

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra. Ed.



En colaboración con



Universidad Complutense de Madrid, España Universidad de El Salvador, El Salvador

**Evaluación del Potencial de Sustitución de Energía de Origen
Convencional por Energías de Origen Renovable en Planta Productora
de Detergentes en Polvo mediante el Proceso de Secado por
Pulverizado en Municipio de San Salvador.**

Ing. Juan Carlos Dahbura Ramos

Msc. Ana Maria Gonzales Trabanino de Menjivar

León, Marzo del 2014

AGRADECIMIENTOS

Deseo dedicar este trabajo:

A Dios Todopoderoso, por haberme permitido alcanzar este sueño y un logro más en mi carrera profesional por la ayuda en los momentos difíciles, a nuestra Buena Madre por su guía y protección incansable, a lo largo de estos años de estudio.

A, mi esposa Esmeralda, por su apoyo incondicional en los momentos más importantes de mi vida, por tus palabras de aliento y comprensión, gracias por permitirme navegar junto a ti en esta nueva aventura, que el cielo nos guíe en el camino que nos falta por recorrer y nos permita alcanzar juntos nuestros sueños.

A familia, mis padres Eduardo Alfredo y Dinora Elena por todo el apoyo que a través de los años me han demostrado su amor y apoyo, impulsándome a superarme cada día y alcanzar mis sueños, infinitas gracias y bendiciones para ustedes, se que estas pocas palabras no serán suficientes para recompensar su excelente labor de padres;

A mis hermanos, Wendy Lizeth y Luis Ernesto por todos los momentos de risa, comprensión y apoyo que nos hemos brindado mutuamente, que Dios Todopoderoso los guíe y acompañe en su caminar, éxitos y perseverancia.

A mis hermanos Xavier, Oscar, Rafael y al resto de mis amigos, por todos los momentos que a lo largo de mi vida hemos disfrutado juntos, gracias porque cuando necesite de su ayuda o una palabra de aliento ahí siempre han estado gracias infinitas por todo, que Dios Todopoderoso los bendiga los llene de éxitos y los acompañe siempre.

A mis amigos, José Alberto, Caleb y Carlos por todo el esfuerzo que juntos hemos realizado en esta maestría, por todas las reuniones donde discutimos y reímos juntos, momentos irrepetibles que nunca olvidaré; por todo ese esfuerzo en conjunto que hoy rinde frutos, que Dios Todopoderoso los guíe en su vida los llene de éxitos y bendiciones.

Al, Ing. Ernesto Pastore, Marielos de Arevalo y mis compañeros de trabajo, gracias por la ayuda brindada y el soporte durante la realización de este trabajo de investigación, que Dios les permita seguir cosechando éxitos y nuevos logros en sus vidas.

A mis profesores MSc Ana Maria Gonzales y MSc Jaime Arevalo por toda la ayuda que me brindaron a través de todos estos años de estudio y por su esfuerzo y dedicación en este proyecto muchas gracias que Dios Todopoderoso los bendiga a ustedes y sus familias.

-Juan Carlos

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo el estudio del proceso de fabricación de detergente en polvo mediante el proceso de secado por pulverizado a fin de evaluar el potencial de sustitución de energías de tipo convencional por energías de tipo renovable.

El estudio permitirá determinar el tipo de energía renovable específica que cuenta con las condiciones optimas para su implementación basado en las condiciones climáticas y geográficas de la fabrica en estudio.

Una vez identificado el potencial de sustitución de energías y el tipo de energía que podría ser utilizada, se realizara el diseño y dimensionamiento básico del sistema utilizando tecnologías de tipo renovables; así mismo se realizará el estudio de factibilidad económica del diseño realizado, lo que permitirá determinar la factibilidad técnica y económica del diseño propuesto para el proyecto.

The present work aims to study the making process of detergent powder by spraydrying process to assess the potential replacement of conventional energy by renewable energy type.

The study will determine the specific type of renewable energy that has the optimal conditions for implementation based on the climatic and geographical conditions of the factory.

Having identified the potential for conventional type energy substitution and the type of renewable energy that could be used. The design and basic sizing will done based on the renewable technologies suitable for the current process. An economic feasibility study will be done to determine the technical and economic feasibility of the proposed design.

ÍNDICE.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
OBJETIVOS.....	9
CAPITULO 1 DISEÑO METODOLOGICO.....	11
CAPITULO 2 RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
2.1 PROCESO DE PRODUCCION DE DETERGENTES EN POLVO MEDIANTE PROCESO DE SECADO POR PULVERIZACION	13
2.1.1 INTRODUCCION	13
2.1.2 PROCESO DE ELABORACION DE DETERGENTE EN POLVO	14
2.1.2.1 MATERIAS PRIMAS.....	16
2.1.2.2 ELABORACION DE SLURRY	17
2.1.2.3 ATOMIZADO Y SECADO DE SLURRY	18
2.1.2.4 POSTDOSADO	21
2.1.2.5 EMPACADO	22
2.2 ENERGIAS RENOVABLES.....	24
2.2.1 INTRODUCCION	24
2.2.2 ENERGIAS RENOVABLES.....	25
2.2.2.1 ENERGIA SOLAR	26
2.2.2.1.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	27
2.2.2.1.2 ENERGIA SOLAR TERMICA.....	31
2.2.2.2 ENERGIA EOLICA	35
2.2.3 ENERGIA SOLAR Y EOLICA EN EL SALVADOR.....	39
2.3 SITUACION ENERGETICA ACTUAL	42
2.3.1 DIAGNOSTICO ENERGETICO.....	42
2.3.2 SITUACION ENERGETICA ACTUAL	43
2.3.3 CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA.....	45
2.3.3.1 CONSUMO ELECTRICO AREA DE OFICINAS	46
2.3.4 CONSUMO DE ENERGIA TERMICA	47
2.3.5 OPORTUNIDADES DE MEJORA	48
2.3.5.1 PRECALENTAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA	49
2.3.5.2 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE OFICINAS Y EXTERIORES	50
2.3.6 DATOS UBICACIÓN Y CLIMÁTICOS	52
2.4 DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO	54
2.4.1 DATOS CLIMÁTICOS	54
2.4.2 DISEÑO SOLAR TÉRMICO	55
2.4.2.1 MÉTODO F-CHART	55
2.4.2.1.1 ESTIMACIÓN DE LA CARGA CALORÍFICA	56
2.4.2.1.2 DETERMINACIÓN DE ENERGÍA ABSORBIDA y PERDIDA POR EL COLECTOR	57
2.4.2.1.3 CÁLCULO DE LA GANANCIA TOTAL	60
2.4.2.1.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES.....	61
2.4.2.1.5 GRÁFICA DE f.....	61
2.4.2.1.6 DETERMINACIÓN DE COBERTURA SOLAR MENSUAL	62
2.4.2.1.7 DETERMINACIÓN DE COBERTURA SOLAR ANUAL	63
2.4.2.2 DISEÑO BASICO	65
2.4.3 DISEÑO FOTOVOLTAICO	65
2.4.3.1 MÉTODO COMPACTO	66

2.4.3.2	DISEÑO BASICO	68
2.5	EVALUACION ECONOMICA DE PROYECTOS FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO	69
2.5.1	MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS DE INVERSIÓN	69
2.5.1.1	MÉTODO DE PERIODO DE RECUPERACIÓN.....	69
2.5.1.2	TASA DE RENDIMIENTO CONTABLE	70
2.5.1.3	MÉTODO DE VALOR ACTUAL NETO.	70
2.5.1.4	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	71
2.5.2	EVALUACION ECONOMICA PROYECTO FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO	72
2.5.2.1	PROYECTO FOTOVOLTAICO	72
2.5.2.2	PROYECTO SOLAR TERMICO	74
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	ANEXOS.....	82
	ANEXO N° 1: HOJA TECNICA COLECTOR SOLAR SOLAHART BT COLLECTOR.....	82
	ANEXO N° 2: HOJA TECNICA PANEL FOTOVOLTAICO SOLARWORLD SUNMODULE PROTECT SW 275 MONO.....	84
	ANEXO N° 3: VISTA AEREA DE FABRICA PRODUCTORA DE DETERGENTE EN POLVO	85

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

A lo largo de la historia de la humanidad, se han utilizado diferentes métodos y sustancias para la limpieza, muchos se remontan hasta los tiempos antiguos en donde eran utilizadas las mezclas de grasas animales con cenizas orgánicas

A medida que se han incrementado los avances en las áreas de química e ingeniería, se han podido desarrollar nuevos productos y procesos, que han permitido mejorar los beneficios a los consumidores. El primer detergente sintético fue desarrollado por Alemania durante la Primera Guerra Mundial, lo cual impulso muchos más desarrollos durante la década de los 20's y 30's ya que mucho de los aceites utilizados en el proceso de saponificación estaban siendo utilizados en proceso productivos de mayor importancia que la fabricación de jabón. A inicios de 1939 se inicio la fabricación de detergentes en polvo, debido a las mejoras observadas en el efectividad de estos productos. (Zoller, 2009)

El incremento de este tipo de productos están relacionados a los cambios en los hábitos de limpieza de las personas lo cual está íntimamente relacionado con los diferentes avances tecnológicos tales como el desarrollo de sistemas de lavadoras que mediante las operaciones mecánicas facilitan la realización de estas actividades mejorando así la calidad de vida de las mismos.

Durante el 2006 se estima que la producción global de surfactantes fue de 13 millones de toneladas métricas, de las cuales el 46% de las mismas fue utilizado para la fabricación de detergentes en polvo, esto significaría una producción aproximada de 6 millones de toneladas métricas al año. (Zoller, 2009)

Uno de los procesos desarrollados para la producción de los detergentes es el denominado Proceso de Secado por Pulverizado, este se encuentra conformado por los proceso de: Elaboración de Slurry, Secado por Pulverizado, Posdosado y Empacado.

Este proceso productivo consiste en la elaboración de una pasta de detergente la cual posteriormente es secada a través de un flujo de aire caliente asciende mientras se atomiza la pasta prepara la cual desciende produciéndose el contacto de ambas sustancias obteniendo un polvo de estructura granular y de libre fluidez.

Este proceso de manufactura emplea una gran cantidad de energía tanto eléctrica como térmica para los diferentes procesos productivos desde el transporte de las materias primas hasta el empacado del polvo producido, siendo su mayor consumo en los procesos de calentamiento y secado, la cual es proveida en gran medida del uso de combustibles fósiles para la generación de la energía térmica lo que lo convierte en un sistema sumamente susceptible a los impactos de los incrementos en los precios de estos combustibles.

La alta dependencia de los combustibles fósiles en el proceso de fabricación de detergentes en polvo, lo convierte en un proceso ideal para la evaluación y estimación del porcentaje de sustitución de fuentes de energía convencional por fuentes de energía basadas en sistemas energéticos renovables lo cual le contribuirá a reducir los impactos ambientales y mejorar las rentabilidades de los procesos productivos. Ya que muchos de los requerimientos de energía eléctrica y térmica podrían ser sustituidos en parte por el uso de tecnologías fotovoltaicas, solar térmica y biomasa.

Actualmente la eficiencia energética y el uso de energías renovables no convencionales ha adquirido mayor importancia debido a los ahorros económicos que puede representar en la industria aunado a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero via reducción de la demanda de energía eléctrica que contribuye a reducir la instalación de plantas térmicas derivadas de petróleo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Preguntas:

- ¿Qué cantidad de energía térmica y eléctrica es utilizada en la empresa y con qué eficiencia es utilizada?
- ¿Qué cantidad de energía de origen convencional utilizada en la fabricación de detergentes en polvo por medio del proceso de secado por pulverizado en la planta productora del Municipio de San Salvador puede ser sustituida por energía de origen renovable?
- ¿Qué tipo de tecnología aplicada al uso de energía renovable puede ser utilizada para sustituir el uso de energía de origen convencional en la fabricación de detergentes en polvo en el proceso de secado por pulverizado?

OBJETIVOS

Objetivo General:

Proponer tecnologías de energías renovables para proveer la energía eléctrica utilizada en el proceso de fabricación la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.

Objetivos Específicos:

- Identificar los tipos de energía utilizados en la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.
- Determinar los tipos de tecnologías renovables que podrían ser utilizadas en la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.
- Establecer el potencial energético renovable aplicable a la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.

- Realizar el diseño y dimensionamiento de los equipos e instalaciones necesarias para el aprovechamiento del potencial energético de origen renovable identificado en la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.
- Realizar el análisis de factibilidad económica para las instalaciones energéticas renovables diseñadas para la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado del municipio de San Salvador.

CAPITULO 1 DISEÑO METODOLOGICO

El trabajo será de carácter técnico investigativo, para lo cual se ha seleccionado una planta productora de detergentes en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado en el municipio de San Salvador.

Se utilizará la información que sea proporcionada por la empresa productora acerca de sus consumos de energéticos, tipo de instalaciones y procesos actuales así como datos recolectados en campo, todo esto permitirá establecer las diferentes tipos de sistemas energéticos de carácter renovable que podrían ser utilizados para sustituir las actuales fuentes de energía convencional.

El estudio comprenderá las siguientes etapas básicas:

- *Diagnostico de situacion actual (línea base):* en esta etapa se realizará un diagnóstico de las condiciones actuales de la planta analizando los tipos de energías utilizadas en el proceso actual de la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado, consumos energéticos actuales, las tendencias, eficiencia energética en general (diagnóstico energético).
- *Definicion de energia renovables a utilizar y el potencial de sustitucion de energias:* aquí se realizará una definición del tipo de energía renovable que pueden ser utilizadas en el proceso actual de fabricación de la planta productora de detergente en polvo que utiliza el proceso de secado por pulverizado y que porcentaje de dicha fuente de energía convencional podrá ser sustituida por energía renovable.
- *Diseño de sistemas energeticos renovables:* en esta etapa se realizará el diseño del sistema energético de tipo renovable que sustituirá las energías de uso convencional identificadas en la etapa anterior. Este diseño incluirá una evaluación técnica económica de las alternativas planteada.

- Analisis de factibilidad economica del proyecto: en esta etapa se realizara la evaluacion economica de los proyectos que se diseñen, tomando en cuenta el ahorro estimado y los costos asociados a la implementacion del proyecto. Evaluandolos a una ventana de tiempo de 20 años.

CAPITULO 2 RESULTADOS Y DISCUSION

2.1 PROCESO DE PRODUCCION DE DETERGENTES EN POLVO MEDIANTE PROCESO DE SECADO POR PULVERIZACION

2.1.1 INTRODUCCION

El detergente en polvo es un producto utilizado ampliamente en el mundo, la Asociación Internacional de Jabones, Detergentes y Productos de Mantenimiento (AISE) en su reporte anual del 2012 menciona que la producción anual de productos del cuidado del hogar alcanzo una cifra de 12.1 millones de toneladas métricas de productos para el cuidado del hogar, de las cuales el 12.38% correspondio al detergente en polvo significando una produccion anual de 1.49 millones de Toneladas metricas. Esto representa un mercado global de 3.5 billones de Euros de un total de 28.5 billones de Euros.

El proceso de secado por pulverizacion ha sido utilizado desde 1800¹ (Mujumdar 2006), pero fue hasta finales de la decada de 1850 que se utilizo a escala industrial para el secado de leche. Este proceso actualmente es uno de los mas utilizados a nivel mundial, se estima que existen alrededor de 25 mil secadores por pulverizado en el mundo los cuales son utilizados en una gran variedad de industrias en entres las que podemos mencionar industrias alimentarias, agroquimicas, quimicas y farmaceuticas entre otras.

Este proceso de secado convierte un liquido en un producto seco a traves de una sola etapa de secado; este consiste basicamente en el secado de pequeñas microgotas de liquido que ha sido pulverizado por medio de sistemas de atomizacion generalmente localizados en la parte alta de la recamara de secado; el liquido pulverizado en pequeñas microgotas es secado a traves de una corriente generalmente de aire que ha sido calentada a traves de sistemas de calefaccion que utilizan combustibles fosiles o gases combustible como fuente de energia primaria. El aire fluye en sentido contrario o concurrente con el flujo del liquido atomizado y es en esta etapa que se realiza el proceso de secado a medida que el aire entra en contacto con las gotas de liquido a lo largo de la recamara de secado.

¹ Mujumdar, A (2006) *Handbook of Industrial Drying Third Edition* . Florida, Estados Unidos: CRC Press

Este tipo de proceso de secado es utilizado ampliamente en muchas de las industrias debido a las ventajas que presenta con respecto a las otras tecnologías de secado disponibles en el mercado. Entre las ventajas que posee se pueden mencionar:

- Permite el secado de productos sensibles y productos no tan sensibles al proceso de secado
- Calidad del producto puede ser controlada mediante las variables de proceso.
- El proceso permite el control de variables físicas del producto como son granulometría, porcentaje de humedad, tamaño de partícula, etc.
- Maneja un amplio rango de tasas de producción.

Sin embargo posee ciertas desventajas como son el costo de instalación del proceso, baja eficiencia térmica comparada con otros procesos de secado y riesgo de explosiones o incendios debido a las temperaturas que se utilizan.

2.1.2 PROCESO DE ELABORACION DE DETERGENTE EN POLVO

El proceso de elaboración de detergente mediante el proceso de secado por pulverización fue introducido hace ya más de 60 años², durante los cuales ha sufrido algunas modificaciones orientadas a la optimización de su proceso y su fiabilidad. Muchos de los cambios están asociados a la reducción de los consumos energéticos propios del proceso mediante la modificación de sus parámetros de operación y sus formulaciones.

El proceso básico de elaboración de detergentes se divide en 5 etapas principales, las cuales se definen a continuación:

- Manejo de Materias primas: es la etapa asociada a la recepción, almacenaje y distribución de las diferentes materias primas utilizadas en el proceso.
- Elaboración de Slurry (pasta base de detergente): en esta etapa es donde se realiza la preparación de la pasta básica húmeda de detergente conocida como slurry. Este es

² Zoller, U(Ed.) (2009) *Handbook of Detergents, Part F: Production*. Florida, Estados Unidos: CRC Press

formado a partir de la incorporación de materias primas líquidas y sólidas en el reactor principal en donde se realizan las diferentes reacciones químicas que dan origen a esta sustancia.

- **Atomizado y Secado de Slurry:** es utilizada para realizar el atomizado o pulverizado de la pasta básica de detergente y se realiza el proceso de secado dentro de la recámara de secado, obteniendo lo que se denomina polvo base de detergente.
- **Postdosado:** etapa del proceso donde se realiza la dosificación de los materiales restantes según el tipo de formulación, además se aprovecha para realizar la incorporación de las materias primas que son sensibles a altas temperaturas. El producto de esta etapa se denomina polvo terminado.
- **Empacado:** En esta etapa se realiza el envaso del polvo terminado en los diferentes tamaños en que se produce.

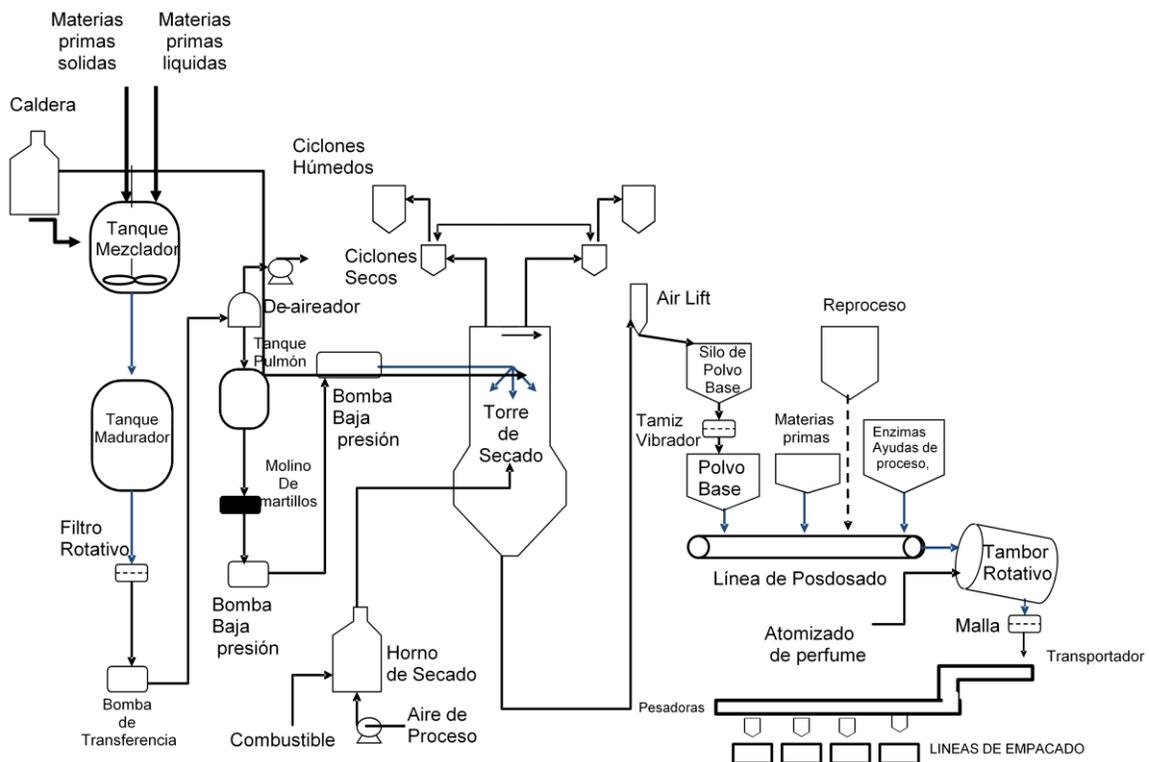


Figura N° 1 Representación esquemático de proceso de producción de detergente en polvo por método de secado por pulverización³.

³Zoller, U(Ed.) (2009) *Handbook of Detergents, Part F: Production*. Florida, Estados Unidos: CRC Press

El proceso de elaboración de detergente pretende elaborar un producto con las características adecuadas físicas y químicas que permitan satisfacer las necesidades tanto de los consumidores así como permitir procesos productivos rentables. Entre las características que permiten la elección de este tipo de proceso productivo sobre otras están:

- Proceso flexible en cuanto a formulaciones y tasas de producción.
- Equipo utilizado es relativamente simple
- Densidad, humedad y tamaño de partícula del producto puede ser controlado a través de las condiciones de proceso.
- Capacidad de procesamiento de sustancias sensibles a proceso de secado.

2.1.2.1 MATERIAS PRIMAS

En esta etapa de proceso están consideradas todas aquellas actividades destinadas a la recepción, transporte y almacenaje de las materias primas utilizadas en el proceso de elaboración. El proceso de elaboración de detergentes utiliza una gran cantidad de materias primas tanto líquidas como sólidas, granuladas o polvos finos, pequeños contenedores o grandes equipos de transporte.

Existen diferentes tipos de equipos utilizados para el transporte y almacenamiento de las materias primas. La selección del tipo adecuado depende de los consumos estimados del proceso y el estado físico asociado a la materia prima. Entre los principales sistemas se encuentran:

- Barriles: son utilizados para materias primas líquidas de bajo consumo en el proceso. Están elaborados en polietileno de baja densidad o metálicos; pueden transportar desde 25 Kg hasta 250 Kg.
- Sacos: son utilizados para materias primas sólidas de bajo consumo en el proceso. Están elaborados en poliéster, polietileno de baja densidad o papel recubierto; pueden transportar hasta un máximo de 25 Kg.
- Contenedores Intermedios a Granel (IBC): son utilizados como medio de almacenamiento de materiales líquidos para aquellos materiales que tienen un consumo intermedio.

Proveen una capacidad de almacenaje entre 500 a 3000 litros. Estan elaborados de Polietileno de baja densidad.

- Contenedores Intermedios a Granel Flexibles (Big bags): son utilizados como medio de almacenamiento de materiales solidos para aquellos materiales que tienen un consumo intermedio. Proveen una capacidad de almacenaje entre 1 a 1.5 Tons. Estan elaborados de Poliester.
- Silos y tanques de almacenamiento: son utilizados para el almacenamiento de grandes volúmenes de materias primas tanto liquidas como solidas. Los materiales de fabricacion dependen del tipo de sustancia a almacenar.



Figura N° 2 Metodos de transporte y almacenamiento de materias primas.

2.1.2.2 ELABORACION DE SLURRY

La etapa de elaboración de “slurry”, es una de las etapas más importantes en el proceso de elaboración de detergentes en polvo, ya que es en ella donde se establecen muchos de los parámetros fisicoquímicos del detergente determinantes para la calidad del producto. Es en etapa donde se realizan las reacciones químicas necesarias para la obtención del surfactante que es la material activa utilizada en el proceso de lavado.

En general el término “Slurry” es utilizado para describir una mezcla de sólidos y líquidos de alta viscosidad, que puede transportado ya sea por gravedad o mediante sistemas de bombeo. El control de las variables de este proceso son criticas, de la correcta elaboración del slurry de-

penderá muchas de la eficiencia del proceso en general, entre ellas las mas criticas son la densidad y la humedad del slurry. Esta última es una de las variables que determina la cantidad de energética que se utilizara en el proceso de secado para disminuirla hasta los valores deseados de humedad de polvo base.

El proceso de elaboración de slurry se inicia agregando las materias primas liquidas y solidas dentro del reactor principal, es aquí donde se agregan cada una de ellas en las proporciones establecidas en cada una de las recetas de polvo. Cada receta estipula las secuencias de adición de las materias primas, velocidades de agitación, temperaturas de mezclas, tiempos de reacción, etc. Una vez completada la elaboración del batch se realizan los análisis de calidad y el batch es descargado hacia el tanque madurar donde luego es transportado a través del sistema de bombeo de slurry.

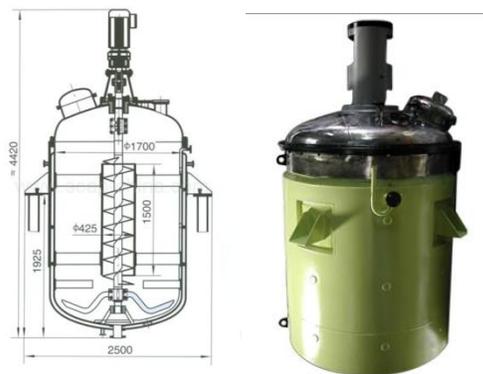


Figura N° 3 Dibujo esquematico crutcher para preparacion de slurry

2.1.2.3 ATOMIZADO Y SECADO DE SLURRY

Durante esta etapa del proceso, el slurry atraviesa una serie de filtros mecánicos y fijos cuya función es eliminar todos los grumos de materiales sólidos que se formaron durante la etapa de elaboración de slurry a fin de evitar bloqueos del sistema de atomizado. En esta etapa se utilizan equipos de bombeo de desplazamiento positivo a fin de poder circular la pasta de alta viscosidad a través de los filtros y desintegradores mecánicos.

El objetivo principal de la etapa de atomizado es crear diminutivas gotas de fluido, cuyo diámetro permitirá se realice el proceso de secado de una manera más fácil y eficiente. A fin de obtener el diámetro de partícula requerida es utilizado un sistema de atomizado a alta presión, el

cual utiliza un sistema de boquillas o toberas distribuido alrededor de toda la circunferencia de la recamara de secado a fin poder cubrir la mayor cantidad del área de secado disponible. Estas boquillas convierten la energía en forma de presión a energía en forma de velocidad del fluido lo que genera un cono de atomización en donde se forman las pequeñas partículas de liquido que serán secadas en la recamara.

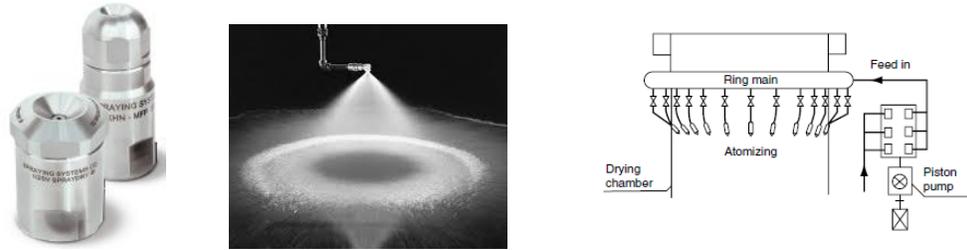


Figura N° 4 Sistema de atomizacion a traves de Boquillas o Toberas de presion.

El proceso de secado consiste primordial en la etapa en la cual se realiza el secado de las pequeñas microgotas de líquido atomizado utilizando una corriente de aire que ha sido previamente calentado hasta temperaturas superiores de 300°C. Existen diferentes configuraciones de flujo de aire y fluido atomizado siendo la de mayor uso el *flujo contracorriente* la cual consiste contempla el atomizado del slurry en la parte superior de la recamara de atomizado mientras que en la parte inferior de la misma se introduce el aire caliente; éste es forzado a ascender por medio de la acción de un sistema de extracción de aire a través de ventiladores ubicados en la parte superior de la torre de secado generando así un área de contacto de una longitud menor a la altura máxima de la recamara. Este flujo permite que un menor arrastre de finos y promueve la aglomeración de partículas de diferentes humedades. En el esquema siguiente se pueden observar las diferentes configuraciones del proceso de secado.

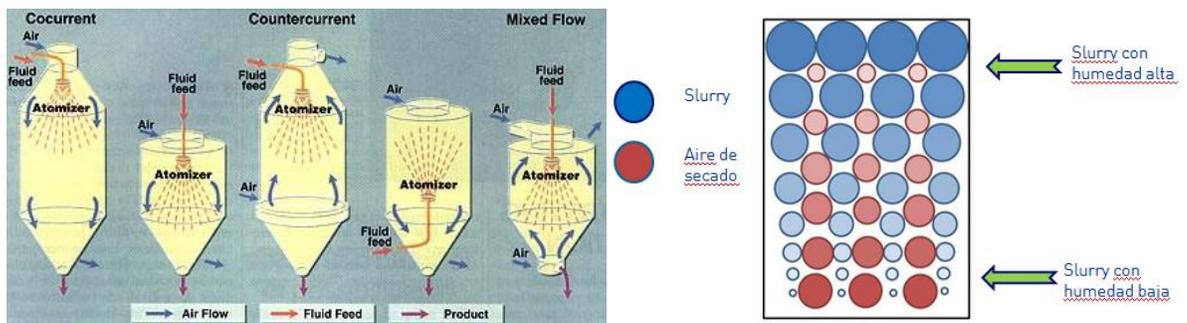


Figura N° 5 Representación esquemática de las diferentes configuraciones del proceso de Secado por pulverizacion

El correcto control de las condiciones de proceso durante la etapa de secado es una de las actividades críticas del proceso debido al impacto que en el consumo de energía se estima que por cada 1 Kg de agua que se debe evaporar se necesita un aproximad de 6000 KJ⁴, por lo que el control de la calidad del slurry producido determina muchas de las condiciones del proceso.

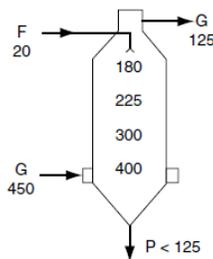
La eficiencia global del proceso de secado según Mujumdar (2006)⁵ se define como el cociente de la energía utilizada para la evaporación con respecto a la energía suministrada en el proceso, la cual se establece de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\dot{M}_{CH}\lambda}{L_A(T_A - T_{WB})C_{PA} + \dot{M}_F(T_F - T_{WB})C_{PF}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde \dot{M}_{CH} representa la capacidad de evaporación en Kg H₂O/ s, λ calor latente de vaporización (J/Kg), L_A flujo de aire en Kg/s, \dot{M}_F flujo de slurry en Kg/s, C_{PA} capacidad calorífica del aire en J/Kg-K, C_{PF} capacidad calorífica del Slurry en J/Kg-K, T_A , T_F y T_{WB} temperatura del aire, del slurry y bulbo humedo respectivamente en K. Si el proceso de secado se considera adiabatico, la perdidas de calor se vuelven despreciables la Ec 1 puede simplificarse según la siguiente ecuación:

$$\eta = \left(\frac{T_{Ai} - T_{Ao}}{T_{Ai} - T_{AMB}} \right) \times 100(\%) \quad \text{Ec 2}$$

Donde T_{Ai} temperatura de entrada del aire a la recamara de secado; T_{Ao} temperatura de salida del aire desde la recamara de secado; T_{AMB} temperatura ambiental del aire. A continuacion se muestra un diagrama de temperaturas comunmente empleadas en el proceso de secado por pulverizado.



F: alimentación de slurry, G: aire caliente; P: polvo base⁶

Figura N° 6 Representación esquemática de temperatura en el proceso de Secado por pulverización

⁴Mujumdar, A (2006) *Handbook of Industrial Drying Third Edition* . Florida, Estados Unidos: CRC Press

⁵ Mujumdar, A (2006) *Handbook of Industrial Drying Third Edition* . Florida, Estados Unidos: CRC Press

Una vez se ha realizado el proceso de secado el producto obtenido se denomina polvo base el cual es transportado hacia a silos de almacenamiento en los cuales es almacenado a una temperatura superior en 10°C a la temperatura ambiente.

2.1.2.4 POSTDOSADO

La etapa de posdosado es utilizada para la adición y mezcla de los ingredientes complementarios de las formulas. Entre los ingredientes que se dosifican se encuentran el Polvo base que es el mayor constituyente de la formula, estructurantes, rellenos, enzimas, perfume, etc. El producto obtenido en esta etapa se denomina Polvo Terminado.

En la industria se utilizan diferente metodos de dosificacion y mezclado de materias primas, los cuales son seleccionados en base a la escala de produccion. Entre los metodos utilizados a nivel industrial podemos mencionar:

- Mezclado por Batch: utilizado en operación de baja escala generalmente con una taza de produccion menor a 5 Ton/h. Los ingredientes son pesados a traves de basculas manuales o equipos automaticos de pesaje y luego son dosificados hacia el mezclador. Este tipo de sistema se caracteriza por su baja automatizacion y su bajo coste de instalacion por lo que lo convierte en el sistema utilizado en produccion a baja escala. La duracion del tiempo de mezclado esta relacionado con la eficiencia de los mezcladores lo cual a su vez esta determinado por el diseño especifico del equipo, ya que mezcladores de alta eficiencia permiten reducir el tiempo de mezclado, esta reduccion permite el incremento de las tazas de produccion de este sistema.

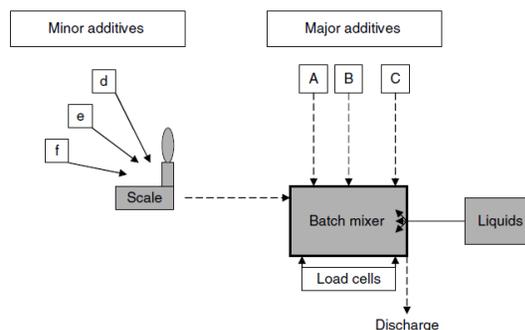


Figura N° 7 Representación esquemática de sistema de mezclado por Batch⁷

⁷Zoller, U(Ed.) (2009) *Handbook of Detergents, Part F: Production*. Florida, Estados Unidos: CRC Press

- Mezclado Continuo: Este sistema es utilizado para escalas de produccion superiores a 5 Ton/h. Los ingredientes son alimentados a un mezclador en linea a traves de equipos de pesajes automaticos, generalmente equipos dosificadores por perdida de peso. El mezclador consiste en un cilindro rotativo el cual puede variar su angulo y velocidad de giro con lo que se modifica el tiempo de residencia del polvo dentro del mezclador afectando asi la eficiencia del mezclado. Este tipo de sistemas implica una inversion inicial significativa debido al tipo de tecnologia utilizada por lo que su utilización esta limitada a produccion a escalas medias y altas.

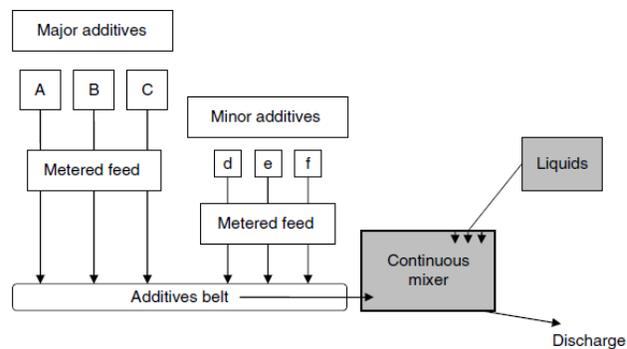


Figura N° 8 Representación esquemática de sistema de Mezclado Continuo⁸

2.1.2.5 EMPACADO

En esta etapa es donde se realizan el empacado del polvo terminado en los diferentes tamaños y presentaciones que se distribuyen en el mercado. Los sistemas de empacado pueden diferenciarse de acuerdo a la tecnología utilizada para la dosificación del producto, el tipo de empaque primario utilizado. En base al tipo de empaque primario utilizado las tecnologías se pueden dividir en:

- Polybags: Son aquellas donde es utilizada el material de empaque flexible como empaque primario
- Estuches: Son las que utilizan material de empaque rigido como empaque primario, el mas utilizado es el carton de carton compacto o cartoncillo.

Según el tipo de sistema de dosificación utilizado los sistemas de empacado se pueden dividir en:

⁸Zoller, U(Ed.) (2009) *Handbook of Detergents, Part F: Production*. Florida, Estados Unidos: CRC Press

- Dosificación volumetrica: se basa en un sistema de dosificación que utiliza copas dosadoras volumetricas variables, que en base a un valor de densidad constante modifica el volumen del polvo dosificado a fin de moder dosificar el peso requerido.
- Dosificación gravimetrica: este sistema utiliza equipos de pesaje en línea que cuantifican la cantidad de producto contenido en los recipientes dosificadores a través de variaciones de peso detectadas por los sensores. Esta tecnología no es tan susceptible a las variaciones de densidad como la dosificación volumetrica.

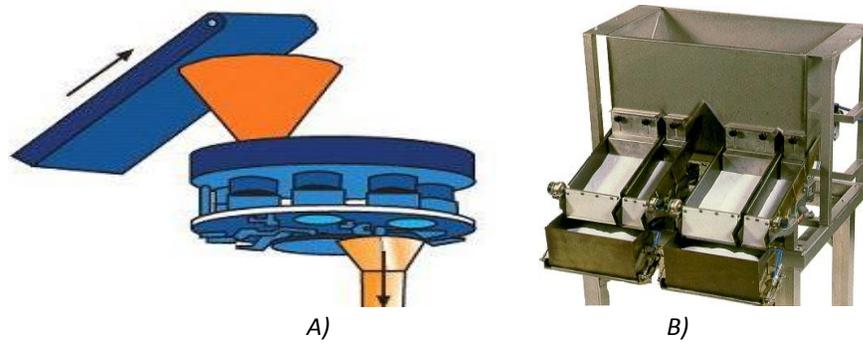


Figura N° 9 Representación esquemática de sistema de dosificación Volumetrica (A) y sistema de dosificación gravimetrica (B)

2.2 ENERGIAS RENOVABLES

2.2.1 INTRODUCCION

A lo largo de la historia de la humanidad el desarrollo de las civilizaciones ha estado íntimamente ligada con el incremento en el consumo de energía, a medida que la era tecnológica ha ido desarrollándose este incremento se acelera de una manera rápida, la Energy Information Administration, del Gobierno de Estados Unidos en su “Informe de Perspectiva Internacional de Energía 2013” estima que el consumo de energía en el mundo se incrementará en un 56% entre 2010 y 2040.

El reporte establece que el consumo de energía se incrementara de 524 cuatrillones de BTU en 2010 a unos 630 cuatrillones en 2040. Según el informe el sector de energía renovable y el sector nuclear son los de mayor crecimiento con valores de hasta 2.5% anual; sin embargo los combustibles fosiles continuaran representando casi un 80% del total de la energía consumida hacia el año 2040, como puede observarse en el grafico la tendencia de generación eléctrica neta por tipo de combustible entre 2010-2040 que se muestra a continuación

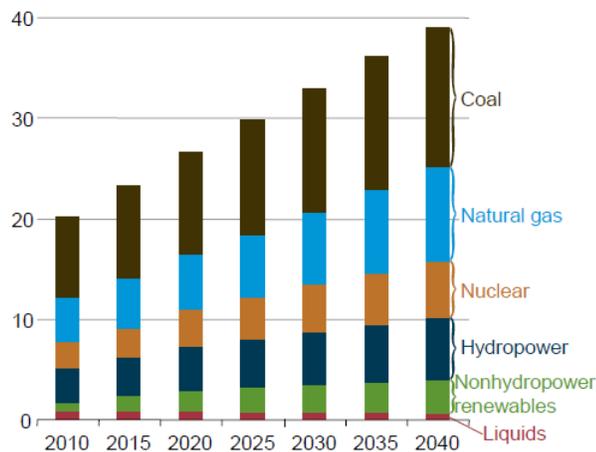


Figura N° 10 Tendencia de producción eléctrica neta por tipo de combustible para el periodo de 2010-2040⁹.

Como se observa el camino hacia el desarrollo pasa a través de la búsqueda y obtención de fuentes de energía de manera sostenible. Según las estimaciones gran parte de la energía será suministrada a través de métodos convencionales, a pesar de esto existe una oportunidad de aumentar la relación que aportarán las energías de tipo renovables

⁹ US Energy Information Administration. Informe de Perspectiva Internacional de Energía 2013.

2.2.2 ENERGIAS RENOVABLES

Las Energías Renovables son aquellas que son obtenidas a partir de fuentes naturales y cuya fuente de generación es regenerable de manera natural lo cual la convierte en recursos virtualmente innagotables. Entre las principales energías renovables se pueden mencionar la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles.

La Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) en su informe *Renewables 2013 Global Status Report*, menciona que las energías renovables a nivel mundial representan un 19% del total de la energía consumida para el año 2011 siendo la principal fuente la biomasa de origen tradicional comúnmente utilizada para el calentamiento y cocción de los alimentos mayoritariamente áreas de tipo rural, la energía hidroeléctrica un 3.7% y el resto de energías renovables no tradicionales (eólica, solar, biofuels, etc) un 1.9%. La distribución total del consumo de energía puede observarse a continuación en el siguiente gráfico.

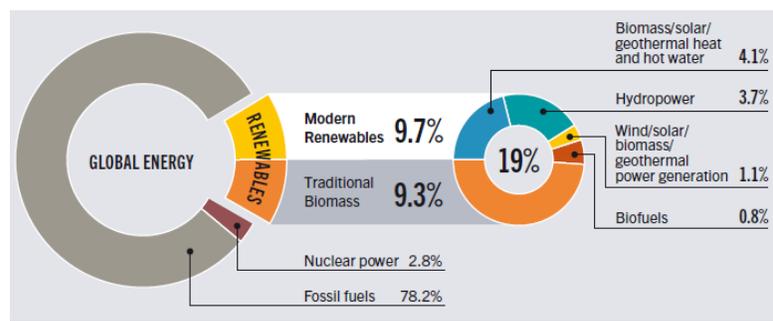


Figura N° 11 Distribución estimada de consumo global de las energías renovables.¹⁰

Así mismo este informe menciona que las energías renovables de mayor desarrollo desde el 2007 hasta el 2012 han sido la energía solar fotovoltaica con un crecimiento de 60% seguida de la energía solar concentrada con un 42% y la energía eólica con un 25%; las principales regiones emergentes han sido la de Asia, Medio Oriente, África y Latinoamérica. Este incremento sustancial en el uso de este tipo de tecnologías ha permitido que muchos de los costos asociados a su desarrollo hayan disminuido a lo largo de los años lo que ha permitido que se difundan más ampliamente en el resto del mundo sin embargo China, Estados Unidos, Brasil,

¹⁰ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Renewable 2013 Global Status Report*.

Canada, y Alemania continúan siendo los principales países con mayor capacidad instalada de energías de tipo renovable como se muestra en la gráfica a continuación.

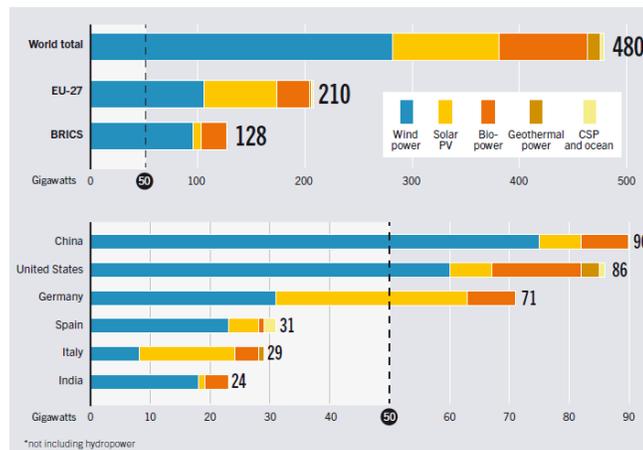


Figura N° 12 Capacidad instalada de energías renovables a nivel mundial, EU-27, BRICS y los 6 principales países en 2012¹¹.

2.2.2.1 ENERGIA SOLAR

La energía solar se considera como toda la energía que se puede aprovechar a partir de la radiación de energía electromagnética que emite el Sol. La energía solar se puede aprovechar para aplicaciones de diverso tipo entre las más comunes se encuentra el aprovechamiento térmico, generación de energía eléctrica y diversos usos indirectos.

El uso y aprovechamiento de la energía solar depende de su potencialidad, la cual está determinada por la irradiancia. La radiación en el Sol se estima en $63.450.720 \text{ W/m}^2$; a lo largo del periodo anual la Tierra recibe una cantidad de irradiancia variable debido al cambio en la distancia entre el Sol y ella en su trayecto durante su órbita solar, sin embargo el valor promedio anual de irradiancia atmosférica aceptado es 1367 W/m^2 , y es conocida como constante solar.

El valor de irradiancia aprovechable en cualquier punto de la superficie terrestre es siempre menor al valor de la constante solar esto es debido a que esta tiene un proceso de atenuación debido a la atmósfera, a través de los procesos de absorción y dispersión, las cuales generan

¹¹ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Renewable 2013 Global Status Report*.

que la irradiación efectiva máxima promedio sea de $1000\text{W}/\text{m}^2$. El vapor de agua afecta sobre todo a la radiación infrarroja y el ozono a la radiación ultravioleta.

La energía que es absorbida por la Tierra a través de la atmósfera, los océanos y la corteza, es la precursora de los fenómenos de las corrientes de aire, la vida en los océanos y los procesos de fotosíntesis de las plantas verdes.

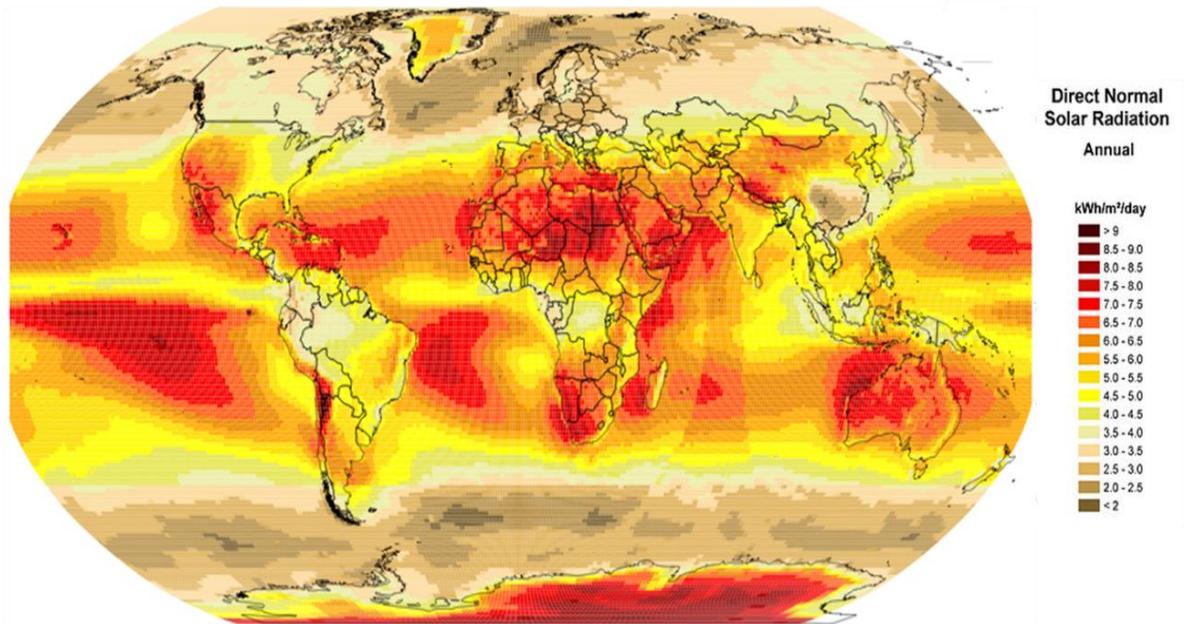


Figura N° 13 Mapa de radiación solar directa normal anual ¹².

La energía solar es utilizada mayoritariamente bajo dos tipos de energías, la energía fotovoltaica que consiste en uso de semiconductores para transformar la energía electromagnética del sol en energía eléctrica y la energía solar térmica utiliza la radiación solar para convertirla en calor y lo transfieren a un fluido de trabajo.

2.2.2.1.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Este tipo de energía utilizada es utilizada para la generación de energía eléctrica de corriente directa mediante la excitación de semiconductores a través de los fotones que son partículas presentes en la radiación solar. Esta excitación de los electrones de la capa de valencia del

¹² Solar and Wind Energy Resource Assessment en <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.

semiconductor por parte de los fotones genera un salto en los niveles de energía de los electrones hacia la banda de conducción, los cuales son conducidos a través de contactos localizados en las celdas fotovoltaicas que trasladan estos electrones a través de un circuito externo lo que hace que se genere un corriente eléctrica.

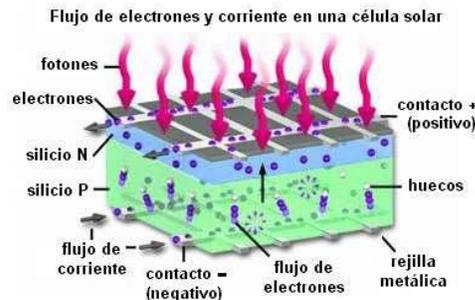


Figura N° 14 Representación esquemática de el proceso fotoeléctrico ¹³.

Las celdas fotovoltaicas son denominadas también celdas solares y están compuestas de los mismos materiales semiconductores que se usan en la industria microelectrónica, como por ejemplo el silicio. Para inducir el campo eléctrico construido dentro de una célula foto voltaica, se ponen dos capas de materiales semiconductores ligeramente distintas en contacto entre sí.



Figura N° 15 Representación esquemática de la celda fotovoltaica¹⁴

La primera es una capa semiconductor del tipo n con abundancia de electrones con carga negativa. La otra capa semiconductor es del tipo con abundancia de "hoyos" que tienen una

13 Moreno, G; Martínez, F. (2013) Celdas Fotovoltaicas recuperada el 1 de Diciembre de 2013 de <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.com/>.

14 Moreno, G; Martínez, F. (2013) Celdas Fotovoltaicas recuperada el 1 de Diciembre de 2013 de <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.com/>.

carga positiva. Aunque ambos materiales son eléctricamente neutros, el silicio del tipo n tiene electrones de sobra y la silicio del tipo p tiene a su vez agujeros de sobra. Colocando estos como sandwich se crea entonces un punto de salida p/n en su fase intermedia creandose entonces ahí y por esta razon un campo de fuerza electrico. Cuando silicio de tipo n y silicio del tipo p entra en el contacto, los electrones del exceso mueven del lado del tipo n al lado del p. El resultado es un aumento de carga positivo a lo largo del lado del tipo n de la interface y un aumento de carga negativo a lo largo del lado del tipo p.

Debido al flujo de electrones y agujeros, crean un campo eléctrico en la superficie dónde ellos se juntan en la union o juntura p/n. El campo electrico obliga a los electrones a trasladarse a traves del circuito electrico al mismo tiempo los hoyos se mueven en direccion contraria hacia la superficie positiva donde se van a esperar a los electrones que vienen en direccion contraria generando asi la corriente electrica.

TIPOS DE CELULAS FOTOVOLTAICAS

Las celulas fotovoltaicas se caracterizan dependiendo del material de que estan elaboradas en tres grandes grupos:

- Monocomponente: sólo utiliza un tipo de semiconductor; ej: Si
- Policomponente: El policomponente suele utilizar dos o tres elementos; ej: GaAs, InP, CdTe, etc. Se comporta mal en estructuras policristalinas, posee un rendimiento mayor con respecto al las celulas que usan unicamente el Silice. Su desventaja radica en su costo adicional y la baja disponibilidad de los materiales especiales, ademas necesita procesos industriales complejos para su fabricacion. Este tipo de celdas no son recomendables para aplicaciones de bajo costo.
- Mezclas poliméricas: La mezcla utiliza polímeros. Se basan en uniones metal semiconductor, se encuentran en etapas de desarrollo, por lo que su costo es mayor que el resto de las celulas fotovoltaicas.

Sin embargo el material mas utilizado en la fabricacion de las celulas fotovoltaicas actualmente es el Silicio, esto debido primordialmente a su disponibilidad y a su relativo bajo costo

comparado con otros materiales. En base a la estructura cristalina que presenta el Silicio las celdas fotovoltaicas pueden clasificarse en:

- Silicio Monocristalino: posee una estructura cristalina homogénea, requiere Silicio de muy alta pureza (99.99%), posee un rendimiento satisfactorio (~15%). Los costos de los procesos de manufactura son elevados debido a la complejidad y los controles de temperatura y crecimiento que son requeridos.
- Silicio Policristalino: posee una estructura cristalina no homogénea, requiere Silicio de alta pureza (>98%), posee un rendimiento medio (~8%). Posee un costo de fabricación medio ya que requiere un menor control de temperatura y crecimiento.
- Silicio Amorfo: Carece de estructura cristalina, requiere Silicio de baja pureza; posee un rendimiento muy bajo (~5%). Sus costos de manufactura son bajos ya que requiere escaso control de temperatura y crecimiento.

La Renewable Energy Policy Network for the 21st Century en su informe *Renewable 2013 Global Status Report* establece que la capacidad global ha alcanzado para el año 2012 los 100 GW, obteniendo incrementos de casi el 22% con respecto al año 2011 siendo los principales incrementos en los países de Alemania, Italia, China, Estados Unidos y Japan.

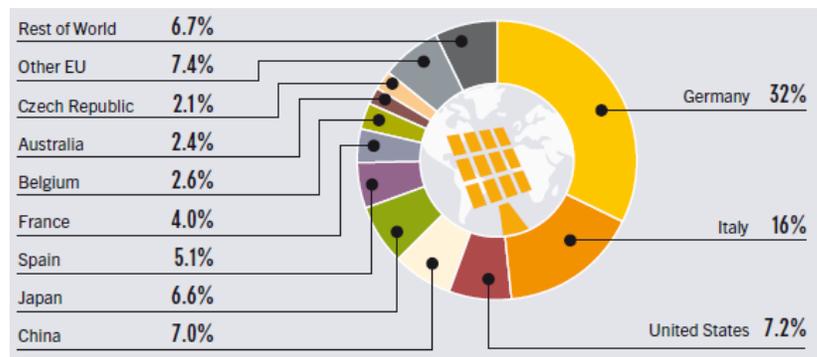


Figura N° 16 Representación esquemática de la celda fotovoltaica¹⁵

Los principales usos de la energía fotovoltaica son:

- Centrales conectadas a red para suministro eléctrico.
- Sistemas de autoconsumo fotovoltaico.

¹⁵ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewable 2013 Global Status Report

- Electrificación de pueblos en áreas remotas (electrificación rural).
- Sistemas de comunicaciones de emergencia.
- Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado.
- Sistemas de desalinización.
- Vehículos de recreo y navegación.
- Señalización ferroviaria.

2.2.2.1.2 ENERGIA SOLAR TERMICA

Los sistemas solartérmicos se utilizan para convertir la radiación solar en calor transferirlo a un fluido de trabajo. La energía térmica absorbida se utiliza primordialmente para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos o destruir desechos peligrosos. Los sistemas de aprovechamiento solar térmico se pueden dividir en base a su temperatura en tres categorías:

- Sistemas de baja temperatura. Proveen calor útil a temperaturas menores de 90 °C mediante colectores planos o colectores parabólicos compuestos para aplicaciones tales como calentamiento doméstico de agua para baño y, en general, para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no es mayor de 60 °C, por ejemplo la pasteurización, el lavado textil, etc.
- Sistemas de temperatura media. Son sistemas que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre los 100 y 400 °C, mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño. Tienen el inconveniente de trabajar solamente con la componente directa de la radiación solar por lo que su utilización queda restringida a zonas de alta irradiancia.
- Sistemas de alta temperatura: Operan a temperaturas superiores a los 500 °C y se usan para generar electricidad (electricidad termosolar) y transmitirla a la red eléctrica; en algunos países estos sistemas son operados por productores independientes y se instalan en regiones donde las posibilidades de días nublados son remotas o escasas.



Figura N° 17 Sistemas de aprovechamiento solar termico

La Renewable Energy Policy Network for the 21st Century en su informe *Renewable 2013 Global Status Report* establece que la capacidad global de produccion a traves de procesos de concentracion solar es de al menos 2550 MW, con un crecimiento en la capacidad entre 2007 y 2012 de casi el 43% , siendo lo principales España y Estados Unidos los paises con mayor capacidad instalada, sin embargo paises como Australia, Chile, China, India y la region de Medio Oeste y Africa del Norte han mostrado gran desarrollo.

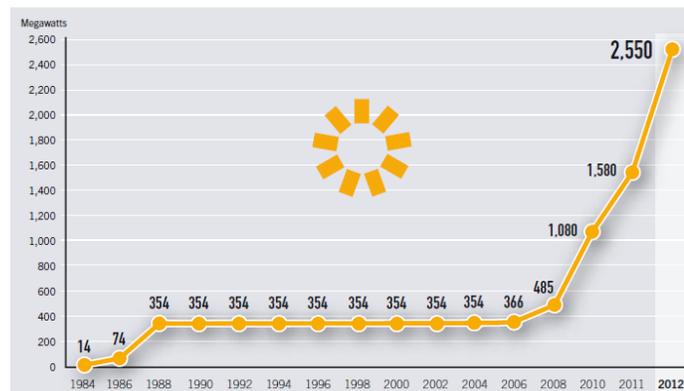


Figura N° 18 Capacidad global de Sistema de Concentracion Solar Termica ¹⁶

TIPOS DE CONCENTRADORES SOLAR TERMICOS

- **Captador solar plano:** consistente en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel. Estos pueden dividirse a su vez:
 - Captador plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
 - Captador plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.

¹⁶ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewable 2013 Global Status Report



Figura N° 19 Captador Solar Plano

- **Captador de tubos de vacío:** es dispositivo consiste en una superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío. Son mucho más eficientes que los captadores planos por su forma cilíndrica que hace recibir siempre los rayos perpendicularmente. Existen tres tipos:
 - Flujo directo: el fluido circula por los tubos expuestos a la radiación solar calentándose a lo largo del recorrido son de operación similar a los captadores planos.
 - Flujo indirecto o Heat pipe: el calor evapora el fluido en un extremo del tubo ascendiendo hasta un intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo; donde es enfriado condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal.
 - Flujo indirecto sin Heat pipe: La diferencia con el anterior es que es construido al 100% con cristal de borosilicato, evitando la utilización de cobre, por lo que abarata aún más sus costes, además eleva el rendimiento un 30% con respecto a los tubos de vacío con Heat-Pipe.



Figura N° 20 Captador de Tubos de Vacío

- **Concentrador solar:** es un tipo de captador solar capaz de concentrar la radiación solar en una área reducida lo que incrementa la intensidad energética. Este sistema con capaces de calentar los fluidos a alta temperatura. Los principales concentradores solares son :
 - Concentrador cilíndrico parabólico: consiste en un reflector parabólico lineal que concentra la radiación solar sobre un receptor posicionado a lo largo de la línea focal del reflector, a través del cual circula el fluido de trabajo. El Concentrador puede tener superficie continua o segmentada como son el caso de los lentes Fresnel.

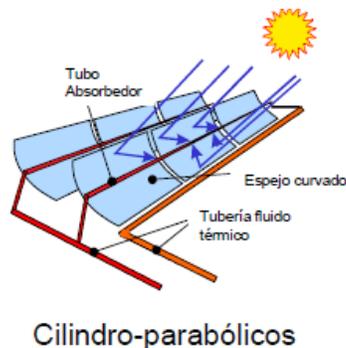


Figura N° 21 Concentrador solar cilíndrico parabólico

- Concentrador plano Fresnel: consiste en un reflector plano lineal segmentado que concentra la radiación solar sobre un receptor posicionado a lo largo de la línea focal del reflector, a través del cual circula el fluido de trabajo

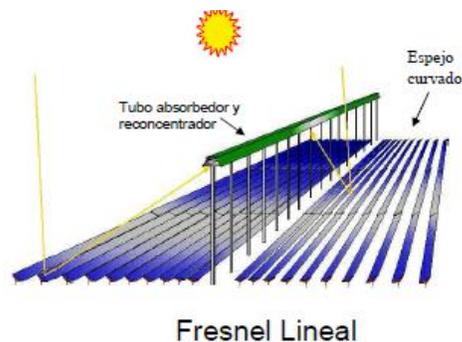


Figura N° 22 Concentrador Plano Fresnel

- Concentrador puntual: está formado por una superficie de revolución reflectora que concentra la radiación solar sobre un punto focal en el que se encuentra el receptor de calor

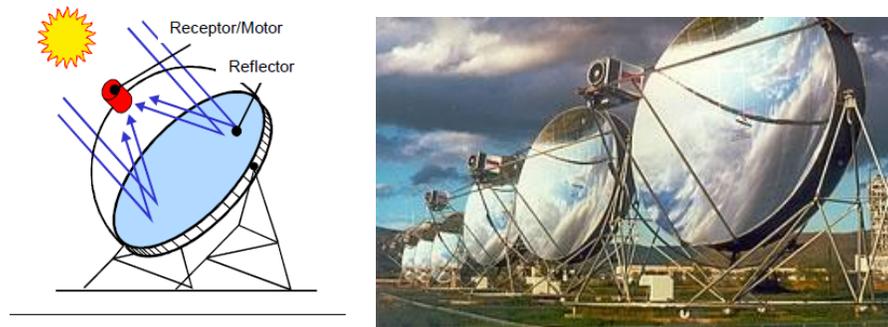


Figura N° 23 Concentrador puntual

- Concentradores con receptor central, consiste de un conjunto de reflectores (helióstatos) con capacidad de seguimiento en dos ejes, los que concentran la luz del sol sobre un receptor central instalado en una torre.

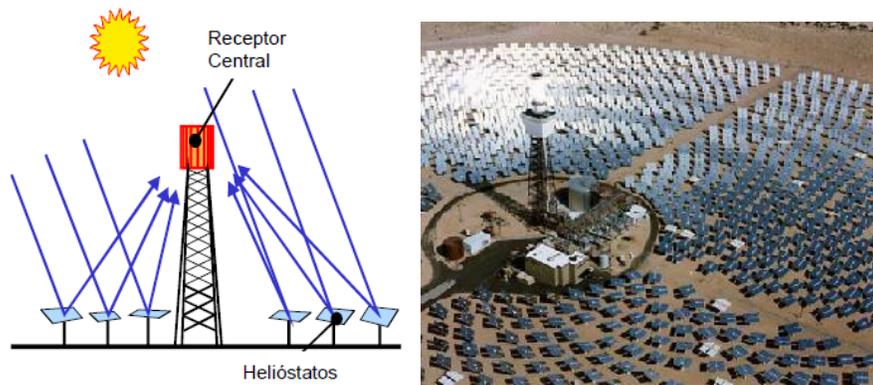


Figura N° 24 Concentradores con receptor central

2.2.2.2 ENERGIA EOLICA

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

La energía eólica tiene su fundamento en la posibilidad de aprovechar la fuerza cinética que posee las corrientes de aire y utilizarlas para mover las palas, las cuales están unidas al rotor. El principio aerodinámico, por el cual las palas giran es similar al que hace que los aviones vuelen; según este principio, el aire que es obligado a fluir por las caras superior e inferior de una placa o perfil inclinado genera una diferencia de presiones entre ambas caras, dando origen a una fuerza resultante que actúa sobre el perfil obligándolo a girar.

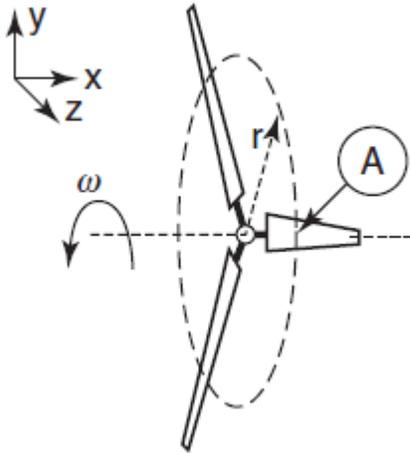


Figura N° 25 Representacion de funcionamiento de un aerogenerador

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente producir electricidad mediante aerogeneradores, conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Durante el año 2012, se adicionaron mas de 45 GW de energia electrica suministrada a traves de tecnologia eolica incrementando a nivel mundial la capacidad hasta un valor de 283 GW. Los principales paises que utilizan la energia eolica se encuentran China, Estados Unidos los cuales poseen el 60% de la capacidad instalada a nivel mundial, seguidos por Alemania, India y el Reino Unido. En la Figura 26 puede observarse los 10 paises con mayor capacidad instalada en el mundo.

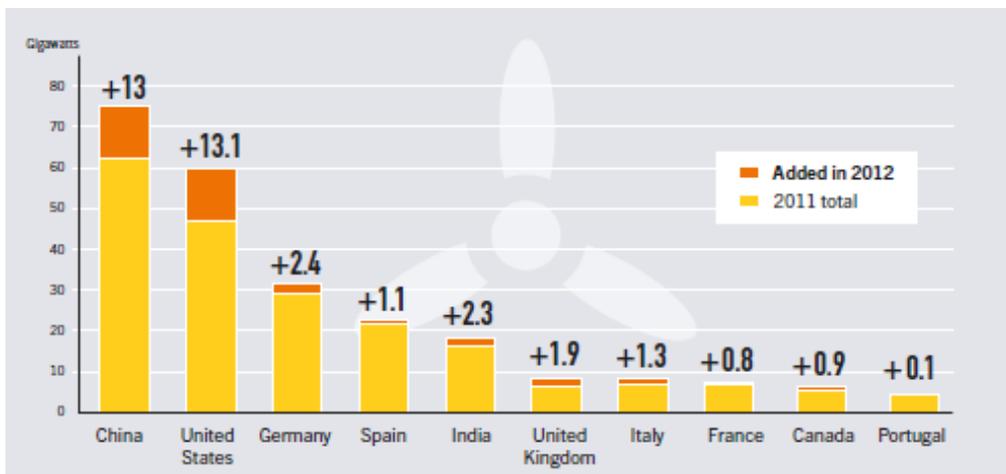


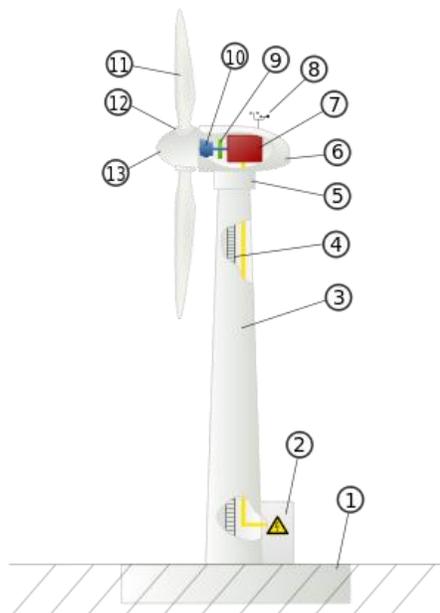
Figura N° 26 Grafica de capacidad instalada de generacion eolica en el mundo.

TIPOS DE MAQUINAS EOLICAS

Las maquinas utilizadas para la generacion de energia electrica por medio del uso de la corrientes de aire son denominados aerogeneradores. Existen diferentes tipos de aerogeneradores los cuales son clasificados dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador utilizado, etc.

Las principales partes que conforman los aerogeneradores son el

- Rotor y sus palas las cuales son utilizadas para transformar la energía cinética del viento,
- La góndola que sirve de alojamiento para los elementos mecánicos y eléctricos
- Caja de engranajes o multiplicadora que transforman la baja velocidad del eje del rotor en alta velocidad de rotación en el eje del generador eléctrico.
- Generador: convierte la energía mecánica en eléctrica.
- La torre: que es utilizada para colocar el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad y para permitir el giro de las palas
- Sistema de control: controla la operación y orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.



Esquema de una turbina eólica:

1. Suelo
2. Conexión a la red eléctrica
3. Torre de contención
4. Escalera de acceso
5. Sistema de orientación
6. Góndola
7. Generador
8. Anemómetro
9. Freno
10. Transmisión
11. Palas
12. Inclinación de la pala hacia la derecha
13. Buje
14. Borde de ataque
15. Borde de salida

Figura N° 27 Esquema de representación de componentes de un aerogenerador horizontal.

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados dependiendo de la los denominados parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Se acostumbra clasificar las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, pudiéndolos dividir en dos categorías principales:

- a) aerogeneradores de eje horizontal: se caracterizan por tener su eje de rotación paralelo a la dirección del viento.
- b) aerogeneradores de eje vertical: el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento

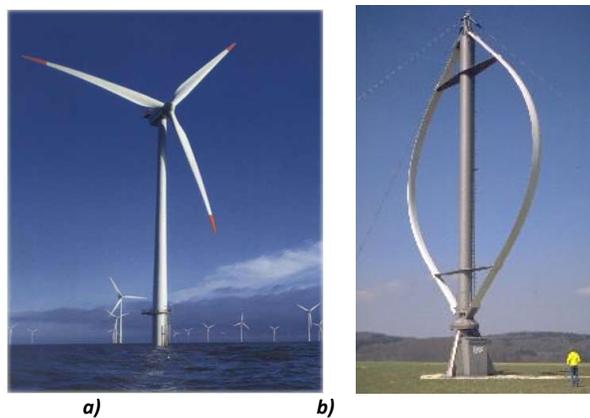


Figura N° 28 Tipos de aerogeneradores a) Horizontal b) Vertical

La potencia que puede generar un aerogenerador estará determinada por dos factores críticos el primero de ellos la velocidad del viento el cual esta determinado por el area geográfica y la rugosidad del area y la segunda es el area de barrido de las palas el cual esta determinado por la longitud de las mismas.

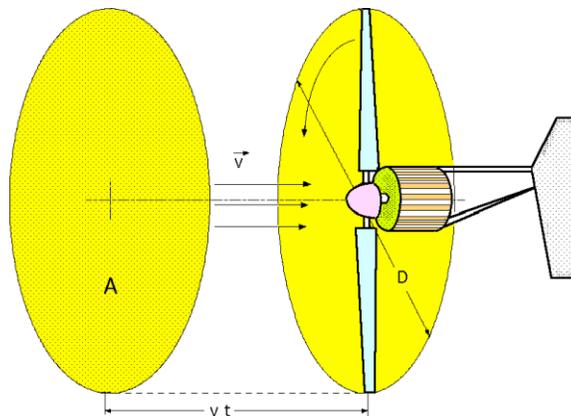


Figura N° 29 Representacion esquematica de variables que definen potencia de aerogenerador.

2.2.3 ENERGIA SOLAR Y EOLICA EN EL SALVADOR

En el año de 2005 dentro del marco del proyecto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) se realizo el trabajo de investigación denominado Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador¹⁷ el cual tenia por objetivos entre otros evidenciar la abundancia de radiación solar y areas de potencial eolico con la que cuenta la mayor parte del territorio nacional, durante los diferentes meses del año, y potenciar su aprovechamiento, asi como facilitar la identificación de las zonas geográficas con potencial solar y eólico que permitan evaluar la factibilidad de zonas especificas para proyectos a pequeña y gran escala.

Como resultado de esta investigacion se logro establecer los diferentes mapas de radiacion solar, horas de Sol, brillo Solar y potencial eolico a lo largo de todo el territorio salvadoreño, logrando elaborar modelos a partir de los datos que fueron analizados. Según la informacion elaborada se permitio establecer que los valores minimos de irradiancia en El Salvador son de 4.2 - 4.4 KWh/m²/dia y obteniendo zonas de irradiancia en un rango de 5.17-5.4 KWh/m²/dia con valores de horas de Sol de hasta 8.2 – 8.4 horas diarias.

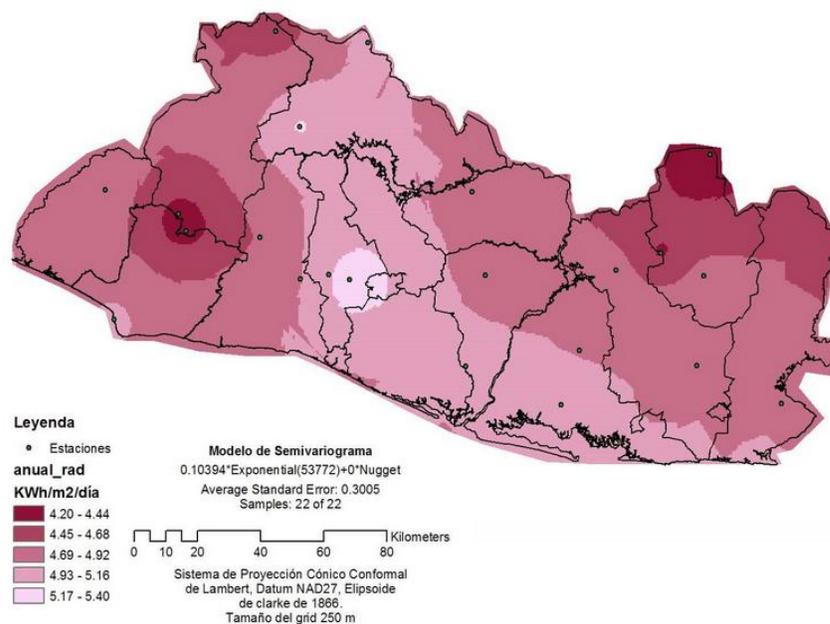


Figura N° 30 Mapa de irradiancia solar anual promedio - Proyecto SWERA

17 Ayala, M; Sanchez,I; Escalante,A & Marroquin,W (2005) *Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador* Recuperado de: http://cef.uca.edu.sv/descargables/proyectos/UCASolarAssessment_es_206.pdf

Este estudio permite determinar que en condiciones normales el país recibe un valor aproximado de irradiación solar entre 1533 kWh/m² hasta un valor máximo de 1971 kWh/m² en algunas zonas determinadas; por lo que el uso de los diferentes tipos de aprovechamientos solares son factibles en nuestro país, a partir de un estudio adecuado de las necesidades y tecnologías disponibles para su aprovechamiento. A continuación se muestran algunos ejemplos de aprovechamientos actuales en nuestro país:

Tabla N° 1 Proyectos de aprovechamiento de energía solar en El Salvador¹⁸

Sistemas fotovoltaicos conectados en la red de El Salvador		
Aplicación	Ubicación	Capacidad (kW)
Sitio recreativo	Lago Coatepeque, Sta. Ana	1.63
Escuela Alemana	San Salvador	20
Granja ecológica Santo Domingo	Sto. Tomás, San Salvador	2.48
Oficinas administrativas de CEL	San Salvador	24.57
Oficinas administrativas de FUNDE	San Salvador	2.17
Oficinas administrativas de SEESA	San Salvador	2.17
Residencia privada	San José Villanueva, La Libertad	2.02
Universidad de El Salvador	San Salvador	2.2
Supertienda San Carlos	San Rafael Cedros	6
Universidad Politécnica	San Salvador	0.7
Campamento base de EE. UU.	La Paz	91.0 + 9.0
Bodegas de DIZASA	Santa Tecla	84
Oficinas de la Asamblea Legislativa	San Salvador	7.92
Planta UNITAPE	Ateos	90
TOTAL		344.86
Hotel Intercontinental (Cogeneración solar: calor y electricidad)	San Salvador	108 kWth+21 kWe

Así mismo se elaboraron el mapa eólico del país en donde se evidenció las zonas de mayor potencial eólico, logrando identificar las zonas de mayor potencial se encuentran en la zona nor-oeste y suroeste del país.

¹⁸ Consejo Nacional de Energía de El Salvador Recuperado de: http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=114&Itemid=197

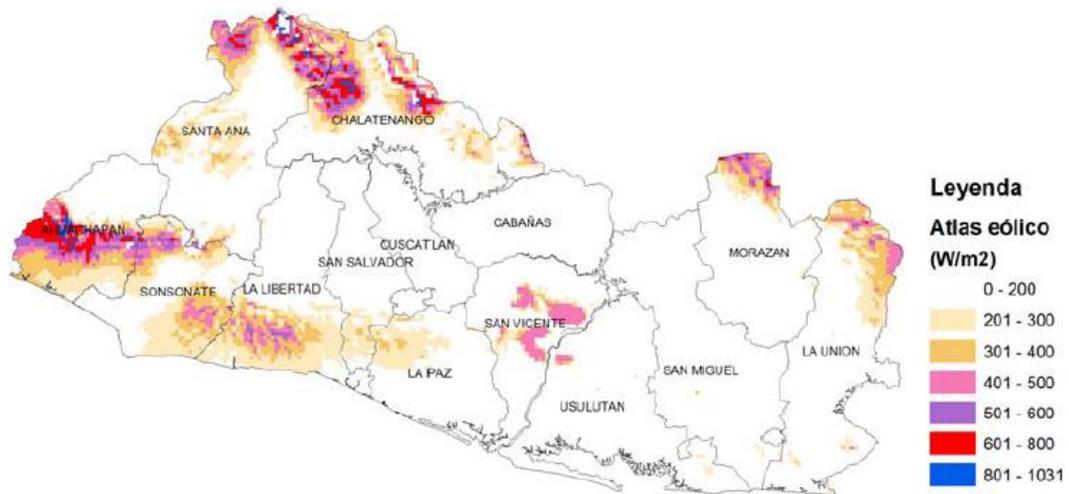


Figura N° 31 Mapa de potencial eólico - Proyecto SWERA

Actualmente La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) es la institución que ha liderado la implementación de proyectos eólicos en El Salvador, teniendo en sus planes dos proyectos de desarrollo a ser puestos en operación en el corto plazo.

Tabla N° 2 Proyectos de aprovechamiento eólico en El Salvador¹⁹

Parques eólicos proyectados		
Ubicación	Velocidad promedio anual del viento a 60 m sobre el nivel del suelo (m/s)	Capacidad planificada (MW)
Metapán	6.43	42
San Julián	5.38	30
TOTAL		72

10 Consejo Nacional de Energía de El Salvador Recuperado de: http://www.cne.gov.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=336&Itemid=294

2.3 SITUACION ENERGETICA ACTUAL

2.3.1 DIAGNOSTICO ENERGETICO

Guevara, R.²⁰ establece que una auditoría energética se considera una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un proceso o sistema que consume energía con el objetivo de comprender la dinámica que esta tiene dentro del sistema bajo estudio.

Este tipo de estudios tienen como objetivo principal identificar los consumos de energía actuales y proponer estrategias de ahorro que permitan optimizar los consumos sin afectar en ningún momento los niveles de producción, mejorando la competitividad y reducción de costos de producción así como una contribución a la conservación de los recursos medio ambientales.

Los estudios de diagnóstico energético se pueden dividir en diferentes categorías dependiendo del alcance y las actividades que se realizan en cada uno de ellos (Guevara, R.²¹). Estos estudios se pueden clasificar en:

- Diagnostico de Primer Nivel: Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación; así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustibles. Este tipo de estudios pretende identificar de manera rápida acciones que se pueden realizar en un plazo de tiempo muy corto y que no impliquen inversiones significativas.
- Diagnostico de Segundo Nivel: Este comprende primordialmente la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos de uso continuo, como son los motores eléctricos y los equipos que éstos accionan, equipos para compresión y bombeo y los que integran el área de servicios auxiliares entre otros. Este tipo de diagnósticos requiere de un análisis más detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos. La información obtenida directamente en campo se compara con la de diseño, a fin de

²⁰ Guevara, R. *Diagnosticos y Racionalizacion de la Energia. Postgrado en Uso Eficiente y Ahorro de Energia*. Descargado el día 2 de Septiembre de 2013 de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/manual_de_auditorias_energeticas_doc.pdf

²¹ Guevara, R. *Diagnosticos y Racionalizacion de la Energia. Postgrado en Uso Eficiente y Ahorro de Energia*. Descargado el día 2 de Septiembre de 2013 de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/manual_de_auditorias_energeticas_doc.pdf

estimar las pérdidas de eficiencia de los equipos contra su eficiencia de diseño. Los proyectos de mejora identificados deben estar fundamentados en la correcta cuantificación de los ahorros que proveerán estos proyectos y alineados a la estrategia económica de la compañía.

- Diagnostico de Tercer Nivel: Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación en contraste que los parámetros bajo los cuales se realizó el diseño de la instalación. Este tipo de análisis requiere el uso de equipo especializado de medición y control y debe contar con la participación del equipo de mantenimiento e ingeniería. En estos diagnósticos se suele utilizar técnicas complementarias de análisis como son el uso de técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar diferentes interrelaciones entre los equipos y procesos; además de que facilitan la evaluación de los efectos de cambio de condiciones de operación y su impacto en el consumo específico de energía. Se requiere para la realización de este análisis información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes, etc. Los proyectos de mejora identificados son considerados para un periodo de implementación de mediano plazo debido a los cambios en el proceso y tecnología recomendados. Debido al costo asociados a los proyectos de mejora los análisis económicos deberán ser más exhaustivos a fin de que estos estén alineados a la estrategia económica de la compañía.

2.3.2 SITUACION ENERGETICA ACTUAL

La empresa de estudio debido a su experiencia en el ramo y sus políticas económicas, medioambientales y responsabilidad social, cuenta actualmente con un programa avanzado de monitoreo interno de sus indicadores energéticos y medio ambientales, lo que ha permitido un análisis de su desempeño energético lo largo del periodo comprendido entre 2008 a el primer semestre de 2013. El sistema que actualmente poseen integra metodologías y programas de mejora continua que pretenden obtener reducción año con año de sus indicadores energéticos y medio ambientales.

En la grafica a continuación se presenta el consumo energético específico de la fábrica durante el periodo de 2008 a 2013, como se muestra a continuación:

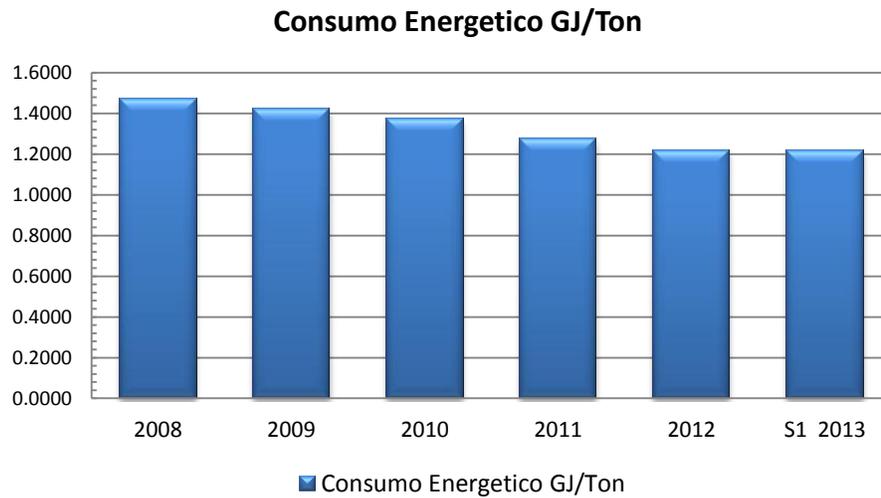


Figura N° 33 Grafica de consumo energetico especifico para el periodo 2008 a 2013

El consumo energético de la fabrica se distribuye en 5 rubros principales, siendo el mayor de ellos el consumo de combustible en el proceso de secado, el cual representa un 76.33%, el segundo es el consumo de Energía Eléctrica que representa un 16.79%, el consumo de combustible en la Caldera representando un 6.56%, el Gas LPG un 0.27% y combustible Diesel representa un 0.05%.

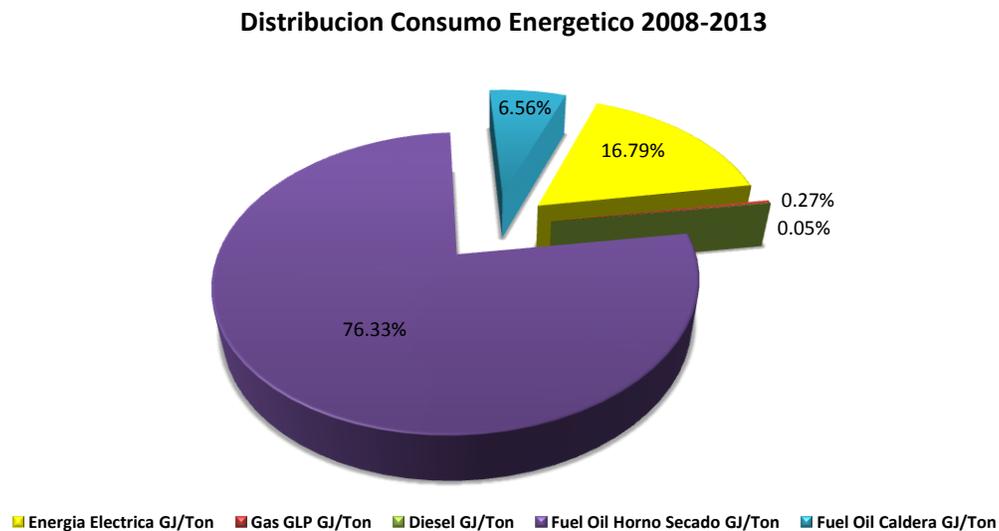


Figura N° 34 Grafica de Distribución de Consumo Energetico Especifico para el periodo 2008 a 2013

En la grafica N° 29 se observa la matriz de consumo energético a lo largo del periodo de 2008 a 2013, como se menciona anteriormente la fabrica posee un programa interno que monitorea los consumos energéticos y plantea proyectos de reducción de energía año con año, por lo cual puede observarse la reducción de los mismos durante el periodo que se esta analizando. Los consumos de energía eléctrica y fuel oil están relacionados con el proceso productivo en tanto el gas LPG es utilizado para montacargas y el Diesel para equipos de generación eléctrica de emergencia.

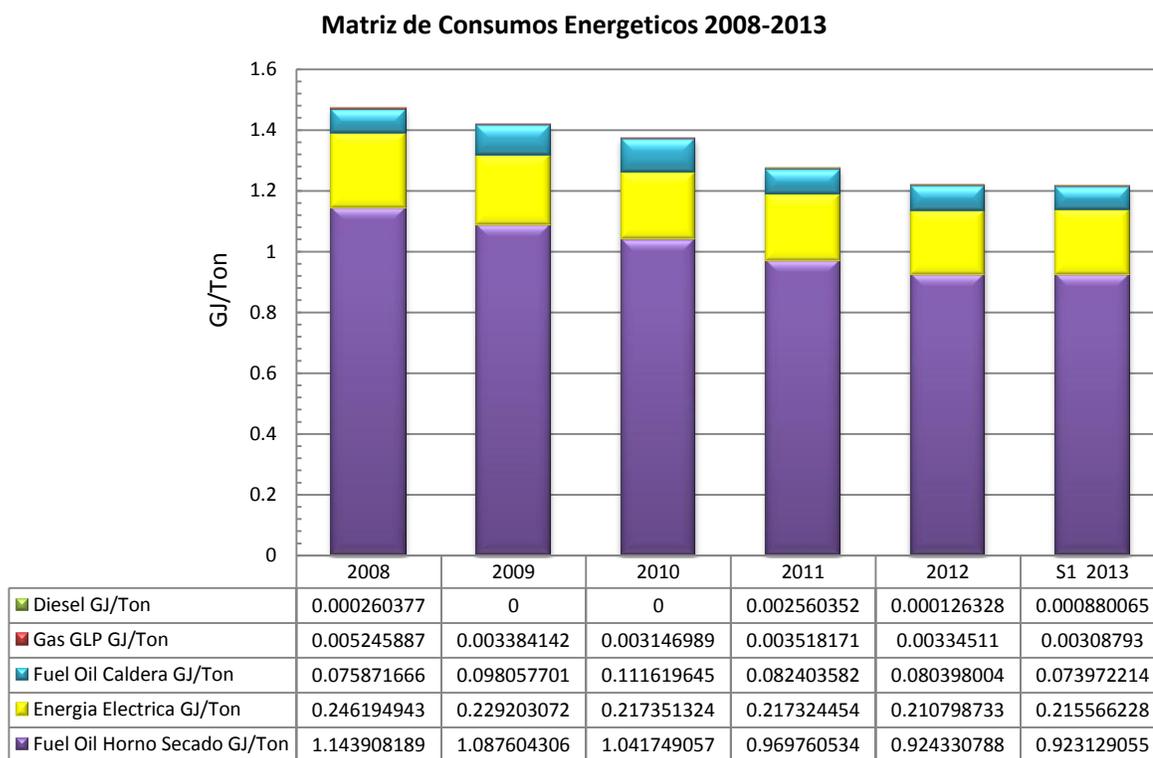


Figura N° 35 Grafica de Matriz de Consumo Energetico Especifico para el periodo 2008 a 2013

2.3.3 CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

El consumo de energia electrica de la planta de fabricacion de detergente esta determinado en gran medida por el tipo de proceso en utilizado ya que este utiliza equipos de los equipos de alto consumo como son los ventiladores del horno de secado, compresores, bombas de alta presion, sistemas de transporte, maquinas empacadoras, etc.

En la figura N° 30 puede observarse la distribucion del consumo energetico especifico por area de la fabrica, cabe destacar que asi como se menciona esta area es la de mayor consumo

energetico debido a que la presencia de los equipos de gran consumo mencionados anteriormente, en cambio en el area de oficina el consumo es debido basicamente a equipos de computo, luminarias, equipos de aire acondicionado.

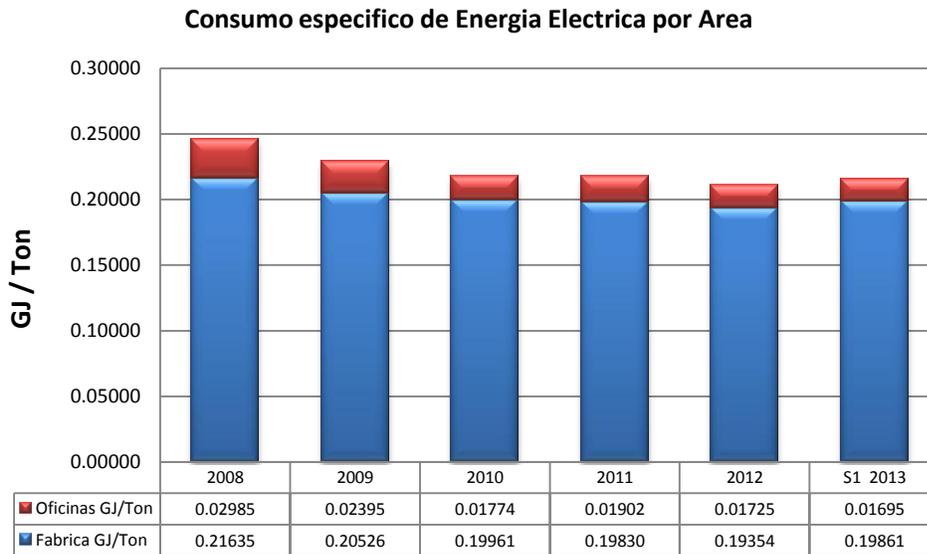


Figura N° 36 Grafica de Consumo especifico de Energia Electrica por Area

Entre las acciones que se han realizado por parte del equipo de eficiencia energetica de la fabrica se pueden mencionar que en años recientes ha realizado modernizacion de sus equipos realizando un cambio de los motores de alto consumo por motores de alta eficiencia y sus sistemas de iluminación fueron actualizados a tubos incandescentes T5 y en algunos sectores especificos se han instalado luminarias LED.

2.3.3.1 CONSUMO ELECTRICO AREA DE OFICINAS

El consumo eléctrico de oficinas es debido a equipos de computo, luminarias, equipos de aire acondicionado y maquinaria industrial de bajo consumo utilizado en el taller de mantenimiento.

En la tabla a continuación se muestra el inventario de equipos de iluminación identificado en areas de oficina centrales y mantenimiento.

Tabla 3 Equipos de iluminación en area de oficinas y laboratorio

Tipo de Luminaria	Horas diarias	Dias por mes	Horas al mes	Numero Luminarias	Numero lámparas	Consumo W-h
2 Tubos en U incandescente	9	20	180	12	24	32
3 Tubos incandescente	9	20	180	35	105	
4 Tubos incandescente	12	25	300	10	40	
Total			660	57	169	

2.3.4 CONSUMO DE ENERGIA TERMICA

El consumo de energia termica esta compuesto por los diferentes tipos de combustibles utilizados en la fabrica a traves de los diferentes procesos y actividades que en ella se realizan. Los tipos de combustibles utilizados son Fuel Oil N°6, Gas Propano LPG, Diesel. El consumo de Fuel Oil esta distribuido entre el proceso de secado al cual esta destinado el 93% de este, para la generacion del aire caliente que se utilizara para secar el slurry y la generacion de vapor la cual representa el 7%.

El vapor es utilizado como sistema de atomizado del Fuel Oil en el horno de secado y como medio de calentamiento de todos los sistema que requieren un control de temperatura siendo los principales el reactor, el tanque madurador , y los sistemas de calentamiento de agua. El Gas LPG es utilizado principalmente como combustible para los sistema de manejo de cargas pesadas (montacargas) y el Diesel para el sistema de generacion electrica de emergencia. En la figura N°14 se observa el consumo especifico de energia termico de la fabrica y su distribucion en los diferentes tipos de combustibles utilizados.

Consumo específico de Energía Termica

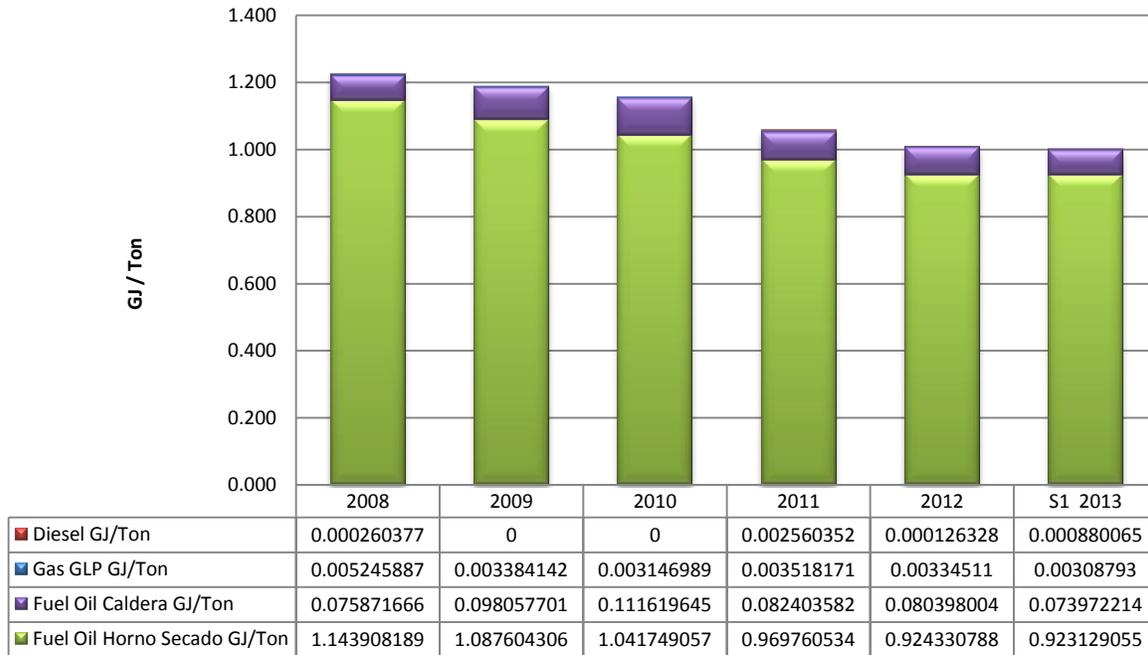


Figura N° 37 Grafica de Consumo específico de Energía Termica

2.3.5 OPORTUNIDADES DE MEJORA

La fábrica actualmente debido a su programa de mejora continua ha desarrollado proyectos de reducción de consumo energético, los cuales han incluido diversos temas entre los que podemos mencionar:

- Cambio de motores por motores de alta eficiencia: se realizó el cambio de todos los motores de alto consumo por motores de alta eficiencia.
- Cambio de luminarias: se realizó el cambio de todas las luminarias incandescentes por luminarias T5, las luces exteriores e interiores de haluros metálicos fueron reemplazadas por luces LED
- Mejoras de proceso: son proyectos que han permitido modificar las condiciones de proceso a fin de poder incrementar la eficiencia energética del proceso y reducir su consumo de combustible en el proceso de secado.

Por lo cual dichas recomendaciones ya fueron adoptadas de antemano por la fábrica productora de detergentes, sin embargo a pesar de estos proyectos se han identificado algunas oportu-

tunidades adicionales en las cuales se pueden implementar sistemas que utilizan energías renovables a fin de poder minimizar los consumos energéticos actuales.

Las oportunidades identificadas son:

- *Precalentamiento de Agua para caldera:* actualmente el sistema de calentamiento de agua es realizado a través de sistemas de precalentamiento por medio de vapor. En el se utiliza inyección directa de vapor a 160 psi a fin de precalentar el agua desde temperatura ambiente 30°C hasta 80°C, después de la cual será utilizada en la generación de vapor.
- *Suministro de Energía Eléctrica para sistemas de iluminación de oficinas y exteriores:* actualmente se utiliza el suministro de energía eléctrica ordinario para poder iluminar las áreas. Se propone un sistema fotovoltaico que provea la energía necesaria para los sistemas de luminarias en oficinas.
- *Recuperación de energía térmica de gases de combustión de caldera:* actualmente los gases de combustión de la caldera son liberados al ambiente con una temperatura de 257 °C, por lo que se propone un sistema de intercambiadores de calor que permita recuperar parte de esa energía

2.3.5.1 PRECALENTAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA

El agua que es utilizada para la generación de vapor, es una agua previamente suavizada por medio de equipos de intercambio iónico y que además es precalentada para su uso directo en la caldera. El sistema actual de precalentamiento de agua consiste en un sistema de calentamiento indirecto en el cual el agua suavizada es incorporada en un tanque el cual posee en su interior un serpentín. El proceso de calentamiento se realiza por medio del suministro de vapor a 160 psi a través de dicho serpentín el cual calienta el agua tratada desde la temperatura ambiente hasta una temperatura de 80°C, la cual es posteriormente enviada hacia la caldera a fin de generar el vapor requerido.



Figura N° 38 Esquema de intercambiador de serpentín

La caldera actual posee una capacidad de 150 BHP (Boiler Horse Power), la cual tiene la capacidad de generar aproximadamente 2,350 Kg vap/h. Debido a que el agua utilizada no se encuentra a la temperatura de vaporización parte de la energía consumida es utilizada para el calentamiento sensible del agua hasta dicha temperatura por lo que se reduce la capacidad de generación de vapor. El consumo de energía utilizada para el calentamiento sensible en la generación de vapor puede definirse de la siguiente manera:

Tabla N° 4 Consumo de energía para precalentamiento agua de caldera

Actividad	Consumo Energía BTU / h
Precalentamiento de agua 30°C a 80°C	442,926.44
Calentamiento sensible 80°C a 100°C	186,495.34
Total	629,421.78

Esta energía consumida para el calentamiento del agua tratada significa en términos económicos un gasto de 5 gal/h de combustible por cada hora de trabajo de la caldera; esto representaría un consumo de 19,000 gal/año y tendría un impacto de 203.4 Ton de CO₂/año. Por lo anterior se propone el uso de un sistema solar térmico que permita el calentamiento del agua tratada desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de 85°C a fin de reducir el desperdicio de combustible en un aproximado de 40-45%.

2.3.5.2 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE OFICINAS Y EXTERIORES

El área que se ha considerado dentro de esta propuesta está conformada por el área de oficinas administrativas, laboratorio de calidad. En esta área se encuentran un total de 45 luminarias incandescentes que son utilizadas un promedio de 9 horas en el día.

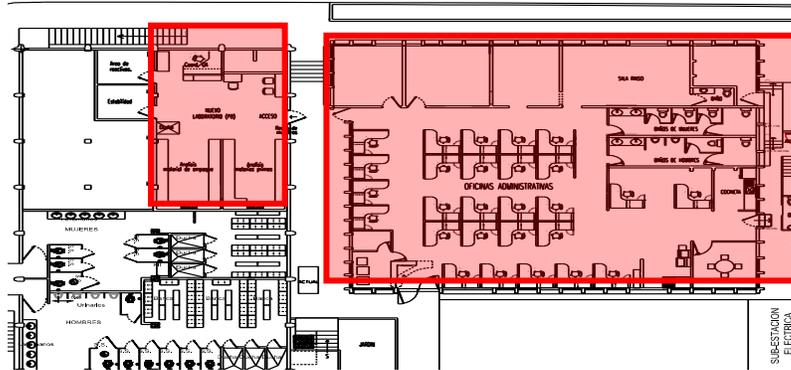


Figura N° 39 Esquema de areas contempladas en propuesta de suministro de energia a traves de paneles fotovoltaicos

El consumo energetico estimado del sistema de iluminacion actual y el sistema de computo, se puede observar en las siguientes tablas:

Tabla N° 5 Consumo de energia para iluminacion de area de oficinas y laboratorio de calidad

Tipo de Luminaria	Horas diarias	Días por mes	Horas al mes	Numero Luminarias	Numero lámparas	Consumo W-h	Consumo Projectado KW-h/día	Consumo Projectado KW-h/mes
2 Tubos en U incandescente	9	20	180	12	24	32	6.912	138.24
3 Tubos incandescente	9	20	180	35	105		30.24	604.8
4 Tubos incandescente	12	25	300	10	40		15.36	384
Total			660	57	169		52.512	1127.04

Tabla N° 6 Consumo de energia para equipos de computo en area de oficinas y laboratorio de calidad

Tipo de Equipo	Horas diarias	Días por mes	Horas al mes	Numero Computadoras	Consumo W-h	Consumo Projectado KW-h/día	Consumo Projectado KW-h/mes
Equipos de Computo	12	25	300	40	250	120	3000
Total				40		120	3000

El costo del consumo energetico se ha estimado tomando un costo de KW-h promedio de \$0.20 /KW-h. El consolidado del costo de energia electrica se puede observar en la Tabla N°4

Tabla N° 7 Consumo de energía total en área de oficinas y laboratorio de calidad

Tipo de equipo	Consumo Proyectado KW-h/día	Consumo Proyectado KW-h/mes	Costo Proyectado \$ / día	Costo Proyectado \$ / mes	Costo Proyectado \$ / año
Luminarias	52.512	1127.04	\$ 10.50	\$ 225.41	\$ 2,704.90
Equipos de computo	120	3000	\$ 24.00	\$ 600.00	\$ 7,200.00
Total	172.512	4127.04	\$ 34.50	\$ 825.41	\$ 9,904.90

Por lo anterior se propone la instalacion de un sistema fotovoltaico de una potencia diaria de 300 KW-h/día a fin de suplir con las necesidades del sistema de iluminacion y sistemas de computo.

2.3.6 DATOS UBICACIÓN Y CLIMÁTICOS

Para la determinacion del tipo adecuado de energia renovable que puede ser utilizada es necesario realizar la consulta de las condiciones climaticas que son vigentes en de los calculos de diseño se ha establecido la ubicación geográfica de la Planta de Fabricacion de Detergente en las siguiente coordenadas latitud norte 13° 42' 9.36" (13.7026°), longitud oeste 89° 10' 17.04" (-89.1714°).

Los datos climaticos promedio mensual fueron estimados a partir del uso del "Surface meteorology and Solar Energy" (release 6.0) proporcionado por la NASA's Earth Science Enterprise Program a traves de su pagina web <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> ; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 8 Datos de climaticos de la Planta de Detergente

Mes	Irradiancia horizontal promedio diaria mensual KWh/m2/día	Irradiancia horizontal promedio diaria mensual W/m2*día	Horas de sol /día	T Ambiental [°C]	T Agua de Red [°C]	Velocidad del viento [m/s] @ 10 m
Enero	5.810	509.649	11.400	23.600	20.600	5.1
Febrero	6.430	549.573	11.700	24.200	21.200	4.8
Marzo	6.730	560.833	12.000	24.600	21.600	4.3
Abril	6.600	532.258	12.400	25.000	22.000	4.0
Mayo	5.890	463.780	12.700	24.400	21.400	3.6
Junio	5.730	444.186	12.900	23.900	20.900	3.4
Julio	6.200	484.375	12.800	24.200	21.200	3.8
Agosto	6.170	493.600	12.500	24.100	21.100	3.6
Septiembre	5.350	438.525	12.200	23.400	20.400	3.1
Octubre	5.470	463.559	11.800	23.400	20.400	3.9
Noviembre	5.590	486.087	11.500	23.700	20.700	4.3
Diciembre	5.540	490.265	11.300	23.700	20.700	4.8
Promedio anual	5.959	493.058	12.100	24.017	21.017	4.06

Por medio de los datos obtenidos nos permite determinar el tipo de energia renovable que nos permitira obtener los mejores resultados en base al tipo de aplicación que se realizará.

Utilizando los mapas de irradiancia solar y el mapa eolico generado a partir del proyecto SWERA (ver figuras30 y 31) y la ubicación geografica de la planta nos es posible determinar que este se encuentra en la zona mas alta de irradiancia solar ya que su valor promedio anual diaria es de 5.96 KWh/m²/día y la zona de menor potencial eolico en el pais con un valor de velocidad promedio de 4.06 m/s.

Debido a los principios anteriore y en base a los requerimientos establecidos de generacion electrica y generacion de termica nos es posible determinar que el tipo de energia que nos permitira obtener mejores resultados es la energia de tipo solar bajo las ramas especificas de fotovoltaica para la generacion electrica y solartermica para el proceso de precaletamiento del agua requerida.

2.4 DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO

2.4.1 DATOS CLIMÁTICOS

Para el diseño de los sistemas fotovoltaicos y solar termico se utilizaran los datos de irradiancia obtenidos en el capitulo anterior que fueron estimados a partir del uso del “Surface meteorology and Solar Energy” (release 6.0) proporcionado por la NASA's Earth Science Enterprise Program a traves de su pagina web <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> ; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 9 Datos de irradiancia horizontal solar de la Planta de Detergente

Mes	Irradiancia horizontal promedio diaria mensual KWh/m2/día	Irradiancia horizontal promedio diaria mensual W/m2*día	Horas de sol /día	T Ambiental [°C]	T Agua de Red [°C]
Enero	5.810	509.649	11.400	23.600	20.600
Febrero	6.430	549.573	11.700	24.200	21.200
Marzo	6.730	560.833	12.000	24.600	21.600
Abril	6.600	532.258	12.400	25.000	22.000
Mayo	5.890	463.780	12.700	24.400	21.400
Junio	5.730	444.186	12.900	23.900	20.900
Julio	6.200	484.375	12.800	24.200	21.200
Agosto	6.170	493.600	12.500	24.100	21.100
Septiembre	5.350	438.525	12.200	23.400	20.400
Octubre	5.470	463.559	11.800	23.400	20.400
Noviembre	5.590	486.087	11.500	23.700	20.700
Diciembre	5.540	490.265	11.300	23.700	20.700
Promedio anual	5.959	493.058	12.100	24.017	21.017

A fin de poder utilizar los datos de irradiancia anteriores es necesario convertirlos a datos de irradiancia de un plano inclinado; para lo cual se utilizaran los Coeficientes de radiación

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\text{Angulo de Incidencia de superficie horizontal}}{\text{Angulo de incidencia de superficie inclinada}} \quad \text{Ec 3}$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(\phi-\beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \text{Sen}(\phi-\beta) \cdot \text{Sen} \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \text{Sen} \phi \cdot \text{Sen} \delta} \quad \text{Ec 4}$$

Siendo:

- R_b = Coeficiente de Radiación
- ϕ =Latitud
- β = Inclinacion
- ω = angulo horario maximo

- δ = declinacion de dia caracteristico

La inclinacion que se utilizara sera de 13.7026° , a fin de que la irradiancia solar sea perpendicular a la superficie obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla N°2 :

Tabla 10 Datos de irradiancia solar inclinada de la Planta de Detergente

Mes	Día característico	δ día característico (grados)	ω 's	ϕ - β	Rb	Irradiancia inclinada promedio diaria mensual W/m2*día	Irradiancia inclinada promedio diaria mensual KWh/m2*día
Enero	17.00	-20.840	1.000	0.000	1.135	578.258	6.592
Febrero	14.00	-13.320	1.000	0.000	1.092	600.333	7.024
Marzo	15.00	-2.400	1.000	0.000	1.040	583.224	6.999
Abril	15.00	9.460	1.000	0.000	0.989	526.459	6.528
Mayo	15.00	18.780	1.000	0.000	0.950	440.813	5.598
Junio	10.00	23.040	1.000	0.000	0.933	414.237	5.344
Julio	18.00	21.110	1.000	0.000	0.941	455.666	5.833
Agosto	18.00	13.280	1.000	0.000	0.973	480.410	6.005
Septiembre	18.00	1.970	1.000	0.000	1.021	447.617	5.461
Octubre	19.00	-9.840	1.000	0.000	1.075	498.212	5.879
Noviembre	18.00	-19.020	1.000	0.000	1.124	546.246	6.282
Diciembre	13.00	-23.120	1.000	0.000	1.149	563.273	6.365
Promedio anual						511.229	6.159

2.4.2 DISEÑO SOLAR TÉRMICO

2.4.2.1 MÉTODO F-CHART

El método F- Chart es una herramienta para estimar el desempeño promedio a largo plazo de un sistema solar térmico. También es usado para evaluar el comportamiento de colectores solares. El método fue desarrollado por Sandfor Klein en 1976, como resultado de su estudio acerca de los procesos de diseño para sistemas solares- térmicos. La precisión del método fue analizada por la Universidad de Colorado, comparando el desempeño real de un sistema solar- térmico con el desempeño predicho por el método, y, obteniendo un error máximo del 5%, clasificando al método entre los de alto grado de fiabilidad. El objetivo del método es obtener la *curva f* y estimar el desempeño de un colector solar. La *curva f* representa la fracción de carga calorífica mensual transformada a partir de energía solar, y, está definida en función de

dos parámetros: la energía absorbida (ganancia) y la pérdida por reflexión en el colector solar. El método F- Chart se describe en el siguiente algoritmo:

- Estimación de la carga calorífica.
- Determinación de la energía absorbida y perdida en el colector.
- Cálculo de la ganancia total.
- Cálculo de pérdidas totales.
- Gráfica de f.
- Determinación de cobertura solar mensual.
- Determinación de cobertura solar anual
- Tablas de desempeño.

2.4.2.1.1 ESTIMACIÓN DE LA CARGA CALORÍFICA

Se define la carga calorífica (Q_a) como la cantidad de calor mensual que se necesita para calentar agua. A partir de los datos de temperatura de la red y del consumo diario de ACS del sistema de generación de vapor utilizado en la planta, se calcula la energía térmica Q_a de ACS necesaria para elevar la temperatura del agua de la red T_r hasta la temperatura de suministro T_{ac} , utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_q = C_e * C * N * (T_{ac} - T_r) \text{ Ec. 5}$$

Dónde:

- Q_a : Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (kJ/mes)
- C_e : Calor específico (agua: 4.187 kJ/kg°C)
- C : Consumo diario de A.C.S. (l /día)
- T_{ac} : Temperatura del agua caliente de acumulación (°C),
- T_r : Temperatura del agua de red (°C)
- N : Número de días del mes.

El consumo de agua diario utilizado en la generación de vapor es de 14782.609 litros/día, con un consumo por hora de 616 litros/h, para efectos del diseño de este sistema considera únicamente la cantidad de agua consumida durante 12 horas por lo cual se considera un consumo

de agua de 7392 litros/día con una temperatura de 80°C, esto en base a datos proporcionados por la planta de fabricación de detergente. Utilizando la ecuación N°3 se procede a determinar la carga colorifica mensual como se muestra en la Tabla N°11 a continuación:

Tabla N° 11 Estimación de la carga calorífica mensual de sistema solartermico

Mes	Cp [kJ/kg °C]	N [días/mes]	Consumo ACS [l/día]	T Suministro [°C]	T Red [°C]	Qa [kJ/mes]
Enero	4.187	31	7391.30435	80	20.6	56986526.3
Febrero	4.187	28	7391.30435	80	21.2	50951785.0
Marzo	4.187	31	7391.30435	80	21.6	56027157.2
Abril	4.187	30	7391.30435	80	22	53848460.9
Mayo	4.187	31	7391.30435	80	21.4	56219031.0
Junio	4.187	30	7391.30435	80	20.9	54869724.8
Julio	4.187	31	7391.30435	80	21.2	56410904.9
Agosto	4.187	31	7391.30435	80	21.1	56506841.8
Septiembre	4.187	30	7391.30435	80	20.4	55333935.7
Octubre	4.187	31	7391.30435	80	20.4	57178400.2
Noviembre	4.187	30	7391.30435	80	20.7	55055409.1
Diciembre	4.187	31	7391.30435	80	20.7	56890589.4

2.4.2.1.2 DETERMINACIÓN DE ENERGÍA ABSORBIDA y PERDIDA POR EL COLECTOR

La energía que absorbe el colector (E_a), la cual es transformada en calor se calcula a través de la ecuación

$$E_a = S_c * F'_r(\tau\alpha) * R_1 * N \quad \text{Ec 6}$$

Donde :

- S_c : Superficie del captador (m²).
- $F'_r(\tau\alpha)$: Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \left(\frac{F'_r}{F_r} \right) \quad \text{Ec 5}$$

donde:

- $F_r(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.
- $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0.96 (superficie transparente sencilla) o 0.94 (superficie transparente doble).

- F_r' / F_r = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.
- R_1 : Radiación diaria media mensual incidente en la superficie de captación del colector solar (KJ/m2).
- N: Número de días del mes.

Para determinar el valor $F_r(\tau\alpha)_n$ es necesaria la grafica de eficiencia del captador, ya que este valor está representado por el intercepto de la curva de eficiencia con el eje Y. Para este análisis se han seleccionado el colector solar Solahart BT, el posee una eficiencia de 0.801, un valor de F_rUL de 3.858 W/m2 -°K y un area de 1.86 m² por colector. Conociendo esto se procede a determinar el valor de $F_r(\tau\alpha)$:

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \left(\frac{F_r'}{F_r} \right) = 0.801 * 0.96 * 0.95 = 0.730512$$

Para la representación de los cálculos se considera un total de 100 colectores solares que proporcionarían un área de 186 m2, obteniendo los siguientes datos:

Tabla N° 12 Determinación de energía mensual absorbida por el colector

Mes	Irradiancia Horizontal [kWh/m2 dia]	Irradiancia Plano Inclinado [kWh/m2 dia]	Sc [m2]	$F_r'(\tau\alpha)$	N [días/mes]	Ea [kJ/mes]
Enero	5.810	6.592	186.000	0.731	31.000	99961121.223
Febrero	6.430	7.024	186.000	0.731	28.000	96200893.862
Marzo	6.730	6.999	186.000	0.731	31.000	106125864.342
Abril	6.600	6.528	186.000	0.731	30.000	95796675.640
Mayo	5.890	5.598	186.000	0.731	31.000	84891244.954
Junio	5.730	5.344	186.000	0.731	30.000	78415619.256
Julio	6.200	5.833	186.000	0.731	31.000	88442468.233
Agosto	6.170	6.005	186.000	0.731	31.000	91059728.464
Septiembre	5.350	5.461	186.000	0.731	30.000	80136477.858
Octubre	5.470	5.879	186.000	0.731	31.000	89145835.282
Noviembre	5.590	6.282	186.000	0.731	30.000	92182845.127
Diciembre	5.540	6.365	186.000	0.731	31.000	96516634.302
Promedio	5.959	6.159	186.000	0.731	30.417	91572950.712

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c F'_r U_L (100 - t_a) \Delta t K_1 K_2 \quad \text{Ec 7}$$

donde:

- S_c = Superficie del captador (m²)
- $F'_r U_L = F_r U_L (F'_r / F_r)$ donde:
 - $F_r U_L$ = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)
- t_a = Temperatura media mensual del ambiente
- Δt = Período de tiempo considerado en segundos (s)
- K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:
 - $K_1 = [\text{kg acumulación} / (75 S_c)]^{-0,25}$
 - $37,5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m}^2 \text{ captador}) < 300$
- K_2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:
 - $K_2 = 11,6 + 1,18 t_{ac} + 3,86 t_r - 2,32 t_a / (100 - t_a) \quad \text{Ec 8}$

donde:

- t_{ac} = Temperatura mínima del A.C.S.
- t_r = Temperatura del agua de red
- t_a = Temperatura media mensual del ambiente
-

A partir de los datos de $F_r U_L = 3.858 \text{ W/m}^2\text{°K}$ y $(F'_r / F_r) = 0.95$ de ese modo obtenemos:

$$F'_r U_L = F_r U_L * \frac{F'_r}{F_r} = 3.858 * 0.95 = 3.6651 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Asi mismo asumiendo una densidad del agua de 1Kg/l y un volumen de acumulación de 300 litros calculamos el valor de K_1

$$K_1 = \left(\frac{\text{Kg acumulación}}{75 * S_c} \right)^{-0.25} = \left(\frac{300}{75 * 4.1705} \right)^{-0.25} = 2.17975$$

Tabla N° 13 Determinación de energía mensual perdida por el colector

Mes	Fr'UL	Ta [°C]	Tac [°C]	Tred [°C]	Horas de sol [h]	K1	K2	Ep[kJ/mes]
Enero	3.665	23.600	80.000	20.600	11.400	2.611	1.712	296155125.927
Febrero	3.665	24.200	80.000	21.200	11.700	2.611	1.737	276474197.919
Marzo	3.665	24.600	80.000	21.600	12.000	2.611	1.755	315413607.968
Abril	3.665	25.000	80.000	22.000	12.400	2.611	1.772	316882156.028
Mayo	3.665	24.400	80.000	21.400	12.700	2.611	1.746	333035628.417
Junio	3.665	23.900	80.000	20.900	12.900	2.611	1.724	325458312.124
Julio	3.665	24.200	80.000	21.200	12.800	2.611	1.737	334874730.568
Agosto	3.665	24.100	80.000	21.100	12.500	2.611	1.733	326643669.680
Septiembre	3.665	23.400	80.000	20.400	12.200	2.611	1.703	305991706.308
Octubre	3.665	23.400	80.000	20.400	11.800	2.611	1.703	305824497.725
Noviembre	3.665	23.700	80.000	20.700	11.500	2.611	1.716	289456275.047
Diciembre	3.665	23.700	80.000	20.700	11.300	2.611	1.716	293902994.634
Promedio	3.665	24.017	80.000	21.017	12.100	2.611	1.730	310009408.529

2.4.2.1.3 CÁLCULO DE LA GANANCIA TOTAL

A la ganancia del colector (D1) se la conoce como la energía solar útil proporcionada. Esta ganancia relaciona la energía absorbida por la placa del colector usado y el parámetro Qa durante un mes, como se muestra en la ecuación:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el colector } (E_a)}{Q_a} \quad \text{Ec 9}$$

Tabla N° 14 Determinación de ganancia total del sistema

Mes	Ea [kJ/mes]	Qa [kJ/mes]	D1
Enero	99961121.223	56986526.348	1.754
Febrero	96200893.862	50951785.043	1.888
Marzo	106125864.342	56027157.217	1.894
Abril	95796675.640	53848460.870	1.779
Mayo	84891244.954	56219031.043	1.510
Junio	78415619.256	54869724.783	1.429
Julio	88442468.233	56410904.870	1.568
Agosto	91059728.464	56506841.783	1.611
Septiembre	80136477.858	55333935.652	1.448
Octubre	89145835.282	57178400.174	1.559
Noviembre	92182845.127	55055409.130	1.674
Diciembre	96516634.302	56890589.435	1.697
Promedio	91572950.712	55523230.529	1.651

2.4.2.1.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES

Las pérdidas totales en el colector (D2) debido a la reflexión de la luz solar, relacionan las pérdidas de energía en el captador a determinada temperatura, con la carga calorífica de calentamiento (Qa) durante un mes, como se muestra en la ecuación:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el colector } (E_p)}{Q_a} \quad \text{Ec 10}$$

Tabla N° 15 Determinación de pérdidas totales del sistema

Mes	Ep[kJ/mes]	Qa [kJ/mes]	D2
Enero	296155125.927	56986526.348	5.197
Febrero	276474197.919	50951785.043	5.426
Marzo	315413607.968	56027157.217	5.630
Abril	316882156.028	53848460.870	5.885
Mayo	333035628.417	56219031.043	5.924
Junio	325458312.124	54869724.783	5.931
Julio	334874730.568	56410904.870	5.936
Agosto	326643669.680	56506841.783	5.781
Septiembre	305991706.308	55333935.652	5.530
Octubre	305824497.725	57178400.174	5.349
Noviembre	289456275.047	55055409.130	5.258
Diciembre	293902994.634	56890589.435	5.166
Promedio	310009408.529	55523230.529	5.584

2.4.2.1.5 GRÁFICA DE f

A la fracción de carga calorífica mensual, que se transforma en energía solar, se la conoce como parámetro f. El cálculo de este parámetro se realiza con ayuda de la ecuación:

$$f = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad \text{Ec 11}$$

Siendo válida para valores de D1 y D2 comprendidos entre $0 < D_1 < 3$ y $0 < D_2 < 18$. Sustituyendo los valores D1 y D2 en la ecuación obtenemos la siguiente tabla de datos:

Tabla N° 16 Determinación de fracción de carga calorífica mensual

Mes	D1	D2	f
Enero	1.754	5.197	0.878
Febrero	1.888	5.426	0.914
Marzo	1.894	5.630	0.907
Abril	1.779	5.885	0.856
Mayo	1.510	5.924	0.747
Junio	1.429	5.931	0.711
Julio	1.568	5.936	0.771
Agosto	1.611	5.781	0.796
Septiembre	1.448	5.530	0.737
Octubre	1.559	5.349	0.794
Noviembre	1.674	5.258	0.845
Diciembre	1.697	5.166	0.858
Promedio	1.651	5.584	0.818

2.4.2.1.6 DETERMINACIÓN DE COBERTURA SOLAR MENSUAL

La cobertura solar mensual es el producto entre f y Q_a, y permite estimar la energía útil captada en un mes determinado (Q_m). La estimación se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_m = f * Q_a \quad \text{Ec 12}$$

Tabla N° 17 Determinación de cobertura solar mensual

Mes	f	Qa [kJ/mes]	Qm[kj/mes]
Enero	0.878	56986526.348	50033923.385
Febrero	0.914	50951785.043	46592976.770
Marzo	0.907	56027157.217	50834038.532
Abril	0.856	53848460.870	46098859.587
Mayo	0.747	56219031.043	42012834.812
Junio	0.711	54869724.783	38996957.601
Julio	0.771	56410904.870	43520505.317
Agosto	0.796	56506841.783	44999932.825
Septiembre	0.737	55333935.652	40796609.050
Octubre	0.794	57178400.174	45404134.310
Noviembre	0.845	55055409.130	46521930.607
Diciembre	0.858	56890589.435	48800391.887
Promedio	0.818	55523230.529	45417432.424

2.4.2.1.7 DETERMINACIÓN DE COBERTURA SOLAR ANUAL

La cobertura solar anual del colector se determina por la relación entre la sumatoria de las coberturas solares mensuales (ΣQ_m) y la sumatoria de la demanda de cargas caloríficas (ΣQ_a) mensuales, según la siguiente ecuación:

$$\text{Cobertura Solar Anual} = \frac{\sum_{m=1}^{12} Q_m}{\sum_{a=1}^{12} Q_a} \text{ Ec 13}$$

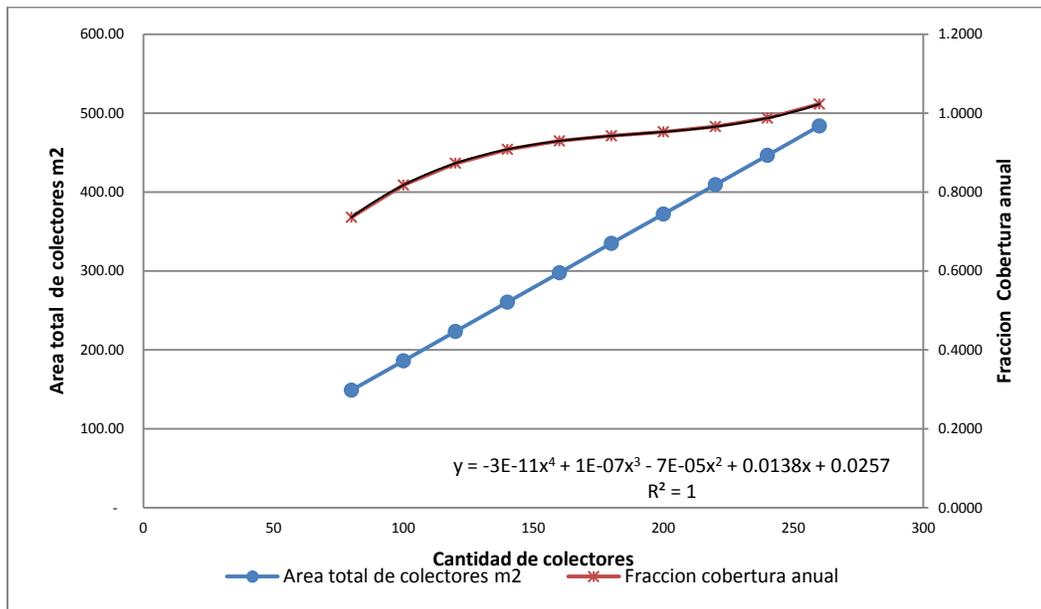
Tabla N°18 Determinación de cobertura solar anual

Mes	Qa [kJ/mes]	Qm[kJ/mes]
Enero	56986526.348	50033923.385
Febrero	50951785.043	46592976.770
Marzo	56027157.217	50834038.532
Abril	53848460.870	46098859.587
Mayo	56219031.043	42012834.812
Junio	54869724.783	38996957.601
Julio	56410904.870	43520505.317
Agosto	56506841.783	44999932.825
Septiembre	55333935.652	40796609.050
Octubre	57178400.174	45404134.310
Noviembre	55055409.130	46521930.607
Diciembre	56890589.435	48800391.887
Total	55523230.529	45417432.424

$$\text{Cobertura Solar Anual} = \frac{\sum_{m=1}^{12} Q_m}{\sum_{a=1}^{12} Q_a} = \frac{45417432.424}{55523230.529} = 0.8174$$

Como puede observarse en la tabla anterior la cobertura solar anual con una configuración de 100 panels sería de aproximadamente 82 % anual esto indica que bajo esta configuración el sistema proporcionaría el 82 % de la energía necesaria para calentar el agua hasta los 80°C. A fin de encontrar el valor óptimo que permita que el sistema pueda suplir al menos el 95% de la energía necesaria se realizan cálculos adicionales para diferentes configuraciones lo que permite establecer la figura N° 40.

Figura N° 40 Fracción de cobertura anual vr cantidad colectores



A continuación se muestra Tabla N°19 donde se muestra la fracción de cobertura anual obtenida con diferentes cantidades de paneles y el porcentaje de utilización del área disponible para la instalación de los paneles tomando como base una área disponible de 621 m².

Tabla N°19 Determinación de cobertura solar anual

Cantidad de Colectores	Area total de colectores m2	Fracción cobertura anual	Área utilizada	% Incremento Fracción cobertura anual
80	148.80	0.7359	23.961%	
100	186.00	0.8174	29.952%	11.074%
120	223.20	0.8727	35.942%	6.770%
140	260.40	0.9081	41.932%	4.048%
160	297.60	0.9293	47.923%	2.339%
180	334.80	0.9422	53.913%	1.390%
200	372.00	0.9525	59.903%	1.089%
220	409.20	0.9657	65.894%	1.385%
240	446.40	0.9873	71.884%	2.240%
260	483.60	1.0228	77.874%	3.598%

La Tabla N° 19 nos permite identificar que con una área de 297 m² o superior será posible suministrar la energía requerida para calentar el agua requerida para la caldera.

2.4.2.2 DISEÑO BASICO

El sistema de precalentamiento de caldera contara con un total de 160 paneles con un peso unitario de 33.1 Kg y una capacidad de almacenamiento de agua de 2.1 litros. A partir de los siguiente podemos establecer el peso total aproximado del sistema.

$$\text{Peso de sistema (Kg)} = (160 * 33.1 \text{ Kg}) + \left[\frac{(160 * 2.1l)}{1 \text{ Kg/l}} \right] = 5632 \text{ Kg}$$

2.4.3 DISEÑO FOTOVOLTAICO

El area que se ha considerado dentro de esta propuesta esta conformado por el area de oficinas administrativas, laboratorio de calidad. En esta area de encuentran un total de 57 luminarias incandescentes y 40 computadoras que son utilizadas un promedio de 9 horas en el dia.

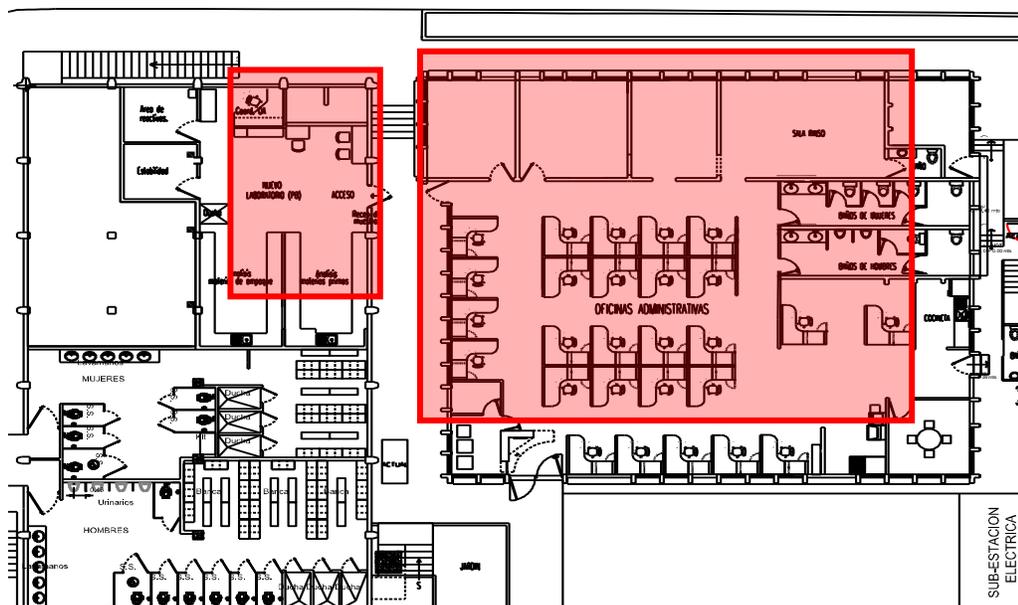


Figura N° 41 Esquema de areas contempladas en propuesta de suministro de energia a traves de paneles fotovoltaicos

El consumo energetico estimado del sistema de iluminacion actual y el sistema de computo, se puede observar en las siguientes tablas:

Tabla N° 20 Consumo de energía para iluminación de área de oficinas y laboratorio de calidad

Tipo de Luminaria	Horas diarias	Días por mes	Horas al mes	Numero Luminarias	Numero lámparas	Consumo W-h	Consumo Proyectado KW-h/día	Consumo Proyectado KW-h/mes
2 Tubos en U incandescente	9	20	180	12	24	32	6.912	138.24
3 Tubos incandescente	9	20	180	35	105		30.24	604.8
4 Tubos incandescente	12	25	300	10	40		15.36	384
Total			660	57	169		52.512	1127.04

2.4.3.1 MÉTODO COMPACTO

Para el dimensionamiento del sistema se ha considerado las siguientes cargas:

Tabla N° 21 Consumo de energía para iluminación en área de oficinas y laboratorio de calidad

Elemento	Consumo Proyectado KW-h/día	Consumo Proyectado KW-h/mes
2 Tubos en U incandescente	6.912	138.240
3 Tubos incandescente	30.240	604.800
4 Tubos incandescente	15.360	384.000
Total	52.512	1127.040

Para el calculo del sistema fotovoltaico utilizaremos los siguiente ecuacion

$$M = \frac{E_C * F_s}{I_M * V_M * H_P * n_{BAT} * n_{Inv}} \quad \text{Ec 14}$$

Donde :

- *M*: Numero de módulos solares.
- *Ec*:Energía consumida por todas las cargas (watts.hora/día)
- *Fs*: Factor de sobredimensionamiento (valores tipicos de 10% a 20%, es decir 1.1 a 1.2).
- *Im*: Corriente del módulo solar a máxima insolación (amp)

- V_m : Voltaje promedio de operación del módulo solar conectado al banco de baterías
- H_p : Insolación de la localidad expresadas en horas-pico.
- N_{inv} : Eficiencia del inversor CD/CA (típico de 0.8 a 0.9).
- N_{bat} : Eficiencia de la carga de batería (típico de 0.87 a 0.9)

Para este calculo se han tomado los datos de irradiancia del lugar y se ha considerado el sistema con una inclinacion de 13.7026° y una orientacion hacia el sur (Azimut 0°). Se ha seleccionado un modulo Fotovoltaico *Sunmodule Plus SW 275 mono-Solarworld*²², que posee las siguientes características:

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

Maximum power	P_{max}	275 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	39.4 V
Maximum power point voltage	V_{mp}	31.0 V
Short circuit current	I_{sc}	9.58 A
Maximum power point current	I_{mp}	8.94 A

*STC: 1000 W/m², 25°C, AM 1.5

†) Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power Controlled).

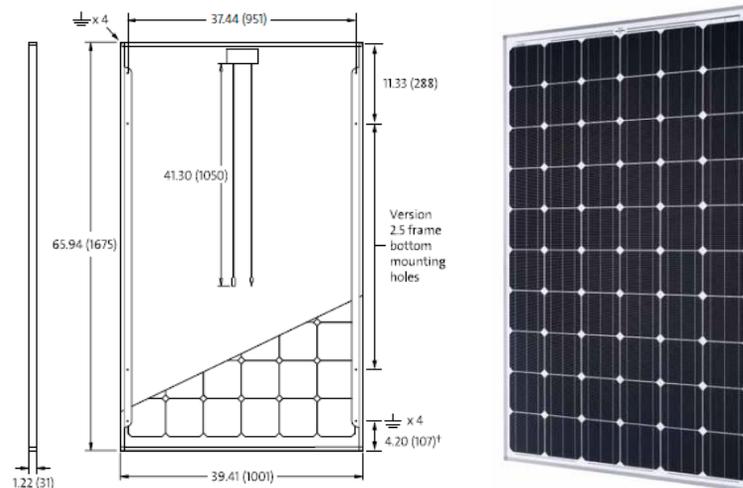


Figura N° 42 Esquema de paneles fotovoltaicos Sunmodule Plus SW 275 mono-Solarworld

A partir de los datos de irradiancia obtenidos anteriormente tenemos

²²Hoja Técnica Modulo Sunmodule Plus SW 275 mono-Solarworld recuperada de <http://www.solarworld-usa.com/~media/www/files/datasheets/sunmodule-plus/sunmodule-solar-panel-275-mono-ds.pdf>

Tabla N° 22 Datos de irradiancia en superficie inclinada y horas solar pico

Mes	Ho W/m2*día	Horas de sol /día	$\phi-\beta=0$ W/m2*día	$\phi-\beta=0$ HSP
Enero	509.65	11.40	578.26	6.60
Febrero	549.57	11.70	600.33	7.03
Marzo	560.83	12.00	583.22	7.00
Abril	532.26	12.40	526.46	6.53
Mayo	463.78	12.70	440.81	5.60
Junio	444.19	12.90	414.24	5.35
Julio	484.38	12.80	455.67	5.84
Agosto	493.60	12.50	480.41	6.01
Septiembre	438.52	12.20	447.62	5.47
Octubre	463.56	11.80	498.21	5.88
Noviembre	486.09	11.50	546.25	6.29
Diciembre	490.27	11.30	563.27	6.37
Promedio anual	493.06	12.10	511.23	6.16

Para efectos de diseño se tomará el valor promedio mensual mínimo, que corresponde a 5.35 hsp para el mes de Junio. Sustituyendo en la Ec 12 tenemos:

$$M = \frac{52512 * 1.2}{8.94 * 31 * 5.35 * 0.9 * 0.8} = 59.58 \approx 60 \text{ paneles}$$

El requerimiento de energía para iluminación de las áreas se podrá suplir con un sistema de 60 paneles con una potencia total de 16.5 KWp

2.4.3.2 DISEÑO BASICO

El sistema fotovoltaico contará con un total de 60 paneles con un peso unitario de 22.1 Kg. A partir de lo siguiente podemos establecer el peso total aproximado del sistema.

$$\text{Peso de sistema (Kg)} = (60 * 22.1 \text{ Kg}) = 1326 \text{ Kg}$$

El sistema estará conformado por los siguientes elementos:

- Paneles fotovoltaicos: 60 paneles
- Inversor: 3 inversores de 6KW para un total de 18 KW
- Regulador de Carga: 4 reguladores de carga de 4.5KW

2.5 EVALUACION ECONOMICA DE PROYECTOS FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO

La Evaluación de Proyectos de Inversión en general, puede definirse como un conjunto de estudios que permiten analizar las ventajas o desventajas derivadas de asignar determinados recursos de inversión hacia un proyecto en particular; permitiendo una mejor toma de decisiones por parte de las organizaciones públicas o privadas de los proyectos.

La Evaluación Económica se orienta a determinar la rentabilidad económica del proyecto, en base a los beneficios y costos económicos generados e incurridos por él. En general existen dos tipos genéricos de métodos para evaluar proyectos de inversión:

a) *Métodos que no consideran el valor del dinero a través del tiempo*

- El método de periodo de recuperación.
- El método de tasa de rendimiento contable.

b) *Métodos que sí consideran el valor del dinero a través del tiempo.*

- El método de valor presente.
- El método de tasa interna de rendimientos

2.5.1 MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS DE INVERSIÓN

2.5.1.1 MÉTODO DE PERIODO DE RECUPERACIÓN

Se aplica cuando se desea conocer en cuanto tiempo una inversión genera fondos suficientes para igualar al total de dicha inversión, es decir, es que al cabo de dicho tiempo los flujos de efectivo generados por el proyecto serán iguales al valor de la inversión, lo que se traduce en el tiempo en el cual los beneficios obtenidos serán iguales al dinero que fue invertido en el proyecto.

Este método hace caso omiso de la rentabilidad de la inversión y sólo se preocupa de que el dinero invertido regrese pronto y de gran ayuda cuando se comparan proyectos con vidas económicas iguales y con flujos de efectivo uniformes. Debido a la simplicidad de los cálculos involucrados y por ser de fácil comprensión es el método más utilizado y permite evaluar de

primera mano entre dos proyectos con beneficios muy similares de manera rápida. Se calcula a partir de:

$$PR = \frac{\sum_{r=1}^{\infty} (Ingresos_r - Egresos_r)}{Inversion\ Inicial} \quad \text{Ec 15}$$

Donde:

- *PR*: Periodo de recuperación
- *r*: periodo de tiempo (años, meses, etc).

2.5.1.2 TASA DE RENDIMIENTO CONTABLE

Permite la evaluación de la rentabilidad de los proyectos de inversión pero sin llegar al grado de sofisticación que poseen los métodos que si consideran los flujos de efectivo descontados. Este método considera utilidades y no flujos, sin olvidar que la contabilidad es sobre base acumulativa e incluye ajustes por gastos devengados, depreciaciones y amortizaciones. Se considera no muy apropiado en el área de finanzas. Se calcula a partir de:

$$TCR = \frac{Beneficio\ Neto\ Anual}{Inversion\ media} \quad \text{Ec 16}$$

El método de cálculo consiste en dividir las utilidades anuales, que se espera se rindan en promedio durante toda la vida del proyecto, entre el valor promedio de la inversión. El denominador se determina sumando la inversión inicial al valor de rescate, dividiendo esta suma entre dos. En caso de existir capital de trabajo se sumará al promedio de inversión en activos fijos para determinar el valor del denominador.

2.5.1.3 MÉTODO DE VALOR ACTUAL NETO.

El valor actual neto es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros para determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y con esto lograr comparar esta equivalencia con el desembolso inicial.

El VAN puede se interpreta a partir de bajo los siguientes criterios:

- Si el VAN de un proyecto es positivo, el proyecto crea valor.
- Si el VAN de un proyecto es negativo, el proyecto destruye valor.
- Si el VAN de un proyecto es cero, el proyecto no crea ni destruye valor.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad \text{Ec 17}$$

Donde:

- V_t representa los flujos de caja en cada periodo t.
- I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n es el numero de periodos considerado
- k es el tipo de interés.

2.5.1.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad o Tasa crítica de rentabilidad, financieramente se define como la tasa de retorno en la cual son descontados los flujos de caja de forma tal que los ingresos y egresos sean iguales; Baca Curea (2005)²³ establece que financieramente la TIR es la tasa a la cual los ingresos y los egresos son iguales y desde el punto de vista matemático es aquella con la cual el valor actual neto se hace cero.

Al momento de evaluar los proyectos mediante la TIR se debe considerar que si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar ya que el rendimiento mayor al mínimo requerido; sin embargo si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar ya que su rendimiento será menor al mínimo requerido. El método de cálculo de la TIR se realiza igualando a cero la ecuación del valor actual neto y despejando para k

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ec 18}$$

Donde:

- V_t representa los flujos de caja en cada periodo t.
- I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n es el numero de periodos considerado
- k es la TIR.

²³ Baca, G (2005) "Ingeniería Económica" Editorial Fondo Educativo Panamericano, Bogotá

2.5.2 EVALUACION ECONOMICA PROYECTO FOTOVOLTAICO Y SOLAR TERMICO

Los proyectos serán evaluados utilizando los métodos de VAN y TIR, para un periodo de tiempo de 10 años, con una tasa de interés de 10% , el cual es la tasa utilizada por la fabrica para la evaluacion de sus proyectos de inversion. Los flujos de caja estaran conformados por la inversion inicial, los ahorros anuales si se implementara el proyecto y los costos de mantenimiento los cuales seran estimados como el 4% de la inversion inicial.

2.5.2.1 PROYECTO FOTOVOLTAICO

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se considero el consumo del sistema de iluminacion de las areas de oficinas administrativas y laboratorio de calidad obteniendose los siguientes consumos de energia electrica:

Tabla N° 23 Consumo de energia para iluminación en area de oficinas y laboratorio de calidad

Elemento	Consumo Proyectado KW-h/día	Consumo Proyectado KW-h/mes
2 Tubos en U incandescente	6.912	138.240
3 Tubos incandescente	30.240	604.800
4 Tubos incandescente	15.360	384.000
Total	52.512	1127.040

El costo del consumo energético se estimo a partir del costo promedio de la factura energética de la planta, obteniendo un valor promedio de \$0.20 /KW-h. A partir de esta información se establece el cálculo de ahorros en energía eléctrica, el cual se resume en la Tabla N°21

Tabla N° 24 Costo de energia para iluminación en area de oficinas y laboratorio de calidad

Tipo de equipo	Consumo Proyectado KW-h/día	Consumo Proyectado KW-h/mes	Costo Proyectado \$/ día	Costo Proyectado \$/ mes	Costo Proyectado \$/ año
Luminarias	52.512	1127.04	\$ 10.50	\$ 225.41	\$ 2,704.90

El requerimiento de energía para iluminación de las áreas se podrá suplir con un sistema de 60 paneles con una potencia total de 16.5 KWp. Para la evaluación de este proyecto se ha tomado como base un precio de \$2.5 / W instalado que fue proporcionado por el Ing. Arturo Solano de empresa TECNOSOLAR SA de CV.

Tabla N° 25 Costo de energía de inversión sistema fotovoltaico

Tipo de Proyecto	Capacidad del sistema Wp	Costo \$/ W instalado	Inversión \$
Fotovoltaico	16,500.00	2.5	\$ 41,250.00

Los proyectos serán evaluados a través de los métodos de VAN y TIR para los cuales se consideraran los siguientes flujos de caja:

- Inversión: \$41,250
- Ahorros anuales: \$3,345.75
 - Ahorro consumo energético:\$2,704
 - Generación energía eléctrica fotovoltaica: \$641.75
- Costos de mantenimiento anual(3% inversión inicial): \$1237.5
- Tipo de interés: 10% (valor basado en condiciones existentes para evaluación de proyectos internos en la empresa de fabricación de detergentes objeto de estudio).

En la Tabla N°26 se observan los flujos de caja del proyecto

Tabla N° 26 Flujos de caja analisis de sistema fotovoltaico

Año	Inversion	Ahorros	Costos	Flujo Neto
1	-41250			-41250
2		3345.75	-1237.5	2108.25
3		3345.75	-1237.5	2108.25
4		3345.75	-1237.5	2108.25
5		3345.75	-1237.5	2108.25
6		3345.75	-1237.5	2108.25
7		3345.75	-1237.5	2108.25
8		3345.75	-1237.5	2108.25
9		3345.75	-1237.5	2108.25
10		3345.75	-1237.5	2108.25
11		3345.75	-1237.5	2108.25
12		3345.75	-1237.5	2108.25
13		3345.75	-1237.5	2108.25
14		3345.75	-1237.5	2108.25
15		3345.75	-1237.5	2108.25
16		3345.75	-1237.5	2108.25
17		3345.75	-1237.5	2108.25
18		3345.75	-1237.5	2108.25
19		3345.75	-1237.5	2108.25
20		3345.75	-1237.5	2108.25

Calculando los valores VAN y TIR utilizando las funciones VNA y TIR de Microsoft Excel 2010, se obtienen los siguientes valores:

VAN **(\$21,467.87)**
 TIR -0.29%

Ambos valores presentan valores negativos por lo que se concluye que el proyecto desde el punto de vista financiero no es rentable por lo que no es conveniente realizarlo.

2.5.2.2 PROYECTO SOLAR TERMICO

Para el dimensionamiento del sistema solartermico se considero el requerimiento de energia termica necesaria para el pre-calentamiento del agua desde la temperatura ambiental hasta un valor de 80°C, en 1805,07 MWh en el año:

Tabla N° 27 Consumo de energia para precalentamiento de agua de caldera de vapor

Mes	Qa [kJ/mes]	Qa [MWh/mes]
Enero	56986526.3	15.82914742
Febrero	50951785.0	14.15287733
Marzo	56027157.2	15.56266346
Abril	53848460.9	14.95748698
Mayo	56219031.0	15.61596025
Junio	54869724.8	15.24116345
Julio	56410904.9	15.66925705
Agosto	56506841.8	15.69590544
Septiembre	55333935.7	15.37010731
Octubre	57178400.2	15.88244422
Noviembre	55055409.1	15.29274099
Diciembre	56890589.4	15.80249903
Total	666278,766.35	185.0722529

El costo del consumo energético se estimo a partir del costo que requeriría calentar el agua utilizando vapor generado por la caldera actual con un costo de combustible utilizado de \$2.57/ gal de fuel oil, obteniendo a partir de esta información se establece el cálculo de ahorros en consumo de combustible, el cual se resume en la Tabla N°28

Tabla N° 28 Costo de energía para iluminación en área de oficinas y laboratorio de calidad

Cantidad de Colectores	Area total de colectores m2	Fraccion cobertura anual	Ahorro \$/Año
80	148.80	0.7359	\$ 9,584.73
100	186.00	0.8174	\$ 10,646.14
120	223.20	0.8727	\$ 11,366.92
140	260.40	0.9081	\$ 11,827.03
160	297.60	0.9293	\$ 12,103.61
180	334.80	0.9422	\$ 12,271.84
200	372.00	0.9525	\$ 12,405.50
220	409.20	0.9657	\$ 12,577.26
240	446.40	0.9873	\$ 12,858.93
260	483.60	1.0228	\$ 12,858.93

El requerimiento de precalentamiento del agua de caldera se podrá suplir con un sistema de 160 paneles que equivalen a 297.60 m2. Para la evaluación de este proyecto se ha tomado como base un precio de \$627 / m2 de captación instalado que fue proporcionado por el Ing. Arturo Solano de empresa TECNOSOLAR SA de CV. En la tabla N°7 puede observarse el costo de inversión para este proyecto.

Tabla N° 29 Costo de energía de inversion sistema solartermico

Tipo de Proyecto	Capacidad del sistema m2 captación	Costo \$/ W instalado	Inversión \$
Solartermico	297.60	627.45	\$ 186,729.42

Los proyectos serán evaluados a través de los métodos de VAN y TIR para los cuales se consideraran los siguientes flujos de caja:

- Inversion: \$186,729.42
- Ahorros anuales consumo energetico: \$12,103.61
- Costos de mantenimiento anual(2% inversión inicial): \$3,734.59
- Tipo de interés: 10% (valor basado en condiciones existentes para evaluación de proyectos internos en la empresa de fabricación de detergentes objeto de estudio).

En la Tabla N°30 se observan los flujos de caja del proyecto

Tabla N° 30 Flujos de caja analisis de sistema fotovoltaico

Año	Inversión	Ahorros	Costos	Flujo Neto
1	-186,729.42			-186729.42
2		12,103.61	-3,734.59	8369.02
3		12,103.61	-3,734.59	8369.02
4		12,103.61	-3,734.59	8369.02
5		12,103.61	-3,734.59	8369.02
6		12,103.61	-3,734.59	8369.02
7		12,103.61	-3,734.59	8369.02
8		12,103.61	-3,734.59	8369.02
9		12,103.61	-3,734.59	8369.02
10		12,103.61	-3,734.59	8369.02
11		12,103.61	-3,734.59	8369.02
12		12,103.61	-3,734.59	8369.02
13		12,103.61	-3,734.59	8369.02
14		12,103.61	-3,734.59	8369.02
15		12,103.61	-3,734.59	8369.02
16		12,103.61	-3,734.59	8369.02
17		12,103.61	-3,734.59	8369.02
18		12,103.61	-3,734.59	8369.02
19		12,103.61	-3,734.59	8369.02
20		12,103.61	-3,734.59	8369.02

Calculando los valores VAN y TIR utilizando las funciones VNA y TIR de Microsoft Excel 2010, se obtienen los siguientes valores:

VAN (\$81,511.55)

TIR -1.56%

Ambos valores presentan valores negativos por lo que se concluye que el proyecto desde el punto de vista financiero no es rentable por lo que no es conveniente realizarlo.

CONCLUSIONES

- Los principales consumos energéticos provenientes de fuentes convencionales de la fábrica son en primer lugar el consumo de combustible fósil en el proceso de secado para generación de aire caliente, que representa un 76.33% del total del consumo energético de la planta, el consumo de Energía Eléctrica representa un 16.79%, el consumo de combustible fósil para generación de vapor representa un 6.56%, y un 0.32% es consumo de diesel y gas LPG para montacargas y la planta de emergencia de generación eléctrica.
- Debido a las condiciones geográficas, climáticas y específicas de proceso, las tecnologías Fotovoltaica y Solar térmica son las tecnologías de tipo renovable que tienen potencial de ser aplicadas al proceso actual de la planta de producción de detergentes a fin de sustituir parte de sus consumos de energía eléctrica y térmica convencional por energía de tipo renovable.
- El proyecto Solartermico deberá poseer un área mínima de colección solar de 297 m² lo que permitirá una fracción de cobertura anual de al menos 92.93% de la energía requerida (combustible Fuel Oil N°6C) para pre- calentar el flujo de agua que ingresa a la caldera, generando un ahorro estimado de al menos \$12,103.61/ año y una reducción de 48.543 Ton CO₂/ año, lo cual representa una reducción en un 6.12% del consumo anual de combustible fósil en el proceso de generación de vapor de uso industrial.
- El proyecto Fotovoltaico deberá tener una capacidad de 16KWp, lo que permitirá suplir el consumo de energía eléctrica requerido para las luminarias del área de oficinas administrativas y laboratorio de calidad, generando un ahorro estimado de al menos \$3,345.75/ año y una reducción de 3.286 Ton CO₂/ año.
- Los análisis de factibilidad económica para las instalaciones energéticas renovables termo solar y fotovoltaica diseñadas para la planta productora de detergente en polvo no resultaron satisfactorias obteniendo valores negativos para el TIR y VAN, esto se debió al costo actual de las tecnologías, los costos de la energía eléctrica y los precios de venta de excedentes de electricidad a la red (US\$ 0.17 y 0.18 /kWh), lo que no permite una recuperación

atractiva bajo los índices de evaluación actuales de proyecto en la empresa sujeto de estudio.

- En la evaluación no se tomó en cuenta ingresos económicos por venta de bonos de carbono por las toneladas de CO2 evitadas, ni el efecto en la reducción de precios de equipos fotovoltaicos y solar térmica derivados de incentivos en reducción de impuestos y deducción de renta para importadores e inversionistas de estos proyectos, lo cual podría contribuir a mejorar los indicadores financieros de los mismos.
- Para proyectos de que promuevan el uso de tecnología solartérmica actualmente no se cuentan con mecanismos legales que permitan la asignación de incentivos fiscales ya sea para la exenciones de impuestos por internación de equipos o deducciones de impuestos que promuevan el uso de la tecnología para fines distintos a la generación eléctrica tales como la reducción de consumo de combustibles fósiles o de consumo de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- A fin de realizar una evaluación económica más profunda de la factibilidad del proyecto se recomienda incluir aspectos adicionales que permitan generar una factibilidad del proyecto como la inclusión de bonos de carbono, precios más atractivos de venta de excedentes de energía a las distribuidoras, deducciones de impuestos y de renta, a fin de validar las condiciones en que se viabilizan económicamente los proyectos.
- Es necesario realizar estudios adicionales sobre el impacto en la reducción de los precios de implementación de los proyectos de energías renovables debido a la implementación de las políticas de incentivo de para los proyectos de generación eléctrica.
- Se recomienda a las autoridades competentes del gobierno evaluar el desarrollo e implementación de incentivos fiscales a proyectos que impliquen la reducción del uso de las energías de tipo convencional a través de la implementación de tecnologías de energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guevara, R. *Diagnósticos y Racionalización de la Energía. Postgrado en Uso Eficiente y Ahorro de Energía*. Recuperado 2 de Septiembre de 2013 de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivos/curzoz/manual_de_auditorias_energeticas_doc.pdf
- Mujumdar, A (2006) *Handbook of Industrial Drying Third Edition* . Florida, Estados Unidos: CRC Press
- Reino Unido, Reporte de Actividades y Sustentabilidad Asociación Internacional de Jabones, Detergentes y Productos de Mantenimiento 2012-2013
- Zoller, U(Ed.) (2009) *Handbook of Detergents, Part F: Production*. Florida, Estados Unidos: CRC Press
- US Energy Information Administration. *Informe de Perspectiva Internacional de Energía 2013*. Whashington DC. Recuperado 1 de Diciembre de 2013 de: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/>
- Agencia Internacional de Energía. *World Energy Outlook 2012*. Paris. Recuperado 1 de Diciembre de 2013 de: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO2012_Renewables.pdf
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Renewable 2013 Global Status Report*. Paris. Recuperado 1 de Diciembre de 2013 de: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2013/gsr2013_lowres.pdf
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) Recuperado 1 de Diciembre de 2013 de: <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.
- Moreno, G; Martinez, F. (2013) Celdas Fotovoltaicas recuperada el 1 de Diciembre de 2013 de <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.com//>.
- Luque, A; Hegedus, S. (2003) *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Londres. Editorial Wiley
- Téllez,F; Zarza,E y Martínez, D. *Tecnología de concentración solar: La segunda oportunidad*. Recuperado 1 de Diciembre de 2013:

http://benasque.org/2009fronterasenergia/talks_contr/093Tecnologia_SolarTermoelectrica_2009.pdf

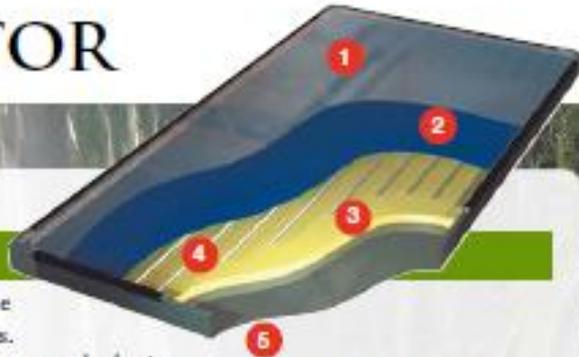
- Ayala, M; Sanchez,I; Escalante,A & Marroquin,W (2005) *Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador* Recuperado de:
http://cef.uca.edu.sv/descargables/proyectos/UCASolarAssessment_es_206.pdf
- Consejo Nacional de Energia de El Salvador Recuperado 1 de Diciembre 2013 de:
http://www.cne.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=114&Itemid=197
- NASA's Earth Science Enterprise Program a traves de su pagina web
<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>
- Hoja Tecnica Modulo Sunmodule Plus SW 275 mono-Solarworld recuperada de
<http://www.solarworld-usa.com/~media/www/files/datasheets/sunmodule-plus/sunmodule-solar-panel-275-mono-ds.pdf>
- Moreno, G; Martinez, F. (2013) Celdas Fotovoltaicas recuperada el 1 de Diciembre de 2013 de <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.com/>.
- Luque, A; Hegedus, S. (2003) *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Londres. Editorial JOHN WILEY & SONS, INC, New York
- Beckman, W; Duffie,J (1980) *Solar Engineering Of Thermal Processes 2nd Edition* . Editorial JOHN WILEY & SONS, INC, New York
- Baca,G (2005) *"Ingenieria Economica"* Editorial Fondo Educativo Panamerican, Bogotá
- Niclos, J *"Evaluacion Economica del Anteproyecto"* recuperado de:
http://personales.upv.es/~jniclos/PROYECTOS_IM/TEMAS%20PROYECTOS/13.%20SESION%2013.pdf

ANEXOS

ANEXO N° 1: HOJA TECNICA COLECTOR SOLAR SOLAHART BT COLLECTOR



BT COLLECTOR



Description

The Solahart BT collector is designed to generate maximum performance in all climatic conditions.

The ultra-high efficiency absorber with its blue sputtered selective surface maximises absorption and minimises emission (heat loss). The 13 copper risers are mechanically bonded to the copper absorber sheet ensuring maximum heat transfer.

The BT collector can be used in both closed and open circuit systems and is designed to connect multiple collectors easily to each other to create large collector fields.

The BT collector's flexibility means it can be used with almost any solar system and is the performance choice for Solahart's revolutionary range of commercial drain-back pumped solar systems.

Image Key:

1. Low iron Matt/Matt Tempered Glass: Maximises available solar radiation. 2. TiNOX Sputtered Copper Selective Surface Absorber Plate: Improves solar gain with very low emittance values. 3. Glasswool Insulation: Reduces heat losses and improves performances. 4. 13 Copper Risers: Used for their excellent corrosion resistance and heat transfer properties. 5. Strong Aluminium Tray: provides all weather protection.

Key Features

- High performance copper collector
- High performance sputtered absorber
- High performance glass wool insulation
- Peace of mind with 5 year conditional warranty*
- Certified with the European quality label 'Solar Keymark'



Key Benefits

- Reliable and durable
- High performance
- Can be installed vertical or horizontal
- Can be installed on facade
- Easy installation
- Durable aluminium tray

BT Collector

OVERALL DATA		
Overall Collector Dimensions	mm	1941 x 1027 x 83
Weight of Collector - Full	kg	33.1
Accreditation		EN12975
Aperture Area	m ²	1.86

RISERS		
Number of Risers		13
Fluid Capacity	ltrs	2.1
Riser Dimensions	mm	9.52 x 0.71 x 1864
Header Dimensions	mm	25.4 x 0.91 x 996
Test Pressure	kPa	300
Maximum Working Pressure	kPa	1400

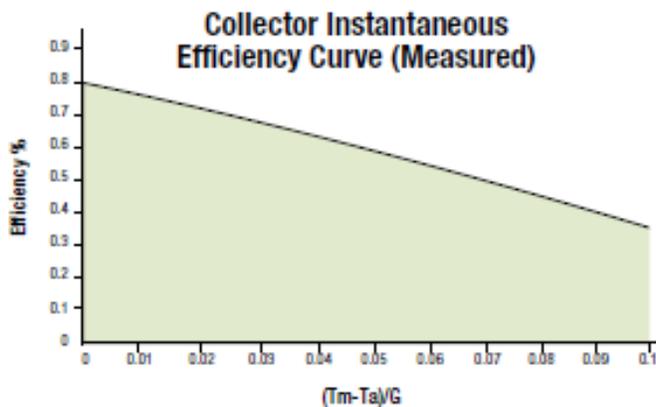
INSULATION		
Glass Wool Insulation Density	kg/m ³	12
Insulation Thickness - Base	mm	38
Polyester Insulation Density - Sides	kg/m ³	32
Insulation Thickness - Sides	mm	28

CONNECTIONS		
Inlet/Outlet Connections	kg/m ²	¾" BSP Female Compression
Max. Torque	Nm	34

GLAZING		
Glazing Type		Tempered Low Iron Matt-Matt Glass
Glazing Thickness	mm	3.2
Glazing Transmittance		0.89 min
Glazing Iron Oxide Content	%	<0.04

ABSORBER PLATE		
Absorber material		Copper with Sputtered surface
Effective Absorber Surface Area	m ²	1.86
Absorber Plate Thickness	mm	0.2
Absorber Plate Dimensions	mm	1895 x 985
Emittance of Surface		0.04 +/- 2%
Absorptance of Surface		0.95 +/- 2%

CASING		
Casing Thickness	mm	0.7mm
Casing Drain Holes	mm	4 x Ø4mm



η_{10}	0.801
a_1	3.858 W/(m ² K)
a_2	0.01 W/(m ² K ²)

ANEXO N° 2: HOJA TECNICA PANEL FOTOVOLTAICO SOLARWORLD SUNMODULE PROTECT SW 275 MONO

Sunmodule® Protect SW 275 mono

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

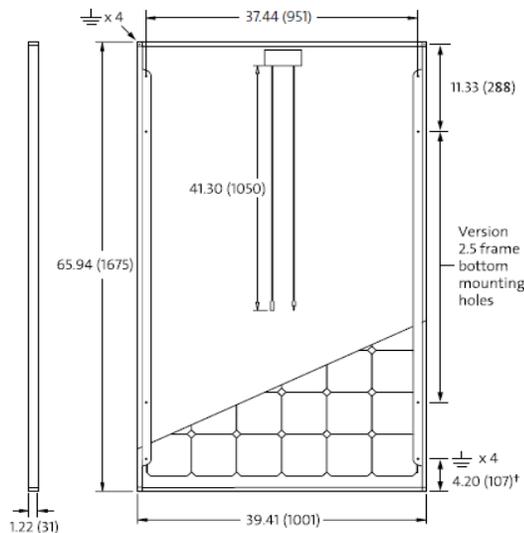
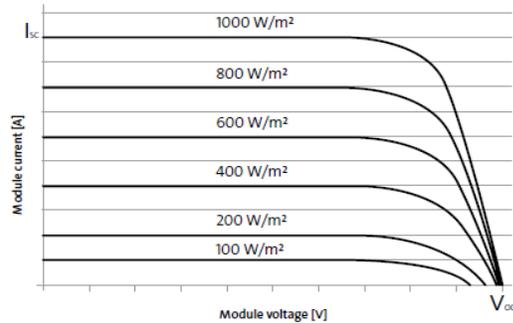
Maximum power	P_{max}	275 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	39.4 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	31.0 V
Short circuit current	I_{sc}	9.58 A
Maximum power point current	I_{mpp}	8.94 A

*STC: 1000 W/m², 25°C, AM 1.5.

1) Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/-2% (TUV Power Controlled)

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.004 %/K
TC V_{oc}	-0.30 %/K
TC P_{mpp}	-0.45 %/K
Operating temperature	-40°C to 85°C



*All units provided are imperial. SI units provided in parentheses.
SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

Maximum power	P_{max}	205.0 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	36.1 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	28.4 V
Short circuit current	I_{sc}	7.75 A
Maximum power point current	I_{mpp}	7.22 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Mono crystalline
Cell dimensions	6.14 in x 6.14 in (156 mm x 156 mm)
Front	Tempered glass (EN 12150)
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	46.7 lbs (21.2 kg)

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

Maximum system voltage IEC	SC II	1000 V
Maximum system voltage UL		600 V
Maximum reverse current		16 A
Number of bypass diodes		3
UL Design Loads*	Two rail system	113 psf downward 64 psf upward
UL Design Loads*	Three rail system	170 psf downward 64 psf upward
IEC Design Loads*	Two rail system	113 psf downward 50 psf upward

* Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.

ADDITIONAL DATA

Power sorting ¹	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	MC4
Module efficiency	16.40 %
Fire rating (UL 790)	Class C

NEW! Independently created PAN files now available.
Ask your account manager for more information.

ANEXO N° 3: VISTA AEREA DE FABRICA PRODUCTORA DE DETERGENTE EN POLVO



**Table 12.1 U.S. Default Factors for Calculating CO₂ Emissions from Fossil Fuel
and Biomass Combustion**

Fuel Type	Heat Content	Carbon Content (Per Unit Energy)	Fraction Oxidized	CO₂ Emission Factor (Per Unit Energy)	CO₂ Emission Factor (Per Unit Mass or Volume)
Coal and Coke	MMBtu / short ton	kg C / MMBtu		kg CO₂ / MMBtu	kg CO₂ / short ton
Anthracite	25.09	28.24	1	103.54	2597.82
Bituminous	24.93	25.47	1	93.40	2328.46
Subbituminous	17.25	26.46	1	97.02	1673.60
Lignite	14.21	26.28	1	96.36	1369.28
Coke	24.80	27.83	1	102.04	2530.59
Mixed Electric Utility/Electric Power	19.73	25.74	1	94.38	1862.12
Unspecified Residential/Com*	22.06	25.71	1	94.27	2079.50
Mixed Commercial Sector	21.39	25.98	1	95.26	2037.61
Mixed Industrial Coking	26.28	25.54	1	93.65	2461.12
Mixed Industrial Sector	22.35	25.61	1	93.91	2098.89
Natural Gas	Btu / scf	kg C / MMBtu		kg CO₂ / MMBtu	kg CO₂ / scf
US Weighted Average	1028	14.46	1	53.02	0.0545
Greater than 1,000 Btu**	>1000	14.47	1	53.06	Varies
975 to 1,000 Btu**	975 – 1,000	14.73	1	54.01	Varies
1,000 to 1,025 Btu**	1,000 – 1,025	14.43	1	52.91	Varies
1,025 to 1,035 Btu**	1025 – 1035	14.45	1	52.98	Varies
1,025 to 1,050 Btu**	1,025 – 1,050	14.47	1	53.06	Varies
1,050 to 1,075 Btu**	1,050 – 1,075	14.58	1	53.46	Varies
1,075 to 1,100 Btu**	1,075 – 1,100	14.65	1	53.72	Varies
Greater than 1,100 Btu**	>1,100	14.92	1	54.71	Varies
(EPA 2010) Full Sample*		14.48	1	53.09	n/a
(EPA 2010) <1.0% CO ₂ *		14.43	1	52.91	n/a
(EPA 2010) <1.5% CO ₂ *		14.47	1	53.06	n/a
(EPA 2010) <1.0% CO ₂ and <1,050 Btu/scf*	<1,050	14.42	1	52.87	n/a
(EPA 2010) <1.5% CO ₂ and <1,050 Btu/scf*	<1,050	14.47	1	53.06	n/a
(EPA 2010) Flare Gas*	>1,100	15.31	1	56.14	n/a