectores a 50x con lupa estereoscópica

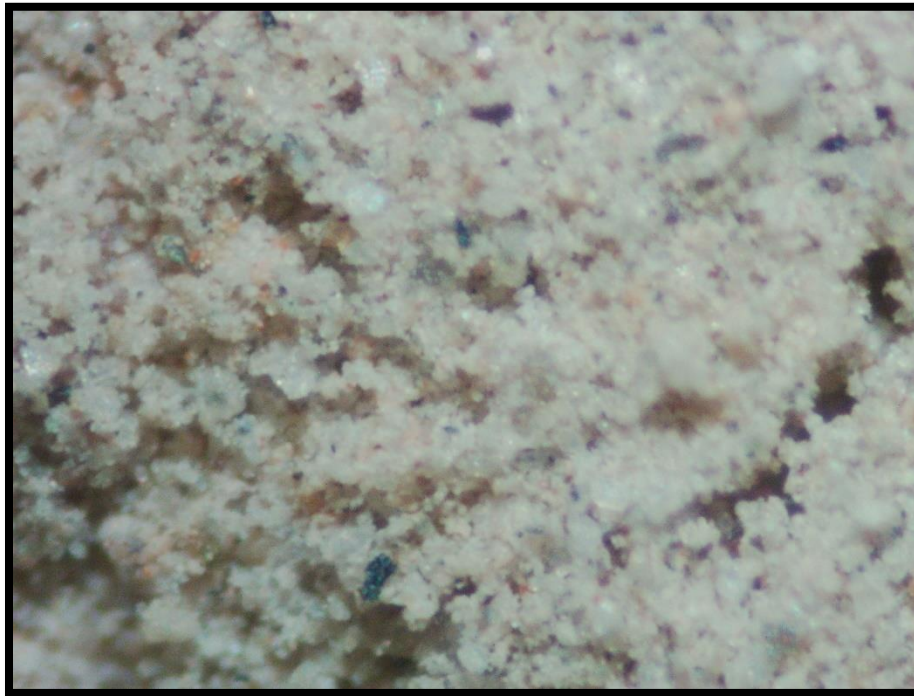


Figura 32: Polvo presente en colectores a 50x con lupa estereoscópica

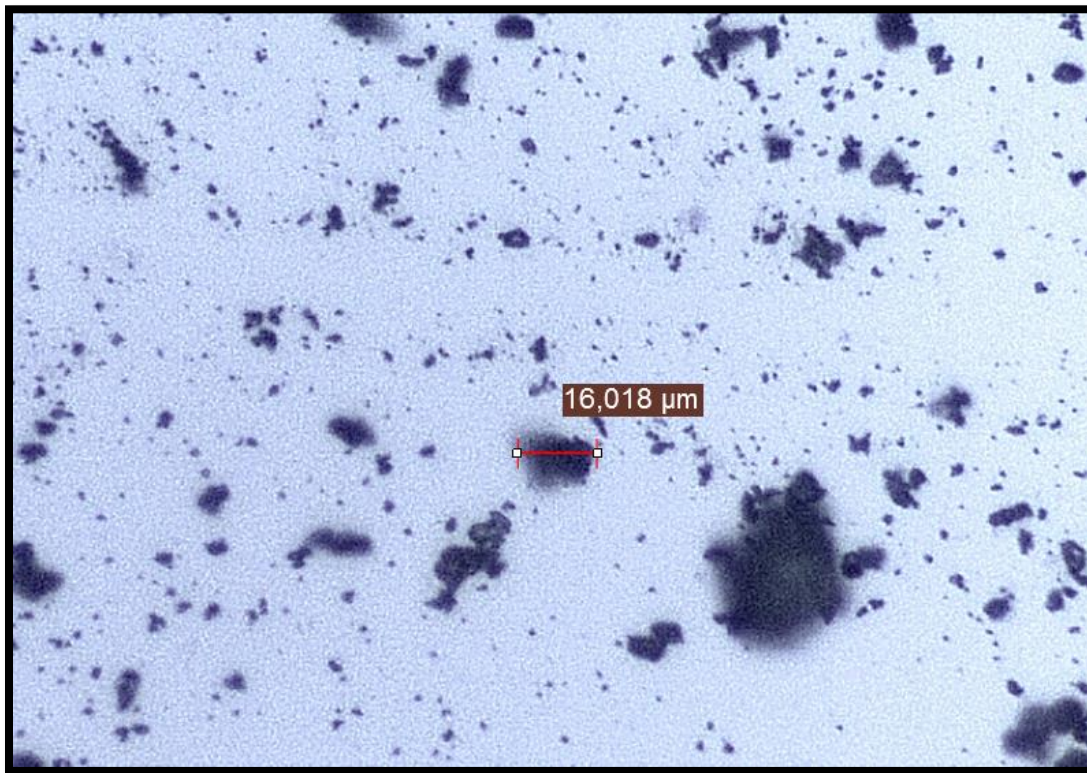


Figura 33: Polvo presente en colectores a 100x con microscopio

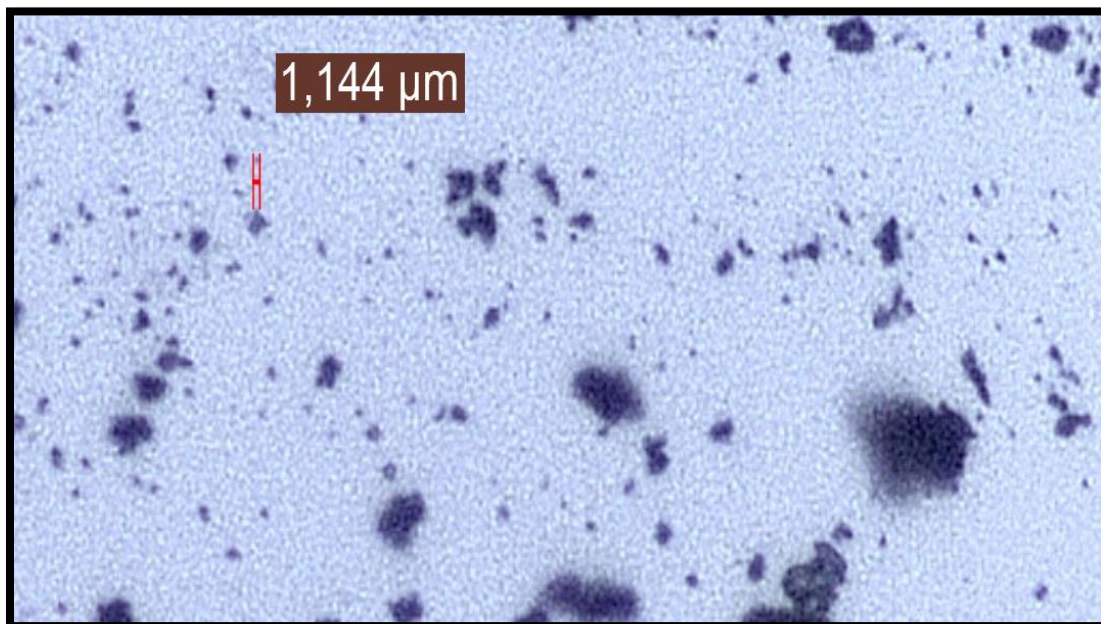


Figura 34: Polvo presente en colectores a 100x con microscopio

4.1.2 Análisis de concentraciones en muestra de polvos de colectores solares

Como se menciona en el informe de análisis químico realizado por la Universidad Técnica Federico Santa María que se encuentra en el Anexo C. La muestra de polvo obtenida directamente de la superficie de los colectores solares se encontró la presencia de calcio y sulfatos en la siguiente concentración.

Tabla 14: Concentraciones de Calcio y Sulfato

Muestra	Calcio [g.Ca/100g de muestra]	Sulfatos [g. SO ₄ /100g de muestra]
Concentraciones	2,2	6,9

Al contar con las concentraciones y conociendo el peso molecular del Sulfato (SO₄) y Sulfato de Calcio (CaSO₄) y el peso atómico del Calcio (Ca), se pudo determinar las concentraciones de Sulfato de Calcio que posee el polvo presente en la planta PES.

Tabla 15: Pesos Moleculares

PM CaSO ₄	136,14 g/mol
PM SO ₄	96,06 g/mol
PA Ca	40,07 g/mol

Concentración de CaSO₄ considerando que todo el calcio está presente como Sulfato de Calcio:

$$\text{CaSO}_4 = \left(\frac{2,2 [\text{g}/100\text{g de muestra}]}{40,07 [\text{g}/\text{mol}]} \right) * 136,14 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] = 7,47 [\text{g}|100\text{g de muestra}]$$

Concentración de Sulfato que no está presente como Sulfato de Calcio:

$$7,47 - \left(\frac{2,2 \left[\frac{\text{g}}{(100\text{g de muestra})} \right]}{40,07 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]} \right) * 96,06 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] = 2,195 [\text{g}|100\text{g de muestra}]$$

Se concluye que el **7,47 %** del polvo presente en los colectores solares corresponde a Sulfato de Calcio, con lo que se determina que existe una cantidad considerable de Sulfato de Calcio en el polvo presente en los colectores.

4.1.3 Solubilidad del Sulfato de Calcio a diferentes temperaturas

Conociendo las concentraciones de Sulfato de Calcio presente en el polvo de la zona en donde se encuentra la planta PES. Se procedió a investigar las razones por la cual los conceptos de limpieza que utilizaban agua a altas temperaturas generaban una mayor capa blanca de polvo sobre los colectores.

En base a esta investigación se encontró que el Sulfato de Calcio es un compuesto que tiene como característica que su solubilidad disminuye drásticamente a medida que la temperatura del agua va aumentando. Hecho que explicaría por qué se genera una capa blanca al utilizar agua caliente, que básicamente produce que, al aplicar agua a alta temperatura, esta no es capaz de disolver el Sulfato de Calcio presente, provocando que el polvo permanezca depositado en las rugosidades del vidrio y que posteriormente al deshumedecerse vaya dejando una capa blanca difícil de remover.

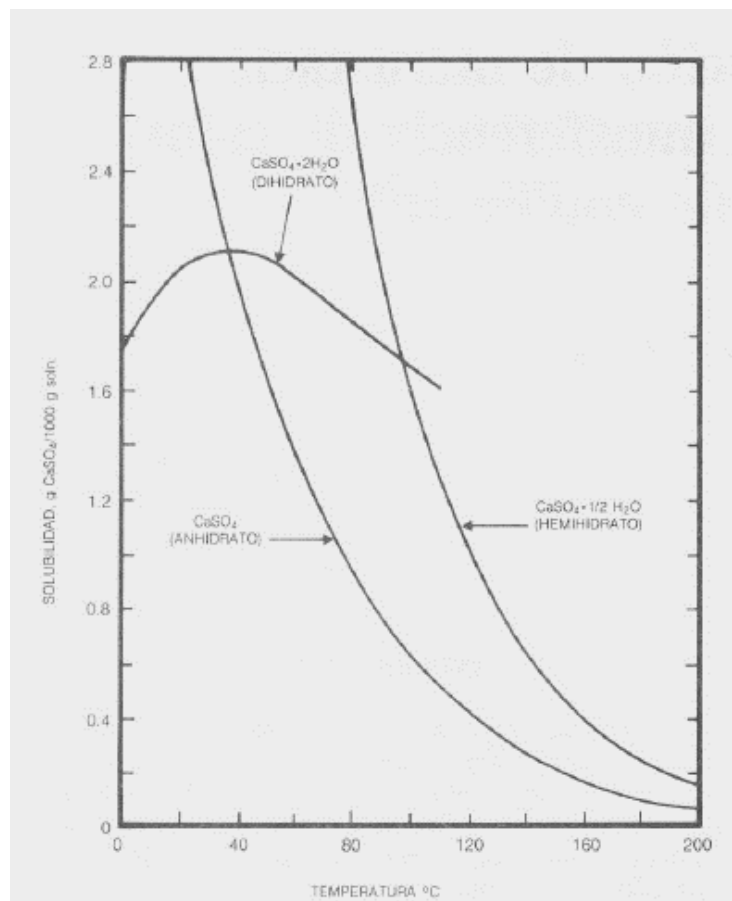


Figura 35: Grafico Solubilidad de Sulfato de Calcio a diferentes temperaturas [/]

4.2 ANALISIS DE VIDRIO

4.2.1 Estudio de rugosidad

Para poder realizar una limpieza adecuada de los vidrios es de suma importancia conocer las cualidades del vidrio. Para esto se realizó un ensayo de rugosidad con el fin de conocer el tamaño de las cavidades que cuenta el vidrio, de manera de poder elegir un elemento abrasivo capaz de entrar en estas cavidades y ser capaz de remover el polvo incrustado.

Del análisis se obtuvo básicamente el perfil de la superficie del vidrio. Se observa en el perfil N° 1, en donde se realizó una medición de la rugosidad del vidrio en una distancia de 12,5 mm, que las cavidades de mayor tamaño tienen un radio entre el rango de 1 [mm] y 1,5 [mm] y con una profundidad promedio de 4,0 [μm]. Dicho espacio es suficiente para permitir la incrustación de las partículas del polvo que se encuentra en la planta Pampa Elvira Solar y que tienen un tamaño de partícula mínimo de 1,1 [μm].

Por otra parte, en la medición del perfil N° 2, 3 y 4, en donde se realizó la medición aplicando un filtro para no detectar las grandes irregularidades del vidrio y de esta manera poder medir las cavidades más pequeñas. Se obtuvieron mediciones de radio entre los 400 [μm] y 700 [μm] y con una profundidad promedio de 7 [μm]. Demostrando que el polvo es capaz de incrustarse en las cavidades más pequeñas con las que cuenta el vidrio.

Figura 36: Perfil N°1 Superficie del vidrio

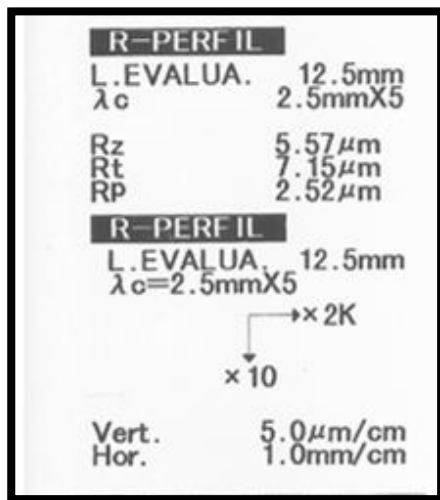
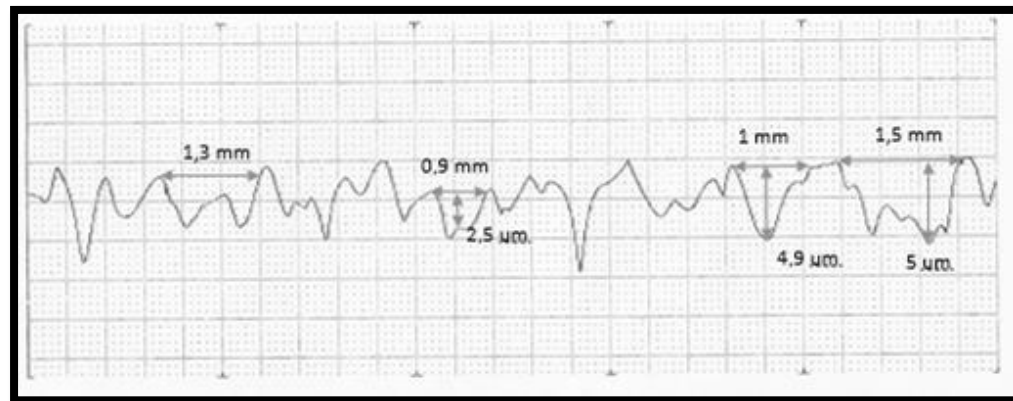


Figura 37: Perfil N°2



Superficie

del vidrio

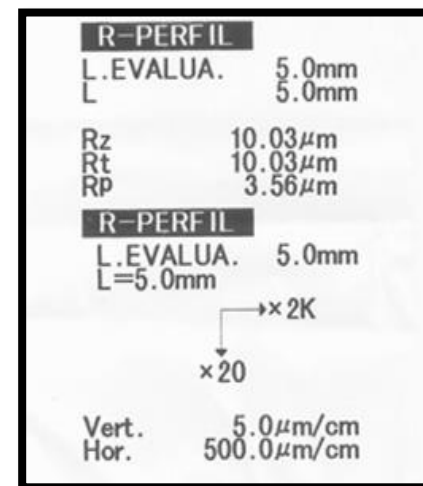
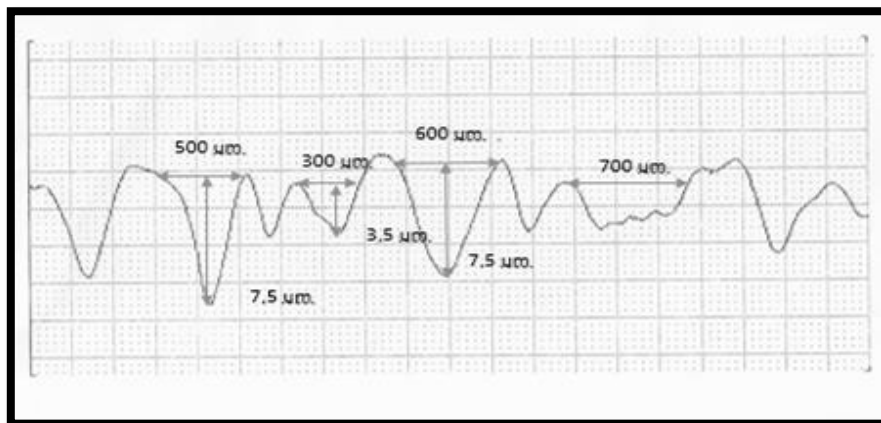


Figura 38: Perfil N°3 Superficie del vidrio

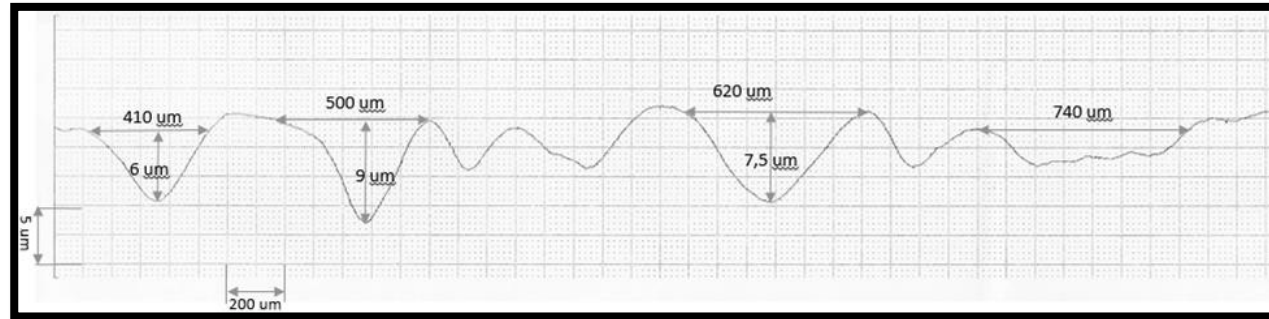
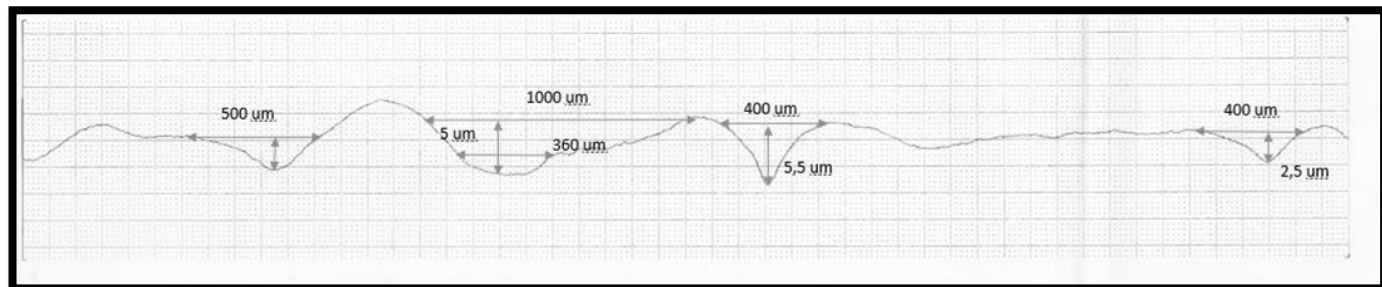
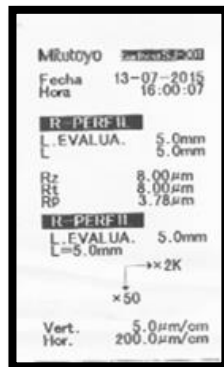


Figura 39: Perfil N°4 Superficie del vidrio



CAPITULO 5

Después de haberse realizado los distintos estudios y haber determinado el mejor método o concepto de limpieza, se procedió a realizar un diseño de equipo automatizado de limpieza que pueda realizar las labores necesarias para cubrir las necesidades de limpieza con las que cuenta la planta PES.

Para el diseño del equipo se consideraron los siguientes requerimientos y especificaciones.

5.1 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO

Ante la necesidad de diseñar un equipo de limpieza que sea capaz de remover el polvo que se deposita sobre los colectores, a una velocidad requerida para mantener el nivel eficiencia deseado en la planta solar. Se fundamentaron las necesidades a cubrir tomando en cuenta los detalles como: dimensiones de los colectores y de la planta, operaciones, comportamiento del polvo en los colectores y tipo de máquina.

En un principio el sistema debe ser capaz de limpiar más de 2.920 colectores de 2500 [mm] de ancho y 6200 [mm] de largo. Esta operación de limpieza debe realizarse en un periodo de tiempo menor en comparación al periodo de tiempo que demoran en esta operación, tres operarios por turno de forma manual.

Los materiales a utilizar deben ser lo suficientemente fuerte para garantizar la seguridad, funcionalidad y estabilidad del equipo, y de este modo minimizar los riesgos de fractura, deflexiones y fallas en general durante las operaciones. Los materiales que trabajarán directamente en contacto con el vidrio de los colectores deben tener el tamaño y la capacidad de remover las partículas más pequeñas de polvo que se incrustan en las cavidades del vidrio, sin olvidar que deben ser lo suficientemente liviano y flexible para no provocar daños en los colectores.

El equipo debe ser capaz de acoplarse a un tractor modelo Kubota L4240. máquina con la que actualmente cuenta la planta Pampa Elvira Solar. Este tractor tiene la capacidad de llevar equipos y maquinaria acoplados tanto en la parte posterior como delantera. En la parte

posterior el tractor es capaz de levantar y trasportar mediante un sistema hidráulico, 3.860 [lb] o en su equivalente, 1.750 [kg]. En tanto en la parte delantera del tractor posee una base de acoplamiento con las siguientes dimensiones:

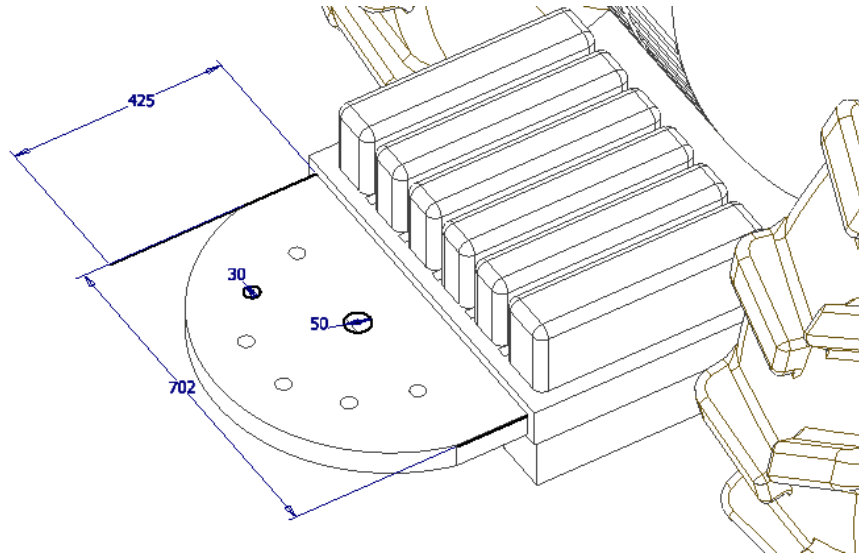


Figura 40: Dimensiones de base de acoplamiento

El método de limpieza escogido y que deberá poder realizar el equipo, consta de 4 pasos:

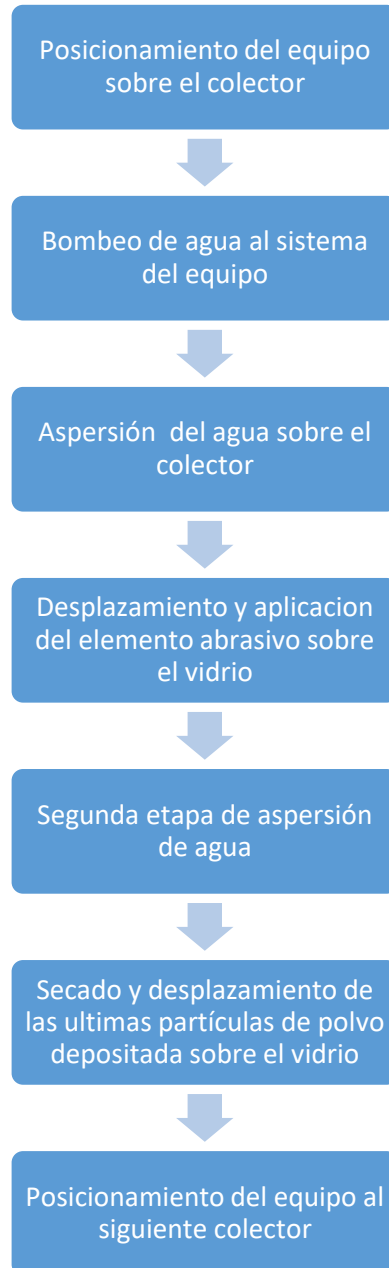
1. Remojado del vidrio
2. Remoción de polvo con elemento abrasivo
3. Enjuague del vidrio
4. Secado final del vidrio

Finalmente, el equipo deberá funcionar solamente cuando se necesite la limpieza de los colectores, de modo de obtener la transparencia deseada para que la radiación solar penetre el vidrio y sea absorbida por el colector. Todo esto debe ser utilizando la menor cantidad de agua y recursos posibles.

5.2 PRINCIPIO BASICO DE FUNCIONAMIENTO

Es relevante mostrar con mayor detalle cómo se realizará el proceso, para esto es preciso la presentación del diagrama en donde se muestra los pasos primordiales y secuenciales del funcionamiento de la máquina.

Figura 41: Diagrama de etapas de limpieza



Como se observa en el diagrama uno de los pasos consiste en alimentar de agua el equipo, la cantidad de agua con la que se alimenta la máquina, debe ser la suficiente para limpiar la mayor cantidad de colectores posibles sin tener que recargar el equipo de almacenamiento, de modo de ahorrar la mayor cantidad tiempo posible en rellenado del estanque de almacenamiento de agua.

La fuente de energía de la máquina para realizar los distintos movimientos, podrá ser eléctrica o hidráulica, en el primer caso aprovechando la energía generada por el tractor, de modo de no necesitar generadores de energía externos para el funcionamiento. Por otro lado, existe la posibilidad de utilizar la fuerza del agua utilizada para limpiar los colectores como fuente de energía mecánica, para hacer funcionar tanto el sistema abrasivo de limpieza como el sistema de movimiento de la máquina.

La máquina constará con operaciones relativamente sencillas pero que deberán ser desarrolladas con la mayor precisión posible para no generar daño sobre los colectores. Dicho lo anterior, se tiene que lograr que la máquina esté bien sincronizada entre cada componente del sistema de limpieza de manera de que el operario tenga todo el tiempo el pleno control de la máquina.

5.3 MATRIZ MORFOLOGICA

La matriz morfológica es un método analítico-combinatorio, que como técnica apoya al proceso de análisis prospectivo. Su aplicación se enfoca en explorar posibilidades para el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías de un sistema en particular.

En este ámbito se utilizó la matriz morfológica para analizar por separado los sistemas que realizan distintas funciones en el equipo, observando los pros y contra de cada una de las alternativas que existe para realizar dicha función. Todo esto para luego utilizar una matriz morfológica para analizar las distintas combinaciones posibles de alternativas para las diferentes partes de la máquina, con el fin de cualificar y cuantificar cada combinación de alternativas, de modo de llegar a la mejor opción para el diseño final.

5.3.1 Sistema abrasivo para remoción de polvo

Este sistema contiene el principal mecanismo encargado de remover el polvo y suciedad presente en los colectores. Para este sistema se consideraron tres alternativas de mecanismo de aplicación que podrían realizar el trabajo requerido, estas alternativas son:

1. Cepillo rectangular fijo:

El sistema con cepillo rectangular fijo consiste en poder remover el polvo aprovechando solo el movimiento de desplazamiento del tractor que traslada el equipo, con este sistema se evita usar un motor extra, además de ser sencillo para implementar.

Detalladamente este sistema radica en acoplar a una estructura metálica en forma de brazo, un cepillo rectangular plano de 2500[mm] de largo y 500[mm] de ancho con cabellos de 300[mm] de largo y con un grosor menor a 1[mm]. Este cepillo se debe posar sobre las superficies del vidrio del colector con la suficiente fuerza y roce para generar el desplazamiento del polvo que se encuentra sobre el vidrio, pero a su vez manteniendo controlada la fuerza que se ejerce sobre el vidrio para no general daños en él.

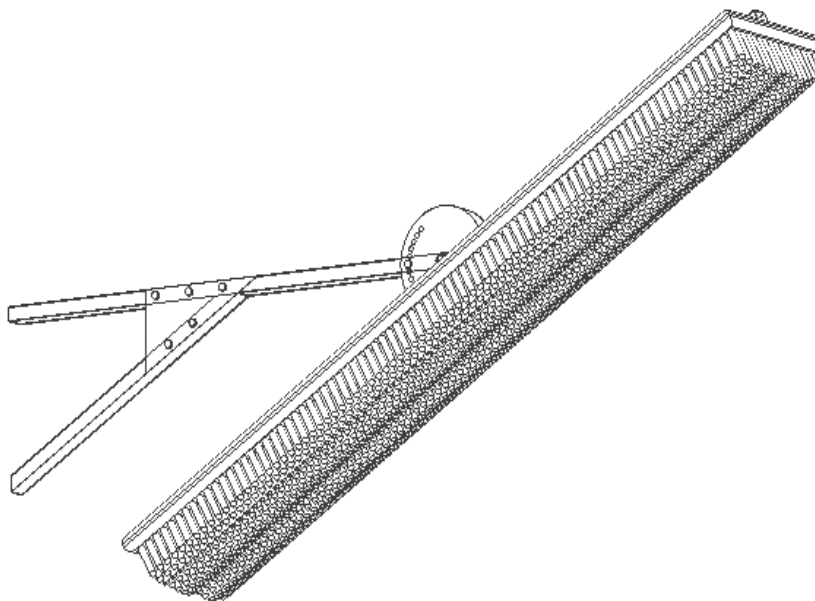


Figura 42: Esquema cepillo rectangular fijo

2. Cepillo cilíndrico rotatorio:

La alternativa con cepillo cilíndrico consiste en remover el polvo de los colectores mediante un cepillo que va rotando a gran velocidad y desplazándose con el avance del tractor.

Este sistema requiere de un motor eléctrico o hidráulico para realizar la rotación del cepillo por lo que se deberá usar la energía eléctrica que entrega el tractor o la energía mecánica del flujo de agua que se utilice para mojar los colectores. En cuanto al cepillo deberá tener como dimensiones un largo de 2500[mm] y un diámetro de 60 [mm], con los cabellos del cepillo totalmente extendido. Al igual que la alternativa anterior el cepillo deberá ir acoplado a una estructura metálica.

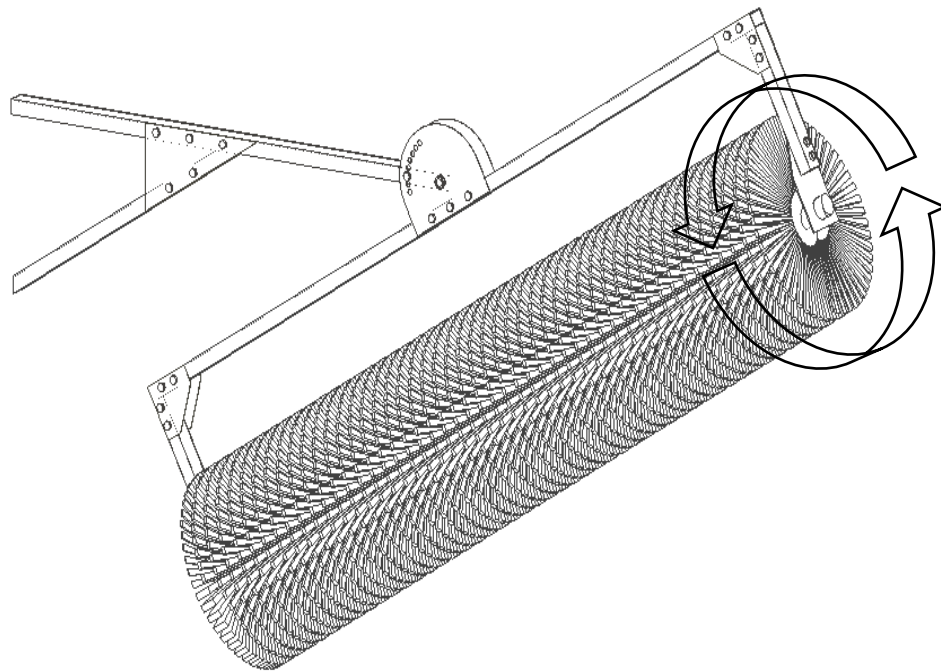


Figura 43: Esquema cepillo cilíndrico

3. Cepillo plano con desplazamiento:

La alternativa con cepillo plano con desplazamiento consiste en la aplicación de varios cepillos pequeños que realicen un movimiento de arriba y abajo mientras el equipo y tractor vayan avanzando.

Para este sistema se requiere de un motor para el movimiento de los cepillos a través de la guía de la estructura, los cepillos deberán tener un tamaño de 300[mm] x 300 [mm] y largo de cabello de 200[mm]

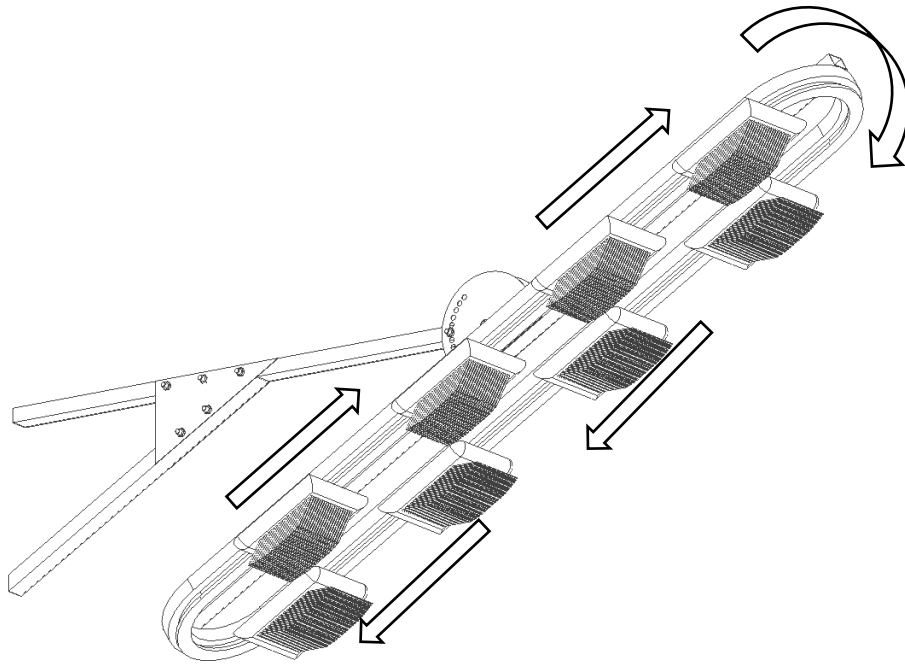


Figura 44: Esquema cepillos planos con desplazamiento

Tabla 16: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema abrasivo.

Aspecto	Tipo sistema de cepillo abrasivo		
Alternativa	Rectangular fijo	Cilíndrico rotatorio	Plano con desplazamiento
Ventajas	Fácil de ensamblar, bajo costo, no necesita moto	Fácil de obtener y reponer, mayor desplazamiento de polvo.	Desplazamiento vertical del polvo, 2 pasadas por área
Desventajas	Menor desplazamiento de polvo, aplica mayor fuerza sobre el vidrio, utiliza Cabellos más rígidos.	Necesita de un motor para su rotación.	Tamaño y peso de la estructura, utiliza cabellos más rígidos.

Dentro de este sistema, además, existe una variada gama de alternativas de cepillos con distintos materiales abrasivo capaz de realizar la remoción del polvo sobre el colector. Estos cepillos son fabricados especialmente para limpieza de vidrios y existen una gran cantidad de proveedores en el mercado.

Para el caso del equipo que se desea diseñar, existen dos alternativas de cepillo en el mercado especiales para realizar, de forma eficaz, la labor de limpieza requerida.

1.- La primera alternativa es el cepillo de polietileno, el cual es excelente para remover polvo y suciedad de superficies rugosas si dañar la superficie, con este tipo de material se pueden encontrar cepillos con las siguientes especificaciones técnicas:

- 1. Material:** Polietileno
- 2. Pelos:** Circular
- 3. Largo de pelos:** 200[mm] a 600 mm].
- 4. Grosor de pelos:** 0.5 [mm] a 1 [mm]
- 5. Resistencia:** Alta
- 6. Cualidades:** 100% Reciclable



Figura 45: Cepillo de polietileno [8]

2.- La segunda alternativa es el cepillo Carlite, que tiene la cualidad de ser lo suficientemente suave y delicado para no dañar de ninguna forma la superficie a limpiar, en el mercado se pueden encontrar cepillos de este material con las siguientes especificaciones técnicas:

1. **Material:** Goma espuma
2. **Pelos:** Rectangulares
3. **Largo de pelos:** 200[mm] a 600[mm]
4. **Dimensiones de pelos:** 1[mm] x 4[mm]
5. **Resistencia:** Media
6. **Cualidades:** Impermeable.



Figura 46: Cepillo Carlite [9]

Tabla 17: Ventajas y desventajas de alternativas de cepillos.

Aspecto	Tipo de cepillo abrasivo	
Alternativa	Polietileno	Espumado
Ventajas	Menor grosor del cabello, mayor penetración en superficies irregulares	Más liviano, no genera huellas ni matices en la superficie del vidrio.
Desventajas	Peso, posibilidad de generar matices en el vidrio	No penetra en las cavidades del vidrio de los colectores

5.3.2 Sistema de secado

Para la adecuada limpieza de los colectores es necesario contar con un sistema de secado de los vidrios, para este sistema se estudiaron dos alternativas, la primera alternativa consiste en la utilización de plumillas similares a las utilizadas en los parabrisas de los vehículos convencionales, por otra parte, existe la alternativa de utilizar aire a presión para remover el agua que queda en los vidrios, pudiendo ser aire a temperatura ambiente o caliente.

Para la aplicación de las distintas alternativas se barajaron las siguientes opciones:

1. Plumillas de secado

Para el sistema de plumillas se pensó en una estructura de tubos aluminios que puede ser acoplada a la estructura del sistema abrasivo. Esta estructura de tubos servirá de soporte para un par de canales y sus respectivas plumillas de goma que tendrán como dimensiones 2500[mm] largo, 100[mm] de alto y 15[mm] de ancho.

Para realizar el secado la estructura deberá estar posada sobre el vidrio del colector y arrastrar el agua a medida que se desplaza el equipo completo junto con el vehículo de transporte.

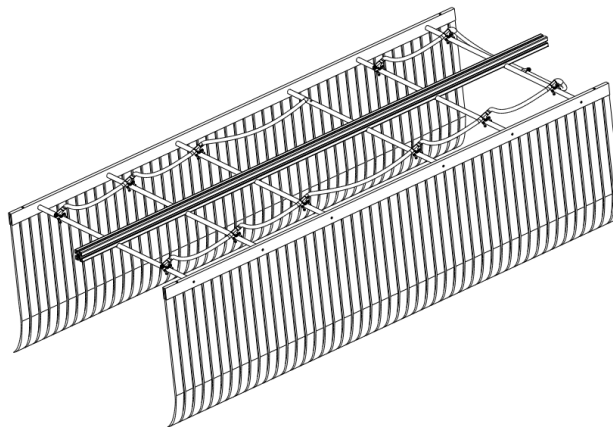


Figura 47: Esquema equipo de secado con plumilla

2. Secado con aire

Este sistema está pensado, al igual que el sistema con plumillas, para que pueda ser acoplado a la estructura del equipo abrasivo. La diferencia radica en que se utiliza aire a presión para desplazar el agua que se encuentra en la superficie del vidrio. Para esto se tiene pensado una estructura liviana de fibra de vidrio, la cual distribuya el aire que entra al dispositivo, por todo el largo del vidrio (2500[mm] de largo).

Con este sistema la estructura no se debe posar sobre el vidrio, evitando aplicar fuerza que pudieran romper el vidrio.

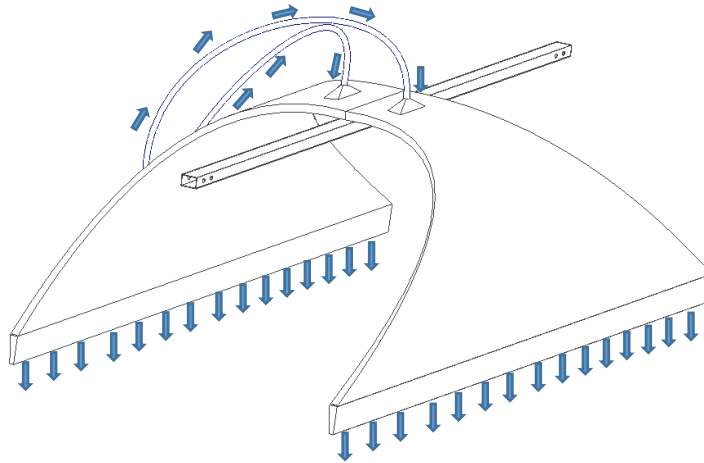


Figura 48: Esquema de equipo de secado con aire

Tabla 18: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de secado.

Aspecto	Tipo de cepillo abrasivo	
Alternativa	Plumillas	Aire
Ventajas	• Menor Costo. • Mantención más sencilla. • Desarmable.	• No se apoya en el vidrio. • Secado más eficiente.
Desventajas	• Se debe apoyar en el vidrio. • Se debe tener mayor control del equipo.	• Mayor costo. • Necesita de equipo de alimentación de aire. • Mayor complejidad en la mantención.

5.3.3 Sistema de desplazamiento vertical

Para que el equipo sea seguro y mantenga la integridad de los colectores durante las operaciones de limpieza, se debe contar con un sistema que permita regular la distancia entre el equipo y la superficie de los colectores. De manera que, si el vehículo de transporte se inclina en unos cuantos grados o tenga que pasar por un desnivel, se puede elevar el equipo para que no genere presión sobre los vidrios.

Para dar solución a este problema, se estudiaron distintos tipos de mecanismos para desplazar verticalmente el equipo. De este estudio se desprendieron 3 alternativas posible de aplicar. Estas alternativas son: Un sistema manual de poleas, sistema eléctrico de poleas y por último un sistema hidráulico utilizando un cilindro vertical.

Detalles de cada alternativa:

1. Manual:

El diseño del mecanismo manual consistiría en poder desplazar verticalmente el brazo del equipo, con un sistema de poleas que sería comandado por un operario, mediante la manipulación de un cabrestante manual instalado en la parte inferior del soporte principal del equipo, con el cual se podrá ajustar la altura a la posición exacta a la que se debe realizar la limpieza para no dañar el colector. Cabe destacar que al ser un sistema manual esta acción solo se podrá realizar con el vehículo detenido.

2. Eléctrico:

Con el mecanismo eléctrico, al igual que con el manual, se utilizaría un sistema de poleas para desplazar el brazo verticalmente, la diferencia recae en que se utilizaría un sistema de winche eléctrico instalado en la parte inferior del soporte principal. El cual podrá ser comandado por el operario que conduce el vehículo o por un sistema automatizado. Con este mecanismo se podrá ajustar la altura del equipo antes, durante y después de ejecutar el trabajo de limpieza.

3. Hidráulico:

El mecanismo hidráulico consiste en aprovechar el sistema hidráulico con el que cuenta el tractor, utilizado actualmente en la limpieza de los colectores en la planta. Esto se realizaría instalando un cilindro hidráulico en la base del carril vertical del equipo como se observa en la figura 48, de manera que el cilindro al accionarse mediante una válvula hidráulica 4/3 centro cerrado pueda desplazar el brazo verticalmente y luego fijar la posición el equipo. Este sistema podrá ser comandado por el conductor del vehículo o por un sistema automatizado en todo momento, sin la necesidad de detener el trabajo de limpieza.

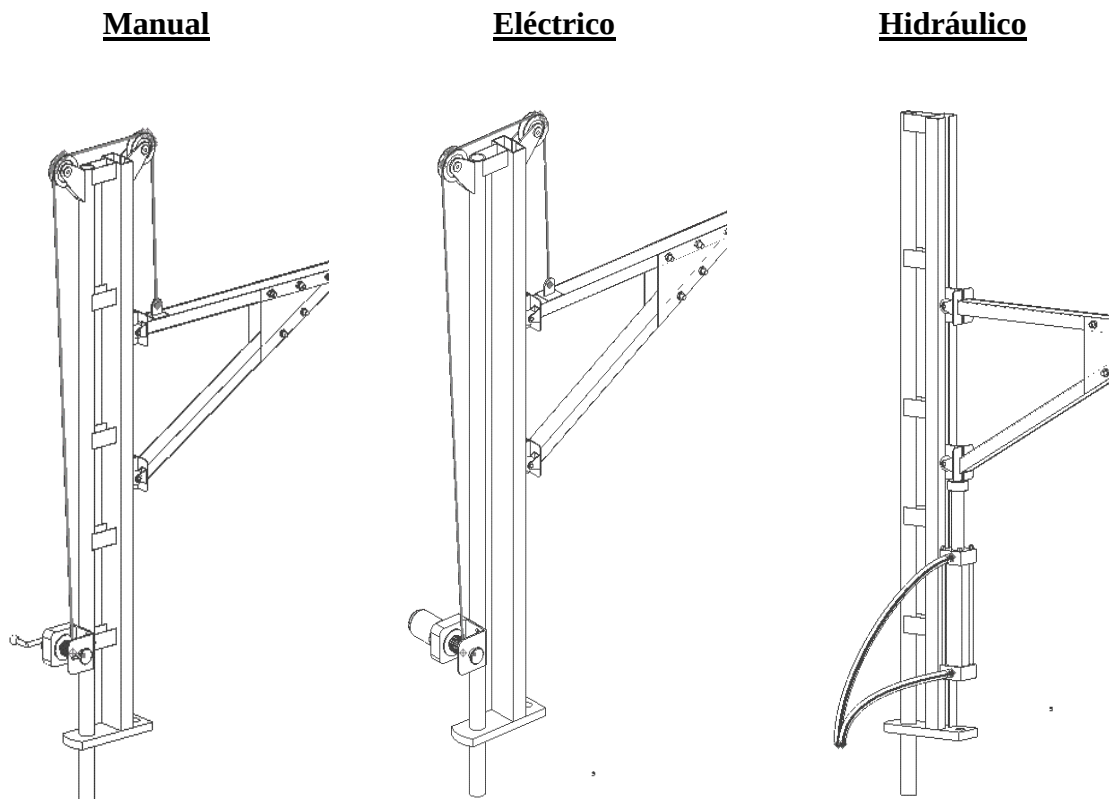


Figura 49: Alternativas sistema de desplazamiento vertical

Tabla 19: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de secado.

Aspecto	Sistema de desplazamiento vertical		
Alternativa	Manual	Eléctrico	Hidráulico
Ventajas	• Menor costo • Mantenimiento más sencillo	• Permite ajuste durante el proceso de limpieza • Capacidad para implementar sistema de control automatizado • Mayor precisión	• Permite ajuste durante el proceso de limpieza • Capacidad para implementar sistema de control automatizado. • Mayo velocidad
Desventajas	• No permite ajuste durante el proceso de limpieza. • No permite implementar sistema de control automatizado	• Mayor peso • Menor velocidad • Mayor costo • Requiere Motor adicional.	• Mayor costo • Requiere intervenir el sistema hidráulico del tractor • Menor precisión

5.3.4 Sistema de control

Dentro del diseño del equipo se ha pensado para el sistema de control del desplazamiento vertical del brazo, tres alternativas: Control manual, mecánico y electrónico.

1. Control Manual:

El control manual consiste en dejar en manos del operario todo el control y la determinación de cuando es necesario elevar o bajar el brazo del equipo. Este sistema se puede implementar en las tres alternativas de sistema de desplazamiento.

El control para el sistema manual de desplazamiento consistiría básicamente en una manivela instalada en el cabrestante para accionar el movimiento de la polea.

En cuanto en el sistema eléctrico esto consistiría en instalar un control alámbrico en la cabina del tractor. Este control que contaría con 2 botoneras estaría conectado directamente al motor del winche. Con el accionamiento de la botonera se permitiría el paso de la corriente que permitiría mover el motor en una u otra dirección.

Finalmente, para el sistema hidráulico de desplazamiento se contaría con una válvula 4/3 de centro cerrado con accionamiento manual por palanca para comandar el avance o retroceso del vástago del cilindro hidráulico.

2. Electrónico:

El sistema de control electrónico consistiría un sistema automatizado de control. Para este sistema se utilizarían sensores de distancia, pudiendo ser de ultrasonido o laser de corta distancia, estos sensores entregarían la información a un microcontrolador, el cual procesaría la información, para luego comandar el motor eléctrico o a una eventual electroválvula para que ejecute el desplazamiento vertical del brazo del equipo.

Cabe destacar que este sistema de control sólo se podría aplicar en el sistema eléctrico o hidráulico de desplazamiento vertical.

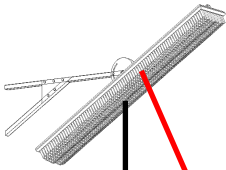
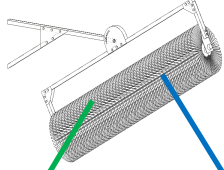
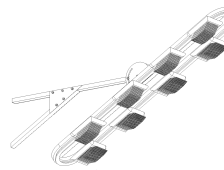
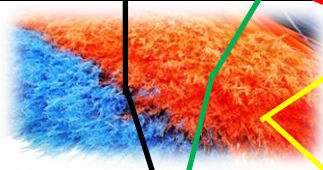
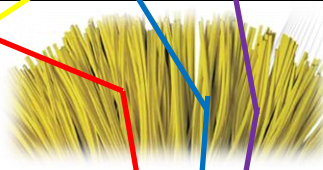
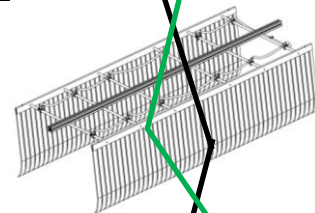
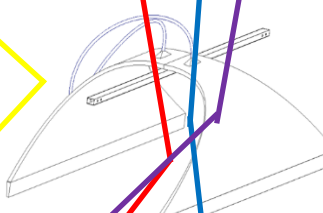
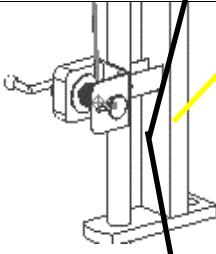
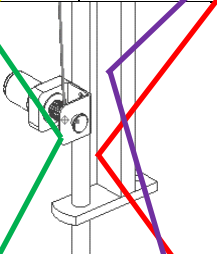
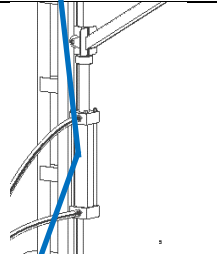
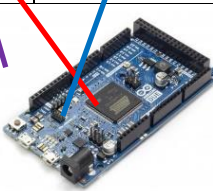
Tabla 20: Ventajas y desventajas de alternativas de sistema de control.

Aspecto	Sistema de Control	
Alternativa	Manual	Electrónico
Ventajas	• Menor Costo • Fácil de instalar. • Menor complejidad	• Facilita el trabajo al operario. • Mayor seguridad
Desventajas	• Menor seguridad. • Requiere extrema atención del operador.	• Mayor Costo. • Mayor complejidad de equipo. • Mantención y ajuste

5.3.5 Matriz de Morfológica

Una vez visto las diferentes opciones de mecanismo para las distintas tareas que debe realizar el equipo, se procedió a realizar la matriz de morfológica. En la matriz se comparan todas las opciones de diseño posibles con respecto a las distintas alternativas contempladas y de acuerdo a diversos criterios, se proporciona una valoración a cada una de las opciones, dichos valores conceden en su sumatoria un puntaje final para cada opción. Este puntaje final nos deja ver claramente que opciones, con respecto a cada combinación posible de las alternativas, es la más conveniente para el diseño final.

Tabla 21: Alternativas de Diseño

Sistemas	Alternativas		
Cepillos abrasivos para remoción del polvo	 Rectangular plano	 Cilíndrico rotatorio	 Plano con desplazamiento
Material del cepillo	 Poliétileno	 Espumado	
Dispositivo de secado	 Plumilla	 Aire	
Dispositivo de desplazamiento vertical	 Manual	 Eléctrico	 Hidráulico
Dispositivo de control del equipo	 Análogo- Manual		 Electrónico

La siguiente tabla contiene las distintas combinaciones para realizar el diseño de equipo de limpieza.

Para las evaluaciones de esta matriz se tomaron en cuenta los detalles de fabricación, seguridad, modificaciones, utilización de piezas estándar fácil de encontrar en el mercado.

Dentro de la matriz cada opción constara con criterios los cuales tendrán un valor máximo determinado, el cual se proporcionará según el grado de importancia del elemento. Para esta tabla de criterios se valorizaron con un 0,5 para los criterios con menor importancia y con un 2 a los de mayor importancia. Finalmente, la suma máxima que se puede obtener por alternativa es de 10.

Tabla 22: Criterios de evaluación

Criterios	variable	Descripción	Valor
Peso	P	Peso que puede tener el componente. Esta variable es importante, debido a que el tractor tiene una capacidad máxima de carga en el punto de anclaje del equipo de limpieza	2
Costos	C	El precio debe ser los más bajo posible, ya que la idea es contar con un prototipo de bajo costo y fácil fabricación	2
Tamaño	T	Al ser un equipo que se usara en un espacio abierto, no es tan importante el tamaño final del equipo.	0,5
Resistencia	R	Resistencia al uso de los componentes. Al ser un prototipo no es tan relevante la durabilidad.	0,5
Funcionalidad	F	El componente debe ser funcional en distintas condiciones de operación.	1
Piezas estándar	PE	Piezas comerciales de fácil acceso. Es muy importante contar con componentes de fácil adquisición.	2
Seguridad	S	Los componentes no deben ser peligro en manipulación	1
Mantenimiento	M	Los componentes deben funcionar con la menor cantidad de mantenciones.	1
Total			10

Tabla 23: Matriz de Decisión.

Sistemas	Alternativas	Criterio de evaluación de alternativas								
		P (2)	C (2)	T (0,5)	R (0,5)	F (1)	PE (2)	S (1)	M (1)	Total (10)
Cepillos abrasivos para remoción del polvo	Rectangular plano	2	2	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	6,75
	Cilíndrico rotatorio	1,25	1	0,25	0,5	1	2	1	1	8,00
	Plano con desplazamiento	0,5	0,25	0,1	0,25	0,8	1	0,8	0,25	3,95
Material del cepillo	Polietileno	2	1,5	0,5	0,5	1	2	1	1	9,50
	Espumado	1,8	2	0,5	0,5	0,25	2	1	0,5	8,55
Dispositivo de secado	Plumilla	1,5	2	0,5	0,5	1	2	0,5	0,8	8,80
	Aire	2	1	0,25	0,25	1	0,5	1	0,25	6,25
Dispositivo de movimiento del equipo	Manual	2	2	0,5	0,3	0,25	1	0,25	0,5	6,80
	Hidráulico	1	0,5	0,3	0,5	1	0,5	1	0,5	5,30
	Eléctrico	1	1	0,3	0,3	2	1	0,8	1	7,40
Dispositivo de control del equipo	Manual	2	2	0,5	0,5	0,5	2	0,25	1	8,75
	Electrónico	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	5,5

5.4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL EQUIPO DE LIMPIEZA

Al analizar las opciones de mayor valor final se obtiene una idea clara de lo que será el diseño final y cuáles serán sus componentes principales, por esta razón ahora es posible diseñar el equipo conociendo sus características.

Mediante la matriz de decisiones se concluyó que el equipo deberá utilizar un cepillo cilíndrico rotatorio de polietileno acoplado a una estructura metálica, la cual permitirá el giro del cepillo y servirá como soporte para la estructura de plumilla que se utilizará para el secado de los vidrios. El motor eléctrico del cepillo deberá ser capaz de girar en ambos sentidos y funcionar con la energía que puede proporcionar el tracto en el cual se trasporta el equipo.

En cuanto al sistema de movilidad se utilizará un mecanismo con un cabrestante eléctrico y poleas para poder desplazar la estructura verticalmente dependiendo de la necesidad. Este mecanismo será controlado manualmente por el operario del vehículo que trasporta el equipo de limpieza quien contará con un control alámbrico que comandará el funcionamiento y la dirección de giro del motor. Además, el mecanismo contará con un sistema de frenado para que el brazo permanezca en su posición sin la necesidad de consumir electricidad.

Finalmente, la estructura base del equipo será instalada a la parte delantera del tractor, por lo que deberá contar con un perfil cilíndrico que pueda acoplarse al acople de 50 [mm] de diámetro con el que cuenta el tractor.

5.5 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE LIMPIEZA

5.5.1 Estructura base

La estructura base corresponde al poste principal encargado de dar la rigidez y permitir el acople del equipo sobre el vehículo de transporte. Esta estructura consiste en un perfil cuadrado de aluminio de 2010[mm] de largo, y de lado de 45 [mm] Este perfil permitirá el acople a la base de carga del trasporte del tractor, además de entregar la rigidez al equipo. Al perfil se le acoplará a una distancia de 185[mm] de su base una placa de acero de 25[mm], la cual servirá de soporte y anclaje para el equipo.

Paralelamente al perfil cuadrado de aluminio, se instalará un perfil tipo U de acero como se puede observar en la figura 51. Este perfil tipo U de dimensiones indicadas en la figura 51, estará unido al perfil tubular mediante de placas de acero de 2[mm] de grosor apernadas en ambos perfiles. El perfil tipo U tendrá la tarea de soportar el brazo y las guías lineales que se instalaran para permitir el desplazamiento vertical.

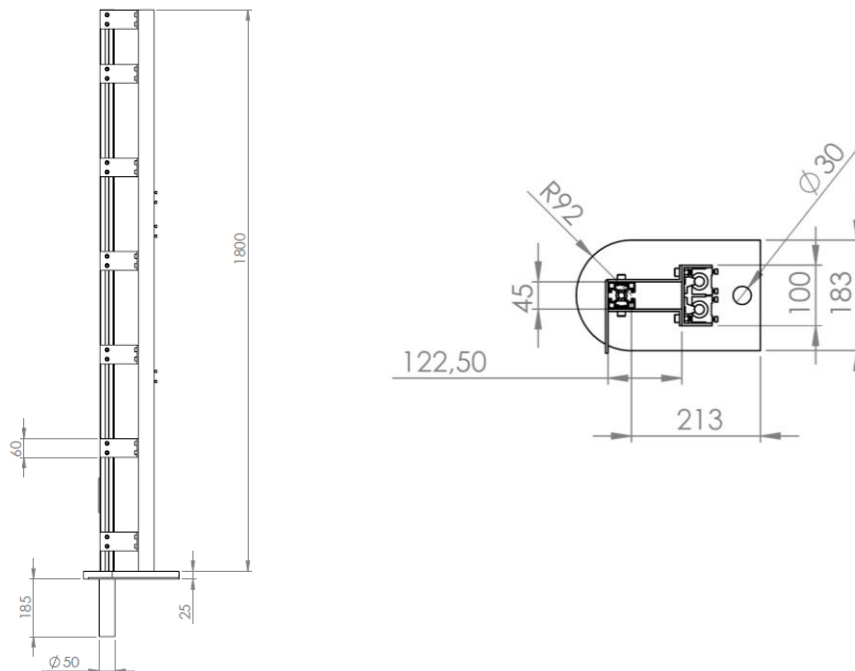


Figura 50: Dimensiones estructura base

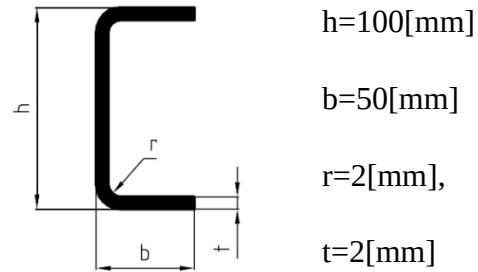


Figura 51: Medidas Perfil Tipo U

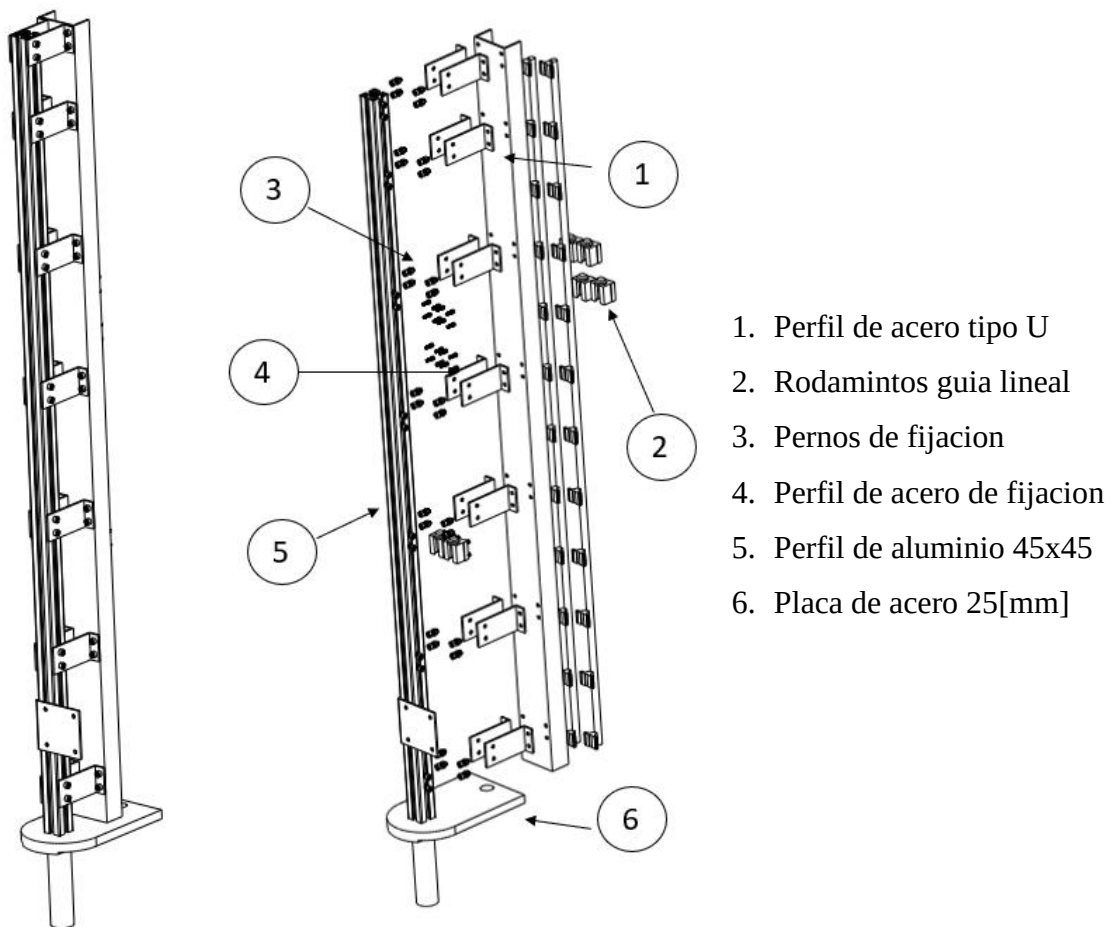
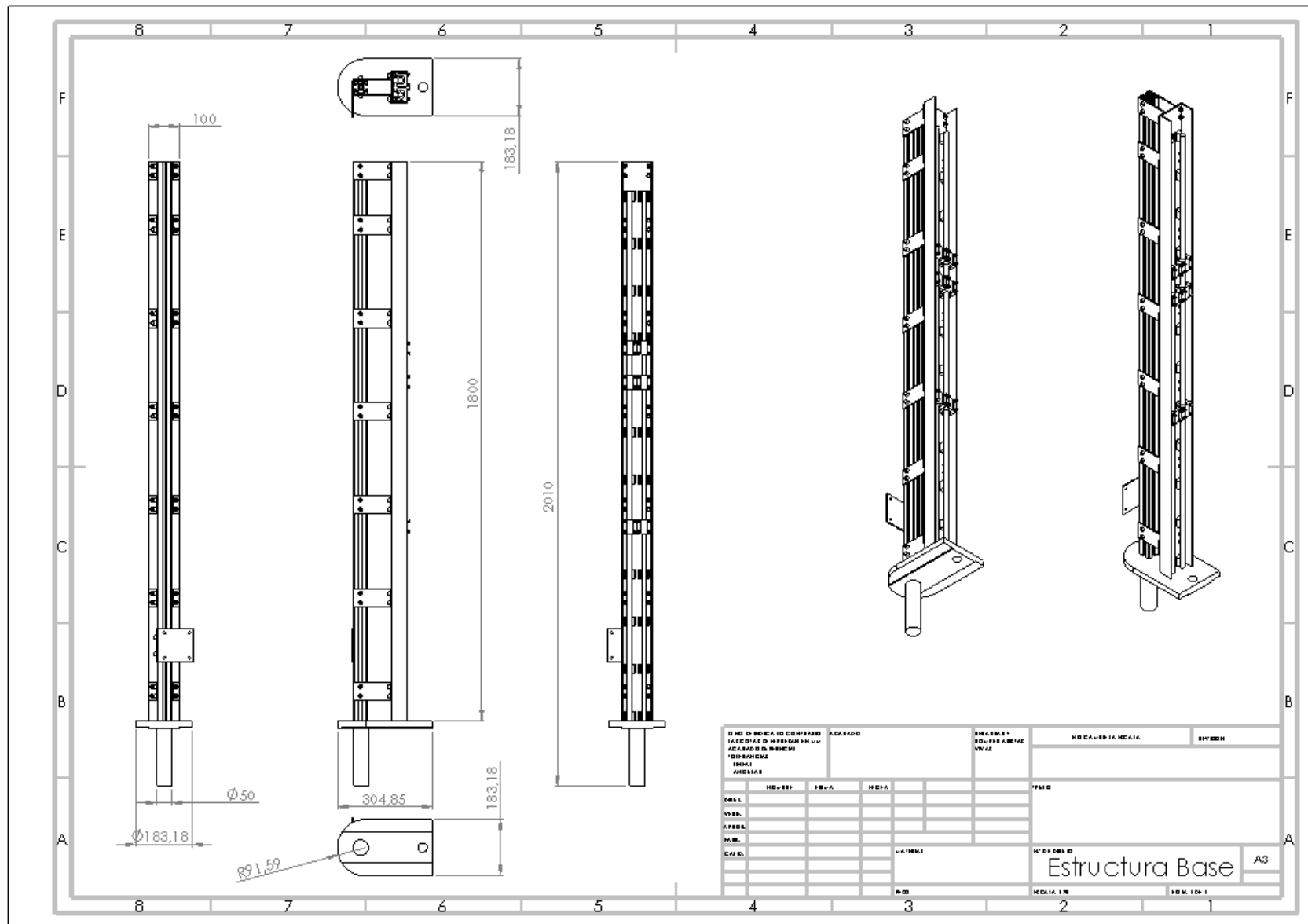


Figura 52: Despiece de estructura base

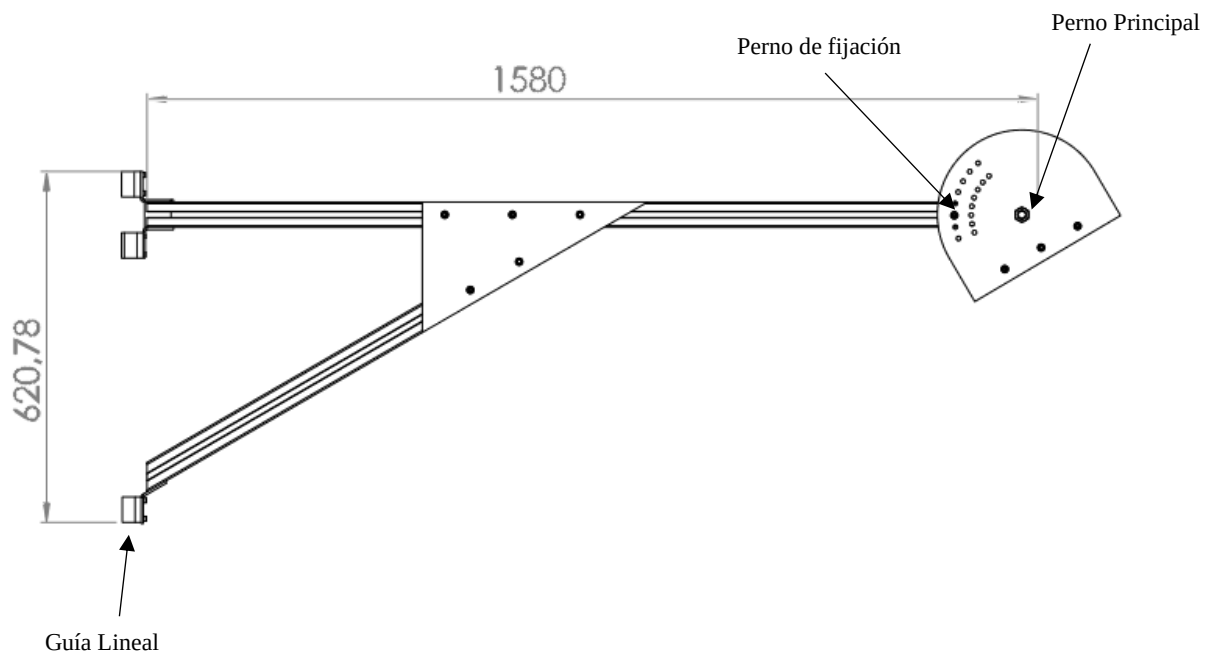


5.5.2 Brazo Móvil

El brazo móvil corresponde a la estructura que va acoplada al perfil C de la estructura base. Tiene como función transportar y proporcionar movilidad a los equipos que realizan el trabajo de limpieza. El brazo está diseñado con 2 perfiles rectangulares de 2[mm] de grosor, los cuales estarán unidos a través de 5 pernos y 2 placas de acero de 2[mm] como se aprecia en la figura X. En la base de cada perfil contará con unos carros con 6 ruedas cada uno que permitirán la movilidad del brazo en dirección vertical guiado por el perfil C de la estructura base.

Por otra parte, en el extremo del perfil más largo se encuentra la estructura que soportara tanto el sistema de regado y secado, como el cepillo cilíndrico. Esta estructura tendrá la capacidad de modificar su ángulo con que queda los equipos para la limpieza, esto es con el fin de proporcionar el mismo ángulo de contacto con el que estén los colectores. El ángulo se podrá variar de 0 a 90 grados manualmente ajustando el perno de fijación.

Figura 53: Estructura Brazo Móvil



1. Perfil de prototipado cuadrado de aluminio
45x45[mm]
2. Perfil de prototipado cuadrado de aluminio
45x45[mm]
3. 2 placa de acero 2[mm]
4. 2 placa de acero 2[mm]
5. 1 perno M16 – 6[mm]
6. 10 pernos M8 – 16 [mm]
7. 4 Placa de acero 2 [mm]
8. 2 Placa de acero plegadas 4[mm]
9. 24 pernos M5 x 16 [mm]
10. 6 rodamientos para guias lineales

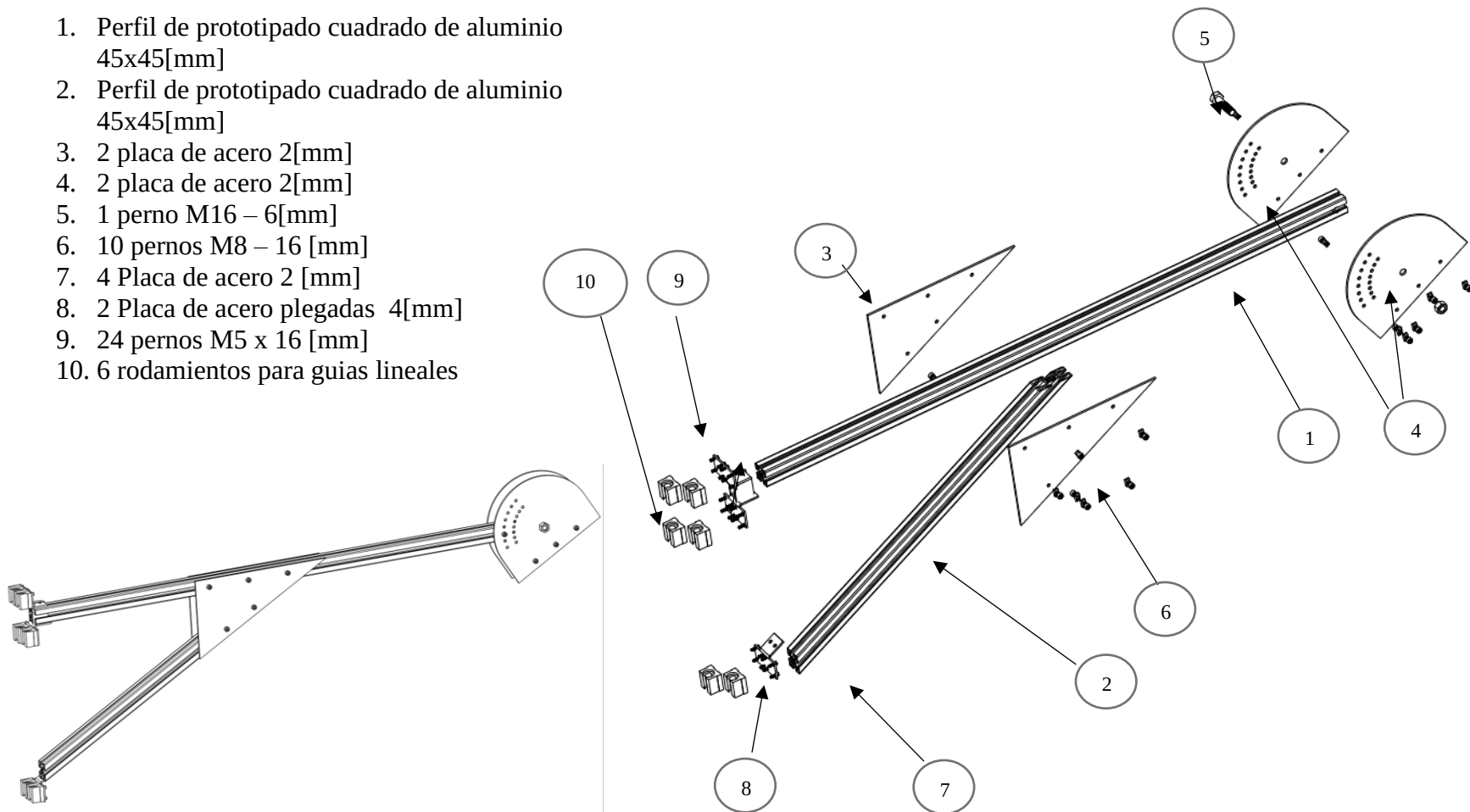
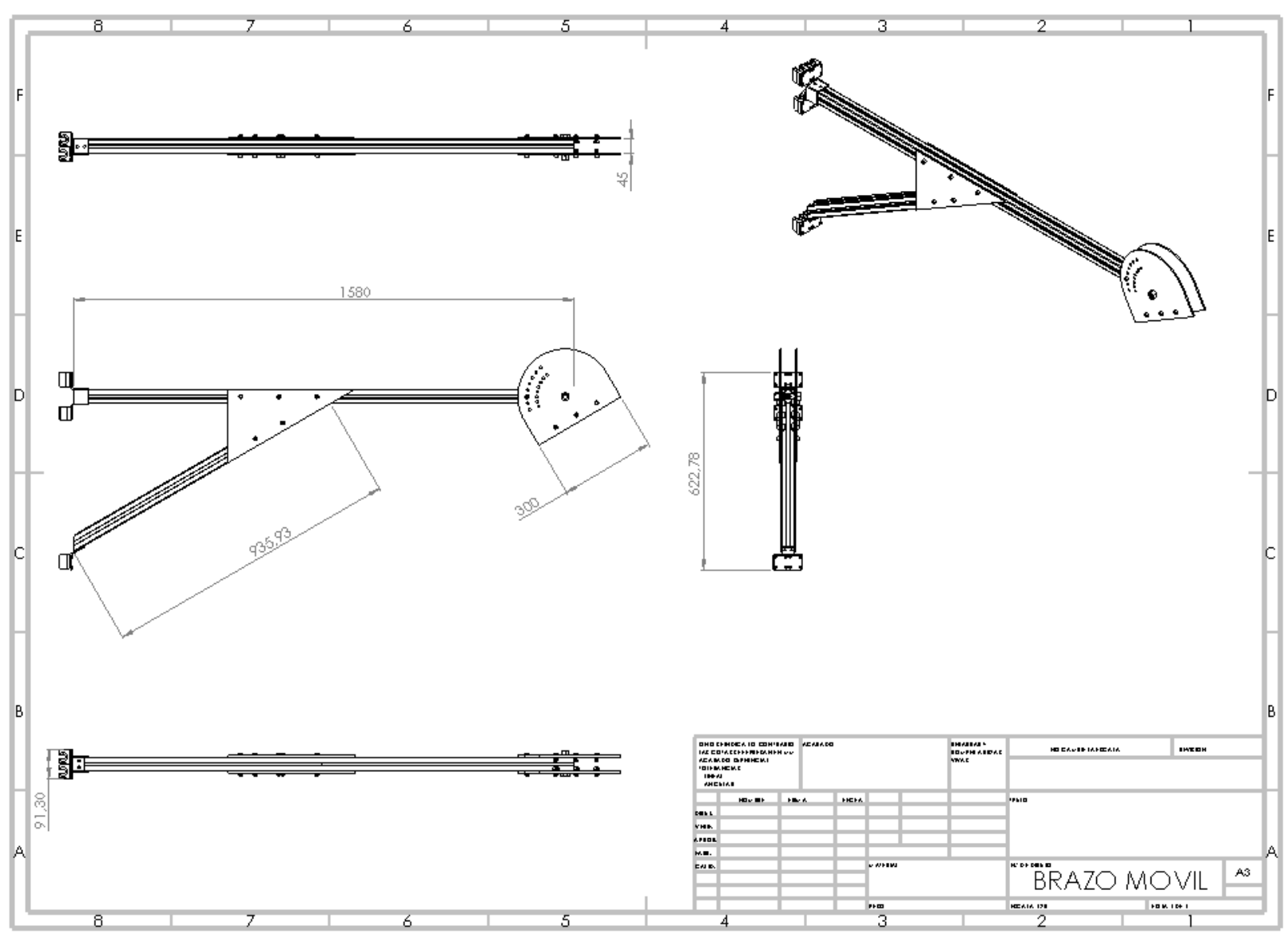


Figura 54: Despiece de Brazo Móvil



5.5.3 Estructura del Cepillo

Para el montaje del cepillo encargado de remover el polvo incrustado en el vidrio de los colectores, se diseñó una estructura de aluminio usando perfiles cuadrados de prototipado de 40 [mm] por lado, estos perfiles quedaran ensamblados mediante 8 pernos métricos M8 y 4 placas de acero de 2[mm] de grosor.

La estructura está diseñada para que se pueda montar y desmontar fácilmente del brazo del equipo mediante 6 pernos métricos M8 y además permitir el montaje de la estructura de riego y secado. El cepillo de polietileno que viene en anillos de 80[mm] de grosor que pueden ser instalado en un eje de acero inoxidable de 90 [mm] de diámetro y 2500[mm] de largo, será montado y fijado con 2 placas de acero de 3[mm] en donde además se montará el motor DC de 12 V y 1 Hp con reductor. Más detalles se encuentran en los planos del anexo.

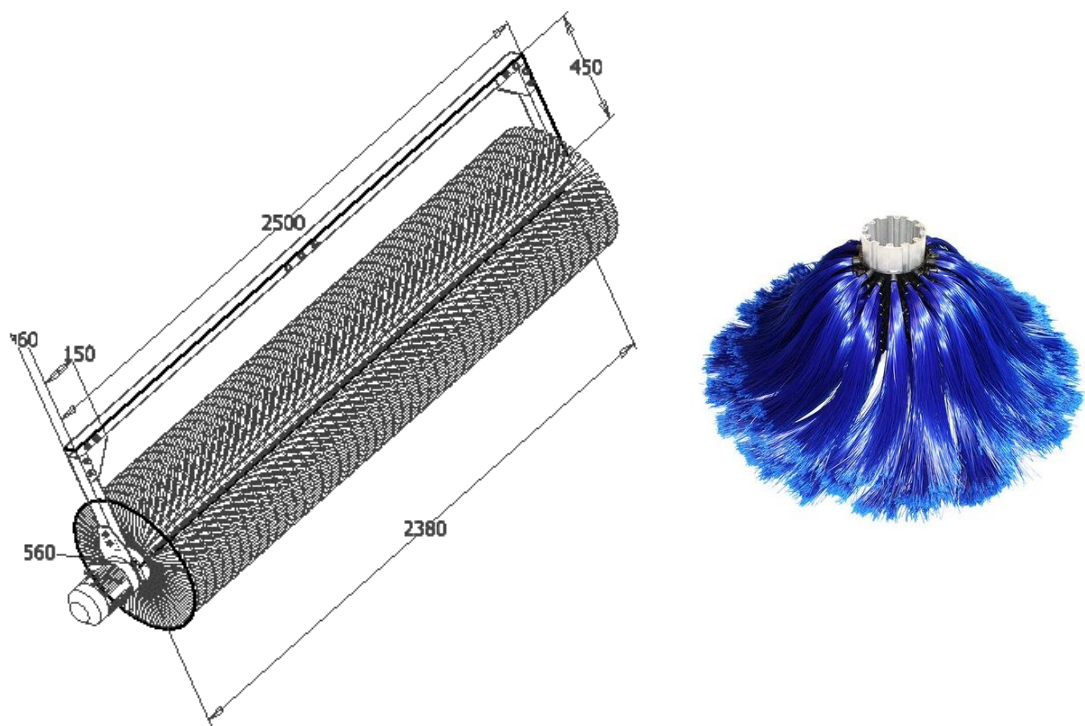


Figura 55: Dimensiones Estructura del Cepillo

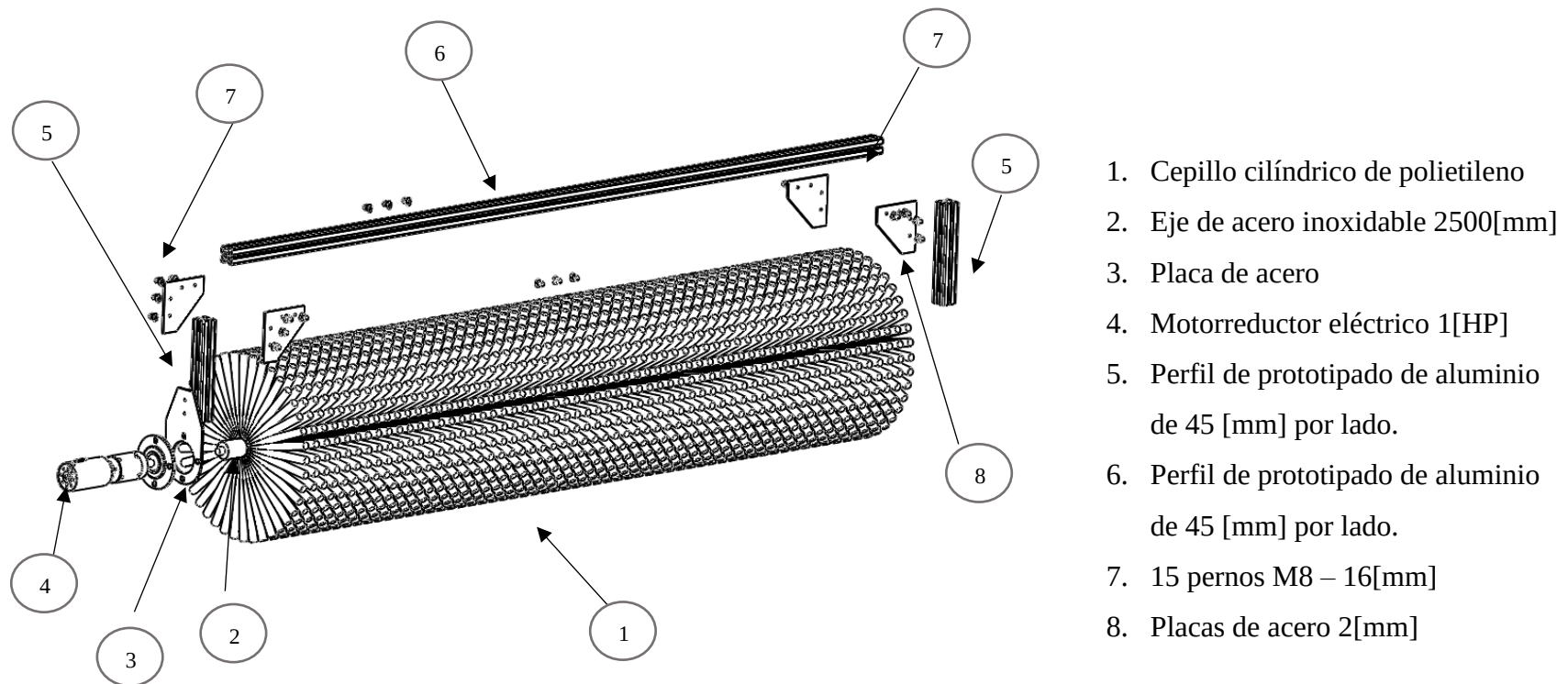


Figura 56: Despiece de Estructura del Cepillo



5.5.4 Estructura de Riego y Secado

La estructura de riego y secado consiste en perfiles tubulares de aluminio de 20[mm] de diámetro, montados sobre el la estructura del cepillo cada perfil de aluminio contará con 2 boquillas de aspersión de agua que estará conectadas mediante manueras a un manifold que distribuirá el agua. Para el sacado se apenará a la base de los perfiles tubulares unas varillas que servirán de fijación para las plumillas de secado.

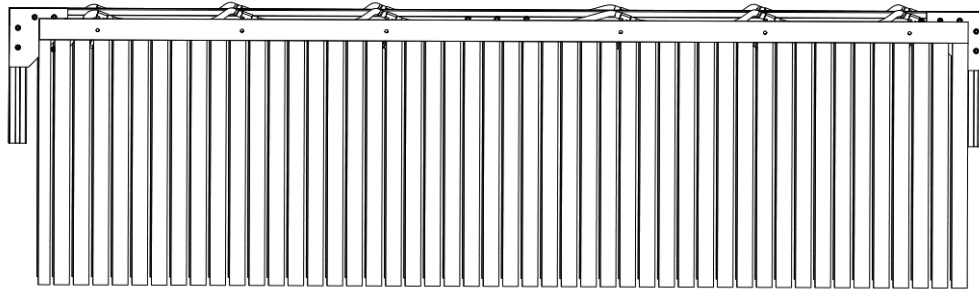


Figura 577: Dimensiones Estrucutra de Riego y Secado

Para no ejercer fuerza sobre los vidrios al momento de realizar la limpieza se diseñó la estructura de riego y secado con gomas de un gran largo, de manera que se pueda moldearse a la forma del vidrio sin ejercer mucha fuerza sobre éste.

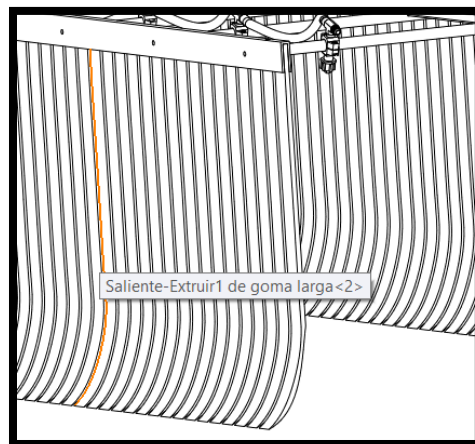


Figura 58: Detalle gomas de secado

1. Boquillas de aspersión de agua
2. Manifold de 8 salidas
3. Placa de acero 2[mm]
4. Mangueras
5. Perfil tubular de aluminio
6. Varillas de aluminio
7. Plumillas de goma
8. Perfil cuadrado de prototipado de aluminio

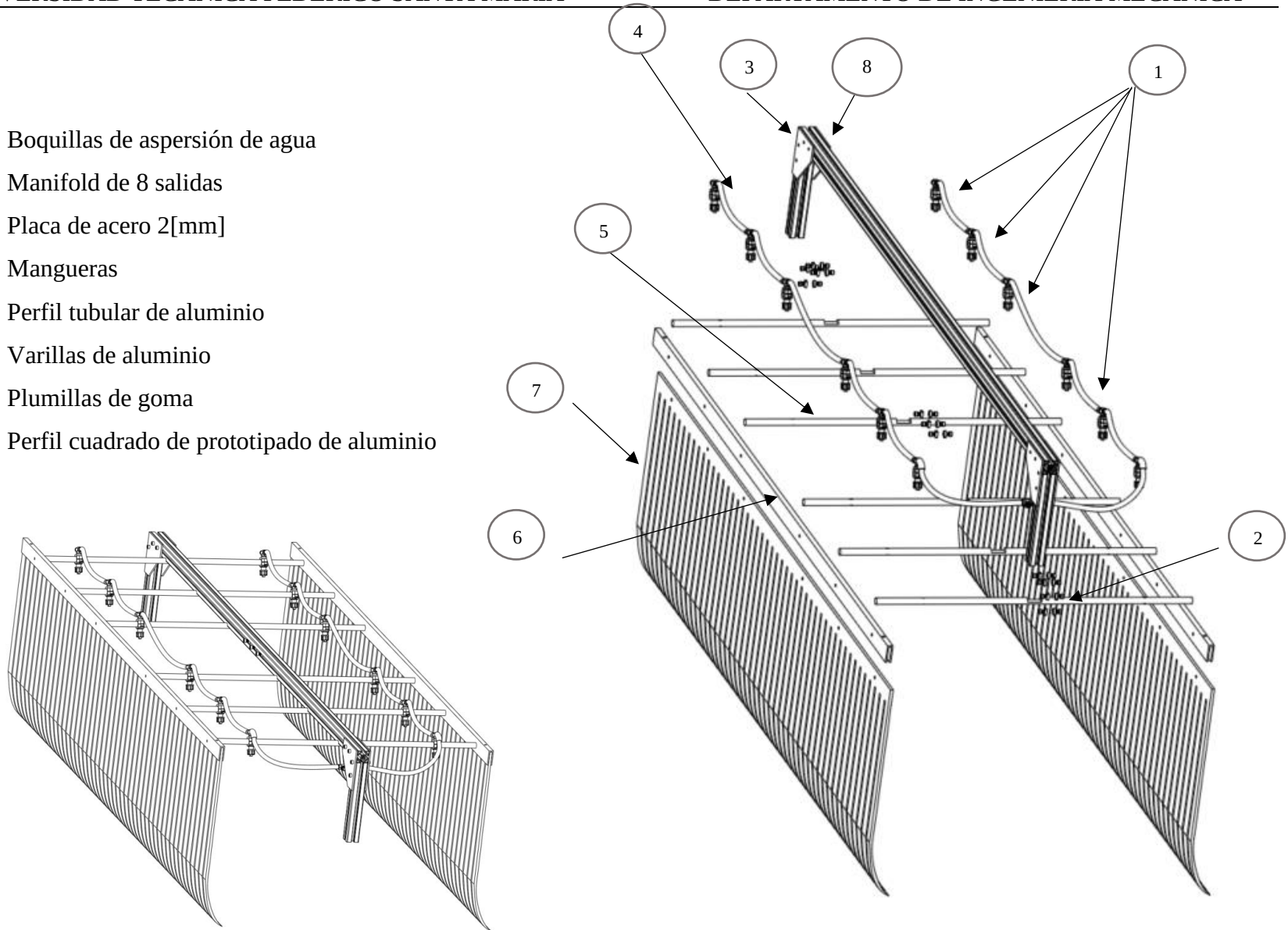


Figura 59: Despiece de Estructura de Riego y Secado



5.5.5 Mecanismo de Desplazamiento Vertical

Para el desplazamiento vertical del brazo se diseñó el equipo con un sistema de poleas y un sistema de carrete accionado por un motor eléctrico.

El equipo se pensó para utilizar el winche modelo ATV Prowinch 680[kg], el cual permite controlar mediante un mando el sentido de giro del motor y además contar con un sistema de frenado mecánico que permite fijar el brazo a la distancia requerida si estar consumiendo energía. Este winche será instalado en la estructura base al igual que dos poleas que guiaran el desplazamiento como se observa en la figura 61.

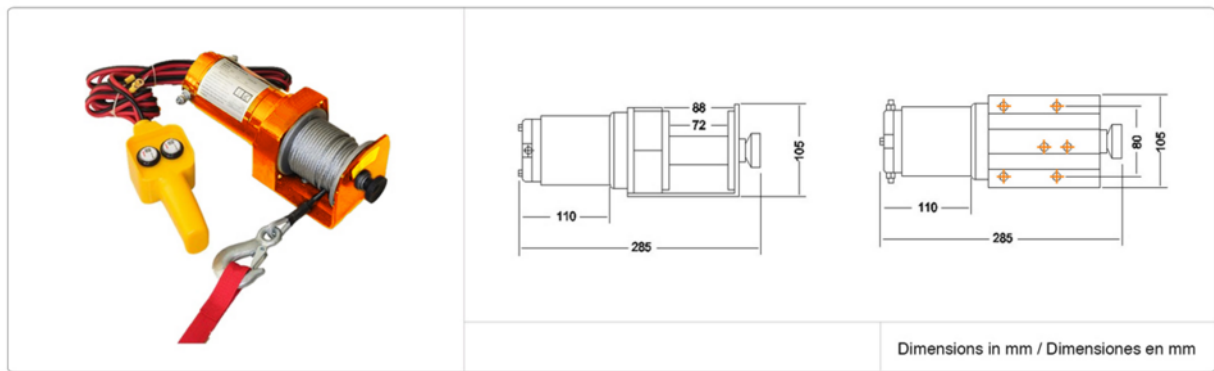


Figura 60: Medidas Winche Eléctrico [10]

Tabla 24: Especificaciones Winche Eléctrico

Capacidad:	608 [kg]
Potencia Motor:	1.0 HP
Control Remoto:	3,7 [m] Alámbricos
Tipo de Reductor:	1 etapa tipo planetario
Freno:	Automático en el tambor
Embrague:	Anillo de Engranaje Corredizo
Peso Unidad:	16 [kg]
Batería Recomendada:	12 [ah] - Mínimo
Cable IWRC:	4[mm] de diámetro x 7,6 [m]

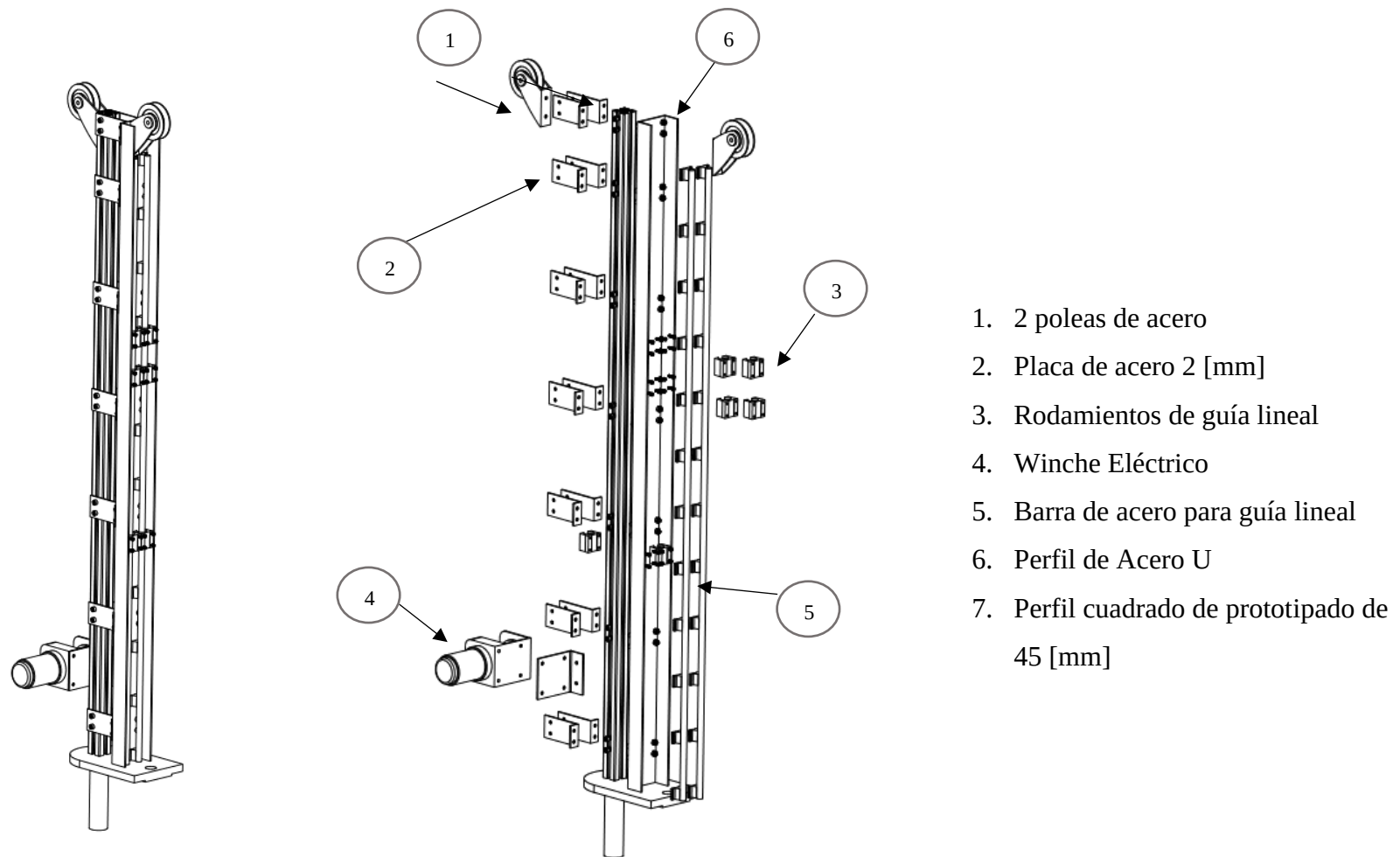
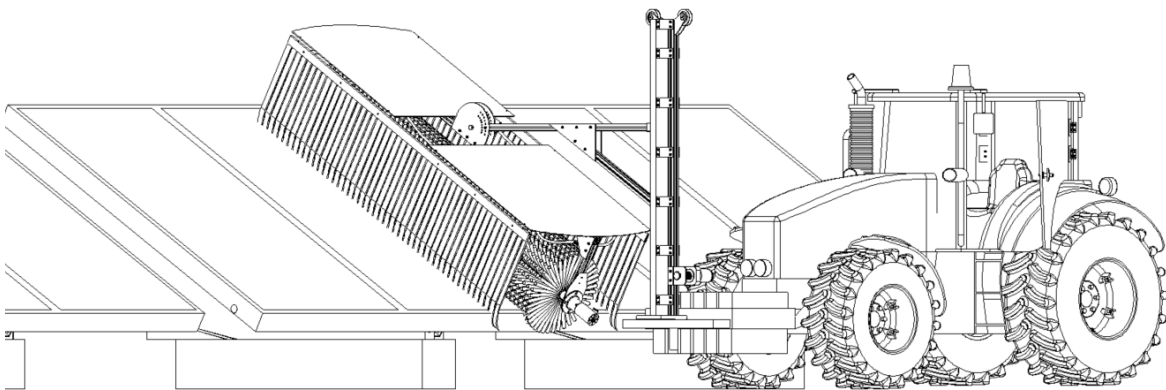
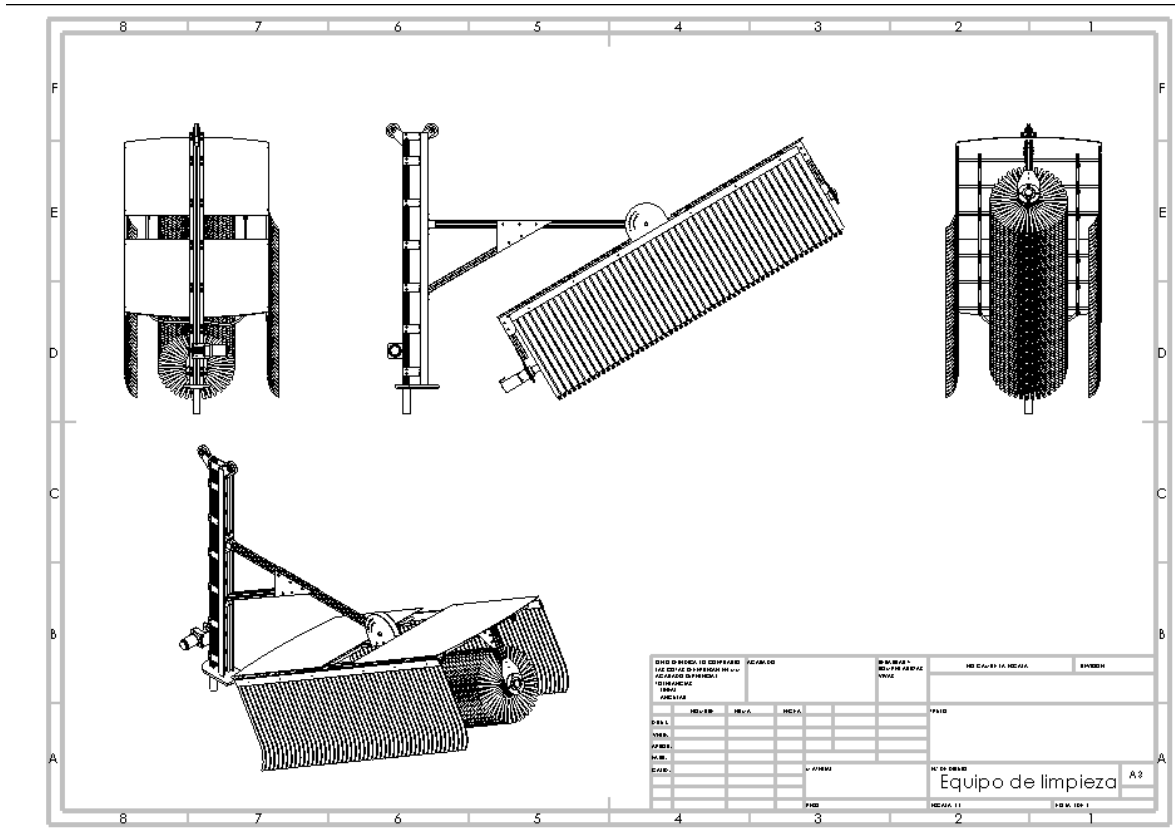


Figura 61: Despiece de Mecanismo de Desplazamiento Vertical



5.6 RIESGOS GENERALES

Cualquier operación o proceso que utilizan grandes equipos móviles conlleva en forma indirecta algún riesgo para las personas o equipos con los cuales interactúan, pero este riesgo se puede transformar en accidentes cuando las personas toman acciones o actitudes críticas.

Para el caso del equipo diseñado existen varios riesgos los cuales pueden convertirse en accidente generando daños a las personas, por eso es importante tener en claro cuáles serían los riesgos presentes en la utilización del equipo diseñado y en caso de ocurrencia tener el conocimiento claro de las medidas a tomar.

5.6.1 Proyección de partículas

Durante las operaciones de limpiezas puede producirse proyecciones de partículas que se presente sobre los vidrios de los colectores, debido al cepillo rotatorio el cual tendría la capacidad de impulsar estas partículas con gran fuerza, pudiendo dañar tanto colectores cercanos como personas.

Para disminuir el riesgo de daños a terceros se debe considerar como metodología de trabajo la utilización del equipo de limpieza sin presencia de personas en las cercanías, de manera que en la zona en donde se lleva a cabo el trabajo, solo esté presente el operario del equipo, donde dicho trabajador estará protegido dentro del tractor que trasporta el equipo en la planta.

5.6.2 Vuelco de maquinaria

Puede producirse por desniveles de suelo por el cual transita el tractor o por efecto del viento presente en la zona.

Ante los riesgos de vuelco debido a fuertes vientos, se recomienda que el equipo no sea utilizado hasta que la situación climática cambie de manera de proteger la integridad de los colectores. Para el caso de desniveles de suelo, si este no es muy pronunciado, se puede elevar el brazo lo más alto posible y detener la limpieza hasta haber pasado por la zona de desnivel. Si el desnivel es muy pronunciado se recomienda no continuar con la limpieza hasta haber emparejado el terreno.

5.6.3 Choque

En el momento de que el equipo pase de un colector a otro, existe la posibilidad de choque entre el borde de la estructura del colector y la estructura para las plumillas de secado. Para este caso se debe procurar realizar el avance más lento durante la transición entre colectores y evitar el uso del equipo de limpieza muy sobrecargado sobre los colectores de manera que este no descienda una gran distancia al momento de no tener al colector como base de apoyo.

Por lo tanto, es de suma importancia que el operador esté capacitado para maniobrar de mejor forma posible el brazo y poder analizar en terreno el desarrollo del proceso de limpieza

5.6.4 Precipitación del brazo

Se puede dar por fallo en el circuito eléctrico, frenos, por rotura de los cables o de otros elementos auxiliares (poleas, ganchos, etc.).

Principalmente la caída del brazo del equipo se podría producir por rotura del cable u otro elemento auxiliar. Para evitar que aquello llegue a materializarse se debe adoptar las siguientes medidas.

En primer lugar, revisar periódicamente el estado de cables y poleas de manera de detectar fallas o roturas, y en el caso de encontrarse alguna falla cambiar y no reparar el cable o el elemento auxiliar defectuoso. Por otra parte, se debe realizar mantenimiento periódicamente al cabrestante eléctrico utilizado para desplazar el brazo verticalmente, dando relevancia a la revisión del estado del freno del equipo.

5.6.5 Desprendimiento de mangueras

Producidos por la sobre presión que se puede producir por la obstrucción de unas de las boquillas de mojado. Para disminuir este riesgo es muy importante que el operador esté atento al funcionamiento de las boquillas de manera que pueda anticipar este riesgo al detectar anomalías en el flujo de agua desde las boquillas.

IV) CONCLUSION Y SUGERENCIAS

Durante el desarrollo de este proyecto, se presentó un estudio de los distintos factores que afectan a la eficiencia de la planta termosolar PES, lo que dio como resultado que el grado de limpieza de la planta afecta en mayor medida que las otras variables a la eficiencia, por lo que se concluye que es de vital importancia y necesidad de mantener los colectores solares lo más limpio posible.

Posterior a esto, se estudió los distintos conceptos de limpieza de los colectores. Realizando pruebas de limpieza con agua caliente y agua en temperatura ambiente, además de la utilización de materiales abrasivos y de secado. De estas pruebas se concluyó que el mecanismo óptimo de limpieza requiere que se aplique agua fría (en temperatura ambiente), además de aplicar un material abrasivo para la remoción eficaz del polvo y finalmente un secado del colector para disminuir la posterior adhesión de polvo en el colector.

Junto con el anterior estudio, se realizó un análisis de muestras de polvo presente en los colectores, de manera de comprender por qué se genera en la superficie del colector una capa blanca muy difícil de remover. De este estudio se detectó que, en el polvo presente en la planta, se encuentra en un porcentaje considerable el sulfato de calcio. Al investigar dicho compuesto se pudo descubrir que el sulfato de calcio tiene como característica que su solubilidad disminuye drásticamente a medida que la temperatura del agua va aumentando. Por lo que se concluye que la manera óptima de limpieza de los colectores debe utilizar agua fría o a temperatura ambiente para aumentar la solubilidad del sulfato de calcio y de esta manera disminuir la generación de la capa blanca sobre los colectores.

Una vez analizado el polvo presente en la planta y ver el mejor mecanismo para realizar la limpieza de los paneles, se realizó un análisis de la superficie del vidrio utilizado en los colectores con el fin de conocer el tamaño de las cavidades y rugosidad del vidrio, para poder escoger un material abrasivo que sea capaz de acceder a estas cavidades y poder remover el polvo que se adhiere al vidrio. Del análisis se obtuvo que las cavidades son lo suficientemente grande para que las partículas de polvo se incrusten en ellas. Por lo que el material abrasivo que se debe utilizar para la limpieza debe ser muy fino para que pueda retirar el polvo.

Después de haber realizados los distintos estudios, análisis y se logró determinar el mejor método o concepto de limpieza de los colectores, obteniendo los siguientes requerimientos para el diseño del equipo de limpieza:

- Se debe contar con un equipo que sea capaz de limpiar más de 260 colectores al día
- Se debe utilizar agua a baja temperatura o a temperatura ambiente.
- El material abrasivo que estará encargado de remover el polvo debe ser capaz de entrar en las cavidades más pequeñas del vidrio para que pueda remover el polvo.
- El equipo debe ser capaz de acoplarse a un tractor modelo Kubota L4240
- El método de limpieza que se debe aplicar debe realizar los siguientes pasos: Remojado del vidrio; remoción del polvo con elemento abrasivo; enjuague del vidrio; secado final del vidrio.

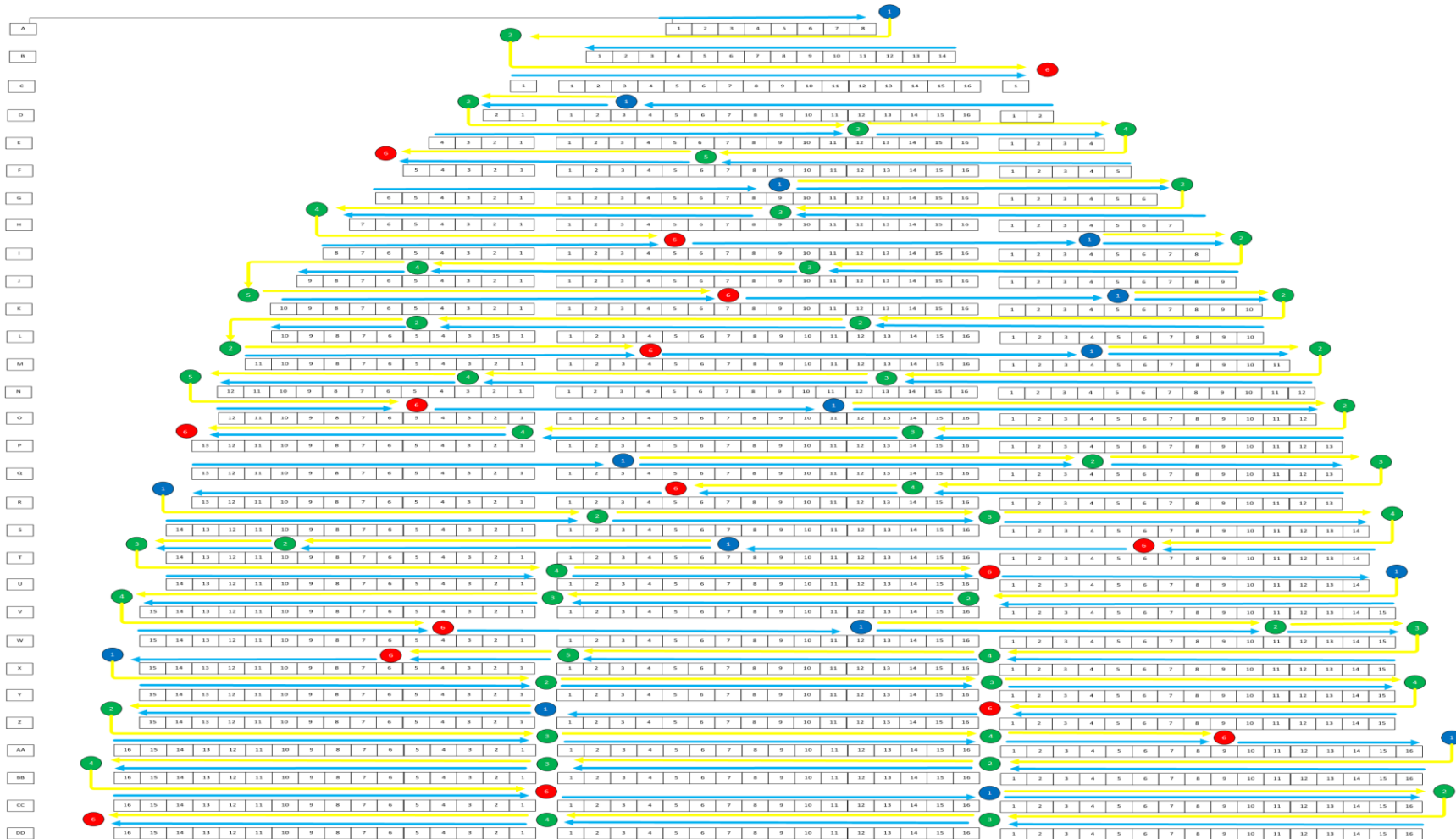
Finalmente, se sugirió a la planta PES, que el aumento de la eficiencia generado en la planta debido a la limpieza de los colectores es muy significativo, por lo que es muy rentable invertir en un sistema de limpieza, ya que los costos que se puedan tener son muy menores a los beneficios obtenidos por el aumento de la eficiencia en la planta

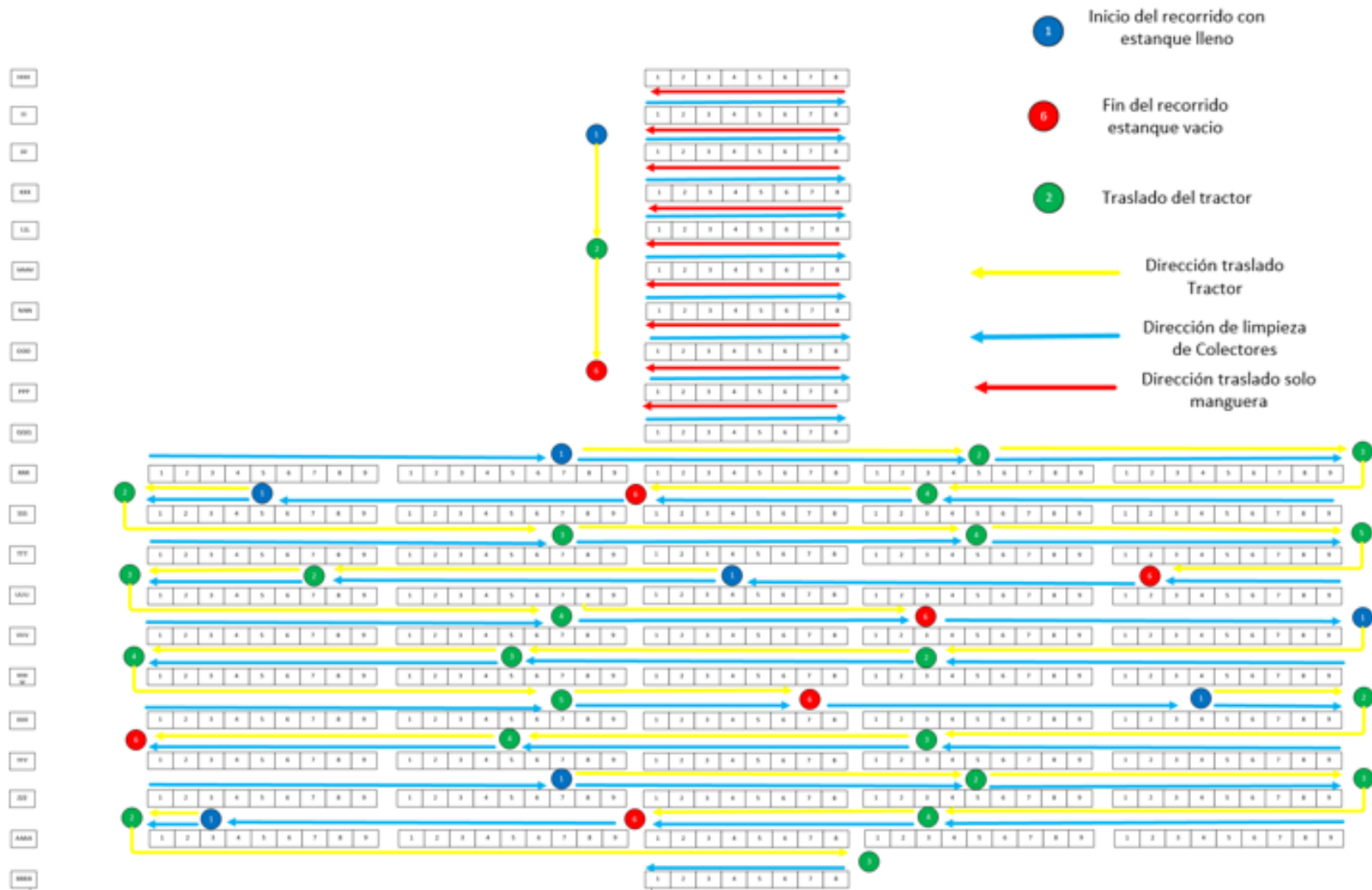
.

V) BIBLIOGRAFIA

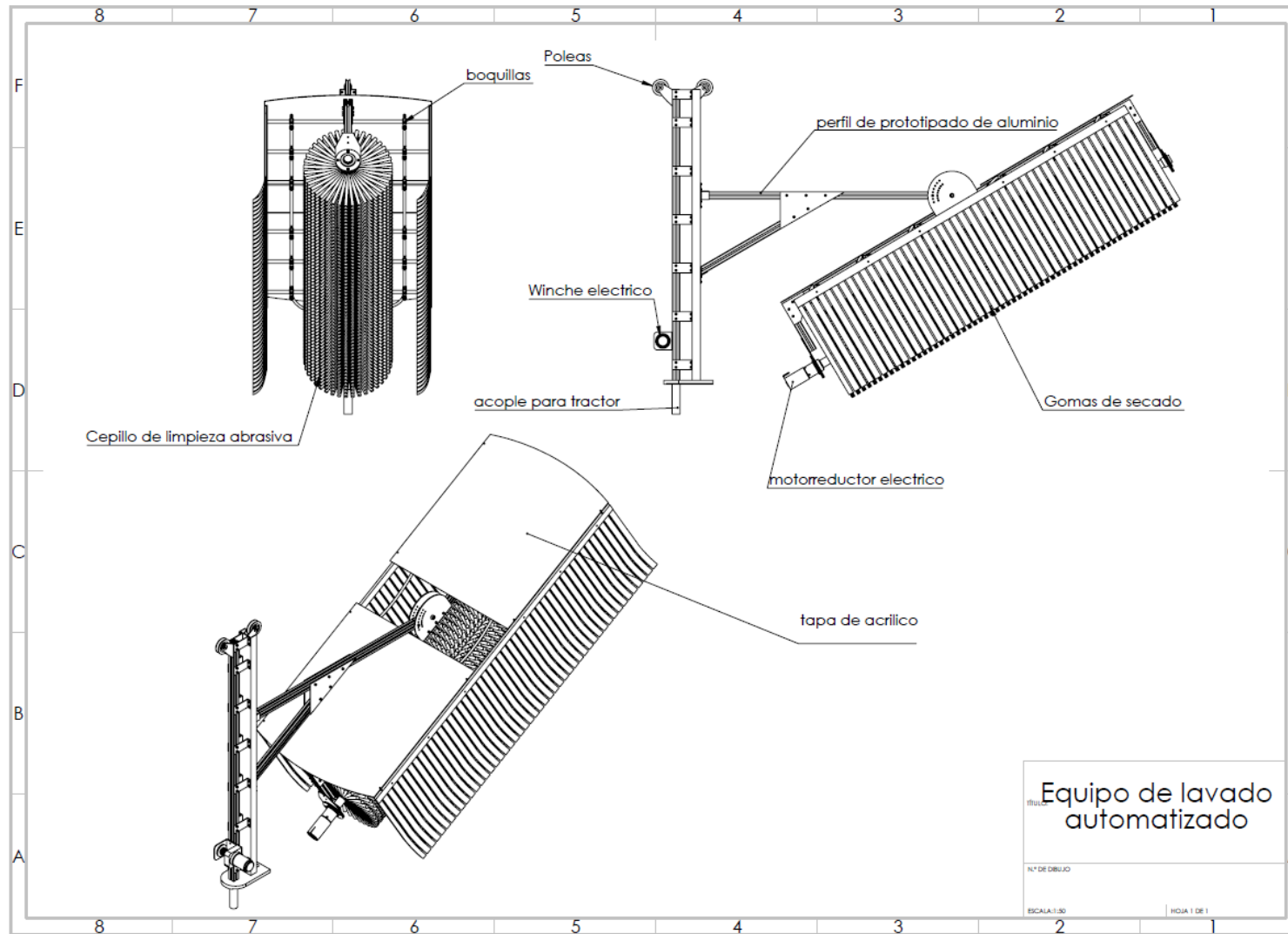
- [1] Google [Mapa de Pampa Elvira Solar en Google maps]. 4 de octubre del 2020, de:
<https://www.google.cl/maps/@-23.4479744,-68.8198074,1664m/data=!3m1!1e3>
- [2] José M Cardemil, Presentación Energía solar en procesos Industriales, 20 abril 2016.
https://www.fraunhofer.cl/content/dam/chile/es/documents/Newsite/7160420_process_heat_seminar.pdf
- [3] Imagen de empresa Energía Llaima Solar, planta Pampa Elvira solar.
<https://ellaimasolar.cl/pampaelvira>
- [4] Marco Vaccarezza, seminario chilealimentos, 1 de octubre 2019.
<https://chilealimentos.com/wp-content/uploads/2020/04/3-MARCO.pdf>
- [5] Imagen de empresa Energía Llaima Solar, planta Pampa Elvira solar.
<https://ellaimasolar.cl/pampaelvira>
- [6] Imagen de KARCHER, octubre 2020.
<https://www.kaercher.com/cl/professional/limpiadoras-de-alta-presion/limpiadoras-de-alta-presion-de-agua-caliente/motor-de-explosion/hds-1000-de-18119430.html>
- [7] Tabla de solubilidad del sulfato de calcio, octubre 2020.
<https://www.pngwing.com/es/free-png-knnxb>
- [8] Imagen de Aquapress, octubre 2020.
<https://www.aquapress.cl/car-wash/203-cepillos-tradicional-de-poli-etileno.html>
- [9] Imagen de Aquapress, cepillo carlite, octubre 2020.
<https://www.aquapress.cl/cepillos-de-lavado/931-cepillos-carlite.html>
- [10] Imagen Winche Eléctrico superwinch, octubre 2020.
https://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/winche-electrico-1500kg-110-240-vac-14109-ac3000-northern-manual-espanol.pdf

B

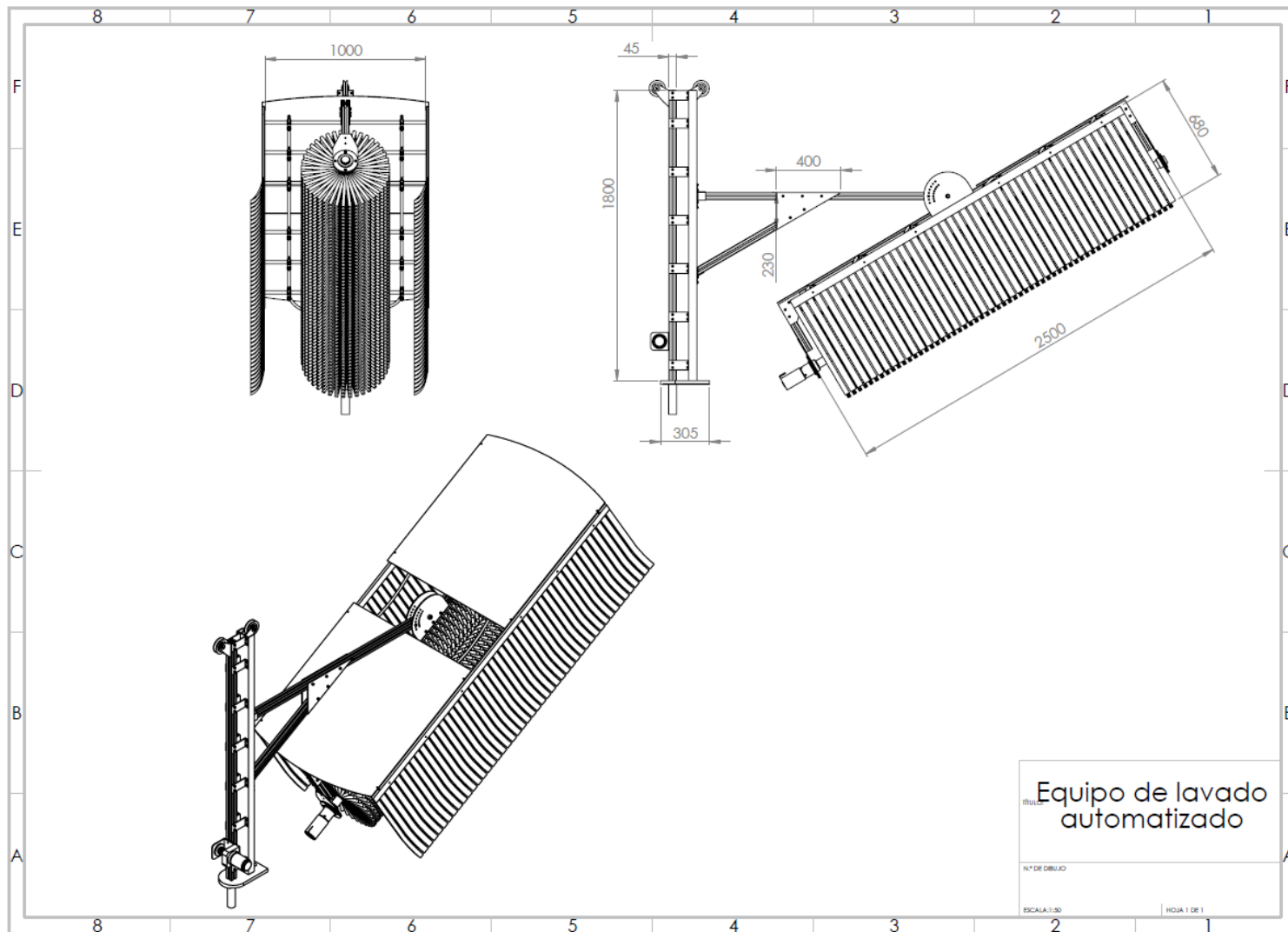




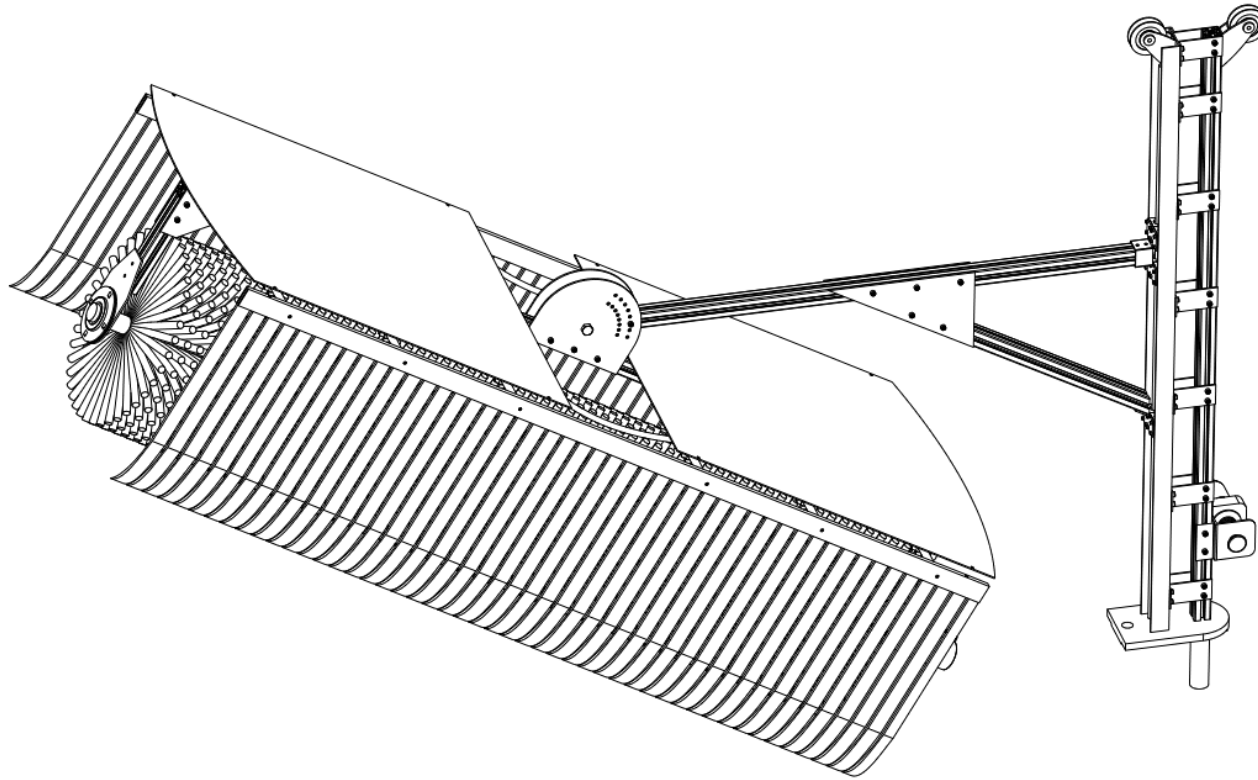
C: Plano descriptivo del equipo



D: Plano con dimensiones generales



E: Imagen Equipo



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

F: Informe de análisis de muestra de polvo



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Química

CENTRO DE ANÁLISIS QUÍMICO E INSTRUMENTAL
Avenida España 1680, Valparaíso Fono: (32)2654219. FAX: (32)2654782
Correo electrónico: servicios.analiticos@usm.cl

INFORME DE ANALISIS N° QUI -133/15

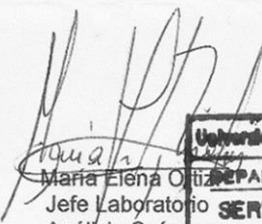
REFERENCIA : Pampa Elvira Solar SpA.
Atr: Sr. Sebastian Otazo

IDENTIFICACIÓN MUESTRA : 1 muestra sólida Rotulada: Polvo de paneles solares.
Recibida en nuestros laboratorios el 19/06/15

ANÁLISIS SOLICITADOS : Calcio, Sulfatos.

MÉTODO DE ANÁLISIS : Tratamiento de la muestra: Extracción acuosa.
Sulfatos: USM-aguaSO₄²⁻/004/Dic01
Calcio: NCh 418 Of. 64

Muestra	Calcio [g.Ca/100 g. de muestra]	Sulfatos [g SO ₄ ²⁻ /100 g. de muestra]
Polvo de paneles solares	2,2	6,9


María Elena Ortiz
Jefe Laboratorio
Análisis Químicos

Universidad Técnica Federico Sta. María
DEPARTAMENTO DE QUIMICA
SERVICIOS ANALITICOS

Valparaíso, 10 de Julio de 2015

Nota: Los resultados entregados en este Informe sólo se refieren a los ítems ensayados.
Este Informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de este Laboratorio.

G: Dimensiones de los colectores

