

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **ENERGÍA TERMO SOLAR POR CONCENTRACIÓN PARABÓLICA PARA PRE CALENTAR AGUA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LIMÓN**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero  
Industrial

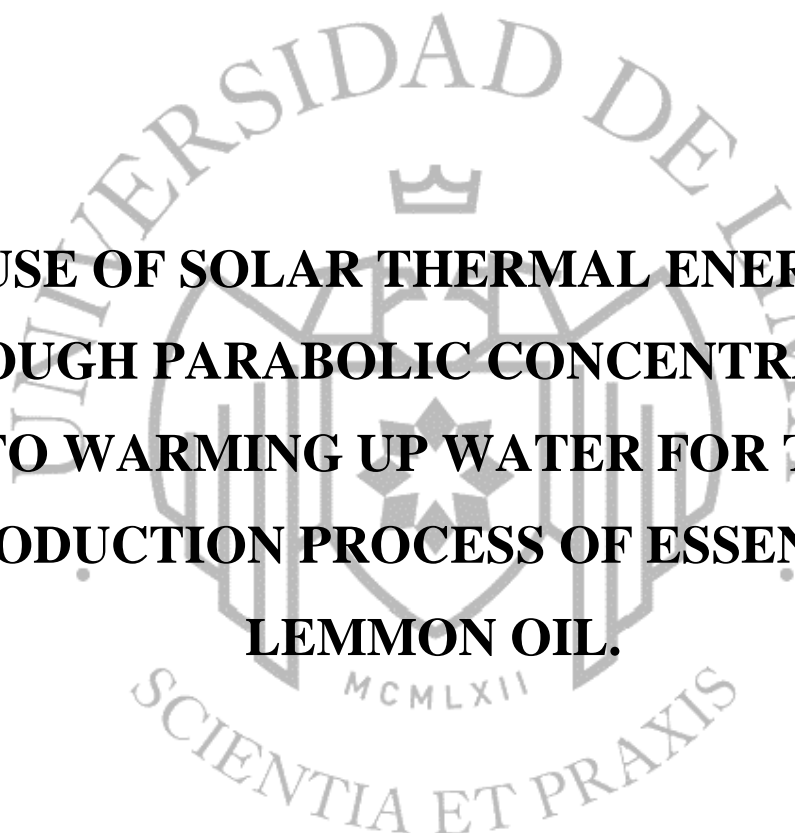
**Alfonso Melchor Torres Vidaurre**  
**Código 20030827**

**Asesor**  
Erich Saettone Olschewski

Lima – Perú

Agosto 2020





**USE OF SOLAR THERMAL ENERGY  
TROUGH PARABOLIC CONCENTRATION  
TO WARMING UP WATER FOR THE  
PRODUCTION PROCESS OF ESSENTIAL  
LEMMON OIL.**

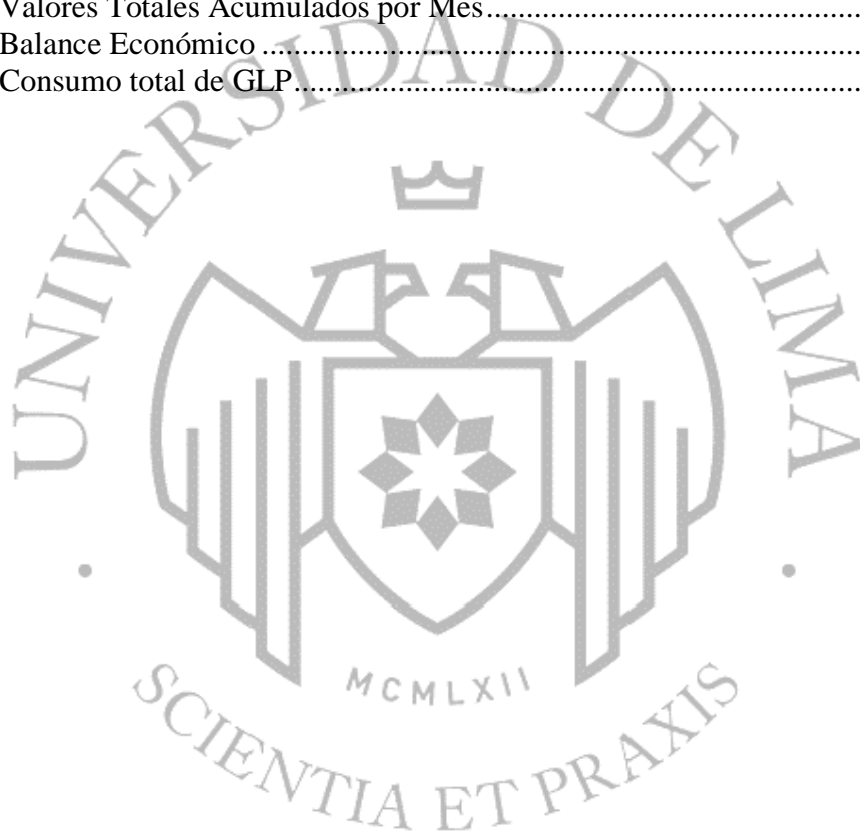
# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: PROYECTO ENÉRGICO SOLAR .....</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo del proyecto .....	5
<b>CAPÍTULO II: SITUACIÓN INICIAL .....</b>	<b>7</b>
2.1 Empresa: cosolpo.....	7
2.2 Cliente: limones piuranos.....	10
<b>CAPÍTULO III: MARCO TEORICO .....</b>	<b>12</b>
3.1 Marco referencial de la investigación.....	12
3.2 Marco conceptual.....	13
3.3 Proyecto cosolpo.....	14
3.4 Tecnología solar .....	15
3.5 Radiación solar.....	15
3.6 Restricciones: tamaño / espacio / utilización.....	16
3.7 Proceso de destilación.....	17
<b>CAPÍTULO IV: PLANIFICACION .....</b>	<b>18</b>
4.1 Diagnóstico de oportunidades.....	18
4.2 Diseño de la solución.....	19
4.3 Manufactura.....	20
4.4 Entrega y ensamble.....	21
4.5 Soporte y mantenimiento .....	22
4.6 Plan de operación y mantenimiento.....	22
4.7 Seguidor solar.....	23
4.8 Sistema de movimiento mecánico.....	25
4.9 Tubos colectores.....	27
4.10 Espejos reflectantes .....	28
4.11 Estructura metálica parabólica .....	28
4.12 Mantenimiento preventivo .....	28
4.13 Seguridad .....	30
<b>CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>32</b>
5.1 Diagnóstico preliminar .....	32
5.2 Producción .....	33
5.3 Espacio y distancia .....	35
5.4 Radiación .....	36
5.5 Diseño de la solución.....	38

5.6	Determinación de la energía necesaria .....	38
5.7	Determinación del tamaño de planta solar .....	38
5.8	Propuesta de valor .....	39
5.9	Beneficio / propuesta de ahorro.....	40
<b>CAPITULO VI: IMPLEMENTACION DEL PROYECTO .....</b>		<b>42</b>
6.1	Manufactura, construcción y pre ensamble.....	42
6.2	Entrega y ensamble.....	46
6.3	Soporte y mantenimiento – operación y funcionamiento .....	48
6.4	Plan de mantenimiento y costos .....	49
6.5	Costos de operación y control .....	49
6.6	Costo de mantenimiento .....	50
6.7	Costo de electricidad.....	50
6.8	Otros costos.....	51
6.9	Desherbar .....	51
6.10	Limpieza de espejos.....	51
<b>CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>52</b>
7.1	Métodos y fórmulas utilizadas .....	52
7.1.1	Método para cuantificar el flujo de agua que ingresa al equipo solar .....	52
7.1.2	Cálculo de la energía generada y su equivalencia en glp.....	53
7.1.3	Cálculo de kg de aceite esencial destilado por equipo solar .....	55
7.1.4	Equivalencia en kg CO <sub>2</sub> no emitidos a la atmósfera .....	55
7.1.5	Equivalencia de energía generada en kwh .....	56
7.1.6	Equivalencia de energía generada en ton de vapor de agua.....	56
7.2	Cálculos y resultados .....	56
7.2.1	Cantidad de agua que ingresó al sistema (años 2016 - 2017) .....	56
7.2.2	Energía generada (BTU) y su equivalencia en galones GLP.....	57
7.2.3	kg de aceite destilado de limón producido con la energía generada .....	57
7.2.4	Equivalencia en kg CO <sub>2</sub> no producidos.....	57
7.2.5	Equivalencia de energía generada.....	58
7.2.6	Equivalencia de energía generada en ton de vapor de agua .....	58
7.3	Resumen de resultados.....	58
7.3.1	Resumen balance económico .....	63
7.4	Evaluación financiera .....	64
7.4.1	Comparación teoría vs realidad .....	64
<b>CAPÍTULO VIII: MECANISMOS DE CONTINUIDAD Y PROYECCIÓN FUTURA.....</b>		<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>68</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>71</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>72</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Mantenimiento Preventivo.....	30
Tabla 5.1 Producción y gasto GLP para aceite esencial de limón .....	34
Tabla 5.2 Radiación Promedio Diario (en W/m <sup>2</sup> ) por Mes y por Horas .....	37
Tabla 5.3 Radiación Promedio Sullana.....	38
Tabla 6.1 Costos distribuidos del Proyecto.....	43
Tabla 7.1 Resumen Anual de Resultados .....	59
Tabla 7.2 Resumen Anual Detallado .....	60
Tabla 7.3 Valores Totales Acumulados por Mes.....	61
Tabla 7.4 Balance Económico .....	63
Tabla 8.1 Consumo total de GLP.....	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución eléctrica por fuente de energía en el Perú.....	4
Figura 1.2 Distribución termoeléctrica a nivel Global.....	5
Figura 2.1 Ecuación de la Parábola.....	8
Figura 2.2 Investigación y desarrollo de producto en laboratorio .....	9
Figura 2.3 Organigrama de la empresa Cosolpo.....	10
Figura 2.4 Organigrama de la empresa Limones Piuranos .....	11
Figura 3.1 Colector Solar Parabólico.....	15
Figura 3.2 Mapa radiación solar .....	16
Figura 3.3 Proceso de destilación .....	17
Figura 4.1 Cadena de valor Cosolpo.....	18
Figura 4.2 Seguidor Solar .....	24
Figura 4.3 Sistema de Movimiento.....	26
Figura 4.4 Sistema de cadenas .....	27
Figura 4.5 Limpieza de Espejos.....	29
Figura 5.1 Diagrama de Ishikawa .....	32
Figura 5.2 Distribución Geográfica .....	36
Figura 5.3 Cotización del proyecto.....	39
Figura 5.4 Diseño de la solución del proyecto.....	41
Figura 6.1 Diagrama de Pareto de Costos del Proyecto.....	44
Figura 6.2 Gantt del Proyecto Limones Piuranos .....	45
Figura 6.3 Diseño de partes .....	46
Figura 6.4 Rack de pre ensamble para envío vía terrestre .....	46
Figura 6.5 Planos de vista frontal y horizontal .....	47
Figura 6.6 Terreno de instalación solar.....	47
Figura 6.7 Ensamble de módulos <i>in situ</i> .....	48
Figura 6.8 Instalación de módulos.....	48
Figura 7.1 Valor Acumulado en Soles.....	62
Figura 7.2 Soles por Hora - Mensual .....	63

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plan de Compras .....	73
Anexo 2: Fotos del Proyecto.....	77
Anexo 3: Registro de Datos .....	82
Anexo 4: DOP del Proceso .....	85





## RESUMEN

Este proyecto comprende el diseño, cálculos preliminares que determinan las características de la utilización de concentradores solares; construcción, el cual comprende la fabricación de los equipos solares y sus partes estructurales; e implementación del proyecto con sus respectivos resultados, los cuales serán analizados detalladamente en este trabajo. Todo esto con el objetivo de generar agua caliente para reducir el consumo de combustibles fósiles para un cliente industrial, el cual cuenta con un proceso donde obtienen aceite esencial de limón consumiendo gran cantidad de vapor a través de un caldero industrial.

Los resultados finales del proyecto demostrarán los grandes beneficios que significa la utilización de la energía solar para procesos industriales, marcando un precedente para futuros clientes, los cuales deben migrar hacia estas nuevas soluciones de las industrias 4.0 para ser más eficientes, más sustentables y más competitivos en un mundo que se mueve cada vez más rápido.

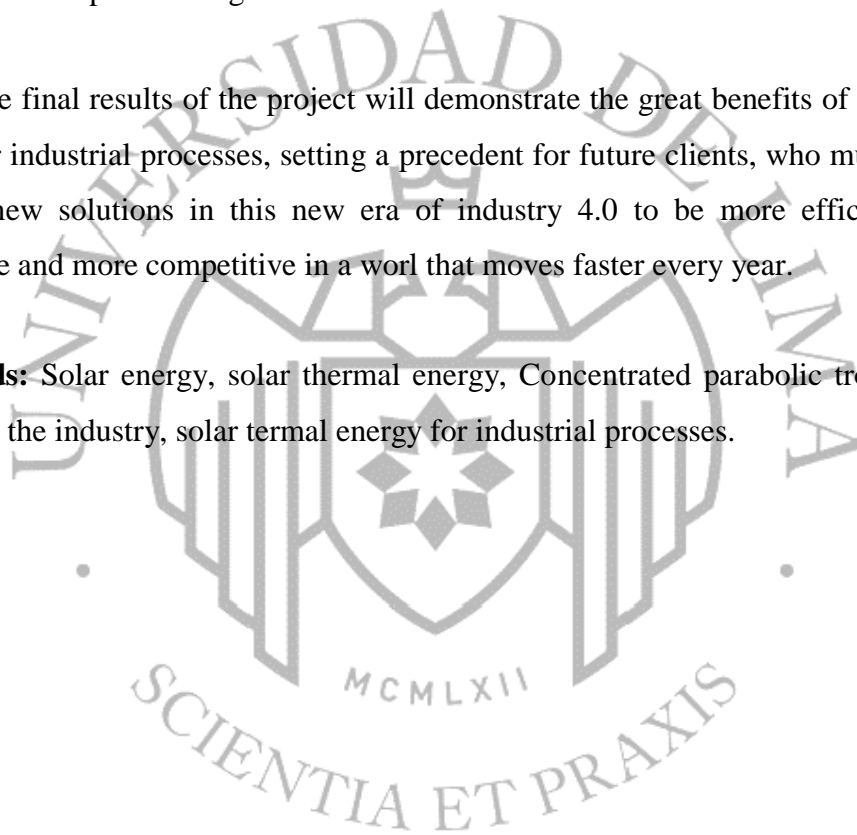
**Palabras clave:** Energía solar, energía termo solar, concentradores solares parabólicos, energía solar para la Industria, energía térmica para procesos industriales.

## ABSTRACT

This Project includes the design, preliminary calculations that determine the characteristics of the use of solar concentrators; construction, which includes the manufacture of solar equipment and its structural parts; and implementation of the project with its results, which will be specifically analyzed in this work. All this with the aim of generating hot water to reduce the consumption of fossil fuels for an industrial customer, which has a process where the essential oil of lemon is obtained by consuming a large amount of steam power through an industrial boiler.

The final results of the project will demonstrate the great benefits of using solar energy for industrial processes, setting a precedent for future clients, who must migrate to these new solutions in this new era of industry 4.0 to be more efficient, more sustainable and more competitive in a world that moves faster every year.

**Key words:** Solar energy, solar thermal energy, Concentrated parabolic trough, solar energy for the industry, solar thermal energy for industrial processes.



# INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describe todo el proceso que se ha realizado para implementar un proyecto de energías renovables para una empresa en el Perú. Para este fin, se debe conocer en detalle los procesos del cliente, de forma que se encuentre la mejor solución que permita una mejora real. Este proceso implica desde la etapa del diseño de la planta termo solar, hasta su fabricación e implementación y resultados.

La empresa Cosolpo es la responsable del diseño, construcción e implementación de la solución para el cliente Limones Piuranos. Se encarga de todas las áreas de este proceso hasta la puesta en marcha del proyecto. Cosolpo es una empresa peruana que nace ante la falta de soluciones rentables y que tengan un impacto positivo en el medio ambiente, se responsabiliza desde el diagnóstico de oportunidades hasta la llave en mano al cliente, donde se deja operando la planta solar al 100%.

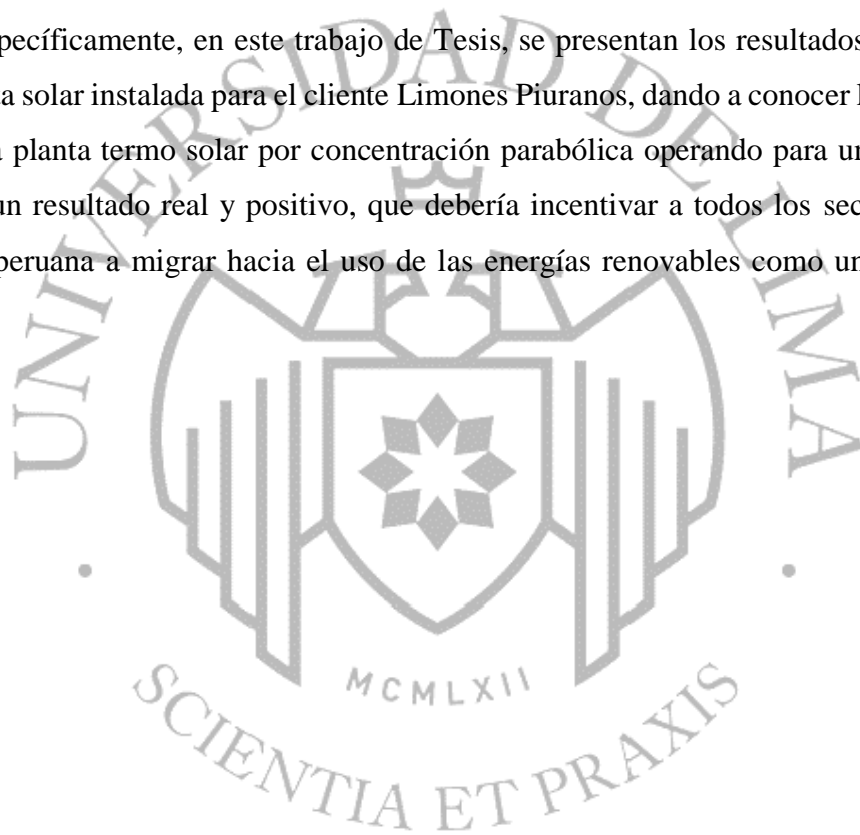
Este proyecto representa lo que es el futuro de un país comprometido con el medio ambiente, ayudando a otras empresas nacionales a mejorar sus procesos y ser más rentables, y al mismo tiempo eco amigables, dando así un gran paso en el desarrollo de nuestro país. Las energías renovables son el futuro, y nuestro país no debe estar apartado o rezagado, principalmente, porque se cuenta con regiones donde la radiación solar es de las más intensas en el mundo, y como tal, debe liderar el proceso del cambio energético hacia las renovables.

Los tipos de energías renovables no convencionales que existen en el mundo son la Solar, Eólica, Biomasa, Mareomotriz y Geotérmica, y dentro de las convencionales tenemos la hidráulica y la nuclear. El mundo está migrando hacia el cambio energético y emisiones cero de CO<sub>2</sub> de manera progresiva, teniendo cerca de un 20% de uso de energías renovables no convencionales a nivel mundial, con miras a llegar al 50% en los próximos 30 años. El presente proyecto trabaja con la energía solar para la producción de energía térmica por concentradores solares, una rama dentro de la energía solar, que en la actualidad se utilizan a gran escala para la producción de energía eléctrica y conectarlo a la red nacional de países desarrollados como son Estados Unidos, España, China, entre otros. Estos sistemas se vienen implementando desde el año 2000 de manera progresiva con plantas térmicas solares de hasta 250 MW.

La utilización de concentradores solares parabólicos tienen muy poco uso para aplicaciones industriales, es aquí donde Cosolpo interviene para implementar una tecnología capaz de conectar la necesidad de las industrias y migrar a soluciones rentables, eficientes y eco sostenibles con energías renovables.

El fundador de Cosolpo el bachiller Alfonso Torres Vidaurre, quien opta por su título de Ingeniero Industrial con este trabajo de Tesis, es quien desarrolla el proyecto en su totalidad, desde el diseño de la solución para el cliente después de una visita técnica y un diagnóstico de oportunidades, pasando por la construcción de los equipos hasta la instalación y puesta en marcha con análisis de los resultados de la planta solar por un año.

Específicamente, en este trabajo de Tesis, se presentan los resultados obtenidos de la planta solar instalada para el cliente Limones Piuranos, dando a conocer lo que sería la primera planta termo solar por concentración parabólica operando para una empresa peruana, un resultado real y positivo, que debería incentivar a todos los sectores de la industria peruana a migrar hacia el uso de las energías renovables como una solución necesaria.



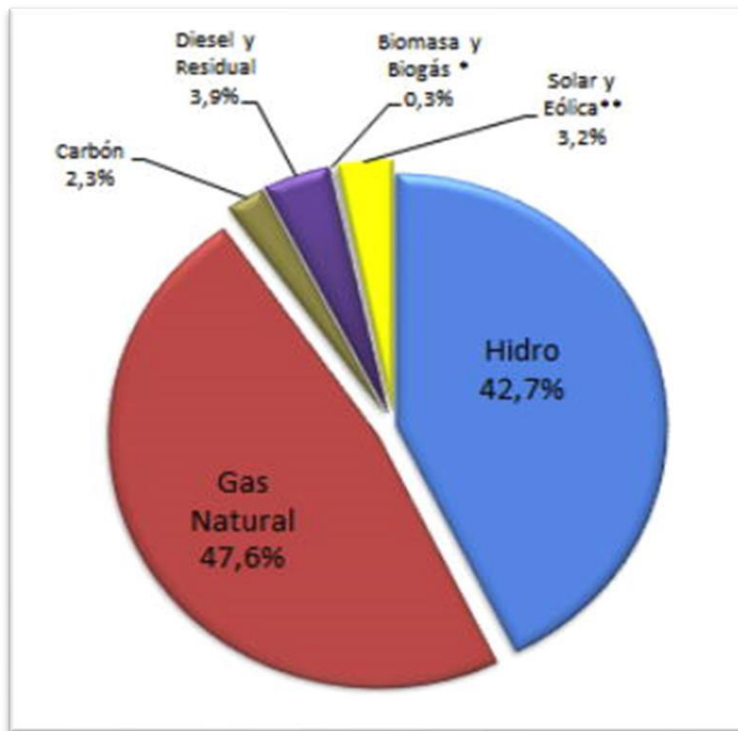
# CAPÍTULO I: PROYECTO ENÉRGETICO SOLAR

La energía solar y el uso de fuentes renovables para la generación de energía es uno de los temas más importantes en los últimos años debido a los altos niveles de contaminación que existe en el mundo; la utilización de estas fuentes gratuitas e inagotables son necesarias para lograr un futuro sostenible de nuestra civilización. Es por eso que la empresa Cosolpo cree que las industrias tienen la oportunidad de reducir esta contaminación, trayendo consigo no solo beneficio para el medio ambiente sino también para la empresa, que siempre busca una reducción de sus costos operativos.

En la actualidad, y como se muestra en la Figura 1.1, en el Perú solo alrededor del 4% de toda la matriz energética en cuanto a producción de electricidad se refiere son energías renovables no convencionales, ya que casi un 40% son energías renovables convencionales como la hidráulica, sin planes a corto plazo por aumentar. Es necesario buscar soluciones alternativas claves, eficientes y rentables, donde la producción de energía térmica también cumpla una importancia relevante específicamente con aplicación en la industria, ya que este representa cerca del 30% de la contaminación ambiental, y la necesidad térmica del Perú es casi igual a la demanda de electricidad. La energía térmica cumple un rol muy importante en el Perú y el mundo que debe ser solucionada con energías limpias también.

Figura 1.1

Distribución eléctrica por fuente de energía en el Perú



Fuente: Delta Volt (s.f.)

En el mundo también se busca solucionar e impulsar este gran problema que debemos afrontar de inmediato, como se muestra según el periódico de la energía como menciona Roca (2016):

**La energía solar termoelectrica podría suministrar el 6% de la demanda de electricidad global en 2030 y alcanzar el 12% en 2050**, si se dan las condiciones adecuadas, según se recoge en el informe Energía Solar Termoelectrica, Perspectiva Mundial 2016 elaborado por **Greenpeace Internacional, Solar Paces y Estela** (Asociación Europea de la Industria Solar Termoelectrica).

Para los autores del informe, y teniendo en cuenta el ritmo actual, será imposible limitar el aumento de la temperatura global a 2°C tal y como se definió en el **Acuerdo de París**, por lo que la UE necesita revisar con urgencia sus objetivos y fijar nuevas metas, limitando la temperatura global a 1,5° C con metas del 40% de reducción de emisiones de gases para el año 2030 con respecto a niveles de 1990. Esto sólo será posible con una firme des carbonización del sector energético y un mayor incremento del consumo de energía renovable. (Roca, 2016)

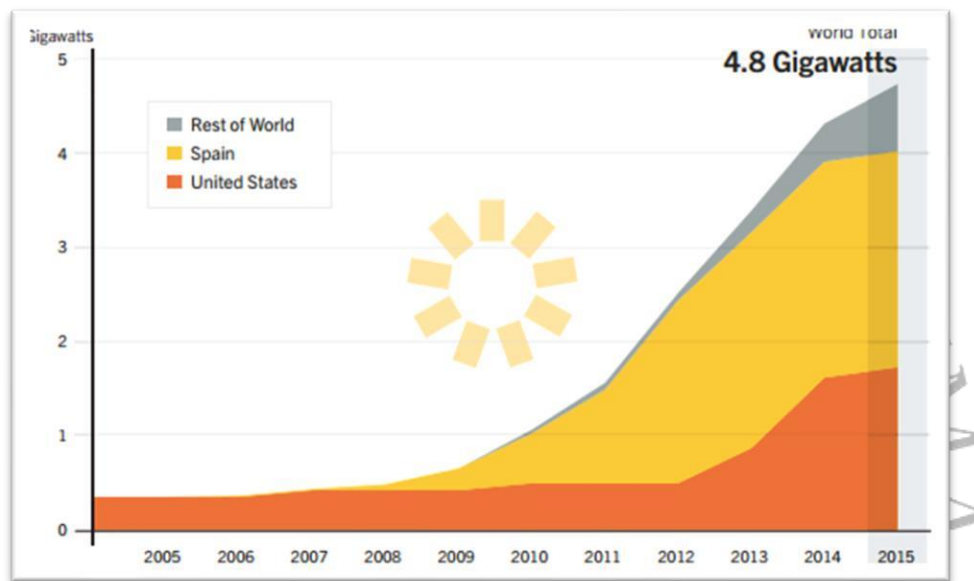
La energía termoelectrica es la utilización de concentradores solares para la generación de energía térmica a la cual Cosolpo apunta en desarrollar pero no para

generar electricidad sino un paso antes, generar vapor o agua caliente para procesos industriales.

La distribución de esta tecnología a nivel global se muestra en la Figura 1.2, donde los países más desarrollados en el tema son España y Estados Unidos y es una tecnología bastante nueva que Cosolpo busca se implemente de manera masiva.

Figura 1.2

Distribución termoeléctrica a nivel Global



Fuente: Roca (2016)

Por esta razón, Cosolpo se propuso la enorme tarea de desarrollar un proyecto que pueda aplicarse a algún proceso de la industria, mediante la implementación de un sistema parabólico de concentración solar. En esta tesis, se describe detalladamente la implementación de un sistema de este tipo para substituir un proceso convencional existente en la industria agraria.

## 1.1 Objetivo del Proyecto

El objetivo principal del proyecto es:

Implementar un sistema termo solar por concentración parabólico para el pre calentamiento de agua del caldero en el proceso de destilación de aceite esencial de limón en la empresa Limones Piuranos.

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Evaluar resultados en la localidad de Piura, en el norte del Perú, para cuantificar el potencial energético solar de la zona y sus beneficios industriales.
2. Describir todo el proceso de diseño, construcción e implementación de un proyecto solar en una empresa agro industrial.
3. Demostrar que la tecnología solar implementada mejora la competitividad de la empresa Limones Piuranos.





# CAPÍTULO II: SITUACIÓN INICIAL

Este capítulo muestra una breve reseña de las empresas involucradas en el presente proyecto, y cómo se inicia todo.

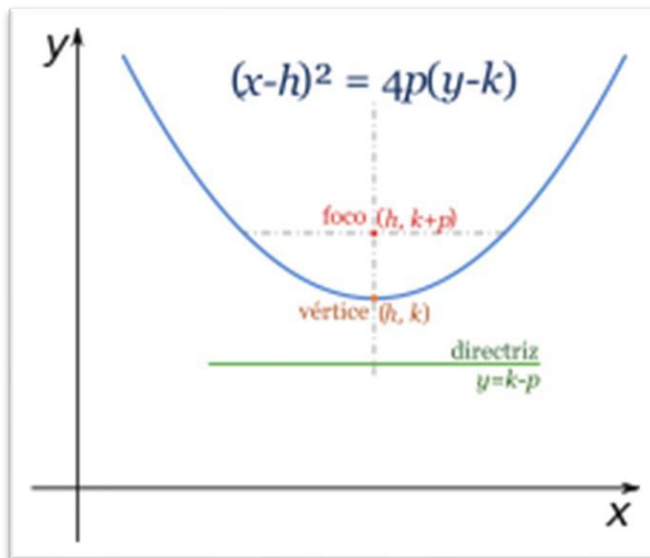
## 2.1 Empresa: Cosolpo

La empresa Cosolpo diseña, construye e instala proyectos de energía termo solar por concentración parabólica. La empresa empezó sus operaciones en diciembre del año 2010, investigando sobre tecnologías renovables en general, buscando la que mejor se pudiera adecuar al sector industrial y pudiese ser rentable, accesible y escalable.

El fundador y director de proyectos es el bachiller en Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima Alfonso Torres Vidaurre, quien se dedicó a desarrollar cerca de 10 prototipos y casi 4 años de investigación y desarrollo logrando llegar a un producto capaz de reemplazar a los calderos industriales convencionales, utilizando la energía solar en vez de combustibles fósiles, para reducir la contaminación ambiental. La ecuación de la parábola utilizada en el diseño del concentrador solar se muestra en la Figura 2.1, que sirve, a su vez, para el diseño correcto de la estructura que soporta a los espejos reflectantes, ya que el objetivo de estos concentradores es que todos los rayos solares que inciden perpendicularmente al espejo, lo reflejen hacia el punto focal de dicha parábola, donde se coloca un tubo colector que absorbe esta energía térmica.

Figura 2.1

Ecuación de la Parábola



Fuente: Lehmann (1989)

La estructura que soporta los espejos del concentrador parabólico fueron diseñados de tal forma que la fuerza que se ejercen los motores para hacer el seguimiento solar, sea la mínima posible.

El sistema del seguimiento solar está formado por un sensor, un controlador y un motor.

Cosolpo ha desarrollado el producto en su totalidad, es decir, el tubo colector con recubrimiento de absorción para altas temperaturas, espejos reflectantes con diseño cóncavo y alta resistencia a los golpes, estructura metálica liviana y resistente al movimiento y tiempo de uso, sistema contra viento y el sistema de seguimiento solar automatizado. Cada una de estas partes de la tecnología solar pasaron por la observación de las oportunidades existentes en el mercado, un planteamiento del problema para darle mayor eficiencia o una solución realmente económica, una hipótesis para pasar a la experimentación de los prototipos para así llegar al análisis de resultados y sacar las debidas conclusiones para obtener un producto de alta calidad y muy buena eficiencia. Esta etapa significó cerca de 4 años de trabajo continuo para Cosolpo para lograr el producto comercializable.

Figura 2.2

Investigación y desarrollo de producto en laboratorio



Elaboración propia

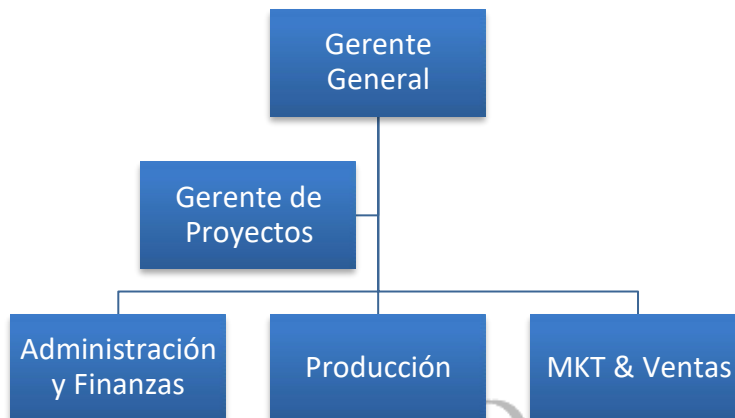
En el año 2015, la empresa inicia su etapa comercial con un primer cliente en la región Ica, y es así como empiezan a difundir y educar al sector agroindustrial sobre las soluciones energéticas renovables que propone.

La empresa Cosolpo ofrece solo una tecnología, solo un producto, el cual se conoce como concentrador parabólico solar. Estos se venden en función de su área, por metros cuadrados, de espejos colectores. El concentrador más pequeño es de 60 m<sup>2</sup>, que está compuesto por 6 módulos colectores; a estos 60 m<sup>2</sup> se le denomina sección. Un cliente de Cosolpo puede contar con una o varias secciones, según requiera el proceso de la empresa al que se le instale dicha tecnología solar, ya que cada empresa cuenta con una necesidad diferente en cuanto al requerimiento de energía se refiere. La empresa Cosolpo ofrece también la instalación de sus equipos como un servicio aparte, si el cliente lo requiere.

La empresa Cosolpo cuenta con un local de 1 000 m<sup>2</sup> en el distrito de San Juan de Lurigancho, donde se fabrican las piezas y hacen los pre ensambles de los equipos, también se cuenta con laboratorios de pruebas y un “showroom” del producto para visitas de clientes. La parte administrativa cuenta con 4 personas y el área de producción e instalación, con 4 más. Cosolpo en su mayoría terceriza las partes de los equipos, así que cuenta con 4 proveedores estratégicos que proporcionan el aluminio, fierro, tornería (corte y soldadura) y el sistema de seguimiento solar.

Figura 2.3

Organigrama de la empresa Cosolpo



Elaboración propia

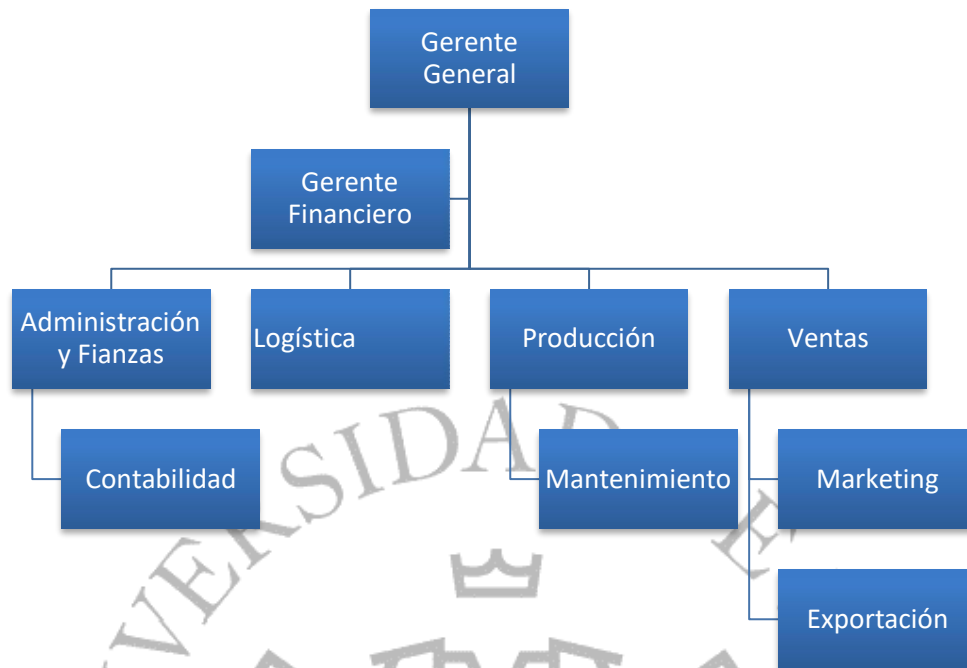
## 2.2 Cliente: Limones Piuranos

La empresa Limones Piuranos es una compañía peruana dedicada a la producción y exportación de limón fresco (limón sutil y limón tahití), aceite destilado de limón, cáscara deshidratada de limón y jugo concentrado de limón. Esta empresa dispone de una moderna planta de producción de aceite, jugo, cáscara deshidratada y empaque de fruta fresca.

Limones Piuranos cuenta con más de 250 empleados en la planta de Sullana, está ubicada a 5 km del centro de la ciudad de Sullana; su principal proveedor es otra de sus empresas llamada Don Limón, la cual abastece del Limón recién cultivado de tierras cercanas para 3 cosas, empaque de limón en diferentes variadas tamaños y colores, producción de aceite esencial y cáscara deshidratada. La planta de Limones es un terreno de 2 hectáreas donde se ubican los almacenes de cáscara deshidratada y fruta fresca, el área de producción de aceite esencial de limón, área de despacho y el área de empaque.

Figura 2.4

Organigrama de la empresa Limones Piuranos



Elaboración propia

En cuanto al proceso en Limones Piuranos, la empresa cuenta con 3 calderos de 150 BHP (Break Horse Power), 180 BHP (Break Horse Power), y 250 BHP, para la generación de vapor que es utilizado en sus procesos de destilado, los cuales funcionan mediante la quema de combustible GLP. Cuenta con 3 calderos, que se utilizan en función de la cantidad de producción a procesar. La utilización del vapor generado por los calderos es directo, es decir, no hay recuperación del vapor en el proceso, aumentando sus costos operativos por el alto consumo de agua.

El vapor generado es utilizado para calentar directamente la mezcla de limón triturado, de cáscara y del jugo, en tanques de 8 m<sup>3</sup> por lote (o batch). El proceso de destilación dura 8 horas aproximadamente, y se obtienen 2 elementos: agua con sabor a limón y aceite esencial, los cuales se comercializan a un alto valor.

Para la generación de vapor, sus calderos consumen entre 3 m<sup>3</sup> y 8 m<sup>3</sup> de agua por hora. Esta agua debe ser previamente calentada antes de ingresar a los calderos. Es aquí donde interviene Cosolpo, y ve la oportunidad de la implementación de una solución económica, rentable y amigable con el medio ambiente, mediante la utilización de captadores termo solares por concentración parabólica.

## CAPITULO III: MARCO TEORICO

Las tecnologías renovables han venido desarrollándose en el mundo con mayor frecuencia, debido al apoyo por parte de entidades estatales y organizaciones mundiales, en los últimos años. Este cambio ha sido posible gracias a la concientización ambiental y a la reducción de costos de implementación. Dichos costos son cada vez más accesibles a las empresas, y demuestran una rentabilidad mayor en un mediano plazo, convirtiéndose atractivos para su desarrollo.

Por otro lado, se entiende por energías renovables toda fuente energética natural que no involucre la quema de algún combustible que conlleva a la contaminación ambiental por la emisión al ambiente de CO<sub>2</sub> y metano, principalmente. En la actualidad, la energía solar y la energía eólica son las más conocidas y utilizadas, pero existen también otras como la mareomotriz, la geotérmica, las bioenergéticas, la hidroeléctrica, entre otras.

La energía solar se puede aprovechar a través de dos tecnologías: el uso de paneles fotovoltaicos, muy conocidos y utilizados mundialmente para generar electricidad directamente, y las tecnologías de concentración térmica solar, para las cuales existen varios dispositivos, como son concentradores parabólicos, concentradores tipo Fresnel, concentradores de disco, concentradores de torre, etc. La empresa Cosolpo utiliza la energía renovable solar, la parte térmica específicamente.

### 3.1 Marco referencial de la investigación

La tecnología CSP (Concentrated Solar Power, por sus iniciales en inglés) siempre ha sido utilizada para la generación de electricidad al ser conectada a la red eléctrica de un país, para suministrar energía a un pueblo o ciudad. Existen campos de concentración solar enormes en diferentes países en el mundo; sin embargo, la alternativa de las plantas fotovoltaicas para generación eléctrica directa son ahora una opción más rentable, debido a que el costo de los equipos de concentración son más elevados desde hace varios años, y aun no existen tecnologías capaces de reducirlos. Por este motivo, competir con la tecnología fotovoltaica para la generación de electricidad no es una opción, por lo tanto,

una alternativa para el uso de los concentradores parabólicos es implementarse para otras aplicaciones, principalmente, el calentamiento de agua, donde el fotovoltaico no puede competir.

Algunas empresas dedicadas al uso de la tecnología CSP están demostrando que su utilización para aplicaciones industriales, en vez de generación eléctrica, es viable. Por ejemplo, el fabricante GlassPoint de USA se convirtió en la primera empresa que opera en el medio oriente gracias a su diseño, para recuperar petróleo mediante la energía solar. Otro caso importante es el de la empresa Rackam, de Canadá, tienen diversos proyectos aplicados en la industria de ese país con éxito, a pesar de su ubicación geográfica. Y en India, donde muchos desarrolladores de sistemas CSP están empujando pequeños proyectos en diferentes partes del país, enfocándose en calentamiento de agua para procesos industriales.

Existen varias razones por las que estos negocios a escalas pequeñas están teniendo más facilidad en el mercado comparada a las grandes que generan electricidad para la red eléctrica de un país. Una de las principales razones es la escala o tamaño de plantas solares que necesita una industria, comparada a las de generación eléctrica, ya que son mucho más pequeñas. Otro punto importante es la temperatura de trabajo que las plantas solares deben entregar, ya que la industria requiere temperaturas menores a la mitad de las que generan electricidad. Esto significa que las plantas solares son más baratas y fáciles de diseñar e instalar, y el mercado es amplio debido a todos los sectores industriales en los que pueden participar. Y lo más interesante de todo es que las aplicaciones industriales reducen el consumo de combustibles fósiles generando ahorros significativos los cuales hacen posible que el equipo CSP pueda pagarse fácilmente.

Con estos beneficios, y dado que la tecnología CSP tiene dificultades de competir eficientemente con las plantas fotovoltaicas para generar electricidad, no sorprende que los expertos señalen a la CSP como un ganador en aplicaciones industriales. Lo que sí se debe tener en cuenta es la relación de costo eficiencia en las empresas para determinar su viabilidad y recuperar la inversión que se hace en un corto o mediano plazo.

### **3.2 Marco Conceptual**

Las centrales termo eléctricas tienen un alto costo en todas sus etapas, así como la tecnología que se necesita para su realización. Y se ve como algunas empresas empiezan

a ver a la CSP como una solución industrial la cual se encuentra en una etapa temprana aun, pero con un gran potencial que debe ser explotado. En la empresa Cosolpo se vio esta oportunidad, en que la tecnología CSP podría reemplazar las calderas convencionales de muchas empresas en el Perú, pero existían aún ciertas barreras a superar, las cuales se fueron eliminando año tras año con un equipo técnico dedicado 100% a la investigación y desarrollo de un concentrador solar parabólico económico, eficiente y robusto, capaz de suplir cualquier demanda que exigiera la industria.

La concentración solar parabólica en el Perú solo ha sido estudiada en universidades o institutos donde la información está abierta al público, existen varios tipos y formas en las que se construyen estos equipos, pero todas son de carácter explicativo e informativo, de análisis y pruebas para dar a conocer su funcionamiento y futuras aplicaciones junto con todas sus características técnicas y su potencial. La importancia del desarrollo tecnológico realizado en Cosolpo es que llevó estas investigaciones a un siguiente nivel, convirtiendo a una instalación CSP en comercial. Es ahí donde radica uno de los principales problemas a nivel internacional debido al alto costo de fabricación de ellos. Se debe recordar que las industrias no compran ninguna máquina que no les proporcione alguna mejora, así sea beneficioso para el planeta ya que no existe ninguna ley que se los exija; es por ello que el principal motor de Cosolpo desde sus inicios fue encontrar un diseño económico sin perder eficiencia.

### **3.3 Proyecto Cosolpo**

Cosolpo es la única empresa en todo Sudamérica que ha desarrollado la tecnología CSP desde planos, y lo convirtió en un producto rentable para los clientes, buscando alcanzar los estándares internacionales de calidad y eficiencia a un bajo costo. Sus tres plantas solares instaladas a la fecha, demuestran su operatividad de calidad. Es por ello que el presente estudio devela lo que fue el desarrollo de uno de estos proyectos, explicando paso a paso cada una de sus etapas para un cliente en Sullana, Piura.

El proyecto solar consta de la instalación de una planta parabólica CSP de 120 m<sup>2</sup> para realizar el pre calentamiento de agua para caldero en un proceso de destilado de aceite esencial de limón.

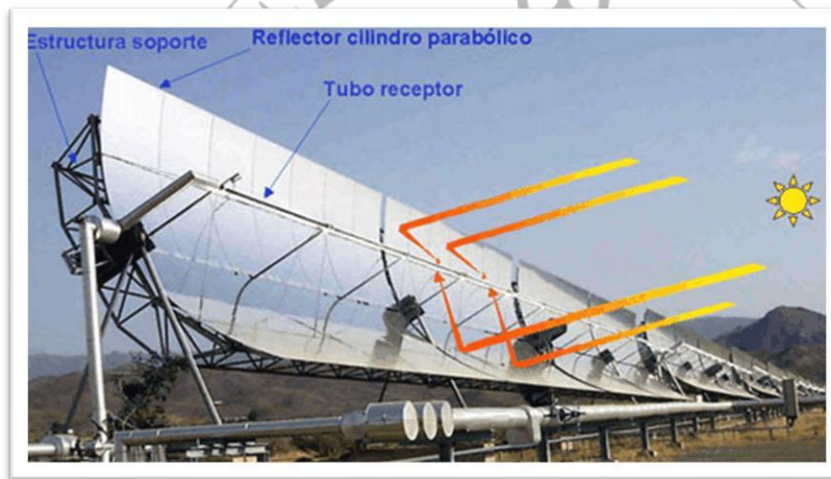


### 3.4 Tecnología solar

La tecnología utilizada por Cosolpo es la de concentración solar parabólica, la cual cuenta con espejos de vidrio en forma parabólica que concentran los rayos solares que inciden perpendicularmente en la parábola para concentrarlos en su punto focal. En este punto focal se encuentra un tubo colector que absorbe la energía calorífica proveniente del Sol, alcanzando temperaturas de más de 300°C. Asimismo, dentro del tubo colector fluye el líquido a calentar, en este caso el agua de pre calentamiento. En la figura 1 se observa el funcionamiento y las partes de la tecnología.

Figura 3.1

Colector Solar Parabólico



Fuente: Scientific Research. SCIRP (2013)

### 3.5 Radiación solar

Un punto importante a mencionar es la radiación solar, ya que, de no haber buena cantidad de incidencia solar en el lugar del proyecto, la tecnología CSP no funciona. Es por este motivo que la empresa realiza cálculos, mediante información satelital, para determinar la viabilidad de los proyectos antes de su implementación.

Se considera que una intensidad de radiación solar aceptable para aprobar el lugar donde se implementaría una planta CSP, debería ser mayor a 5 kWh/m<sup>2</sup>/día en promedio a lo largo de un año. Obviamente, a mayor intensidad de radiación en el lugar observado, aumenta la eficiencia de los concentradores; por ende, los proyectos serían más rentables

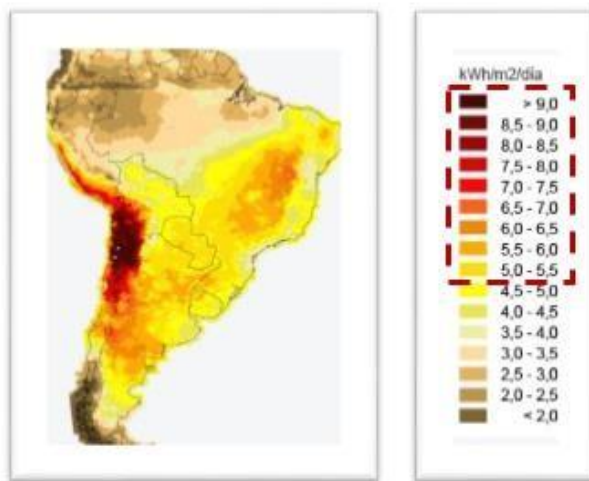
y la implementación de esta tecnología sería más competitiva que las convencionales que utilizan combustibles fósiles.

La planta proyectada para un cliente será mayor o menor, dependiendo de la radiación solar en el lugar; es por ello que cada proyecto es diferente debido a este factor.

En la figura 2 se muestra un promedio, por regiones, de la incidencia de la radiación solar, donde se observa que el sur del Perú y el norte de Chile son los lugares más importantes.

Figura 3.2

Mapa radiación solar



Fuente: Kummetz (2012)

Existen lugares donde la energía solar se puede llegar a utilizar hasta 11,5 meses al año, lo cual representa uno de los periodos más largos en el mundo. Además, en estos lugares se alcanza una intensidad de radiación solar por encima de los 1 000 W/m<sup>2</sup>, convirtiendo al Perú en un lugar propicio para la utilización de tecnología basada en energía solar.

### 3.6 Restricciones: Tamaño / Espacio / Utilización

Otro de los puntos importantes para la determinación de que un proyecto sea viable, es el tamaño de la planta solar CSP, así como el espacio disponible del cliente, ya que requiere una gran área del terreno para su instalación. Otro de los factores importantes es el uso

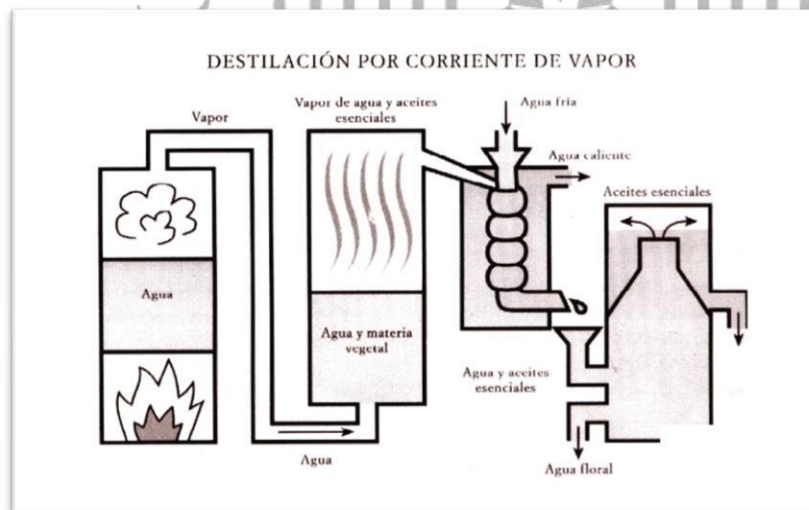
intensivo de energía térmica en el cliente, cuantos más días operen al año mayor ahorro se generará. Estos son los puntos básicos para así convertir esta tecnología amigable y altamente rentable en una solución efectiva en algunos casos hasta en un corto plazo.

### 3.7 Proceso de destilación

La obtención de aceite esencial de limón se realiza mediante el proceso de destilación, es decir, la obtención de agua y aceite por medio de la condensación proveniente del vapor generado en el tanque de mezcla, el cual se debe calentar mediante vapor directo. Se mantiene un control de temperatura de 110°C en la mezcla, y el vapor ingresa a una temperatura aproximada de 140°C, controlándolo para que no se quemara la mezcla en el tanque. Cada batch dura aproximadamente 8 horas en tanques de 8 m<sup>3</sup> para obtener cerca de 5 galones de aceite esencial. La figura 3 muestra detalladamente el proceso de destilación para la obtención de aceite esencial de limón.

Figura 3.3

Proceso de destilación



Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA (s.f.)

Existen otras dos técnicas que se pueden utilizar para condensar aceite esencial de limón, como son la de arrastre y la de olla a fuego directo.

## CAPITULO IV: PLANIFICACION

Cada proyecto que la empresa Cosolpo desarrolla consta de varias etapas, las cuales se deben seguir metódicamente para asegurar un buen dimensionamiento de la planta solar, de forma que se alcancen los requerimientos térmicos de la empresa cliente.

La Figura 4.1 muestra cada una de las fases de un proyecto que la empresa Cosolpo sigue.

Figura 4.1  
Cadena de valor Cosolpo



Elaboración propia

La cadena de valor de Cosolpo es como se muestra en el esquema, cumpliendo con el cliente desde el diagnóstico de oportunidades, para ver la viabilidad del proyecto, hasta el soporte y mantenimiento de los equipos, para mantener la fidelidad del cliente.

### 4.1 Diagnóstico de oportunidades

En esta etapa se realiza la visita al cliente para conocer los procesos de su planta, e identificar las oportunidades de poder utilizar la tecnología solar para generar energía térmica en sus procesos, y también, determinar si el terreno es propicio para la instalación de los equipos, en dimensiones y cercanía.

En esta etapa se debe conocer en detalle todo lo referido al caldero que utiliza la empresa cliente como generador de energía calorífica, y cómo este se utiliza en sus procesos. Se debe conocer el tamaño del caldero, cantidad de vapor que produce, tipo de

combustible que utiliza y la cantidad que se consume al año. Asimismo, si el sistema es directo o indirecto en la inyección de vapor y calentamiento del proceso, la cantidad de agua de reposición del caldero, la eficiencia del mismo, el plan de mantenimiento y los gastos incurridos, las horas de para al año por reparaciones, etc.

En cuanto al proceso es importante conocer el nivel de producción anual, los parámetros de control del proceso como la temperatura y la presión, el tamaño de los tanques, las horas de producción, el número de batchs al día, la capacidad de planta, la eficiencia del proceso, las pérdidas de calor, entre otros.

Toda esta recolección de datos sirve para la evaluación de la viabilidad del proyecto. En esta primera instancia, si no se ven las condiciones necesarias, se podría decidir en esta primera visita que no es posible la utilización de los equipos solares. Una razón podría ser la baja producción anual, quiere decir que lo que se produce durante el año es poco, lo que alarga el periodo de recuperación de la inversión. Otra razón podría ser la falta de espacio en la planta o la distancia al proceso, ya que podría ocurrir que la planta opere todo el año pero no cuenta con espacio suficiente para la instalación del número de equipos solares adecuado, o el proceso se encuentra muy alejado del espacio donde podría instalarse la planta CSP. Por último, la intensidad de radiación solar es otro de los puntos importantes como se mencionó anteriormente; se ha podido verificar que si en la zona no existe radiación solar directa durante un periodo mayor a 8 meses al año, el proyecto tendría una baja rentabilidad.

Estos son los 3 puntos clave para una buena implementación del proyecto: i) uso intensivo de la energía en planta con alta producción, ii) buena radiación solar y, iii) espacio y ubicación adecuados.

#### **4.2 Diseño de la solución**

Es en esta etapa donde se diseña el tamaño de planta necesario para cubrir con la demanda de energía para el proceso térmico industrial. Luego de haber realizado el diagnóstico *in situ* y haber determinado que todos los criterios se cumplen, con las características técnicas y los parámetros de control del proceso térmico del cliente, se desarrollan los cálculos pertinentes para la construcción del equipo solar.

Dichos cálculos consisten en utilizar los datos térmicos (en kilocalorías) del calor específico de cada material involucrado en el proceso. Es con esta data que sabemos con precisión la cantidad de energía que necesita un cuerpo para aumentar la temperatura que requiere el proceso a mejorar. Analizamos también un estudio de pérdidas en tuberías, tanques y elementos que deben ser calculados para contabilizarlos en los cálculos de eficiencia.

En dicho cálculo interviene la información de la radiación solar incidente en el lugar, como factor determinante, ya que permite saber la cantidad de energía térmica que se podrá obtener con los equipos solares, cuya eficiencia se estima como mínimo en un 60% de utilización requerida; es decir, al menos debe haber radiación solar directa durante 4 horas diariamente, lo cual debe ocurrir como mínimo 7 meses al año.

Para determinar el área (en  $m^2$ ) de la planta solar necesario, es indispensable tener en cuenta la cantidad de energía (en kcal) que requiere el proceso por hora, ya que la planta solar puede alcanzar hasta  $400 \text{ kcal/m}^2$ . De esta forma, dividiendo la cantidad total de calor por hora del proceso térmico entre la capacidad por  $m^2$  del equipo solar, se determina el mínimo de área que la planta solar debe cubrir con los espejos parabólicos. Además, con la data de la radiación solar que incide en el lugar se obtiene la energía promedio anual que la planta solar podrá entregar al proceso térmico.

La información de la intensidad de la radiación solar se obtiene a partir de datos históricos obtenidos por los satélites de la NASA, que se encuentran disponibles gratuitamente en internet, y son de acceso abierto (conocidos también como “open sources”) para el mundo. Otra forma de obtener estos datos es a través de estaciones meteorológicas ubicadas en ciertos puntos del país, o también, se puede recurrir a los mapas de radiación solar del SENAMHI. La información de dichas estaciones meteorológicas siempre son más acertadas, con un nivel de error de 10%, contra las satelitales globales que pueden tener hasta un 20% de error.

### **4.3 Manufactura**

Una vez que se ha determinado el tamaño de planta solar, y el proyecto es aprobado por la empresa, se desarrolla el plan maestro de producción para la elaboración de los módulos solares. Se desarrolla el plan de compras mediante un Diagrama de Gantt, se

envían los diseños a los proveedores de materias primas y de servicios de confección de piezas para el ensamble, se entregan los planos con las cantidades de los elementos a construir al área de producción y, finalmente, se procede con la construcción de los equipos solares.

El tiempo de fabricación de los equipos solares dependerá del tamaño de la planta solar y de los respectivos costos. Fabricar una sola sección del equipo solar demora aproximadamente una semana, con un tamaño de 60 m<sup>2</sup>, y se requieren solo 3 operarios en un turno de 8 horas por día. Una vez terminada la fabricación, las piezas de la sección solar son pre ensambladas sobre una parihuela, que además, incluye todo el sistema listo para operar. Esta etapa se realiza en la fábrica en Lima.

Las áreas de trabajo son delimitadas y cada estación de trabajo cuenta con sus correspondientes instrucciones. Las piezas van llegando conforme se solicitan a los proveedores de servicios. Todas las piezas cuentan con instrucciones para que se realicen con rapidez en las estaciones de trabajo.

#### **4.4 Entrega y Ensamble**

El producto final es una sección de 60 m<sup>2</sup> de espejos parabólicos, que incluye un sistema de seguimiento solar y soportes, el cual es enviado al cliente. Generalmente, por el tamaño y peso, puede ser enviado por medio terrestre o marítimo según convenga. Cada parihuela mide 3,20 metros por 1,60 metros, con un peso aproximado de 1,5 toneladas, los cuales son apilados en semi parábolas con todos sus elementos.

Para el ensamble de la planta solar en las instalaciones de la empresa cliente, primero se realiza el movimiento de tierras para lograr uniformidad, luego, se realiza una marca en el terreno cada 3,25 metros, donde se deben construir las zapatas de cemento y fierro, cuyas dimensiones son 50 centímetros por 50 centímetros y 50 centímetros de profundidad, dependiendo de la calidad de tierra. De estas zapatas sobresalen 4 pernos que sirven para sujeción de los soportes de los espejos parabólicos.

El ensamble de los módulos solares se realiza entre 2 personas, en un tiempo aproximado de una hora por módulo. Las semi parábolas se juntan en un molde y se unen mediante los ejes tipo H de fierro, los pernos y los aluminios, según las instrucciones para el instalador. El ensamblaje de una sección de 60 m<sup>2</sup> puede estar lista en 3 días.

Asimismo, la programación de la configuración del seguidor solar automatizado demora de 3 a 5 días; una vez configurado, solo se debe encender y apagar según la utilización de la planta solar.

Existen también las instalaciones externas de agua y electricidad, junto con las tuberías de agua caliente que llegan al proceso, que deben realizarse en simultáneo con los ensambles de los módulos colectores, una vez concluido todo esto la planta solar esta lista para ser utilizada.

#### **4.5 Soporte y mantenimiento**

Los planes de mantenimiento de los equipos solares son simples. La parte mecánica del seguidor solar automatizado tiene un plan preventivo, que consiste en la colocación de grasa a todas las parte móviles (rodajes y cadenas). Otra actividad de mantenimiento es el lavado de los espejos para la eliminación de concentración de polvo, ya que su acumulación disminuye la eficiencia de la planta solar.

A pesar de la simplicidad para el mantenimiento, existen los manuales de operación para evitar contingencias, así como también, manuales de averías o, de ser el caso, de repuestos de partes del equipo que se puedan cambiar o reparar. Si existiese algún tipo de accidente todos los elementos pueden ser rápidamente reemplazados, y la empresa Cosolpo ofrece solución a todo lo que se produzca.

#### **4.6 Plan de operación y mantenimiento:**

La planta térmica solar por concentración parabólica trabaja sola y continuamente durante todo su ciclo de trabajo (1 día, 1 semana, 1 mes, etc.). Se enciende una sola vez y se apaga al final del ciclo.

La planta solar se enciende sola automáticamente desde las 7:30 am siguiendo durante todo el día sigue al movimiento del Sol hasta las 4:30 pm, hora en que regresa a la posición inicial de las 7:30 am, e inmediatamente se apaga. Esta operación se repite automáticamente los 365 días del año mientras no se le corte el suministro de electricidad.

Se recomienda: Apagar electricidad después de las 6:00 pm y encenderla a las 7 am, así como el flujo de agua que ingresa a la planta térmica solar.



Importante: Si por cualquier motivo se apaga la planta solar, en el momento en que se enciende nuevamente, y gracias a su sistema electrónico avanzado patentado, la planta se enfocará sola. Es decir, por ejemplo, se apaga a las 9 am y se enfoca automáticamente a cualquier hora que se encienda nuevamente.

La planta es de gran performance ya que sigue al sol así pase una nube o el cielo esté nublado, su operación no se limita a la radiación solar.

Si la planta solar no cuenta con agua dentro de los tubos colectores por algún motivo, se debe apagar el seguimiento solar, pueden cortar la corriente eléctrica o apagar los equipos manualmente en la computadora. Esto para proteger los tubos colectores ya que sin agua adentro se doblan por las altas temperaturas que alcanzan.

#### **4.7 Seguidor Solar:**

El seguidor solar es una computadora que analiza el movimiento del Sol en el lugar donde se instale, su función es darle pulsos de energía al moto-reductor y analizar el sensor para asegurar su precisión con un error máximo de 0,2 grados sexagesimales por minuto. El seguimiento solar es el elemento más importante para asegurar el correcto funcionamiento de la planta térmica solar.

Figura 4.2  
Seguidor Solar



Elaboración propia

- a. Botón de encendido, esta luz al estar prendida significa que el seguidor cuenta con corriente eléctrica.
- b. Switch de encendido, permite prender el seguidor, cuando está en la posición I estará prendido.
- c. Botón para movimiento manual anti horario, al presionar, y cuando está activado la opción manual, se moverá anti horario el equipo solar.
- d. Botón para movimiento manual horario, al presionar, y cuando está activado la opción manual, se moverá en sentido horario el equipo solar.
- e. Switch de opción manual o automático.

- f. Cable de alimentación para corriente 220V.
- g. Ventilación.
- h. Conector para motor.
- i. Conector de sensor.

Bajo ningún motivo debe abrirse el seguidor solar, desarmarlo o intentar comunicarse mediante laptop con el sistema programado.

Tener mucho cuidado con el sensor, es parte fundamental del seguimiento y altamente sensible, la manipulación de este puede generar una rotura y se deberá comunicar para su cambio.

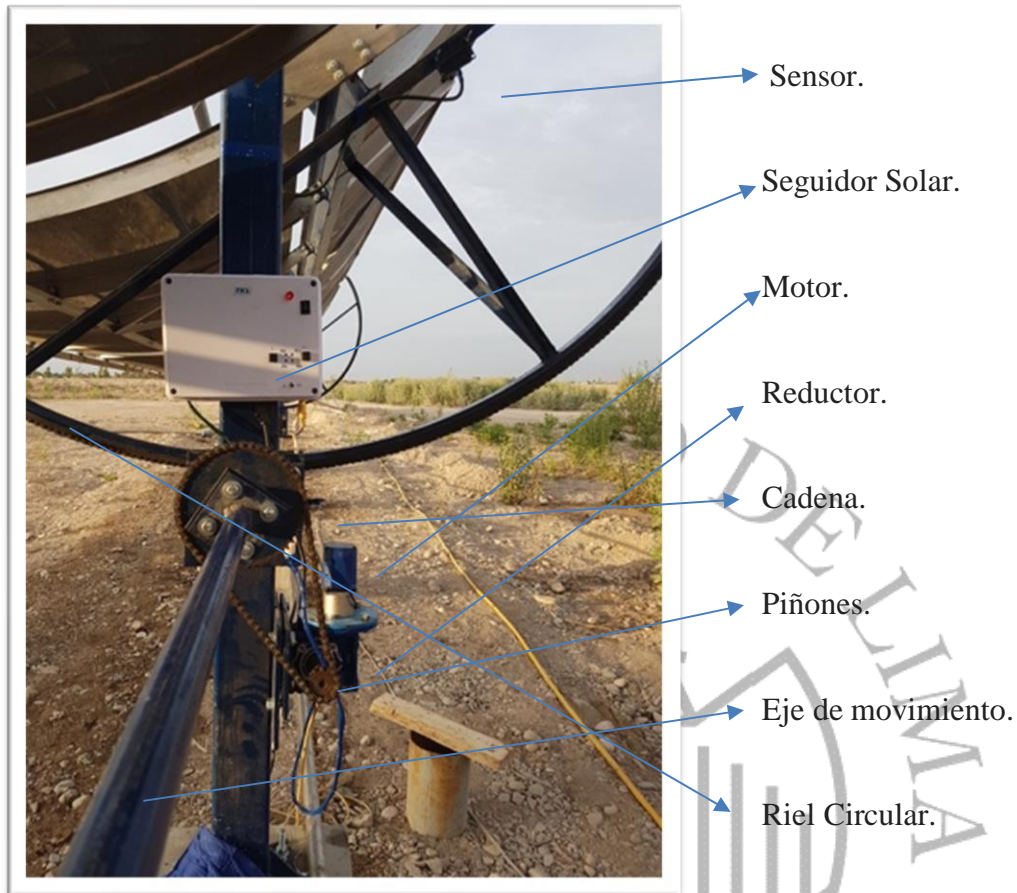
Ambos equipos, seguimiento solar como sensor están diseñados para estar a la intemperie.

Es importante revisar que el seguimiento está funcionando en óptimas condiciones, quiere decir, que el equipo solar está siguiendo correctamente al Sol y hay varias maneras de verificar esto: Primero, ver directamente al tubo colector desde la parte de abajo con el eje de la parábola, deben estar alineados ambos con el Sol uno tras del otro, la segunda forma es ver la línea negra que se forma debajo del tubo colector y este alineada al eje central de la parábola, y una tercera forma ver en el piso las sombras que dejen una línea perfecta con separaciones iguales. Todo esto debe siempre confirmarse cuando salga el sol, y deben utilizarse lentes con protección UV.

#### **4.8 Sistema de movimiento mecánico:**

El sistema de movimiento mecánico cuenta con una moto-reductor, piñón, cadenas y riel circular para generar movimiento en sus 3 ejes; el principal es el del centro donde se encuentra el sensor y motor para generar el movimiento hacia los extremos mediante un eje longitudinal.

Figura 4.3  
Sistema de Movimiento



Elaboración propia

El movimiento es ejecutado por el motor mediante piñón y cadenas en la parte central de las secciones, y es transmitido a los extremos mediante un eje longitudinal unido entre sí. Si se sueltan en las 5 patas donde se sujetan, el equipo solar quedaría suelto para mover libremente hacia cualquier lado que se desee.

Atención: Tener cuidado al soltar el eje longitudinal, ya que desconectarían el motor del equipo el cual le genera el tope al equipo, sin este motor, el equipo solar puede girar libremente y moverse violentamente hacia un lado ocasionando roturas a los espejos o descuadrando los tubos colectores.

Poner mucha atención cuando se vuelve a colocar los 3 rieles circulares para que los extremos estén alineados con el centro, existe un par de ángulos de soldadura para moverlos libremente.

Este sistema está diseñado para proteger además de fuertes vientos al equipo, de hasta 20 m/s, si sobre pasa esta velocidad, es preferible apagar el equipo solar.

Figura 4.4

Sistema de cadenas



Elaboración propia

Recomendamos poner una tapa y guardapolvo al motor y cadena por protección.

#### 4.9 Tubos Colectores

Los tubos colectores están diseñados para soportar movimiento, presión y altas temperaturas según el uso que se le dé, siempre y cuando tengan agua dentro fluyendo o estática; si esta estática y el sistema sigue al sol, se generara vapor a presión por dentro, pero sin ningún peligro.

En pruebas se han alcanzado temperaturas de hasta 350 °C y presiones de hasta 200 psi.

La operación de los tubos es automática, absorben el calor entregado por los espejos para transmitirla al agua que fluye dentro de ellos. Pueden girar sobre su eje para tener un expansión por calor, también para el giro de los equipos y las mangueras flexibles no sufran un ahorcamiento.

#### **4.10 Espejos reflectantes**

Los espejos de vidrio multiplican la radiación solar hasta 80 veces en los tubos colectores mediante la formación parabólica que tienen, su función es garantizar un reflejo de hasta el 94% de esta radiación en el tubo colector.

Pueden soportar movimientos bruscos, golpes medianos, y movimientos por vientos fuertes. Los templadores que se encuentran encima de los espejos deben estar ajustados, pero no muy fuerte, puede generar doblez de alguna de las partes de los espejos.

#### **4.11 Estructura Metálica Parabólica**

La estructura garantiza su funcionalidad por más de 20 años ya que son elementos como aluminio y fierro cubierto con pinturas a prueba de corrosión.

#### **4.12 Mantenimiento Preventivo:**

Los espejos deben lavarse de preferencia con agua desionizada y detergente con intervalos de 1 a 4 semanas según observen como se ensucien. Lo mínimo recomendable es 1 vez por semana para sacarles el polvo y opera al 100%.

Figura 4.5

Limpieza de Espejos



Elaboración propia

Las cadenas de transmisión deben lubricarse cada medio año como los piñones, o según crean conveniente, según se necesite, por la cantidad de polvo en el ambiente.

Los tubos colectores deberán limpiarse con un trapo húmedo cada mes para quitarles el polvo.

El seguidor solar después de 2 años se cambiará la pila, y después de 5 años se revisará que sus componentes aún pueden funcionar correctamente.

El motor tiene una vida útil de 5 años, si aún funciona correctamente puede alargarse a 8 años.

Tabla 4.1

Mantenimiento Preventivo

<b>EVENTO</b>	<b>Causa</b>	<b>PREVENTIVO</b>
Tubos Colectores se doblan	No hay agua dentro de los tubos	Verificar diariamente en el encendido que existe flujo de agua continuo.
Tubos colectores se mueven lateralmente de manera explosiva y suenan	Cambia de fase el agua	Regular y verificar continuamente flujo del agua
Piñón grande de movimiento se descarrila	Los topes horarios se pasan del punto máximo	Corregir horario de inicio y fin de operatividad de la planta solar.
No calienta el agua	Equipos desenfocado	Revisar una vez al día si está siguiendo al Sol correctamente.
Movimiento mecánico suena.	Oxidación de elementos.	Poner grasa a las cadenas, piñones, chumaceras cada 6 meses.
Bajo rendimiento al calentar el agua.	Espejos reflectantes sucios con polvo o tierra.	Lavar los espejos 1 vez por mes con agua y cada 2 semanas limpiar el polvo con trapo.

Elaboración propia

#### 4.13 Seguridad:

La planta térmica solar por concentración parabólica funciona a altas temperaturas y concentra 80 veces la radiación solar, es siempre necesario el uso de lentes con alta protección UV en todo momento cuando se esté cerca de ella.

Revisar siempre la temperatura y flujo de salida del sistema para la durabilidad de los equipos.

La planta solar debe estar constantemente enfocada, de lo contrario comunicarse con personal de Cosolpo para asistencia.

Los espejos son de alta seguridad pudiéndole caer objetos sin romperse. Pero en caso de rotura son de fácil e inmediata reparación. Además, estas roturas serían de unos cuantos centímetros cuadrados y no afectarían de ninguna manera su rendimiento.

La planta nunca debe operar sin agua.



En caso de vientos extremos que superen los 20 m/s, la planta solar debe ponerse apuntando perpendicularmente hacia el cielo.

Apuntar a las 12 del mediodía cuando no opere por varios días, ya que puede caerle sol a la parte de atrás de los espejos y malograrlos.

Cuando se retira el eje central, el equipo queda libre, y deben tomarse precauciones porque podría soltarse y ocasionar rupturas.



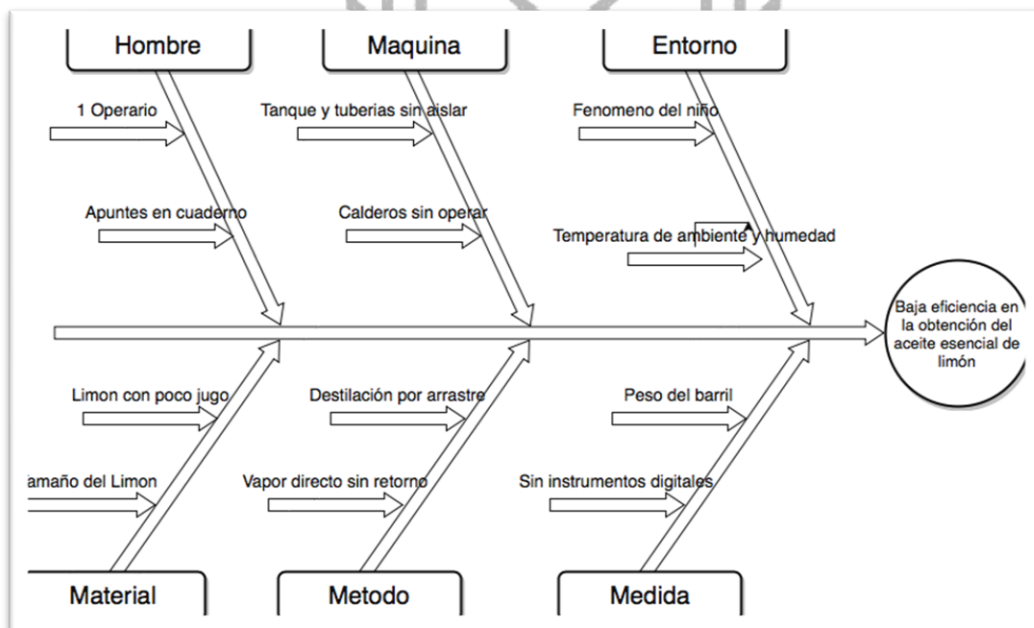
# CAPÍTULO V: DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el proyecto de energía térmica con la empresa Limones Piuranos, el Bachiller en Ingeniería Industrial Alfonso Torres Vidaurre realizó una visita al cliente en Sullana, y se determinó si las características de la zona cumplían con los requisitos previamente explicados en lo que se definió como diagnóstico preliminar. Una vez superada esta primera fase, se siguió con la del diseño de la solución y la presentación de proyecto, que se describen a continuación.

## 5.1 Diagnóstico preliminar

Aplicando el diagrama de pescado o Ishikawa, se determinaron los elementos que implican un rendimiento menor; y, como se muestra en la Figura 5.1, podemos reconocer elementos comunes que influyen en una eficiencia baja para los procesos del cliente.

Figura 5.1  
Diagrama de Ishikawa



Elaboración propia

## 5.2 Producción

Según el historial de producción de Limones Piuranos, el proceso de destilado se realiza los 12 meses del año, por lo que se confirma que utilizan los calderos todo el año. A partir de aquí, se revisa, mes a mes, la cantidad de días y horas que los calderos están siendo utilizados, y se comprueba que en los meses de baja producción, que son cerca de 6 meses, solo se tiene una utilización del 50%, y los otros 6 meses son altos, con una utilización de 70% donde la producción sí es diaria, inclusive en horarios nocturnos. Esto debido a que la producción de limón es casi estacionaria, en los meses de verano es donde más limón se cosecha.



Tabla 5.1

Producción y gasto GLP para aceite esencial de limón

Planta Cieneguillo

RESUMEN MENSUAL 2014 -2015

PROCESO DE DESTILADO													
FECHA	oct-14	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	TOTAL
ACEITE PRODUCIDO Kg.	2 590	1 640	3 870	16 900	22 420	18 255	20 240	24 960	18 240	8 365	4 140	4 230	145 850
GAS LICUADO DE PETROLEO Galones	4 700	3 250	7 000	28 150	32 870	27 140	2 880	31 760	28 800	17 532	9 440	8 380	227 102
<b>Mejor mes</b>													<b>Prom</b>
Galones GLP Utilizados / Kg Aceite Producido	1,81	1,98	1,81	1,67	1,47	1,49	1,39	1,27	1,58	2,10	2,28	1,98	1,56
Soles Galón GLP / Kg Aceite Producido	8,17	8,92	8,14	7,50	6,60	6,69	6,24	5,73	7,11	9,43	10,26	8,91	7,01
Soles GLP exceso con respecto al mes más eficiente	2,44	3,19	2,41	1,77	0,87	0,96	0,52	0,7	1,38	3,71	4,53	3,19	1,28
Soles adicionales / Total Producción mes	6 319,76	5 234,42	9 340,5	29 906,2	19 538,94	17 600	10 466	15 345	25 158	3 996	18 774	1 348	186 827

Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 5.1, los meses de mayor producción están entre enero y junio, muy distinto a lo que se produce en los meses bajos, que llegan a tener 10 veces menos producción que la más alta del año.

Otra característica que se busca en el análisis de producción es la cantidad de combustible que se utiliza por cada litro de aceite esencial producido en cada mes del año, para determinar los indicadores a reducir una vez que la planta solar esté operando. También es importante saber el precio y la calidad del combustible, así como, la eficiencia en sus calderos y procesos, que se deben tener en cuenta para calcular el ahorro que se generará a futuro.

Es así que se obtuvieron los siguientes datos:

- Costo de GLP por galón: S/ 5,15 sin IGV (oct. 2015)
- Cantidad de agua a pre calentar: Mes de alto consumo 8 m<sup>3</sup> por hora y mes de bajo consumo 2,5 m<sup>3</sup> por hora.
- Temperatura de agua fría: 30°C.  
Temperatura requerida para el caldero: 70°C.

Es importante también conocer las características del agua que se calienta para evitar las incrustaciones de las sales en las paredes de las tuberías del equipo solar; para esto, se verifica que el agua pase por un filtro previamente.

### **5.3 Espacio y distancia**

En la visita se constató que Limones Piuranos cuenta con espacio suficiente para la instalación de la planta solar; así como también, la planta solar quedaría instalada bien cerca de la planta de procesos, disminuyendo las pérdidas de calor por recorrer largas distancias.

Figura 5.2

Distribución Geográfica



Elaboración propia

La fotografía muestra una toma aérea de la planta de procesos de Limones Piuranos en Sullana, remarcando dónde se encuentra la planta de procesos y dónde se ubica la planta solar. Como se observa, las distancias y espacios son apropiados y suficientes para la aprobación de este parte del proyecto.

#### 5.4 Radiación

Como ha sido mencionado, la evaluación de la intensidad de la radiación solar es de suma importancia, ya que juega un rol determinante para que la planta solar funcione con alta eficiencia. Para el caso de Limones Piuranos, se cuenta con dos formas de calcular si la cantidad de radiación solar es propicia para los equipos solares.

El siguiente cuadro (Tabla 5.2) muestra la información tabulada de los datos recogidos de la estación meteorológica ubicada en la empresa Limones Piuranos. Esta estación toma muestras cada segundo, y promedia estos valores medidos durante un lapso de 30 minutos continuos y, finalmente, se almacenan en una memoria.

Tabla 5.2

Radiación Promedio Diario (en W/m<sup>2</sup>) por Mes y por Horas

2014 - 2013	8 h.	7,5 h.	7 h.	6,5 h	6 h.	5,5 h.	5 h.	4,5 h.	4 h.
<b>Enero</b>	705	738	767	794	826	852	875	896	921
<b>Febrero</b>	723	757	785	812	846	871	894	913	933
<b>Marzo</b>	735	769	798	825	853	876	894	910	923
<b>Abril</b>	697	726	751	773	797	815	831	845	861
<b>Mayo</b>	589	615	639	660	683	702	722	741	760
<b>Junio</b>	580	602	610	621	662	681	700	718	736
<b>Julio</b>	603	627	647	668	699	720	740	758	775
<b>Agosto</b>	661	690	717	741	763	782	798	812	824
<b>Septiembre</b>	699	728	752	774	796	814	831	847	863
<b>Octubre</b>	707	737	762	786	814	835	855	873	891
<b>Noviembre</b>	691	718	742	763	787	806	824	840	855
<b>Diciembre</b>	716	744	767	785	809	826	842	857	872
<b>Promedio</b>	<b>675</b>	<b>704</b>	<b>728</b>	<b>750</b>	<b>778</b>	<b>798</b>	<b>817</b>	<b>834</b>	<b>851</b>

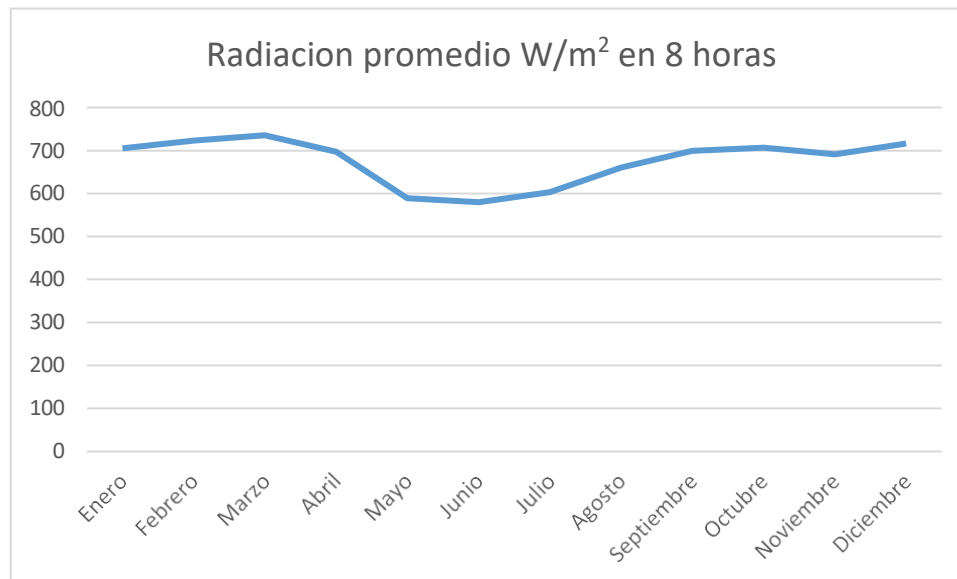
Elaboración propia

Se tabularon 3 años de información de radiación solar, llegando a la conclusión que existen cerca de 250 días de sol utilizables al año en el lugar, con un promedio de 728 W/m<sup>2</sup> para un día de 7 horas de trabajo. Esto significa que se cuentan con 8,18 meses de Sol al año utilizables, lo cual supera los 7,5 meses que se requiere como mínimo en este lugar para poder operar satisfactoriamente.

En la Tabla 5.3 se muestra el comportamiento de la radiación solar promedio por mes. Estos datos fueron obtenidos por satélites para corroborar la información de la estación meteorológica de Limones Piuranos, dando como resultado que si los meses tienen más de 650 W/m<sup>2</sup>, es suficiente para que la planta funcione correctamente con altas eficiencias.

Tabla 5.3

Radiación Promedio Sullana



Elaboración propia

### 5.5 Diseño de la solución

En esta parte se presentará el análisis de toda la información y datos obtenidos en el diagnóstico preliminar para elaborar una solución capaz de suplir la demanda calorífica del caldero para el proceso de destilado de aceite esencial de limón.

### 5.6 Determinación de la energía necesaria

Cantidad de calor necesario: 1 m<sup>3</sup> de agua caliente a 70°C por hora.

Energía necesaria: Incrementar la temperatura de 20°C a 70°C para 1 000 lt/h.

Fórmula:  $(T. final - T. inicial) \times 1000 \text{ lt} = \text{kcal necesarias}$ .

Nota: se necesita 1 kcal para incrementar en 1°C por cada litro de agua.

Respuesta: Se necesitan 50 000 kcal/h para calentar 1 m<sup>3</sup> de agua por hora.

### 5.7 Determinación del tamaño de planta solar

Cantidad de energía por área (en m<sup>2</sup>), de espejo colector promedio: 300 kcal/hm<sup>2</sup>.

Cantidad de energía requerida para el proceso: 50 000 kcal/h.



Tamaño de planta solar: 160 m<sup>2</sup> (energía requerida / energía por m<sup>2</sup>).

## 5.8 Propuesta de valor

El cliente hará una primera etapa de 120 m<sup>2</sup> de espejos colectores, lo que significa 2 secciones parabólicas de 60 m<sup>2</sup> cada una, con sistemas de seguidores solares automatizados, sistemas anti viento, movimiento mecánico y tuberías de conexión, para demostrar la capacidad de la planta, y una expansión a futuro como segunda etapa.

El costo de inversión de la planta solar se muestra en la Figura 5.2 (cotización) dando un total de US\$ 8 120 dólares americanos, sin contar IGV. La inversión está incluyendo todas las etapas del proyecto, desde la fabricación de los colectores, el pre ensamble, instalación, envío, accesorios de la planta solar (como tuberías, etc.), obras civiles y mano de obra.

Figura 5.3  
Cotización del proyecto

<b>COTIZACION - Limones Piuranos</b>		<b>COSOLPO</b> THE FUTURE IS ENERGY	<b>Limones Piuranos</b> Cultivos Sostenibles
<b>Datos Base</b>			
<b>Calentar 1 m<sup>3</sup>/día agua de 20°C a 70°C:</b>			
Cantidad de energía requerida	50 000		kcal/h
Cantidad de energía recibida en lugar	430		kcal/hm <sup>2</sup>
Tamaño de planta	120		m <sup>2</sup>
# Lineas	2		
# modulos	12		
<b>Costo de Equipos</b>			<b>Sub-Total</b>
12 Modulos, 2 sistemas de seguimiento solar, 2 sistemas contra viento, circuito de tuberías de planta solar, 12 tubos colectores, bombas.			\$ 6,000.00
<b>Costo de Instalación</b>			<b>Sub-Total</b>
Transporte - Flete		\$	700.00
Obras Civiles		\$	700.00
M.O.		\$	300.00
Soldador		\$	20.00
		\$	<b>1,720.00</b>
<b>Supervisión de Ingeniería</b>			<b>Sub-Total</b>
Transporte		\$	200.00
Alimentos		\$	100.00
Hospedaje		\$	100.00
		\$	<b>400.00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 8,120.00</b>
*precios sin igv			

Elaboración propia

## 5.9 Beneficio / Propuesta de ahorro

La propuesta tendrá como objetivo principal la reducción en el consumo de GLP para el pre calentamiento de agua para el caldero. Se ha determinado lo siguiente:

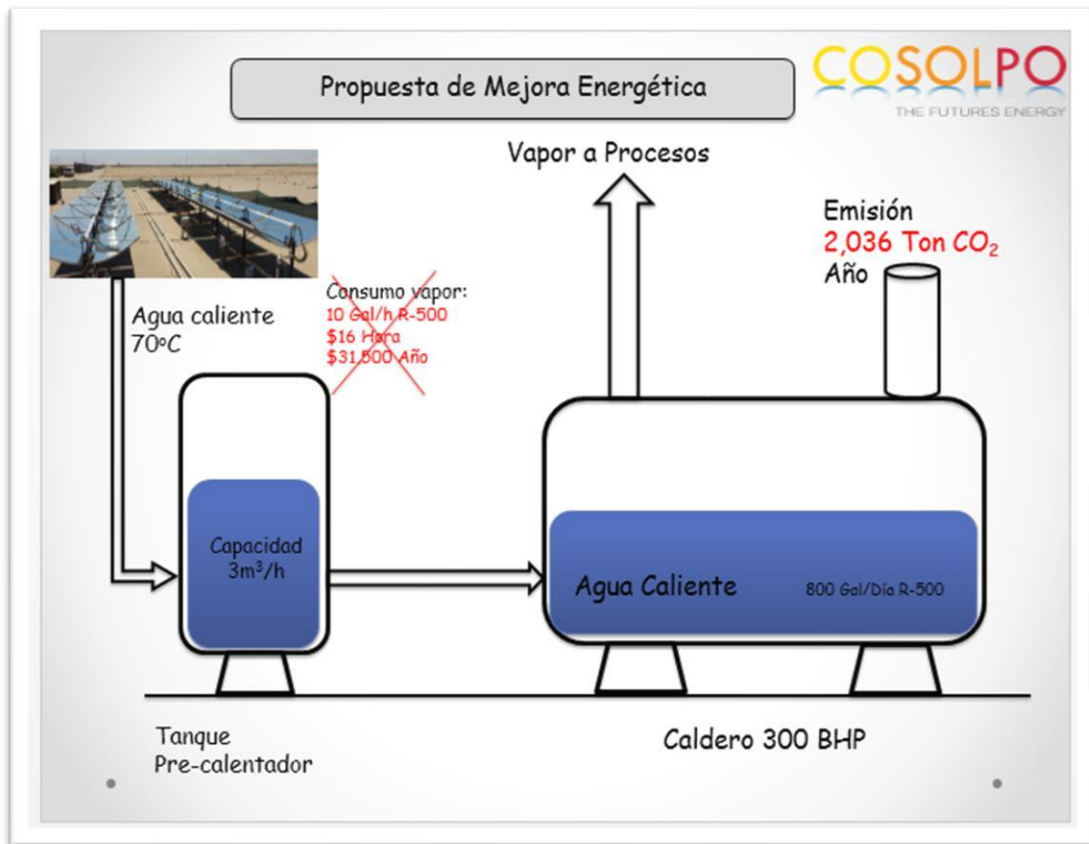
Cálculo para el ahorro anual de GLP:

- Poder calorífico de 1 galón de GLP = 24 000 kcal (teórico).
- Eficiencia del GLP = 92% (según dato del proveedor).
- Eficiencia del caldero = 85% (teórico).
- Entonces:
  - o Poder calorífico de 1 galón de GLP =  $24\ 000 \times 0,92 \times 0,85 = 18\ 768$  kcal (real).
- Precio del Galón de GLP = S/ 5,15, sin IGV. (oct. 2015)
- Cantidad de kcal totales al año que producirá la planta: 60,6 MM kcal al año.
  - o Tamaño de planta: 120 m<sup>2</sup>.
  - o Energía por m<sup>2</sup>: 300 kcal.
  - o Horas de trabajo de planta solar al día: 6,5 horas.
  - o Días de trabajo al mes: 3,5.
  - o Meses de trabajo al año: 8,5.
    - Entonces:  $120\ m^2 \times 300\ kcal/h.m^2 \times 6,5h/día \times 30,5\ días/mes \times 8,5\ meses/año$ .
- Ahorro anual de GLP = 3 232,3 galones.
- Ahorro en Soles = S/ 16 646,3.
- 12,2 Tn de CO<sub>2</sub> al ambiente que se evita al año.
- Periodo de Recupero de Inversión:  $26\ 390 / 16\ 646,3 = 1,6$  años.

Como se muestra en la Figura 5.3, el vapor del caldero ya no ingresa al tanque de pre calentamiento, solo si el agua no alcanza la temperatura deseada ingresa vapor; recuérdese que la utilización del Sol es solo diurna, durante las producciones nocturnas de la planta de limones se continua con el uso del vapor del caldero para calentar el agua, así como los días que no exista radiación solar suficiente. Esto es lo interesante de la tecnología solar que ofrece Cosolpo, aun sin una utilización en su máxima capacidad y que sea diaria, el proyecto es viable en un mediano plazo, entre 3 y 6 años.

Figura 5.4

Diseño de la solución del proyecto



Elaboración propia

Además, gracias a esta tecnología, la empresa Limones Piuranos se vuelve más rentable, sostenible y amigable con el medio ambiente; la reducción del CO<sub>2</sub> al medio ambiente es uno de los problemas principales que se desea alcanzar mediante la tecnología solar. Es así que, no solo la generación de energía eléctrica es la importante en el Perú, si no también, la energía térmica. Este tema es poco comentado en todos los foros ya que orientan a las personas solo hacia la electricidad, cuando el consumo de la energía térmica en las industrias es en la misma proporción que la energía eléctrica; por lo tanto, se tiene un mercado muy grande que se debe explorar.

## CAPITULO VI: IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

Una vez que la empresa Limones Piuranos acepta la propuesta se procede al pago por adelantado del 50% del total de la inversión para comenzar con las compras y la fabricación de las partes del equipo solar. Esto sirve como una garantía para cubrir los primeros gastos en materiales y mano de obra. Una vez que el equipo colector solar y sus partes se estén enviando al cliente para su instalación, se cobra otro 25%. El último 25% se recibe una vez que la planta está operando. Se planifican los pagos según el cronograma de pagos y el diagrama de Gantt que se presenta al cliente para determinar fechas exactas.

En esta etapa del proyecto se da el detalle de la producción de los módulos colectores, la planificación de compras, realización de planos de las partes y servicios necesarios para llegar a construir el equipo solar.

### **6.1 Manufactura, construcción y pre ensamble.**

Todos los elementos son construidos en Lima, en la planta de fabricación de equipos solares de la empresa, que se encuentra en el distrito de San Juan de Lurigancho. Cada pieza es comprada a diferentes proveedores de estructuras metálicas, como aluminio, fierro y acero, que forman más del 80% de los equipos los cuales se explican más adelante en un diagrama de Pareto; otro material importante son los espejos de vidrio, y por último, el servicios de terceros que apoyan en la fabricación de las partes.

Para determinar el presupuesto por área de colectores solares, se elabora un cuadro matriz donde se introduce la cantidad de metros cuadrados de planta solar que se pretende fabricar y se obtienen los costos de cada elemento para la producción, sea directo o indirecto, y un presupuesto general por área para facilitar la propuesta al cliente y armar el plan de compras junto con el diagrama de Gantt. Este plan maestro de compras se encuentra en el anexo 2, el cual muestra un plan de compras, la cantidad de elementos y el costo del proyecto.

La Tabla 6.1 muestra un resumen de los costos distribuidos del proyecto por área de trabajo en planta, esto ayuda a determinar en que etapa del proyecto se harán los desembolsos, y a programar las compras.

Tabla 6.1

Costos distribuidos del Proyecto

	<b>Total Proyecto</b>
<b>Espejos Colectores</b>	S/ 2 291,50
<b>Estructura</b>	S/ 7 558,92
<b>Tubos Colectores</b>	S/ 1 734,36
<b>Seguimiento Solar</b>	S/ 917,60
<b>Sistema Contra Viento</b>	S/ 237,10
<b>Transporte</b>	S/ 454,00
<b>Servicios</b>	S/ 4 772,13
<b>Herramientas</b>	S/ 483,05
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 18 448,66</b>

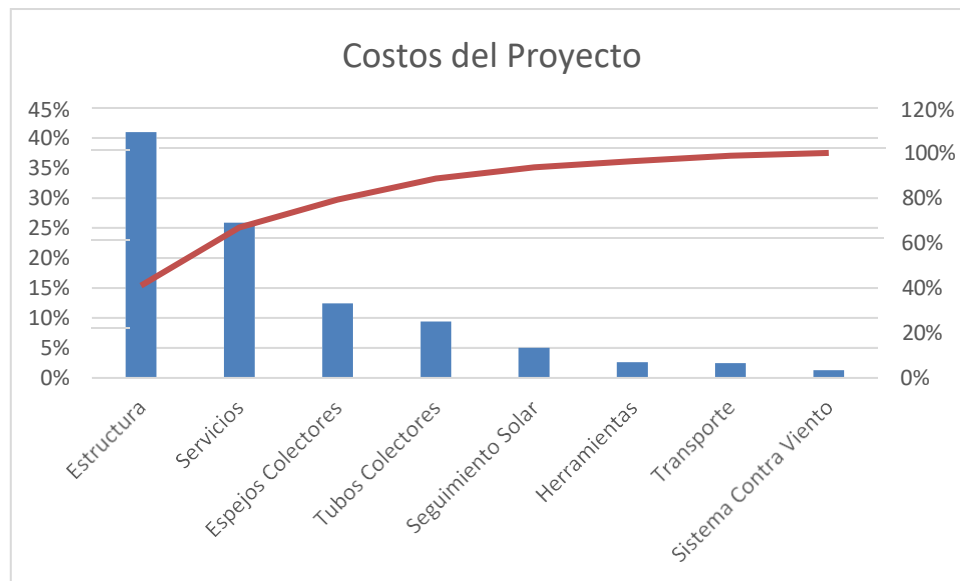
Elaboración propia

Con los datos de los costos del proyecto, y gracias a data recogida en proyectos anteriores, utilizamos un diagrama de Pareto para determinar cuáles son las áreas donde se incurre en mayor costo, y un diagrama de Gantt para identificar en qué etapa del proyecto se utilizará la mayor cantidad de dinero para el desembolso del proyecto. Como se muestra en la Figura 6.1, la estructura de los equipos comprende cerca del 40% del costo total del proyecto, esto quiere decir compras en aluminio y fierro, además es la primera compra a realizar para comenzar con el proyecto, en segundo lugar son los servicios en cuanto a elaboración de los equipos y ensamblaje, y tercero, alcanzando el

80% de los gastos, los espejos reflectores. Este diagrama ayuda a comprender qué partes del equipo solar son donde existen mayores gastos, también que la mayor cantidad del gasto se verá en un inicio del proyecto, y además ayuda a atacar de manera directa un elemento que debe reducirse para obtener un producto más económico.

Figura 6.1

Diagrama de Pareto de Costos del Proyecto



Elaboración propia

Con los datos mostrados sobre los costos del proyecto, la siguiente fase es preparar el diagrama de Gantt y poder coordinar con los proveedores y el cliente.

Se prepara el Gantt para el proyecto y se determina el tiempo estimado en completar la construcción, desde un inicio hasta la entrega del proyecto en mano del cliente. Todo se organiza en una matriz de compras y un Gantt para llevar el control de la producción como se muestra en la Figura 6.2.

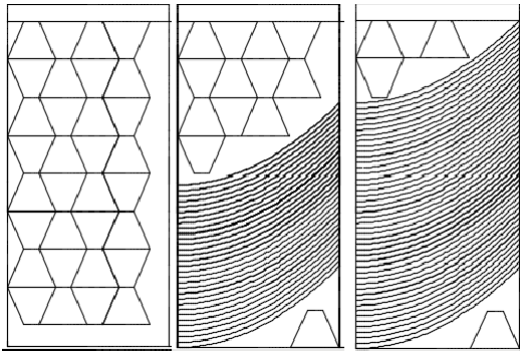
El tiempo promedio para el proyecto en Limones Piuranos desde el primer adelanto hasta terminar con la entrega y llave en mano, se estima en 45 días, utilizando a 5 personas desde el pre ensamble hasta la puesta en marcha de los equipos solares.

Interfieren 5 etapas importantes en el desarrollo del proyecto, la etapa de fabricación y preensamble que dura 12 semana y media, la etapa de entrega de equipos



Figura 6.3

Diseño de partes



Elaboración propia

## 6.2 Entrega y ensamble

Una vez concluida la fabricación de los módulos, que corresponde a la etapa del pre ensamble, se les monta en racks de 3 m x 2 m, como se muestran en la Figura 6.4. En ellos se colocan todos los elementos, tales como, la estructura metálica, los tubos colectores, el sistema de seguimiento solar, las patas soporte, los soportes de tubos, el sistema contra viento, las mangueras y uniones. De esta forma, los módulos se envían vía terrestre al cliente en Piura.

Figura 6.4

Rack de pre ensamble para envío vía terrestre



Elaboración propia

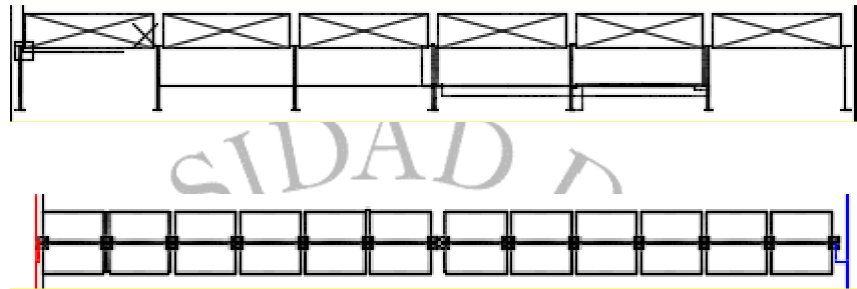
Simultáneamente a la fabricación de las partes en la planta de Lima, se realiza la adecuación del terreno y las obras civiles del cliente en Piura. De esta forma, cuando los módulos colectores llegan a Piura, son instalados de inmediato. La adecuación del terreno



consistió en nivelarlo y eliminar la maleza, luego se procedió a marcar la ubicación de las líneas de módulos colectores solares, marcando también la posición de cada pilón de cemento donde se colocarán las patas de cada colector. Para esto, se procede a realizar planos de vista frontal y de planta, como se muestran en la Figura 6.5.

Figura 6.5

Planos de vista frontal y horizontal



Elaboración propia

En la Figura 6.6 se muestra el terreno que se limpió de maleza, árboles y arbustos, se midió la inclinación y se marcó dónde los pilones se instalarían.

Figura 6.6

Terreno de instalación solar



Elaboración propia

El ensamble de los módulos también se realizan en la zona de instalación ya que se envían pre ensamblados, solo se requiere de 2 personas y se arman 4 al día.

Figura 6.7

Ensamble de módulos *in situ*



Elaboración propia

Una vez que los módulos se encuentren ensamblados se instalan en las patas soporte para luego unirse entre módulo y módulo. Este proyecto, en particular, cuenta con 2 secciones de 60 m<sup>2</sup> cada una. Lo mínimo que Cosolpo comercializa son 60 m<sup>2</sup>, los cuales constan de 6 módulos colectores. La figura 6.8 muestra las etapas de instalación de los módulos.

Figura 6.8

Instalación de módulos



Elaboración propia

### 6.3 Soporte y mantenimiento – Operación y funcionamiento

La empresa Cosolpo ofrece 2 años de garantía de los equipos ante cualquier eventualidad, mal funcionamiento o piezas malogradas, garantizamos que los equipos duran más de 15 años debido a los recubrimientos que se les aplica a las estructuras, y aunque los equipos

estén diseñados para estar en lugares desérticos y áridos o de poca lluvia, soportan altas temperaturas y fuertes lluvias, así como temblores y fuertes vientos.

La empresa da asistencia inmediata de forma remota y, de ser el caso, se viaja al lugar para determinar la falla de algún equipo. También entrega un manual básico de funcionamiento junto con una clase de inducción para la capacitación del personal del cliente sobre el funcionamiento del equipo, su correcta operación y respuestas ante eventualidades; se les instruye también en los planes de mantenimientos que se deben tener, entre otros puntos claves.

#### **6.4 Plan de mantenimiento y costos**

En esta sección se evalúan los costos involucrados en el mantenimiento, operación y extras relacionados a la planta solar.

#### **6.5 Costos de operación y control**

Este costo se refiere al operador que realiza el control diario del equipo, aproximadamente es de 1 hora de control por cada 10 horas de funcionamiento del mismo.

Costo Operador/Control: S/ 6,00 por hora

Número de horas de funcionamiento del equipo: 1 657,37 horas (2016) y 116,08 (2017).

Costo soles. operador/Control (2016) = Costo Operador/Control X (número de horas de Funcionamiento del Equipo/10)

Costo S/ Operador/Control (2016) = 6,00 X (1 657,37/10)

Costo S/ Operador/Control (2016) = S/ 994,42

Costo S/ Operador/Control (2017) = Costo Operador/Control X (Nro. de horas de Funcionamiento del Equipo/10)

Costo S/ Operador/Control (2017) = 6,00 X (116,08/10)

Costo S/ Operador/Control (2017) = S/ 69,65

## 6.6 Costo de mantenimiento

Este costo representa al personal del área de mantenimiento que realiza la evaluación, reparación y mantenimiento del equipo, se realiza 2 mantenimientos al año.

Costo día de personal de mantenimiento: S/ 50,00

Número de días de mantenimiento al año: 2 (2016) y 0 (2017)

Costo S/ de mantenimiento (2016): Costo día de personal de mantenimiento x (número días de mantenimiento al año)

Costo S/ de mantenimiento (2016): 50,00 x 2

Costo S/ de mantenimiento (2016): S/ 100,00

Costo S/ de mantenimiento (2017): Costo día de personal de mantenimiento x (número días de mantenimiento al año)

Costo S/ de mantenimiento (2017): 50,00 x 0

Costo S/ de mantenimiento (2017): S/ 00,00

## 6.7 Costo de Electricidad

Este costo representa al valor del consumo de electricidad de los 2 motores de cada sección del equipo.

Número de motores por equipo de energía termo solar: 2

Motor: 19 V, 1,5 A

Precio (S/) de kWh = S/ 0,22

Hora de funcionamiento del equipo: 1 657,37 horas (2016), 116,08 horas (2017)

Costo S/ consumo de electricidad de motores (2016):  $(19 \times 1,5 / 1000) \times 1\,657,37 \times 0,22$

Costo S/ consumo de electricidad de motores (2016): S/ 10,39

Costo S/ consumo de electricidad de motores (2017):  $(19 \times 1,5 / 1000) \times 116,08 \times 0,22$

Costo S/ consumo de electricidad de motores (2017): S/ 0,77

## 6.8 Otros Costos

Dentro de este costo se consideran las tareas realizadas por un operario:

## 6.9 Desherbar

Generalmente se realiza cada dos meses, para esta labor el operario se demora entre 0,6 a 0,8 horas. En 2016 se realizó 5 veces esta tarea, y en 2017 aún no se realizó.

Jornada operario 10 horas = S/ 40,00, costo por hora de operario: S/ 4,00

Costo desherbar (2016) = 5 x (0,8 x 4,00) = S/ 16,00

Costo desherbar (2017) = 0 x (0,8 x 4,00) = S/ 00,00

## 6.10 Limpieza de espejos

Esta limpieza consiste en el lavado de los espejos mediante la aplicación de agua a moderada presión, la realiza un operario, y generalmente tiene una duración de 0,3 horas. En 2016 se realizaron 25 lavados y en 2017 se realizó solo 2 lavados.

Costo de lavado de espejos (2016): (0,3 x 4,00) x 25 = S/ 30,00

Costo de lavado de espejos (2017): (0,3 x 4,00) x 2 = S/ 2,40

## CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los cálculos y resultados que se presentan a continuación son reales y en el periodo de todo un año de operación de la planta instalada en Limones Piuranos. Se muestra la metodología empleada para determinar cada uno de los datos obtenidos y su evaluación. Se inicia con las fórmulas matemáticas empleadas y su explicación, para luego obtener los resultados y evaluarlos.

### 7.1 Métodos y fórmulas utilizadas

Se presentan en esta primera parte los datos y fórmulas que se emplearán en los resultados.

#### 7.1.1 Método para cuantificar el flujo de agua que ingresa al equipo solar

Para controlar la cantidad de agua que ingresa al sistema se realiza el siguiente procedimiento:

- a) Se toma nota de la lectura del flujómetro al momento de abrir la llave para permitir el ingreso de agua al sistema cuando se enciende el equipo solar.
- b) Se toma nota de la lectura del flujómetro al momento de cerrar la llave cuando se apaga el equipo solar.
- c) Se calcula la diferencia entre la lectura final e inicial, y se registra en la base de datos "Control de lectura de flujómetro".
- d) Para el cálculo del flujo promedio se divide la cantidad total de agua que ingresó al sistema entre el número de horas que funcionó el equipo.

Ejemplo:

Hora Inicio: 7:40 am

Lectura inicial: 1 252 305 litros

Hora final: 4:00 pm

Lectura final: 1 261 324 litros

Cantidad total de agua = 1 261 324 – 1 252 305 = 9 019 litros

Horas total= 16 horas – 7,67 horas = 8,33 horas

Flujo Promedio = 9 019 litros/ 8,33 horas = 1 082,71 litros/hora

### 7.1.2 Cálculo de la energía generada y su equivalencia en GLP

Para el cálculo de la energía generada o captada de la radiación solar, es necesario emplear la siguiente formula:

$$\text{EGE (BTU)} = (\text{F.A} \times (\text{T2-T1})) \times \text{f.c (kcal a BTU)}$$

Donde:

EGE: Energía generada por el Equipo (BTU)

F.A: Flujo de Agua (Litros/hora)

T2: Temperatura de agua caliente (°C)

T1: Temperatura de agua fría (°C)

f.c (kcal a BTU): Factor de conversión (1kcal = 0.252 BTU)

Ejemplo:

Datos:

F.A: 1 200 litros/hora

T2: 65°C

T1: 30°C

f.c (kcal a BTU): (1Kcal=0.252 BTU)

$$\text{EGE (BTU)} = (\text{F.A} \times (\text{T2-T1})) \times \text{f.c (kcal a BTU)}$$

$$\text{EGE (BTU)} = (1\ 200 \times (68-30)) \times (1/0,252) \text{ BTU}$$

$$\text{EGE (BTU)} = (1\ 200 \times (68-30))/0,252 \text{ BTU}$$

$$\text{EGE (BTU)} = 180\ 952,38 \text{ BTU}$$

Para el cálculo de los galones de GLP equivalentes a la energía generada por el equipo se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Gal GLP} = \text{EGE} / (\text{PC GLP} \times \text{Efi. GLP} \times \text{Efi. CALD})$$

Donde:

Gal GLP: Galones de GLP equivalentes a la energía generada por el equipo

EGE: Energía generada por Equipo (BTU)

PC GLP: Poder calorífico de 1 galón de GLP (96000 BTU)

Efi. GLP: Eficiencia de GLP en combustión

Efi. CALD: Eficiencia de Caldero

Ejemplo:

Datos:

$$\text{EGE} = 180\,952,38 \text{ BTU}$$

$$\text{PC GLP} = 96\,000 \text{ BTU}$$

$$\text{Efi. GLP} = 0,93$$

$$\text{Efi. CALD} = 0,95$$

$$\text{Gal GLP} = \text{EGE} / (\text{PC GLP} \times \text{Efi. GLP} \times \text{Efi. CALD})$$

$$\text{Gal GLP} = 180\,952,38 / (96\,000 \times 0,93 \times 0,85)$$

$$\text{Gal GLP} = 2,39 \text{ Galones}$$

Para el cálculo de cuantos dinero (en Soles) representan los galones de GLP equivalentes a la energía generada, procedemos a multiplicar el número de galones por el precio del galón de GLP

$$\text{Valor S/ de galones generados} = \text{Gal GLP} \times \text{precio Gal GLP}$$

Ejemplo:

Precio de galón GLP: S/ 5,15 sin IGV

Gal GLP = 2,39 galones

Valor S/ de galones generados = Gal GLP x precio Gal GLP



Valor S/ de galones generados = 2,39 x 5,15

Valor S/ de galones generados = S/ 12,31

### 7.1.3 Cálculo de kg de aceite esencial destilado por equipo solar

Se emplea la siguiente formula:

kg aceite limón producido = Gal GLP x Rend. GLP/kg. Ac. Limón

Donde:

Gal GLP: Galones de GLP equivalentes a la energía generada

Rend. GLP/kg Ac. Limón: Rendimiento de 1 galón de GLP para producir 1 kg de aceite de limón

Ejemplo:

Datos:

Gal GLP: 2,39 galones

Rend. GLP/kg Ac. Limón: 1,8 Gal GLP/kg Ac. Limón

kg Aceite Limón producido con energía generada = Gal GLP x Rend. GLP/kg. Ac. Limón

kg Aceite Limón producido con energía generada = 2,9 x (1/1,8) kg Ac Limón

kg Aceite Limón producido con energía generada = 1,33 kg Ac Limón

### 7.1.4 Equivalencia en kg CO<sub>2</sub> no emitidos a la atmósfera

Para encontrar este valor se emplea la siguiente formula:

$$\text{kg. CO}_2 = \text{Gal GLP} \times \text{F.C (L/Gal)} \times \text{P.E GLP} \times \text{F.C CO}_2$$

Donde:

kg. CO<sub>2</sub>: kg. de CO<sub>2</sub> no producido

Gal GLP: Galones de GLP equivalentes a la energía generada

F.C (L/Gal): Factor de conversión de Litros a Galones (3,8754 Litros/Galón GLP)

P.E GLP: Peso específico del GLP (0,552 kg/Litro)

F.C CO2: Factor de conversión de kg de GLP a kg de CO2 (2,96 kg CO2/kg GLP).

### 7.1.5 Equivalencia de energía generada en kWh

Esta equivalencia se calcula con:

$$\text{kWh Generados} = \text{EGS} \times \text{F.C (BTU a kWh)}$$

Donde:

kWh Generados: kWh generados equivalentes a la energía generada en BTU

EGS: Energía generada por Sistema (BTU)

F.C (BTU a kWh): Factor de conversión de BTU a kWh (0,000293071 kWh/BTU).

### 7.1.6 Equivalencia de energía generada en ton de vapor de agua

Para encontrar esta equivalencia realizamos la siguiente conversión con la fórmula:

$$\text{ton vapor de agua } 130^{\circ}\text{C} = (\text{EGS} / \text{E.N.C}) \times \text{F.C (kg a ton)}$$

Donde:

EGS: Energía generada por el sistema (BTU)

E.N.C: Energía necesaria para calentamiento de agua de 30°C a 130°C (BTU)

F.C (kg a ton): Factor de conversión de kg a toneladas (1 000 kg = 1 ton).

## 7.2 Cálculos y resultados

En esta etapa resolvemos las ecuaciones ya mencionadas en la parte 7.1, obteniendo los datos que se utilizarán a analizar y concluir resultados.

### 7.2.1 Cantidad de agua que ingresó al sistema (años 2016 — 2017)

La cantidad total de agua que ingresó al sistema de energía termo solar fue de:

$$\text{Cantidad total de agua} = 2\,120\,596 \text{ litros}$$

### 7.2.2 Energía generada (BTU) y su equivalencia en galones de GLP

Energía generada (BTU) (2016-2017): 103 593 119,94 BTU

Galones de GLP (2016-2017)=  $103\,593\,119,94 / (96\,000 \times 0,85 \times 0,93) = 1\,365,08$  gal  
GLP

Equivalente en S/ (2016-2017) =  $1365,08 \times 5,15 = S/ 7\,213,97$

### 7.2.3 kg de aceite destilado de limón producido con la energía generada

kg aceite limón producido con energía generada (2016-2017) = Gal GLP x Rend.  
GLP/kg. Ac. Limón

Donde:

Gal GLP: Galones de GLP equivalentes a la energía generada (2016-2017)

Rend. GLP/kg. Ac. Limón: Galones de GLP necesarios para producir 1 kg de aceite de  
limón (1.8 Gal GLP/kg. Ac. Limón)

kg aceite limón producido con energía generada =  $1\,365,08 \times (1/1,8)$  kg.

kg aceite limón producido con energía generada = 758,38 kg.

### 7.2.4 Equivalencia en kg CO<sub>2</sub> no producidos

kg. CO<sub>2</sub> = Gal GLP x F.C (L/Gal) x P.E GLP x F.C CO<sub>2</sub>

Donde:

kg. CO<sub>2</sub>: kg. de CO<sub>2</sub> no producido o no emanado a la atmósfera

Gal GLP: Galones de GLP equivalentes a la energía generada

F.C (L/Galón): Factor de conversión de Litros a Galones (3,8754 L/Galón)

P.E GLP: Peso específico del GLP (0,552 kg./Litro)

F.C CO<sub>2</sub>: Factor de conversión de kg. de GLP a kg. de CO<sub>2</sub> (2,96 kg. CO<sub>2</sub>/kg. GLP)

kg. CO<sub>2</sub> = Gal GLP x F.C (L/GALON) x P.E GLP x F.C CO<sub>2</sub>

kg. CO<sub>2</sub> =  $1\,365,08 \times 3,7854 \times 0,552 \times 2,96$

kg. CO<sub>2</sub> = 8 443,08 kg

### 7.2.5 Equivalencia de energía generada en kWh

Esta equivalencia se calcula con:

$$\text{kWh generados} = \text{EGS} \times \text{F.C (BTU a kWh)}$$

Donde:

kWh generados: kWh generados equivalentes a la energía generada en BTU

EGS: Energía generada por Sistema (BTU)

F.C (BTU a kWh): Factor de conversión de BTU a kWh (0,000293071 kWh/BTU)

$$\text{kWh generados} = 103\,593\,119,94 \times 0,000293071$$

$$\text{kWh generados} = 30\,360,14 \text{ kWh}$$

### 7.2.6 Equivalencia de energía generada en ton de vapor de agua

Para encontrar esta equivalencia realizamos la siguiente conversión con la fórmula:

$$\text{ton vapor de agua } 130^{\circ}\text{C (2016-2017)} = (\text{EGS} / \text{E.N.C}) \times \text{F.C (kg a ton)}$$

Donde:

EGS: Energía generada por sistema (BTU) (2016-2017): 103 593 119,94 BTU

E.N.C: Energía necesaria para calentamiento de agua de 30°C a 130°C (BTU):

2 539,9534 BTU

F.C (KG a TN): Factor de conversión de kg a toneladas (1 000 kg = 1 ton)

$$\text{ton vapor de agua } 130^{\circ}\text{C} = (103\,593\,119,94 / 2\,539,9534) \times (1/1\,000)$$

$$\text{ton vapor de agua } 130^{\circ}\text{C} = 40,79 \text{ ton vapor } 130^{\circ}\text{C}$$

## 7.3 Resumen de resultados

En esta sección del proyecto se presentan todos los resultados obtenidos de la planta solar durante un año de funcionamiento, con estos datos podremos obtener conclusiones importantes y compararlas con cálculos obtenidos previamente a la instalación y hacer un comparativo, a partir del cual se determina la viabilidad técnica económica del proyecto con resultados reales.

A continuación, se presenta en la Tabla 7.1, un resumen anual de lo producido por la planta de energía termo solar (2016-2017) en todos sus aspectos, calculados previamente en los numerales previos.

Tabla 7.1  
Resumen Anual de Resultados

DESCRIPCION	2016	2017	TOTAL
Agua consumida (Litros)	1 947 694	172 902	<b>2 120 596</b>
Energía generada en BTU	943 94 557	919 8562	<b>103 593 119</b>
Galones de GLP equivalentes a energía generada en BTU	1 243	121	<b>1 365</b>
Valor en S/ de galones de GLP generados	6 598	615	<b>7 213</b>
kg. Aceite Limón producido con energía generada (1.8 galones GLP/1kg. Aceite)	691	67	<b>758</b>
kg. de CO2 no producido o emanado a la atmosfera	7 693	749	<b>8 443</b>
Energía generada transformada a kW-h	27 664,31	2 695,83	<b>30 360</b>
ton de vapor de agua a 130°C equivalentes a la energía generada en BTU	37,16	3,62	<b>40</b>

Elaboración propia

En la Tabla 7.2 se muestra un resumen detallado por mes de cada área analizada para tener un mejor cálculo de resultados.

Tabla 7.2

Resumen Anual Detallado

FECHA	Agua consumida (Litros)	Energía generada en BTU	Galones de GLP equivalentes a energía generada en BTU	Valor en S/ de galones de GLP generados	Kg. Aceite Limón producido con energía generada (1.8 galones GLP/1kg Aceite)	kg de CO <sub>2</sub> no producido o emanado a la atmosfera	Energía generada transformada a kWh	Tn de vapor de agua a 130°C equivalentes a la energía generada en BTU
ENE(2016)	75 897,00	3 193 575,55	42,08	393,59	23,38	260,28	935,94	1,26
FEB(2016)	140 794,00	6 406 125,45	84,42	478,03	46,90	522,11	1 877,45	2,52
MAR(2016)	240 072,00	9 965 435,18	131,32	677,57	72,95	812,21	2 920,58	3,92
ABR(2016)	263 363,00	12 700 723,47	167,36	800,42	92,98	1 035,14	3 722,21	5,00
MAY(2016)	189 656,00	13 178 300,61	173,65	894,32	96,47	1 074,06	3 862,18	5,19
JUN(2016)	139 717,00	4 490 815,84	59,18	304,76	32,88	366,01	1 316,13	1,77
JUL(2016)	150 545,00	9 275 512,65	122,23	661,69	67,90	755,97	2 718,38	3,65
AGO(2016)	128 840,00	8 966 029,70	118,15	608,46	65,64	730,75	2 627,68	3,53
SEP(2016)	120 653,00	7 654 470,59	100,87	519,46	56,04	623,86	2 243,30	3,01
OCT(2016)	88 757,00	4 767 247,42	62,82	323,52	34,90	388,54	1 397,14	1,88
NOV(2016)	136 037,00	7 057 199,71	92,99	478,92	51,66	575,18	2 068,26	2,78
DIC(2016)	273 363,00	6 739 121,22	88,80	457,34	49,34	549,25	1 975,04	2,65
ENE(2017)	10 3199,00	5 402 293,49	71,19	358,26	39,55	440,30	1 583,26	2,13
FEB(2017)	69 703,00	3 796 269,05	50,02	257,63	27,79	309,40	1 112,58	1,49

Elaboración propia



En la Tabla 7.3 se detalla el valor total acumulado en Soles, de los galones de GLP generados; y el total acumulado de horas trabajadas de la planta, así mismo se puede ver el valor promedio (en Soles) por hora, de los galones de GLP generados. Estos datos son los más importantes, ya que es lo que se ha ahorrado a lo largo del año con el uso de los equipos solares operando en Limones Piuranos.

De estos resultados se observa que el total generado de ahorro en soles es de S/ 7 213,97 nuevos soles, alcanzándose un buen rendimiento.

Tabla 7.3  
Valores Totales Acumulados por Mes

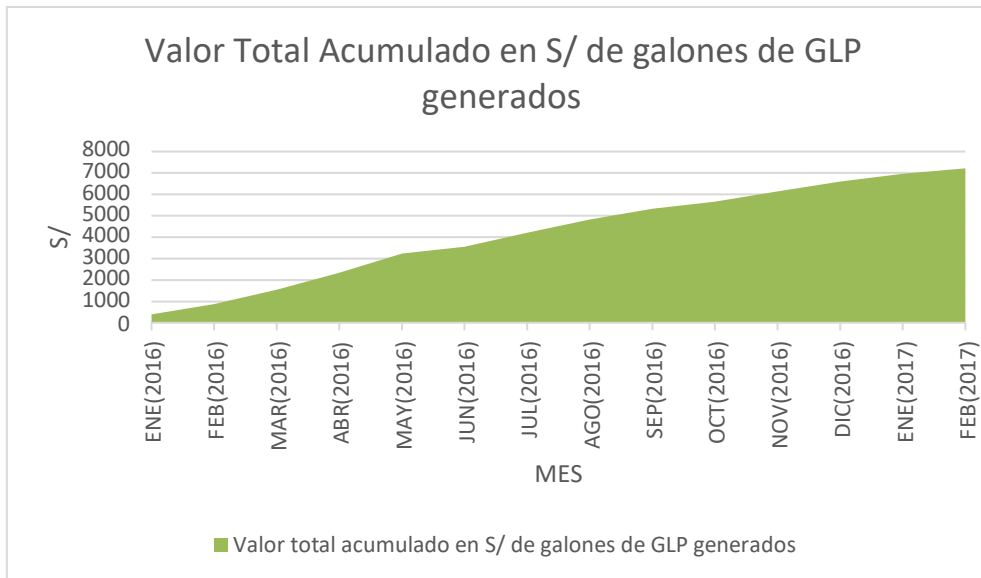
Mes	Valor en S/ de galones de GLP generados	Valor Total Acumulado en S/ de galones de GLP generados	Total de horas trabajadas planta	Total Acumulado de horas trabajadas planta	Valor Promedio en S/ por hora, de galones de GLP generados
ENE(2016)	393,59	393,59	102,00	102,00	3,85
FEB(2016)	478,03	871,62	208,20	310,20	2,29
MAR(2016)	677,57	1 549,19	227,50	537,70	2,97
ABR(2016)	800,42	2 349,61	216,25	753,95	3,70
MAY(2016)	894,32	3 243,93	177,25	931,20	5,04
JUN(2016)	304,76	3 548,70	120,90	1 052,10	2,52
JUL(2016)	661,69	4 210,39	131,58	1 183,68	5,02
AGO(2016)	608,46	4 818,85	112,52	1 296,20	5,40
SEP(2016)	519,46	5 338,31	95,88	1 392,08	5,41
OCT(2016)	323,52	5 661,83	69,85	1 461,93	4,63
NOV(2016)	478,92	6 140,75	105,22	1 567,15	4,55
DIC(2016)	457,34	6 598,09	90,22	1 657,37	5,06
ENE(2017)	358,26	6 956,35	68,05	1 725,42	5,26
FEB(2017)	257,63	7 213,97	48,03	1 773,45	5,36
TOTAL	7213,97	7 213,97	1773,45	1 773,45	4,37

Elaboración propia

La Figura 7.1 representa el valor total acumulado (en Soles) de los galones de GLP equivalentes a la energía generada por el equipo de energía termo solar. Lo interesante de esta figura es que a lo largo del tiempo es una línea con tendencia siempre a seguir ahorrando a lo largo de los años.

Figura 7.1

Valor Acumulado en Soles



Elaboración propia

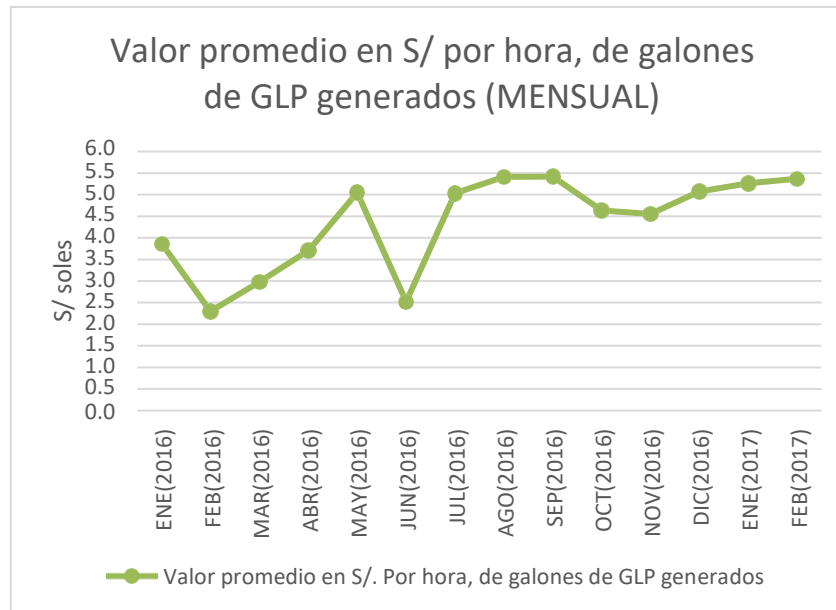
En la Figura 7.2 se aprecia la evolución mensual del valor promedio (en Soles por hora) de los galones de GLP equivalentes a la energía generada mensualmente por el equipo. Esta curva es importante ya que muestra el rendimiento del equipo mensual, y nos ayuda a ver si existe algún problema y responder de inmediato.

Como se aprecia en el mes de junio, hubo una baja sustancial, y eso fue debido a que el equipo solar no estaba calibrado; en febrero también muestra un problema, esto se debió a que no hubo cielo despejado ningún día, trayendo consigo una baja eficiencia.



Figura 7.2

Soles por Hora - Mensual



Elaboración propia

### 7.3.1. Resumen Balance Económico

A continuación, se muestra en la Tabla 7.4 el balance económico del equipo de energía termo solar, donde tienen lugar 6 aspectos importantes para determinar el valor real ahorrado por el equipo, ya que existen diversos costos directos que deben contabilizarse.

Tabla 7.4

Balance Económico

<b>BALANCE ECONOMICO DE EQUIPO</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>TOTAL</b>
Costo (S/) Operador/Control (1 hora control/10 horas funcionamiento de equipo)	994,42	69,65	<b>1064,07</b>
Costo (S/) Mantenimiento (2 veces al año)	100,00	0,00	<b>100,00</b>
Costo (S/) Consumo electricidad de motores 19v, 1.5A	20,78	0,73	<b>21,51</b>
Costo (S/) Otros (Deshierbo de zona)	16	0	<b>16,00</b>
Costo (S/) Otros (Lavado de espejos)	30	0	<b>30,00</b>
Valor en S/ de galones de GLP generados por el equipo	6 598,09	615,88	<b>7 213,97</b>
UTILIDAD ANUAL S/	5 482,89	545,51	<b>5 982,39</b>

Elaboración propia

## **7.4 Evaluación financiera**

Anualizando los resultados obtenidos tras 1 año de producción continua, la planta solar ha generado S/ 5 982,39, con una inversión total de S/ 26 390. Esto corresponde a un retorno de la inversión de 4.4 años, esto debido a su utilización no tan frecuente al año ya que la producción de aceite esencial no es continua durante todo el año. A medida que aumente la utilización de la planta, el ahorro será mayor, pudiendo alcanzar cerca de 2,5 años de recuperación de inversión.

### **7.4.1 Comparación teoría vs realidad**

Con un total de S/ 5 982,39 nuevos soles en un año real de ahorro versus los S/ 16 646,3 calculados teóricamente, se concluye lo siguiente: con una utilización de la planta solar de 75% debido a que medio año solo se utiliza un 50% del tiempo los calderos debido a la baja cantidad de limón por procesar, además la radiación solar permite un máximo de 8 meses al año de sol. Esto implica una utilización solar de 66% en total. Además, a esto se le debe sumar el Fenómeno del Niño sucedido en este periodo, que representó un 7% menos de utilización, y que la construcción de un techo cerca de la planta solar le quito un 11% adicional debido a la sombra, junto con un 8% por desenfoco por un mes que redujo la eficiencia del equipo. Si se multiplica 50.2% de eficiencia por el calculado teóricamente, se obtiene S/ 8 356.4 nuevos soles, menos los S/1 231,6 nuevos soles por gasto de operación de la planta por un año, nos da un total de S/ 7 124,8 nuevos soles. Entonces, en resumen, existió un margen de error de 16%, aproximadamente.

Esto nos permite entender que los cálculos no se asemejan a la realidad porque existen muchos factores que intervienen una vez esté en marcha un proyecto, que no se calculan en un inicio, lo que hace ver que la teoría puede alejarse un poco de la realidad al no tener data completa o aspectos ajenos a la producción.

## CAPÍTULO VIII: MECANISMOS DE CONTINUIDAD Y PROYECCIÓN FUTURA

La planta termo solar no está aislada, se mantiene un contacto directo con el ingeniero a cargo para mantener todos los parámetros de operación bajo control, con un monitoreo quincenal y un control de datos mensual, según el cuadro de ahorros.

El proyecto puede ser expandible, según requiera el cliente, ya que aún no se ha llegado ni al 10% de cambio energético en sus procesos. El consumo de GLP aún es alto, como se muestra en la Tabla 8.1, lo cual nos muestra que en el futuro se tiene que seguir ampliando la planta solar para beneficio de sus operaciones.

Tabla 8.1  
Consumo total de GLP

Mes Año	Galones GLP
Octubre 2014	4 700,00
Noviembre 2014	3 250,00
Diciembre 2014	7 000,00
Enero 2015	28 150,00
Febrero 2015	32 870,00
Marzo	27 140,00
Abril	28 080,00
Mayo	31 760,00
Junio	8 800,00
Julio	17 522,00
Agosto	9 440,00
Septiembre	8 380,00
TOTAL	207 092,00

Elaboración propia

Son cerca de 210 000 galones al año de GLP que podría reemplazarse hasta un 60%, todo dependerá de la decisión de la empresa luego de ver los resultados de la planta a la fecha: 1 500 galones al año aproximadamente.

## CONCLUSIONES

- En este proyecto se implementó con éxito un sistema termo solar por concentración parabólica para el pre calentamiento de agua de un caldero en el proceso de destilación de aceite esencial de limón. Este sistema termo solar fue diseñado y construido completamente en nuestro país por la empresa Cosolpo, y fue instalado en la empresa Limones Piuranos, en la ciudad de Sullana.
- La implementación del sistema termo solar por concentración parabólica en la localidad de Sullana fue posible porque se evaluó su potencial energético solar, determinándose que se tiene una energía de  $728 \text{ W/m}^2$  anual promedio. Mensualmente, esta energía solar promedio oscila entre  $610 \text{ W/m}^2$  para el mes de menor incidencia solar, y  $798 \text{ W/m}^2$  el de mayor incidencia. Además, se determinó que durante un año es posible aprovechar esta energía 250 días con alta radiación solar ( $728 \text{ W/m}^2$  en promedio, con 7 horas por día de utilización a máxima potencia).
- De los  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  que el proceso requería de agua caliente para el caldero, solo se instaló una planta solar para cubrir  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  como piloto. Para esto, una planta solar térmica de  $120 \text{ m}^2$  (2 secciones) era suficiente para entregar agua, de una temperatura inicial de  $30^\circ\text{C}$ , a lo requerido por el caldero de  $60^\circ\text{C}$ . Luego del inicio de operación de la planta se verificó que el equipo solar tiene un rendimiento de  $300 \text{ kcal/m}^2$  a máxima capacidad, a pesar que la ocurrencia del Fenómeno del Niño Costero originó varios días sin cielo despejado y frecuentes lluvias, que obligó a la instalación de un techo produciendo sombra sobre la planta solar hasta casi las 11 am.
- Para la construcción se requirieron aproximadamente 2 semanas con una inversión de S/ 18 500. Respecto a la implementación, el sistema termo solar por concentración parabólica se trasladó hasta Sullana y ubicó cercano a la empresa Limones Piuranos, en una semana y media aproximadamente.
- Con este trabajo se ha demostrado que la empresa Limones Piuranos ha logrado ahorrar S/ 7 213,97 en el periodo entre enero de 2016 y febrero de 2017. Esto corresponde a un periodo de recupero de 4.4 años. Por otro lado, esta empresa ha logrado reducir su huella de carbono al dejar de emitir al ambiente 8.44 ton de

CO<sub>2</sub>. Esto convierte a Limones Piuranos en una empresa sostenible y amigable con el medio ambiente, abriéndole la posibilidad para la exportación a países donde exigen este tipo de procesos.

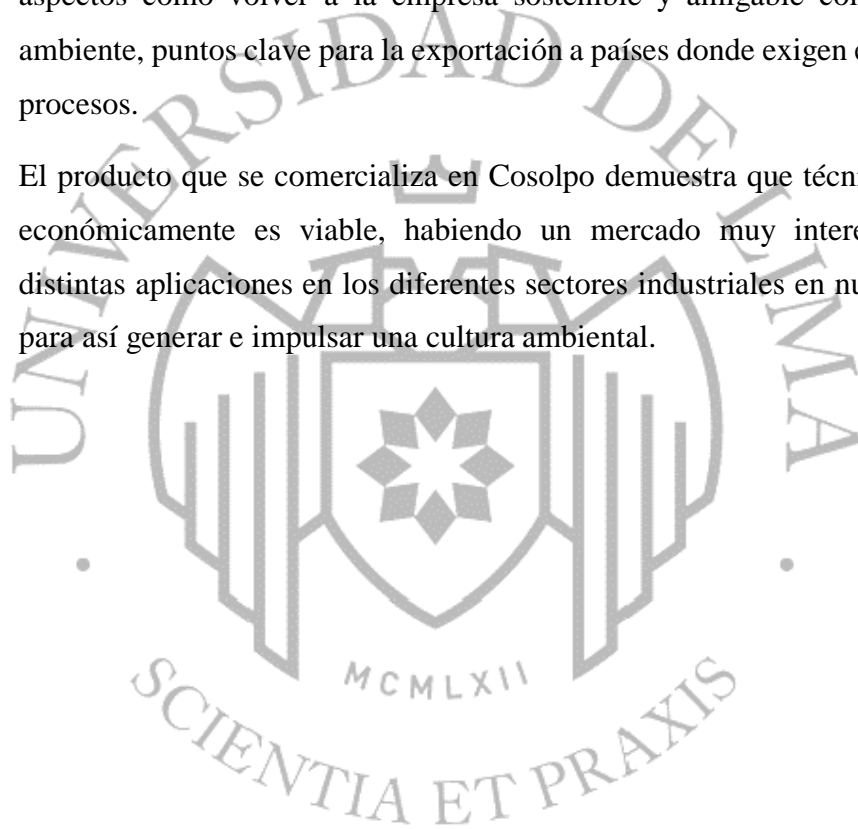


## RECOMENDACIONES

A continuación se detallan algunas recomendaciones:

- Diagnóstico de oportunidades:
  - Se debe conocer muy bien el proceso donde se instalará la planta solar; de no ser así, no se podrá registrar el ahorro generado. Es muy importante tener los costes y los parámetros de control registrados de una forma precisa, sin esto podrían tener malas referencias y deducir que la planta solar no está funcionando correctamente.
  - Se debe tener a la mano el historial de gastos operativos del proceso donde se implementará la solución, ya que se requieren de estos para las evaluaciones.
  - Se debe cambiar, y en algunos puntos instalar, equipos de medición para registros importantes de datos que no contaban en el proceso de Limones Piuranos.
- Diseño de la solución:
  - Se recomienda, para evitar un mal diseño del dimensionamiento de la planta solar, utilizar cálculos reales y data histórica, de lo contrario el tamaño de la planta solar no será el adecuado y podría ser diseñado en exceso o en defecto, trayendo consigo problemas de rendimiento y ahorro para el cliente.
- Manufactura de las partes:
  - Los planos de las partes de los módulos deben estar con especificaciones muy exactas ya que han existido piezas que no han cuadrado unas con otras, las tolerancias deben ser precisas.
- Entrega y ensamble:
  - Se recomienda utilizar alambre en vez de cintillos de plásticos para que el rack esté debidamente sujeto, y evitar el desprendimiento de las partes durante el transporte vía terrestre.
  - Para proteger a los espejos sería mejor utilizar plásticos con aire al igual que en los tubos colectores que sufrieron roturas.
- Operación y mantenimiento:

- Se recomienda limpiar los espejos una vez por semana para una máxima operación del equipo solar, ya que el polvo puede llegar a reducir la eficiencia hasta en un 25%.
- Seguir rigurosamente las instrucciones del funcionamiento y las partes del equipo, ya que se pueden romper las partes más delicadas.
- Resultados:
  - Al realizar los análisis de resultados, es importante determinar el objetivo del proyecto para el cliente, puede que busquen ahorro pero también existen aspectos como volver a la empresa sostenible y amigable con el medio ambiente, puntos clave para la exportación a países donde exigen este tipo de procesos.
  - El producto que se comercializa en Cosolpo demuestra que técnicamente y económicamente es viable, habiendo un mercado muy interesante con distintas aplicaciones en los diferentes sectores industriales en nuestro país, para así generar e impulsar una cultura ambiental.



## REFERENCIAS

- Delta Volt (S.F.). Energía Hidroeléctrica, Energía Tradicional del Perú. Recuperado de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/renovable-peru>
- Kummetz, Pablo. Deutsche Welle. DW (26/03/2012). La energía solar en América Latina: más que una promesa. Recuperado de <https://www.dw.com/es/la-energ%C3%ADa-solar-en-am%C3%A9rica-latina-m%C3%A1s-que-una-promesa/a-15838172>
- Lehmann, Charles. 1989. Geometría analítica. Ciudad de México, México. Editorial Limusa.
- Mohamed Darwish, Ashraf Hassan, Rabi Mohtar. Scientific Research (02/10/2013). Toward Implementing HH the Amir Declaration of 2% Electricity Generation by Solar Energy in 2020. Recuperado de [https://file.scirp.org/pdf/EPE\\_2013051316284303.pdf](https://file.scirp.org/pdf/EPE_2013051316284303.pdf)
- Roca, José. El Periódico de la Energía (13/06/16). Las 10 plantas termo solares mas grandes del mundo: EEUU y España se reparten el 90% del pastel. Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-plantas-termosolares-mas-grandes-del-mundo-eeuu-y-espana-se-reparten-el-90-del-pastel/>
- Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA (s.f.). Aceites Esenciales y Plantas. Recuperado de [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/aceites\\_esenciales\\_plantas/pdf/ACEITES%20ESENCIALES%20Y%20PLANTAS%20ORIG.pdf](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/aceites_esenciales_plantas/pdf/ACEITES%20ESENCIALES%20Y%20PLANTAS%20ORIG.pdf)



## BIBLIOGRAFIA

- Díaz, B., Jarufe, B. y Noriega, M. 2007. Disposición de planta. Lima, Perú. Fondo Editorial Universidad de Lima.
- García, S. 2015. *Construcción y Puesta en Marcha de Centrales Termo solares CCP*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- García, S. 2013. *Ingeniería del mantenimiento*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- García, S. 2013. *Permisos y gestión financiera de proyectos energéticos*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- García, S. 2012. *Elaboración del plan de mantenimiento en instalaciones industriales*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- García, S. 2012. *Los RR.HH. en centrales termo solares*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- García, S. 2011. *Ingeniería de centrales termo solares CCP*. Madrid, España. Editorial Renovetec.
- Ishikawa, K. 1997. *¿Qué es el control total de calidad?: la modalidad japonesa*. Bogotá, Colombia. Editorial Norma.
- Phillips, J. 2003. *PMP Project Management Professional Study Guide*. Nueva York, U.S.A. McGraw Hill Professional.



## Anexo 1: Plan de Compras

A continuación se muestra el gran plan maestro de compras de todas las partes que se requieren para la construcción de los equipos, se cuenta con un Excel donde solo se introduce la cantidad de módulos a construir, y automáticamente se presupuesta y arman las áreas.

Plan de compras

Matriz de Compras
-------------------

Proyecto	Limonos Piuranos I Etapa	
Cantidad	120	m2
# módulos	12	
# Líneas	2	
#jaulas	2,0	1.7
Precios sin IGV		

Rubro	Elemento	Descripción	Cantidad Comprar
Espejos Colectores	Espejos	Plancha de 1,8 m x 2.2 m x 2mm	32 planchas
	Scotch	Cinta 3M por 100mts (3,5xmod)	3,5 docenas
	Pegamento	Tubo Sika universal	6 pomos
			<b>TOTAL</b>

Rubro		Elemento	Descripción	Cantidad	Comprar	
Estructura	AL	Plancha de Aluminio	4mm x 1500mm x 3000mm	2,7	planchas	
			depende de diseño en AutoCAD	4,8	planchas	
			Angulo		12	varillas
			Angulo (diagonales)		14,6	varillas
		Tubo de Aluminio	Rectángulo		12	varillas
			Rectángulo unión módulos		6,7	varillas
			Cuadrado		2	varillas
		Lamina de Aluminio	1,2m x 1,8m x 0,3mm (3cm)		3	planchas
		Pegamento	Sika metal / lamina a curva		6	posos
		Eje I de fierro	100 x 57 3,9# 5,4mmx6m		6	vigas
			Angulo de Fierro 1" (70cm)		5,6	varas
		Soporte Tubos colec.	Angulo de Fierro 1" (22cm)		1,76	varas
			unión entre soportes platina 1" de 12cm		0,6	platinas
			unión doble perno 4,5cm		1,5	varillas
		Unión ensamble	Angulo de fierro 1,5"	unión simple cortada 2,5cm	0,9	varillas
				unión simple 2,5cm	0,9	varillas
	Tecnopor	plancha 2,50 x 1,27 x 1" D30	4,5cm x 300 cm y 200cm rectángulo	1,6	planchas	
			2,2cm x 290cm cuadrado	0,5	planchas	
		Fierro rectangular (patas)	LAC 4" x 2" x 4,0mm x 6,0mts	2,5	Tubos	
			1/2" x 20cm	11,2	varillas	
		Varilla Roscada	huacha	1,12	bolsas	
			tuerca	1,12	bolsas	
			fierro de 1/4" de construcción (50cm)	3,1	varillas	
		Drywall 2,40 x 1,2	20cmx20cm	0,2	planchas	
			20cmx20cm de 8mm (5/16")	0,1	planchas	
	Patas		20cmx20cm de 8mm (5/16") racks pallets	0,1	planchas	
			7cm x 15cm 4mm	0,1	planchas	
		Plancha de fierro (1,2x2,4)	7cm x 15cm 4mm	0,1	planchas	
			triangulo 5cm x 5cm 4mm	0,02	planchas	
			triangular 5cm x 5cm 4mm (rack)	0,01	planchas	
			triangulo 10cm x 10cm 4mm	0,02	planchas	
			rectángulo eje 6cm x 26cm 4mm	0,1	planchas	
	Tubos de fierro	Schedule 20 1,25" 3cm	0,1	tubos		
		Schedule 20 1" 40cm	1,6	tubos		
	unión a curvas	1/4" x 3/4"	7,7	bolsas		
	Modulo a pata	perno "U" 1/4" x 1 1/4"	0,2	bolsas		
Pernos	Unión 70cm y 22cm	1/4" x 1"	2,9	bolsas		

Cuadrado AL	1/4" x 1 1/2"	1 bolsas
Unión a AL rectangular	1/4" x 2 1/2"	4,8 bolsas

Templadores	Agarre tubo colector	7/16" x 1"	1 bolsas
	Chumacera	7/16" x 1 1/2"	1 bolsas
		hucha 1/4"	33 bolsas
		huacha 7/16"	4 bolsas
	Chumacera	de pared 1" (25mm)	24
	Cable	4,20m x modulo	0 metros
	Templador	chico	24 templadores
	Perno con hueco	1/4" x 2 1/2"	48 pernos
	Prisionero de cable		96 prisiones
	Angulo ranurado	3m	8 ángulos
Jaula de envío	Rack	3m	4 racks
	cintillo	40cm	3 bolsas
	Pernos	tira fon 3/8 x 2,5"	32 tira fones
	Clavo		3 kg
	madera según diseño		2 pallets
<b>TOTAL</b>			

Rubro	Elemento	Descripción	Cantidad Comprar
Tubo Colectores	Tubo de Acero	INOX 304 2 1/2" 1,5mm	7 tubos
	Pintura Negra		12 pomo
	Reductores campana		4 reductores
	Niple		2 niples
	Tapas		48 tapas
	abrazadera		24 abrazaderas
	teflón		1,2 teflón
<b>TOTAL</b>			

Rubro	Elemento	Descripción	Cantidad Comprar	
Seguimiento solar	Caja seguidor	raspberry, cables, botones, batería, reloj, programa	2 cajas	
	Electrónica	Inclinómetro		
		cable USB		
		motor de paso		
		driver		
	Reductor		2 reductores	
	Mecánica	Liston de hierro (1,5" x 1/2")		1 listones
		Angulo de hierro (1,5")		1 ángulos
		Curva	Jebe	6 metros
		Templador		2 templador
Argolla grillete			2 argollas	

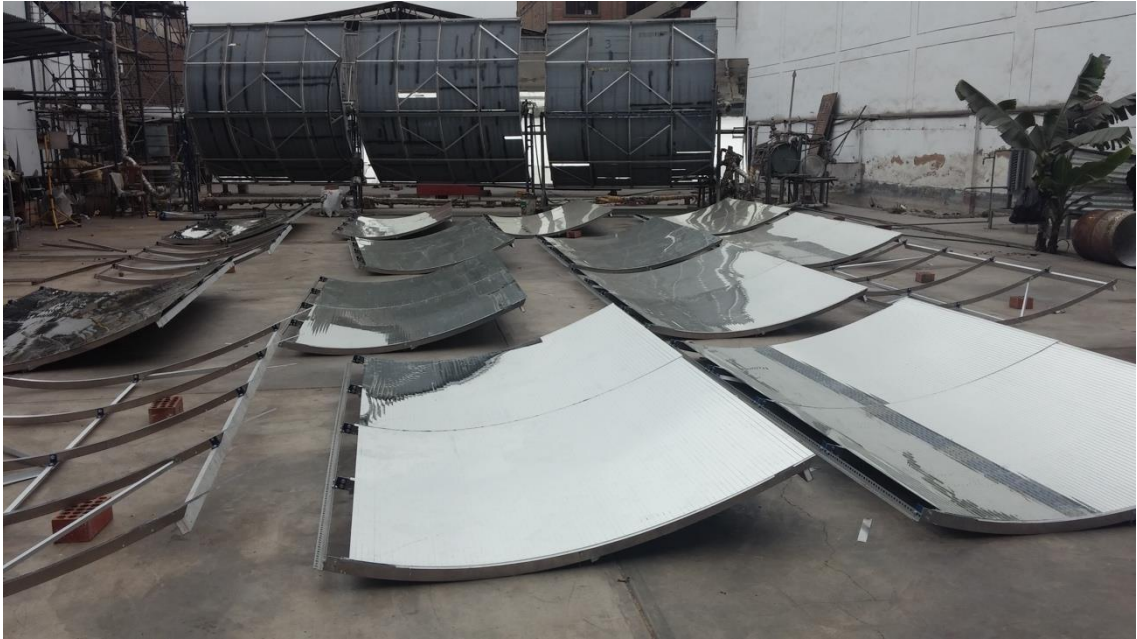
		Perno con hueco	4 pernos
		20cm x 20cm 8mm (ojo chino)	0,1 planchas
	planchas de fierro (1,2x2,40)	20cm x 12cm 4mm	0,0 planchas
		10 x 10cm de 4mm	0,00 planchas
	Pernos	7/16" x 1"	
		7/16" x 2,5"	
		5/16" x 3/4"	
	chumacera	para 1/2"	4 chumaceras
	eje	40cm de acero de 1/2"	2 varillas
		chico 10T 40-1 1/2" simple	2
	piñón	mediano (doble) 17T 40-2 1/2" doble	2
		grande	2
	cadena	doble	6
		simple	2

**TOTAL**

Rubro	Elemento	Descripción	Cantidad Comprar
Contra viento		Liston de fierro (1,5" x 1/2")	2 listones
		Angulo de fierro (1,5")	2 ángulos
	Curva	Jebe	11 metros
		Templador	4 templador
		Argolla	4 argollas
		Perno con hueco	8 pernos
		20cm x 20cm 8mm (ojo chino)	0,1 planchas
	planchas de fierro (1,2x2,40)	20cm x 12cm 4mm	0,1 planchas
		10 x 10cm de 4mm	0,01 planchas
	chumacera	para 1"	8 chumaceras
	pernos	7/16" x 1"	0 pernos
		5/16" x 3/4"	
	Piñón	mediano (doble) 17T 40-2 1/2" doble	2 piñones
	cadena	doble	12 metros
	unión sistema contra viento	tubo de fierro de 1" Sch40 (3,15m)	4,2 tubo
		Tubo de fierro de 1 1/4" Sch40 (3cm)	0,04 tubo

## Anexo 2: Fotos del Proyecto

Semi parábolas en proceso de armado para los racks de envío.



Racks de envío listos para el recojo.





Tubos colectores solares en proceso de producción para los racks de envío.



Envío de racks al cliente.



Área donde se colocarán los colectores solares siendo limpiada.



Área de los colectores solares libre para iniciar obra civil.



Obra civil de los pilones de soporte de estructuras.



Colocación de postes en pilones y alineación para la pronta colocación de los colectores solares.



Montaje de colectores solares parabólicos.



Esquipo solar instalado y operando.



### Anexo 3: Registro de Datos

Las mediciones de temperatura se toman automáticamente por dos sensores PT100, distribuidos uno a la salida del equipo solar y otro a la entrada. Los datos son tabulados para obtener la energía total absorbida por el equipo solar y así determinar los ahorros generados.

REGISTRO AUTOMATICO DE DATOS - SENSORES DE TEMPERATURA				
Nº Adquisición	Horario	Fecha	Temperatura Final [°C]	Temperatura Inicial [°C]
198	9:14:07 a.m.	01/12/16	36,1	31,4
199	9:19:07 a.m.	01/12/16	38,4	31,5
200	9:24:07 a.m.	01/12/16	40,2	31,5
201	9:29:07 a.m.	01/12/16	41,2	31,4
202	9:34:07 a.m.	01/12/16	41,2	31,4
203	9:39:07 a.m.	01/12/16	41,7	31,4
204	9:44:07 a.m.	01/12/16	41,9	31,4
205	9:49:07 a.m.	01/12/16	41,8	31,4
206	9:54:07 a.m.	01/12/16	42,5	31,4
207	9:59:07 a.m.	01/12/16	42,8	31,5
208	10:04:07 a.m.	01/12/16	43,2	31,5
209	10:09:07 a.m.	01/12/16	43,7	31,4
210	10:14:07 a.m.	01/12/16	37	31,5
211	10:19:07 a.m.	01/12/16	34	31,6
212	10:24:07 a.m.	01/12/16	33,6	31,6
213	10:29:07 a.m.	01/12/16	33,4	31,5
214	10:34:07 a.m.	01/12/16	35,7	31,5
215	10:39:07 a.m.	01/12/16	35,8	31,6
216	10:44:07 a.m.	01/12/16	38,2	31,4
217	10:49:07 a.m.	01/12/16	37,1	31,4
218	10:54:07 a.m.	01/12/16	37,2	31,4
219	10:59:07 a.m.	01/12/16	36,8	31,6
220	11:04:07 a.m.	01/12/16	36	31,5
221	11:09:07 a.m.	01/12/16	35,1	31,4

222	11:14:07 a.m.	01/12/16	36,8	31,6
223	11:19:07 a.m.	01/12/16	39	31,4
224	11:24:07 a.m.	01/12/16	38,7	31,5
225	11:29:07 a.m.	01/12/16	35,7	31,5
226	11:34:07 a.m.	01/12/16	37,4	31,6
227	11:39:07 a.m.	01/12/16	43,1	31,7
228	11:44:07 a.m.	01/12/16	40,5	31,7
229	11:49:07 a.m.	01/12/16	36,9	31,7
230	11:54:07 a.m.	01/12/16	41,5	31,8
231	11:59:07 a.m.	01/12/16	41,7	31,7
232	12:04:07 p.m.	01/12/16	35,7	31,7
233	12:09:07 p.m.	01/12/16	37	31,8
234	12:14:07 p.m.	01/12/16	37,2	31,8
235	12:19:07 p.m.	01/12/16	35,6	31,8
236	12:24:07 p.m.	01/12/16	36	31,8
237	12:29:07 p.m.	01/12/16	37,2	31,8
238	12:34:07 p.m.	01/12/16	34,6	31,7
239	12:39:07 p.m.	01/12/16	34,3	31,7
240	12:44:07 p.m.	01/12/16	35,2	31,9
241	12:49:07 p.m.	01/12/16	34,5	31,8
242	12:54:07 p.m.	01/12/16	33,4	31,7
243	12:59:07 p.m.	01/12/16	33,4	31,7
244	1:04:07 p.m.	01/12/16	33,5	31,8
245	1:09:07 p.m.	01/12/16	33,2	31,7
246	1:14:07 p.m.	01/12/16	33	31,7
247	1:19:07 p.m.	01/12/16	33,1	31,7
248	1:24:07 p.m.	01/12/16	33,1	31,7
249	1:29:07 p.m.	01/12/16	33,1	31,9
250	1:34:07 p.m.	01/12/16	33,6	32
251	1:39:07 p.m.	01/12/16	33,6	31,9
252	1:44:07 p.m.	01/12/16	34,2	31,9
253	1:49:07 p.m.	01/12/16	34,2	31,9
254	1:54:07 p.m.	01/12/16	35,4	32
255	1:59:07 p.m.	01/12/16	41,7	32
256	2:04:07 p.m.	01/12/16	39,7	32,1
257	2:09:07 p.m.	01/12/16	37,8	32,1
258	2:14:07 p.m.	01/12/16	40,1	32,1

259	2:19:07 p.m.	01/12/16	37,9	31,9
260	2:24:07 p.m.	01/12/16	36	31,9
261	2:29:07 p.m.	01/12/16	36,8	32
262	2:34:07 p.m.	01/12/16	33,9	32
263	2:39:07 p.m.	01/12/16	35,3	32,1
264	2:44:07 p.m.	01/12/16	39,5	32
265	2:49:07 p.m.	01/12/16	40	32
266	2:54:07 p.m.	01/12/16	39,6	32
267	2:59:07 p.m.	01/12/16	41,3	32
268	3:04:07 p.m.	01/12/16	41,3	32
269	3:09:07 p.m.	01/12/16	40,6	32
270	3:14:07 p.m.	01/12/16	40,4	32
271	3:19:07 p.m.	01/12/16	40,1	32
272	3:24:07 p.m.	01/12/16	39	31,9
273	3:29:07 p.m.	01/12/16	38,7	31,9
274	3:34:07 p.m.	01/12/16	38,7	31,9
275	3:39:07 p.m.	01/12/16	38,3	31,9
276	3:44:07 p.m.	01/12/16	37,7	31,9
277	3:49:07 p.m.	01/12/16	36,8	32,1
278	3:54:07 p.m.	01/12/16	36,2	32,1
279	3:59:07 p.m.	01/12/16	36	32
280	4:04:07 p.m.	01/12/16	35,8	32
281	4:09:07 p.m.	01/12/16	35,7	32,2
282	4:14:07 p.m.	01/12/16	35,2	32,2



## Anexo 4: DOP del Proceso

DOP: Construcción de rack 60m2 de concentradores solares

