

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

ENERGÍA SOLAR

**Diseño Integral de Planta de Construcción de Paneles Solares
para Calentamiento de Agua con Fines Domésticos**

José Miguel Luzuriaga Vivanco

Tesis de grado presentada como requisito para la
obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito

Julio de 2005

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**ENERGÍA SOLAR: Diseño Integral de Planta de Construcción de
Paneles Solares para Calentamiento de Agua con Fines Domésticos**

José Miguel Luzuriaga Vivanco

Ximena Córdova, Ph.D.
Directora de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Ing. Ángel Villablanca, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Ing. Andrés Batallas, M.S.
Miembro del Comité de Tesis

Ing. Fernando Romo, M.S.
Decano del Colegio Politécnico

Quito, Julio de 2005

© **Derechos de autor**

José Miguel Luzuriaga Vivanco

2005

"La cobardía... es buscar la aprobación y no la verdad; las condecoraciones y no el honor, el ascenso y no el servicio; el poder y no la salud de la humanidad"

Jean Guittou

dedicado a mis padres...

RESUMEN

La siguiente Tesis propone el diseño integral de una pequeña empresa para construir y comercializar sistemas de calentamiento de agua de fines domésticos basados en colectores solares de bajas temperaturas. El diseño integral incluye tres grandes cuerpos, los antecedentes teóricos, el diseño de la estructura de la empresa y el desarrollo técnico del diseño de la planta. Los antecedentes teóricos envuelven desde la teoría de las condiciones luminosidad solar requeridas para el funcionamiento correcto de un sistema de energía solar, pasando por las bases teóricas y técnicas de un sistema de esta naturaleza, y cerrando con un estudio de confiabilidad basado en un modelo de redundancia stand-by. El diseño de la estructura de la empresa, o modelo del negocio incluye la filosofía y políticas de calidad de la empresa y la estructura que se planea tener, es decir las áreas que tendrá la empresa. El desarrollo del diseño de la planta es el núcleo de este estudio, incluye desde el diseño de procesos y actividades de fabricación, diseño del flujo de planta, de la instalación y del desarrollo de un modelo matemático para la ubicación de la planta.

ABSTRACT

The following Thesis proposes the integral design of a small company that will manufacture and commercialize household water heating systems based on low temperature solar collectors. The integral design includes three main sections, the theoretical background, the company structure design, and the technical development of the plant design. The theoretical background involves the theory of the conditions of solar luminosity required for the correct operation of a solar energy system, the theoretical and technical grounds for these types of systems, and a reliability study based on a stand by redundant model. The company structure or business model design includes the company's philosophy and quality politics, and the planned structure, meaning the areas the company will deploy. The plant design development is the nucleus of this study; it includes the manufacturing processes and activities design, the plant flow design, the facility design, and the development of a location mathematical model.

1. INDICE

2. INTRODUCCIÓN	1
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivos Generales	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. MARCO TÉCNICO GLOBAL	4
4.1. Condiciones de Luminosidad Solar (Heliofanía) en Ecuador	4
4.2. Sistemas solares basados en colectores solares	8
4.3. Eficiencia de un Sistema Solar	12
4.4. Cálculo de Confiabilidad de un Sistema Solar	14
4.4.1. Antecedentes Teóricos	14
4.4.2. Desarrollo Práctico	17
5. MARCO ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA	23
5.1. Visión y Misión	23
5.2. Cadena de Valor y de Soporte de la Empresa	24
5.3. Política de Calidad	26
6. DISEÑO DE PROCESOS	28
6.1. Cadena de Valor de Porter	29
6.2. Mapas IDEF0 de la empresa	32
6.3. Diagramas de Flujo	38
7. LAYOUT DE PLANTA DE FABRICACIÓN	42
7.1. Recolección de Información	42
7.1.1. Descripción de Producto	42
7.1.1.1. Dibujos de Ingeniería	43
7.1.1.2. Lista de Partes	44
7.1.1.3. Bill of Materials	44
7.1.2. Información del Proceso	45
7.1.2.1. Selección de Proceso y Secuenciamiento	45
7.1.2.1.1. Tablas de Procesos Operativos	46
7.1.2.1.2. Hojas de Ruta	46
7.1.2.1.3. Diagramas de Precedencia	46
7.1.2.2. Decisiones de Hacer o Comprar	49
7.1.2.2.1. Análisis Estratégico	49
7.1.2.2.2. Consideraciones Económicas	53
7.1.3. Demanda	55
7.2. Tecnología de Grupos	56
7.2.1. Ventajas y Desventajas	56
7.2.2. Familias de Partes	57
7.2.3. Análisis de Flujo de Producción	57
7.2.3.1. Análisis de Flujo de Fábrica	58
7.2.3.2. Análisis de Grupos	59

7.3. Balanceo de Línea de Ensamble	66
7.4. Layout de Planta	78
7.4.1. Tipos de Patrones de Flujo	78
7.4.2. Tipos de Layout	80
7.4.3. Desarrollo de Modelo de Layout (Metodología SLP)	81
7.4.4. Propuesta de Layout	85
8. UBICACIÓN DE LA PLANTA	92
8.1. Tipos de Problemas de Localización	92
8.1.1. Medición de Distancias	92
8.1.2. Funciones Objetivo	93
8.2. Problemas de Distancia Rectilínea	94
8.2.1. Facilidad Única minsum – 1 – media	94
8.2.2. Facilidad Única minimax – 1 – central	97
8.3. Modelo de Ubicación de Plantas	98
8.4. Identificación de posibles locaciones para ubicar Planta	101
8.5. Identificación de fortalezas / debilidades de locaciones	103
8.6. Selección de locación óptima según posibilidades reales	104
9. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	105
9.1. Equipos Instalados	105
9.2. Equipos de Planta	107
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
10.1. Análisis final de Resultados	111
10.2. Conclusiones	114
10.3. Recomendaciones	114
11. BIBLIOGRAFÍA	115
12. ANEXOS	116
1. Tablas de datos de Heliofanía.	
2. Hojas de Ruta del Proceso	
3. Esquema de Flujo de Materiales Original	
4. Esquema de Flujo de Materiales Optimizado	
5. Gráfica PERT de cálculo de cadena crítica	

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 4.1. Gráfico de órbita terrestre alrededor del sol.
2. Gráfico 4.2. Porcentaje de luz efectiva mensual, 1995-2000
3. Gráfico 4.3. Porcentaje de luz efectiva mensual promedio
4. Gráfico 4.4. Variación radiación solar mensual, 1995-2000
5. Gráfico 4.5. Variación radiación solar mensual promedio
6. Figura 4.6. Estructuras de plomería internas de paneles solares
7. Figura 4.7. Calentador “Caja de Pan” de Agua
8. Figura 4.8. Calentador de agua de termo-sifón
9. Figura 4.9. Diagrama de bloques 1
10. Figura 4.10. Diagrama de bloques 2
11. Figura 5.1. Cadena de Valor y Soporte de la empresa
12. Figura 6.1. Cadena de Valor de SunFlower Systems
13. Tabla 6.2. Tabla de Priorización de la Cadena de Valor
14. Figura 6.3. Matriz de priorización
15. Figura 6.4. Diagrama de nodos IDEF0
16. Figura 6.5. Diagrama A0 IDEF0
17. Figura 6.6. Diagrama A-0 IDEF0
18. Figura 6.7. Diagrama A2 IDEF0
19. Figura 6.8. Diagrama de bloques
20. Figura 6.9. Diagrama de flujo
21. Figura 7.1. Panel Solar
22. Figura 7.2. Rig de Colectores
23. Figura 7.3. Explosión de Panel
24. Tabla 7.4. Lista de partes por unidad de producción
25. Tabla 7.5. BOM por unidad de producción
26. Tabla 7.6. Hoja de ruta 001
27. Figura 7.7. Tabla de Procesos Operativos
28. Tabla 7.8. Diagramas de Precedencias
29. Figura 7.9. Corte colectores
30. Figura 7.10. Colectores
31. Tabla 7.11. Matriz Hacer / Comprar para consideraciones estratégicas
32. Figura 7.12. Modelo decisiones económicas
33. Figura 7.13. Matriz de 0 y 1
34. Figura 7.14. Algoritmo Visual
35. Figura 7.15. Algoritmo de King
36. Figura 7.16. Estructura bloque – diagonal
37. Figura 7.17. Líneas de ensamble
38. Tabla 7.18. Tabla de tiempos por parte
39. Figura 7.19. Esquema de flujo de materiales original
40. Figura 7.20. Esquema de flujo de materiales optimizado
41. Figura 7.21. Priorización de Operaciones
42. Tabla 7.22. Lista de Actividades
43. Figura 7.23. Diagrama de Red
44. Tabla 7.24. Cadena Crítica del Proceso
45. Figura 7.25. Flujo de proceso general
46. Tabla 7.26. Identificación de Áreas
47. Figura 7.27. Diagrama de Relaciones de Actividades

48. Tabla 7.28. Requerimientos y Disponibilidad de Espacios
49. Figura 7.29. Diagrama de Relación de Espacios
50. Figura 7.30. Propuesta de Layout
51. Tabla 8.1. Modelos de Medición de Distancias
52. Tabla 8.2. Ejemplo
53. Tabla 8.3. Ejemplo
54. Tabla 8.4. Ejemplo
55. Figura 8.5. Ejemplo
56. Tabla 8.6. Coordenadas de ubicaciones propuestas
57. Tabla 8.7. Modelo Minisum
58. Figura 8.8. Ubicación de Planta
59. Tabla 8.9. Criterios para la Ubicación
60. Tabla 8.10. Datos sobre el lugar y las instalaciones para la ubicación planeada
61. Tabla 9.1. Plan propuesto para mantenimiento preventivo de sistemas instalados en viviendas de clientes.
62. Tabla 9.2. Plan propuesto para mantenimiento preventivo de equipos instalados en la planta de fabricación.

2. INTRODUCCIÓN

“El petróleo ecuatoriano llega a US\$ 46.92 por disparada del WTI. Los expertos subrayan hace semanas que poco puede hacer la OPEP para frenar la tendencia alcista, debido a la limitada capacidad que posee para sacar un volumen extra [de crudo].... El precio del petróleo WTI... cerró ayer en US\$ 59.37 el barril.”⁽¹⁾ Esta es una de las noticias de cabecera del día de hoy, y una que se ha ido repitiendo el último año. Esto nos dice en síntesis 3 cosas: Primero, que cada día la demanda mundial de energía que requiere combustibles fósiles incrementa y por ende el consumo mundial de petróleo también. Al momento se consumen alrededor de 85 millones de barriles al día, y se estima que para el año 2010 este consumo llegue hasta los 100 millones de barriles diarios.⁽²⁾ La segunda inferencia es que a este nivel creciente de consumo las reservas mundiales de combustibles fósiles no renovables están cayendo cada vez más aceleradamente. El tercer hecho que se puede obtener de esta frase es que los niveles de contaminación por emisión de CO₂ a la atmósfera son a su vez cada vez mayores, agravando el ya complicado problema del calentamiento global.

Esta información y estas conclusiones generales son hechos claros que indican que el desarrollo de fuentes renovables de energías alternativas dentro de poco tiempo se volverá una prioridad para todas las sociedades del mundo. Es más, al momento existen ya compañías grandes invirtiendo mucho capital y esfuerzos para desarrollar nuevas fuentes de energía. Este es el caso de algunas empresas automotrices como Toyota o BMW, que al ser las que a futuro serán más afectadas por la escasez de crudo, se encuentran desarrollando tecnologías de vehículos híbridos y de celdas de hidrógeno entre otras. Existen también organizaciones grandes como el E7 que se encuentran promoviendo proyectos de desarrollo de energía sustentable en países en desarrollo, como es el caso de un proyecto de Energía Eólica que se está desarrollando en Galápagos en conjunto con el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador.

Las energías alternativas renovables de desarrollo sustentable y de bajo nivel de polución son el futuro. Se tienen las conocidas como la energía hidráulica, la geotérmica, la biomasa, la energía eólica, y un poco más abajo la energía solar. Un poco más abajo pues en términos de generación es la menos eficiente, pues una planta solar no puede generar los

¹ Diario “Hoy”. 21 de Junio 2005.

² Diario en línea “Bloomberg”. 21 de Junio 2005. <http://www.bloomberg.com/news/markets/energy.html>

mismos niveles de energía que una planta hidroeléctrica. Pero para otras aplicaciones más “hogareñas” la energía solar es una puerta amplia hacia el camino de la energía renovable.

Tomando las premisas globales de la demanda energética de combustibles fósiles es evidente que a futuro se creará la necesidad para productos variados relacionados a energías alternativas. Por esto y por la experiencia práctica que tengo en el campo decidí proponer y elaborar este proyecto, este estudio basado en una de las aplicaciones posibles para la energía solar. Por un lado me emocionaba mucho el hecho de poder convertir esta idea en un negocio rentable en algún momento dado, y por otro me emociona mucho la idea de a futuro poder ayudar aunque sea en un poco a cuidar el medio ambiente, ayudar un poco a promocionar el desarrollo de energías sustentables en el Ecuador.

El siguiente estudio se basa en el diseño integral de una planta para la construcción de sistemas solares basados en colectores de baja temperatura, con el fin de calentar agua para uso doméstico. Diseño integral pues abarcará el desarrollo de un nuevo negocio desde las bases teóricas, pasando por el diseño de producto, por diseño de procesos de fabricación, diseño de planta de fabricación hasta la ubicación de la misma. La gran mayoría de estas etapas son aplicaciones de algún tema abarcado en la carrera de Ingeniería Industrial, razón por la cual se decidió proceder con este estudio para la obtención del título en esta área, pues no se tratará solo uno o dos temas vistos en el curso de esta carrera, pero la gran mayoría, demostrando así porque esta profesión es una de las más demandadas en los últimos tiempos en el mundo empresarial.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos Generales

- Transmitir un conocimiento general acerca de las ventajas de la energía renovable alternativa.
- Concienciar a las personas de lo necesario que es empezar a cuidar los pocos recursos naturales que nos quedan.
- Profundizar el conocimiento y habilidades en el desarrollo de nuevos proyectos.
- Identificar y Analizar dificultades reales para ser emprendedores en el Ecuador.
- Poner en práctica la mayor cantidad de conocimientos impartidos durante la carrera de Ingeniería Industrial.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio real y coherente que lance resultados favorables.
- Tener un estudio técnico que permita una futura realización del proyecto.

4. MARCO TÉCNICO GLOBAL

4.1. Condiciones de Luminosidad Solar (Heliofanía) en Ecuador

El Ecuador es un país privilegiado con respecto a condiciones meteorológicas y ubicación geográfica para la utilización de paneles solares, sean estos de celdas fotoeléctricas o de colectores de calor de bajas temperaturas. Primeramente al encontrarse en la latitud 0° no existen variaciones representativas de horas efectivas de luz solar al día. En este país existe a lo largo de todo el año un promedio de 12 horas diarias de sol, variando entre alrededor de 11.45 a 12.20 horas dependiendo de la posición de la tierra en la órbita elíptica alrededor del sol.⁽³⁾

La luminosidad o brillo solar se conoce comúnmente en el ámbito meteorológico como “Heliofanía”. La Heliofanía se mide con un instrumento que se compone básicamente de una placa metálica, un circuito eléctrico y un reloj. Cuando la temperatura de los rayos solares alcanza un valor determinado se dispara un impulso eléctrico que activa el reloj, y este empieza a tomar el tiempo. Luego, si la temperatura baja de cierto nivel el reloj se desactiva, y así periódicamente según las condiciones de luminosidad. La Heliofanía se mide en horas de brillo solar mensuales. Para efecto de este estudio la Heliofanía no es un indicador muy práctico o utilizable, pero basándose en esto podemos determinar la radiación solar en vatios (W) por metro cuadrado de la siguiente manera:

$$R_s = R_T \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right]$$

Donde: R_s = radiación solar

R_T = radiación solar promedio, 1367 vatios por metro cuadrado (Ecuador¹)

a = constante, 0.28

b = constante, 0.45

n = horas de Heliofanía medidas

N = duración del período en horas (por ejemplo 12 horas en el día de sol)

³ Departamento de Agricultura del INAMHI (Instituto Nacional de Mineralogía e Hidrología)

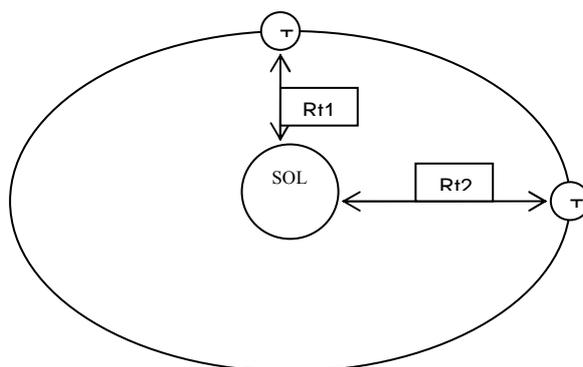
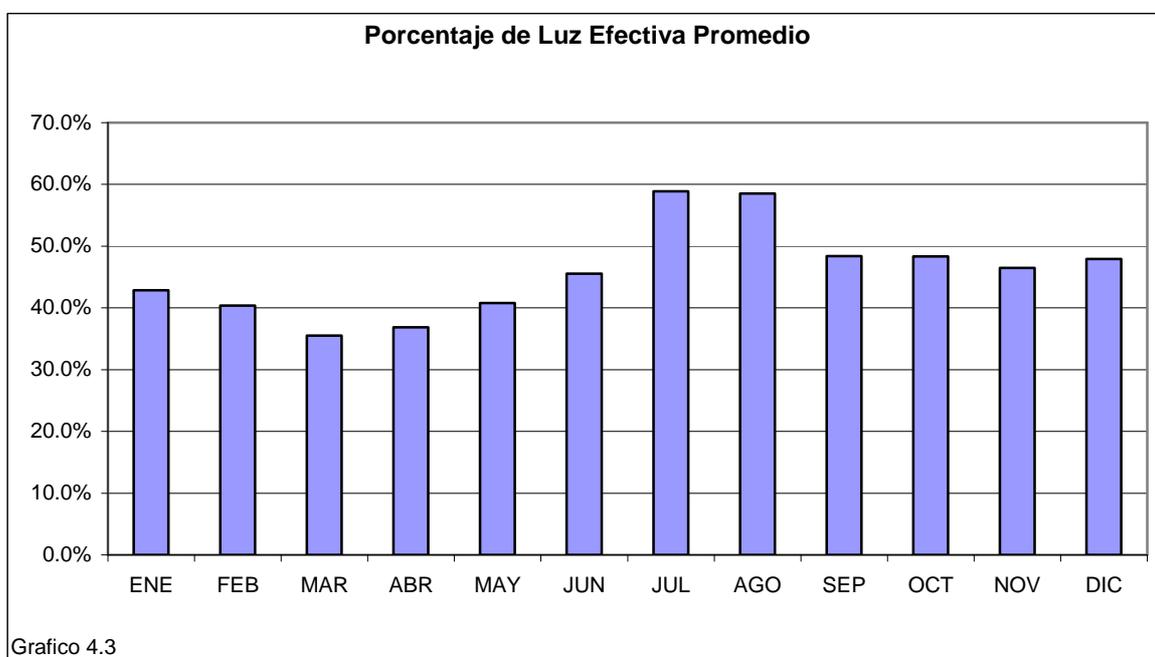
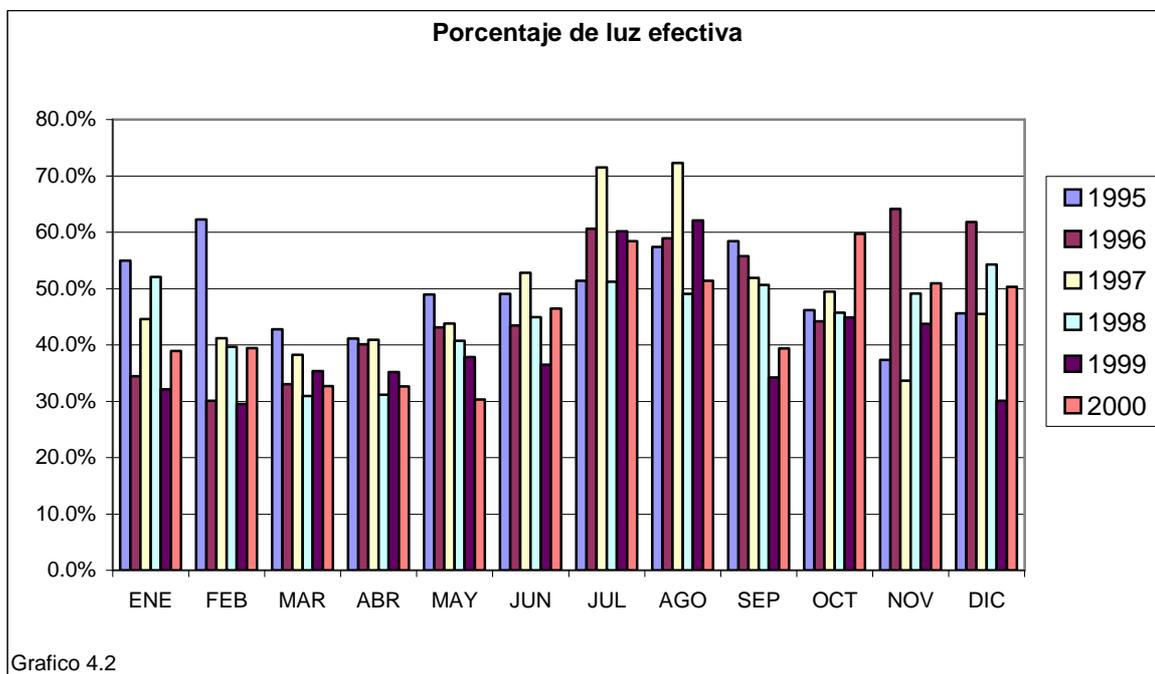
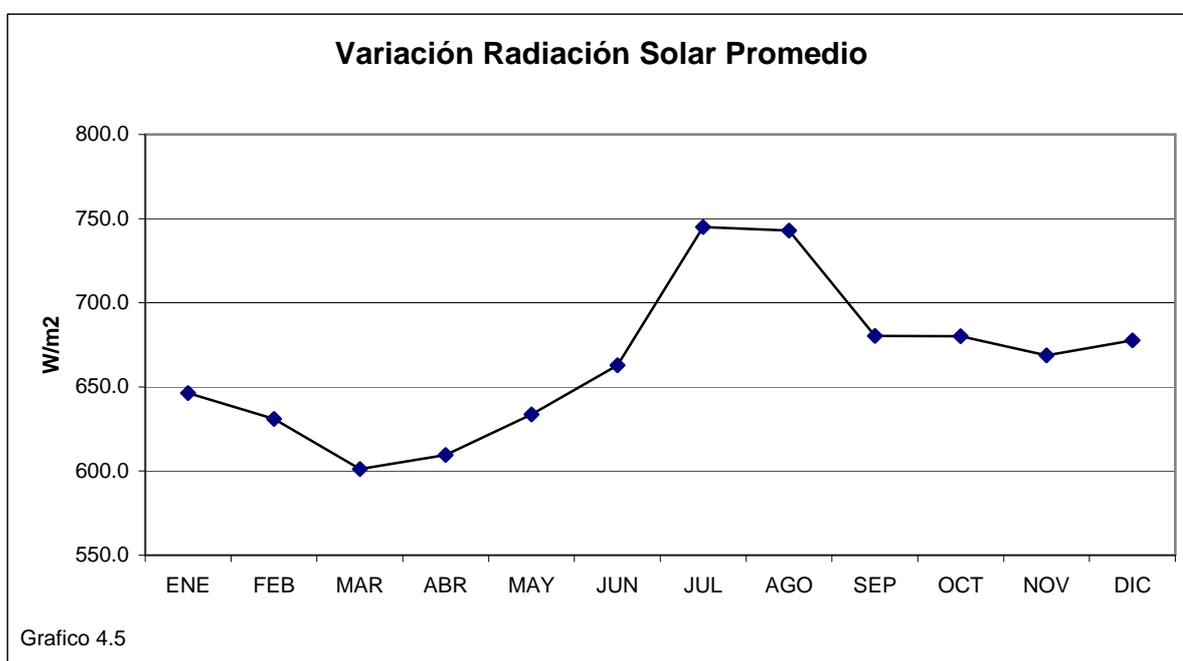
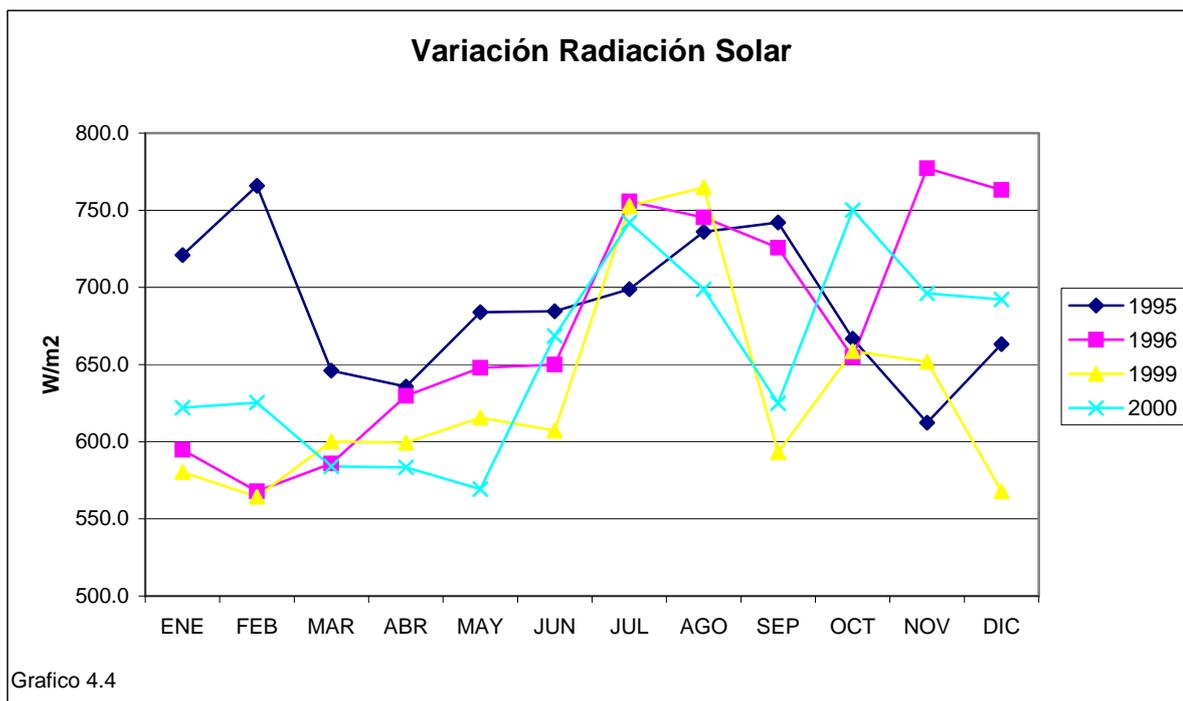


Figura 4.1. Órbita terrestre.

Como se conoce la Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, y por ende la intensidad de la luz solar varía en muchas partes del mundo, pero en el Ecuador al estar en la latitud 0° esta variación no es muy representativa. El valor de R_T es el promedio de valores como R_{T1} y R_{T2} , y el resto de distancias existentes. Entonces como la variación no es representativa para nuestras condiciones se utiliza como constante el valor de $1367 \text{ W} / \text{m}^2$ en los subsiguientes cálculos.⁽³⁾

Ahora, la ubicación geográfica de este proyecto será en la parroquia Tumbaco, y el área de incidencia en un principio será así mismo alrededor de esta parroquia. Los datos de Heliofanía no pudieron ser obtenidos directamente del sector Tumbaco, puesto que el INAMHI no tiene un puesto de medición con el instrumento correcto en este sector. El puesto de medición con los equipos necesarios más cercano a Tumbaco se encuentra en el sector La Tola, por ende los datos de Heliofanía utilizados en los subsiguientes cálculos fueron obtenidos de este sector. Otra consideración a mencionar es que por falta de eficiencia en las operaciones de tabulación de información del INAMHI, solo se pudieron obtener datos desde el año 1995 hasta el año 2000 que es lo más actualizado que poseen.





4.2. Sistemas solares basados en colectores solares⁽⁴⁾

En muchos países alrededor de 25% del consumo de energía doméstica está destinado al calentamiento de agua a bajas temperaturas, es decir bajo los 100°C. En climas más fríos, el calentamiento de espacios también cuenta como un porcentaje importante en consumo de energía.

Después de la crisis de la energía de los años 70 y los aumentos subsecuentes en el costo de combustibles fósiles, el interés en sistemas de energía solar se incrementó. Millares de sistemas fueron instalados a partir de fines de los años 70 hasta mediados de los años 80. Gobiernos federales y locales, servicios públicos, y propietarios de casas particulares participaron en la instalación de estos sistemas.

¿Cómo funcionan?

Las tecnologías solares térmicas de bajas temperaturas, especialmente las que no generan electricidad, se basan en los principios científicos del “efecto invernadero” para generar calor. La radiación electromagnética del sol, incluyendo las ondas visibles e infrarrojas, penetra en los paneles solares y son absorbidas por las superficies de este. Una vez que la radiación es absorbida por las superficies del panel, la temperatura incrementa. Este incremento en temperatura puede ser utilizado para calentar agua, aire, secar alimentos, desalinizar agua, y cocinar comida.

Sistemas Solares Domésticos para Calentar Agua

Los sistemas Solares Domésticos para Calentar Agua pueden ser divididos en dos grupos:

- Paneles de Placas Colectoras Planas
- Calentadores de Lotes de Agua

Los sistemas de paneles son los más comúnmente usados para fines domésticos, y por ende forman la mayor parte de esta sección.

Paneles de Placas Colectoras Planas

Los paneles solares son invernaderos sofisticados que atrapan y utilizan el calor del sol para incrementar la temperatura del agua hasta sobre 70° C. Estos paneles consisten en

⁴ Sección referenciada a los libros de Boyle, Hinrichs y Twidell indicados en la Bibliografía.

cajas herméticas aisladas cubiertas con vidrio u otra cubierta de algún material transparente. Existen varios diseños para estructurar la tubería interna de los paneles, según lo demostrado en la figura 4.6.

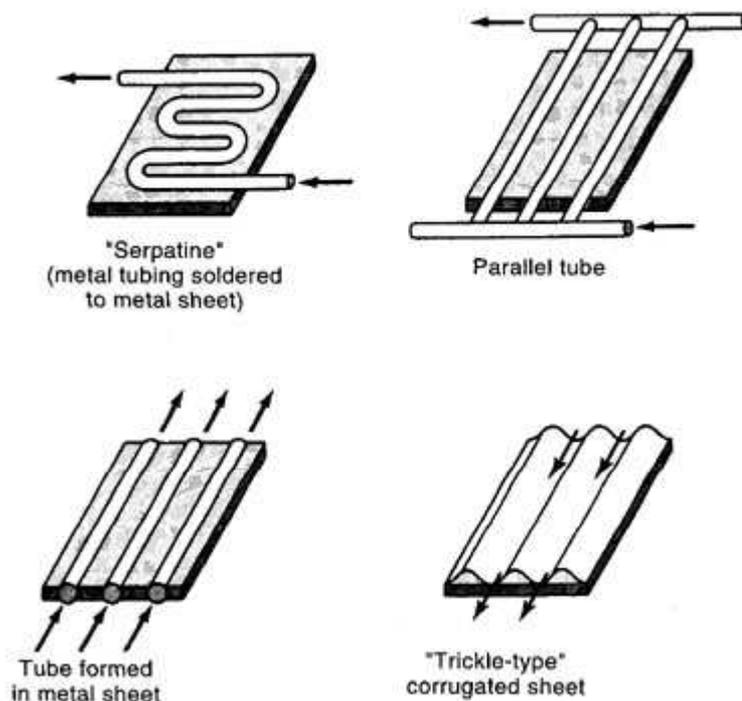


Figura 4.6. Estructuras de plomería internas de paneles solares.

Los paneles tradicionales, como los estructurados en forma de serpentín o paralelamente, consisten de un cierto número de tubos de cobre, orientados verticalmente con respecto al panel, y en contacto térmico con los colectores (placas metálicas absorbentes de colores oscuros). En la parte superior e inferior de los paneles, tubos de cobre más gruesos conocidos como "headers" asisten en el retiro del agua ya calentada y en la entrada del agua más fría que será calentada. El aislamiento se pone entre los colectores y las paredes externas del panel para prevenir pérdidas de calor.

Mientras que la teoría de operación para paneles solares de colectores metálicos es bastante consistente, han ocurrido mejoras significativas en el diseño de sistemas, particularmente en las placas absorbentes o colectores. Los paneles de placas inundados son similares a sus primos entubados, excepto que dos placas absorbentes de metal están intercaladas juntas a manera de sánduche, permitiendo que el agua atraviese la placa entera. El incremento del contacto térmico da lugar a mejoras significativas en la eficacia del sistema.

Tanques de Almacenaje

Existen tres tipos de tanques de almacenaje utilizados comúnmente con paneles solares de colectores planos. El tanque más común en sistemas nuevos es el “sistema aparejado”, donde los tanques de almacenaje son montados con los paneles en el techo de la construcción. Los tanques son localizados sobre los paneles para aprovechar el efecto de “termo-sifón”. La densidad del agua cambia con respecto a la temperatura. Generalmente el agua es menos densa a temperaturas altas que a temperaturas bajas. El efecto termo-sifón usa este principio para hacer circular el agua a través del panel solar: el agua fría que entra de la red de agua potable municipal o del tanque hidroneumático de la vivienda entra por la parte baja de los paneles (estos están colocados en ángulo para crear el efecto mencionado), pasa por los colectores y al irse calentando se vuelve menos densa y sube hasta la parte superior de los paneles, de donde sale caliente al tanque. En el tanque pasa algo similar, el agua fría entra por la parte baja de este, regresa el agua caliente de los paneles y sale a la vivienda por la parte alta de los paneles. Para que el efecto termo-sifón sea exitoso, es importante que exista una elevación constante en los paneles, y que se utilice el diámetro correcto en la tubería de cobre. Existen dos ventajas significativas en este estilo de tanques: este arreglo es el más efectivo con relación al costo, y el agua calentada se distribuye en la vivienda a la presión de la calle o del hidroneumático.

Los sistemas alimentados por gravedad también pueden ser utilizados para almacenar agua de paneles solares. En este tipo de arreglo el tanque es instalado en un compartimiento bajo el techo de la vivienda, un altillo por ejemplo, y solamente el panel está expuesto al sol. El posicionamiento de los paneles debe ser tal que permita también el efecto de termo-sifón natural. Aunque estos sistemas sean más baratos de comprar, la plomería de la vivienda debe ser adecuada para la alimentación por gravedad, es decir, tubería más grande en el techo y en la grifería.

Los sistemas menos populares son los de circulación forzada, en los cuales el tanque de presión está ubicado a nivel del suelo con los paneles en el techo o azotea. En estos sistemas, una bomba es activada cuando el sol brilla, y el agua fría se bombea a través de los paneles. Los sistemas de circulación forzada son más costosos que los sistemas aparejados o sistemas de alimentación por gravedad, y además se requiere electricidad proporcionar energía para la bomba de circulación.

Calentadores de Lotes de Agua (Batch Water Heaters)

Los calentadores de Lotes de agua, conocidos también como “cajas de pan” son sistemas pasivos muy simples para calentar agua usando energía solar, y lo han sido desde los años 1900’s. Los sistemas por lotes consisten de tanques de almacenamiento negros contenidos dentro de una caja aislada que tiene una cubierta transparente. El agua fría es añadida al agua caliente almacenada cuando quiera que el agua caliente es sacada de los tanques. Los sistemas modernos de lotes son usados como sistemas de pre-calentamiento, donde el agua es luego calentada aún más por sistemas de gas natural, electricidad o madera. Para retener el calor del agua, el sistema requiere que una cubierta aislante sea colocada sobre la cubierta en las noches para evitar el calor que se pierde al ambiente. La figura 4.7 muestra un calentador “caja de pan” de agua típico.

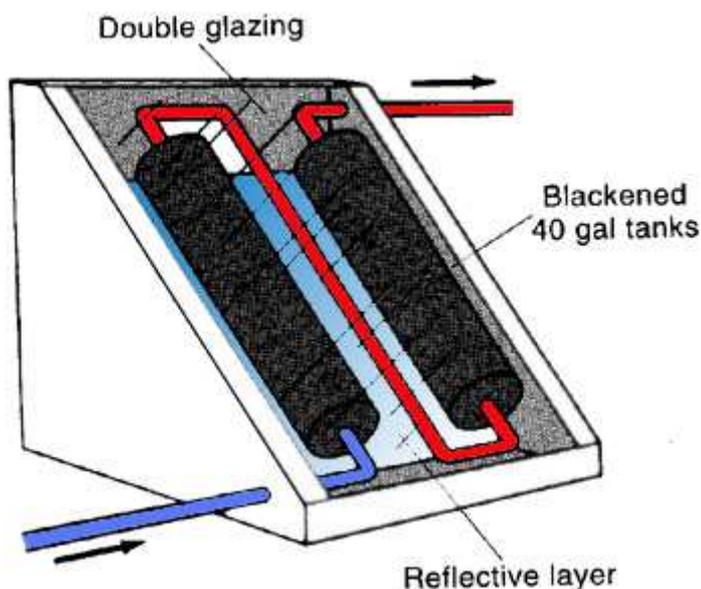


Figura 4.7. Calentador “Caja de Pan” de Agua

Efecto “Termo-sifón”

El efecto “termo-sifón” utiliza paneles solares para calentar el agua que luego regresa a un tanque de almacenamiento, localizado sobre el panel. El agua fría, más densa fluye a través del panel calentándose y luego es regresada al tanque. Ya que el agua caliente es menos densa, esta se eleva a la parte superior del tanque. En condiciones óptimas de luminosidad solar (medio día), una sola pasada del agua a través del panel solar puede calentarla en 20°C. Los sistemas de paneles solares montados en el techo que utilizan el efecto de termo-sifón son extremadamente populares en el Medio Oriente, con

un 70% de la población usando agua que fue calentada con este tipo de sistemas. La figura 4.8 muestra un calentador de agua de termo-sifón típico.

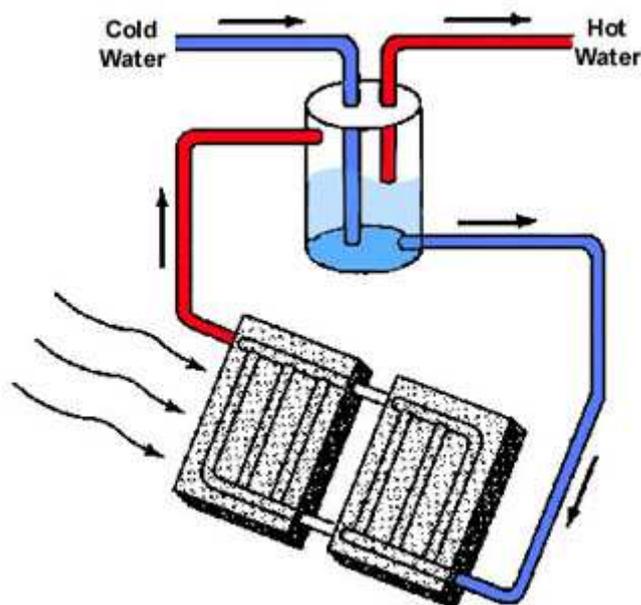


Figura 4.8. Calentador de agua de termo-sifón.

Calentamiento Solar de Piscinas

Los calentadores solares de piscinas es uno de los métodos más simples de calentamiento solar. Una gran área de placas colectoras negras (para incrementar la absorción de energía solar) sin cobertores de vidrio son posicionadas en el techo de la vivienda. El agua de la piscina es bombeada a través de las placas colectoras ganando calor a medida que pasa por la tubería de cobre. Un área relativamente grande de placas colectoras y tuberías, típicamente la mitad del área de la piscina, es requerida dada la poca eficiencia térmica de los colectores sin vidrio. Poner vidrio a los colectores, aunque aumentaría la eficiencia térmica, no es efectivo en relación al costo, dado que para piscinas solo se requiere un pequeño aumento en la temperatura del agua.

4.3. Eficiencia de un Sistema Solar⁽⁵⁾

Colectores Cobre – Cobre vs. Aluminio – Cobre ¿Cuáles son más eficientes?

La eficiencia depende de la construcción de la placa absorbente. Más específicamente la eficiencia depende del grosor de la placa de cobre o aluminio, las distancias entre los tubos del colector, el tamaño y el grosor del tubo, y el método mediante el

⁵ SunRay Solar – Proveedores de Colectores. members.cox.net/sunraysolar, visitada el 6 de Noviembre 2004.

cual la placa absorbente está acoplada al tubo de cobre para crear la transferencia de calor. Esto es llamado “eficiencia de colector.”

Los materiales y el método para la transferencia de calor de los colectores (todo cobre) y (aluminio – cobre) que serán utilizados para los paneles solares de SunFlower Systems, son seleccionados para la máxima eficiencia posible.

La empresa que proveerá de los colectores (Sun Ray Solar) calculó la eficiencia de estos. La eficiencia para los colectores de todo cobre fue de un 96% de absorción, y para los de aluminio – cobre fue de un 94% de absorción. Para los productos de SunFlower Systems se utilizarán en mayoría colectores de aluminio – cobre.

Corrosión en los Colectores

Generalmente metales disimilares tienen cargas eléctricas diferentes, en este caso el cobre, un metal noble con carga positiva (cátodo), y el aluminio, un metal menos noble con una carga negativa (ánodo). Si los dos metales entran en contacto con un electrolito corrosivo como el agua de una batería de auto, se presentará corrosión en el metal menos noble (aluminio), y luego en el metal más noble (cobre). Esta corrosión es conocida como corrosión galvánica.

Ahora, los colectores que serán utilizados no se corroen por las siguientes razones:

1. En los colectores a ser utilizados los dos metales no comparten electrolitos corrosivos. El agua fluye dentro de la tubería de cobre y no está en contacto directo con el aluminio.
2. El aluminio de los colectores es pintado antes de ser acoplado a la tubería de cobre para crear aislamiento eléctrico entre los dos metales, así eliminando cualquier transferencia de corriente eléctrica.

Diferencias de Eficiencia / Costo entre colectores Cobre – Cobre y Aluminio - Cobre

Los costos de los colectores de cobre son alrededor de un 20% a un 30% más altos que los de los aluminio – cobre. Los colectores de aluminio –cobre son solo un 2 o 3% menos eficientes, por lo que no es justificable el gasto.

4.4. Cálculo de Confiabilidad de Componentes de un Sistema Solar

Objetivo

El objetivo es poder identificar dentro de los componentes de un sistema solar para calentar agua, cuáles de estos son los que causarán más problemas, calculando su confiabilidad, y tratando de predecir posibles fallas futuras. Basándose en esto se pueden proponer mejoras al momento de diseñar, construir e instalar un sistema de esta naturaleza. Esto se logrará a través de recolección de información, y diseño de procedimientos para calcular la confiabilidad de todo el sistema mediante diagramas de bloques.

4.4.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Desempeño y Confiabilidad de sistemas de calefacción solar activos⁽⁶⁾

Durante el período mencionado en el punto 4.2, es decir entre los años 70 y 80, cientos de Sistemas Solares fueron monitoreados, produciendo gran cantidad de información documentada de desempeño. La mayoría de los datos recogidos eran respecto al desempeño de sistemas domésticos solares para agua caliente. Lo que sigue es un sumario de efectividad de los tipos más comunes de sistemas solares, basada en la información recolectada de las actividades de la supervisión de desempeño de los años 80.

Estos estudios demuestran que los sistemas solares domésticos de agua caliente son más confiables que sistemas de calentamiento combinados de agua / espacio caliente. Los sistemas solares de calefacción de espacios generalmente son más confiables que sistemas solares de agua caliente. Esto es sobre todo debido a los escapes (goteos) en los sistemas basados en líquido. Mientras que los escapes de aire en sistemas de calefacción de aire son difíciles de detectar, no causan generalmente ningún daño. Dan lugar solamente a eficacias y desempeño del sistema más bajas.

De todos los sistemas del líquido evaluados, los sistemas de retro-drenaje y recirculación son los más confiables. Los sistemas de anticongelante y aceite son más confiables que sistemas de drenaje inferior, así como sistemas que utilizan el calor de una resistencia eléctrica para evitar el congelamiento. Esto se da generalmente por fallas en sensores y válvulas automáticas que componen los circuitos de detección de congelación. Otras de las fallas fueron atribuidas a circuitos de calefacción que no funcionaron,

⁶ U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy. <http://www.eere.energy.gov>

usualmente durante apagones. Sistemas domésticos solares de agua que usan un módulo fotovoltaico (FV) para accionar las bombas, son generalmente más confiables que otros sistemas de este tipo. Aunque el costo inicial de instalación es mayor, estos módulos son muy simples y requieren poco mantenimiento. Además, no son afectados por las interrupciones de energía.

Confiability de los componentes del sistema de calefacción solar⁽⁷⁾

Los componentes primarios de los sistemas de calefacción solar son los colectores (*), los sistemas de traspaso térmico (**), el almacenaje del calor (***), y los controles (****). Basándose en resultados del Programa Nacional de Demostración Solar de Estados Unidos (National Solar Demonstration Program – NSDP), el colector y los componentes del traspaso térmico son los más propensos a fallas. De todos los Sistema Solares monitoreados por el NSDP, cerca de 30% tuvieron problemas con alguno de estos componentes. Problemas con almacenaje y los sistemas de control ocurrieron en un 20% del período. Casi el 60% de todos los sistemas experimentan algún tipo de problema.

* En este caso el colector es lo que en Ecuador se conoce como panel. El panel es una caja de aluminio con aislamiento en un lado y con vidrio al otro. Dentro de este están los tubos de cobre con sus respectivas placas de aluminio para coleccionar la luminosidad solar (estos se los conoce como colectores en Ecuador, y se los llama “fin-tubes” en Estados Unidos).

** El subsistema de traspaso térmico en este caso serían los colectores, pues la idea es que el sol cae en las placas de aluminio, y este calor es traspasado al tubo de cobre en el centro de la placa, y a su vez el calor del tubo se pasa al agua que corre por este.

*** El almacenaje de calor sería el tanque que almacena el agua.

**** Los controles pueden ser los sensores de temperatura para activar o desactivar el sistema, termómetro, válvula de aire, de presión, etc.

Problemas del colector

El mayor problema de todos los tipos de colectores son las fugas o goteo. Los escapes pueden ocurrir dada una mala fabricación, una instalación incorrecta o como resultado de un daño por congelamiento (no ocurre en nuestro medio). Otros problemas son por ejemplo daños al esmalte del colector, fracturas en sellos y juntas, acumulación de

⁷ Solar Energy Handbook. Honeywell Commercial Division.

depósitos mineral (cuando hay agua con contenido mineral), y corrosión (cuando metales disímiles como aluminio y cobre entran en contacto).

Problemas del subsistema del traspaso térmico

El problema potencial más grande de este sistema sería fallas en la protección contra la congelación. La protección contra congelación tiende a ser no confiable en sistemas basados en agua. Un problema puede surgir cuando las soluciones del anticongelante llegan se vuelven ácidas, debido al vencimiento de la efectividad de los inhibidores de la corrosión del anticongelante después de un período de tiempo establecido. Eventualmente esto resulta en daños internos de las tuberías, colectores, y sistema de transferencia de calor, que pueden causar fugas. Las faltas relacionadas al congelamiento también ocurren en ciertos tipos de sistemas de aire que usan soluciones anticongelantes como parte de su sistema de traspaso térmico.

El agua doméstica que es alta en contenido mineral (o "dura") puede causar acumulación de depósitos minerales en sistemas de calefacción solar basados en líquido. Si el agua se utiliza como el líquido del traspaso térmico, la acumulación puede ocurrir en el colector, la distribución, y la tubería de transferencia de calor. En sistemas que utilizan glicol (un anticongelante) como el líquido del traspaso térmico, la acumulación puede ocurrir en la superficie del intercambiador de calor que transfiere calor del colector solar al agua doméstica. La acumulación puede ser evitada con el uso de los suavizantes de agua, o corregirlo al hacer circular una solución ácida suave (tal como vinagre) a través del colector o del lazo doméstico de agua caliente cada tres a cinco años, o cuanto sea necesario dependiendo de las condiciones del agua.

Muchos de los problemas mencionados arriba se pueden eliminar con la instalación, el aislamiento, y las prácticas de mantenimiento apropiados.

Problemas del almacenaje

Los subsistemas del almacenaje son tanques de almacenaje en el caso de sistemas líquidos, y compartimientos de roca o materiales fase-cambiantes (sensibles al estado del aire) en el caso de sistemas de aire. Un estudio de la NSDP demostró que 19% de los sistemas experimentaron problemas en los sistemas del almacenaje. Para ambos sistemas, las fugas una vez más son el mayor problema. Las fugas en sistemas de almacenaje de aire son difíciles de detectar, así que los compartimientos de roca se deben sellar con seguridad

durante la construcción para prevenir las fugas. Generalmente, los problemas en sistemas de almacenaje no son severos, y no tienen un impacto significativo en la operación total del sistema.

Problemas del control

La colocación y la instalación del sensor de temperatura son pasos críticos para la operación del sistema. La mayoría de fallas del control son debido a la instalación incorrecta o debido a mal uso de los sensores.

4.4.2. DESARROLLO PRÁCTICO

Primeramente se trató de obtener información de tasas de fallas en componentes de estos sistemas en el ámbito nacional, empresas nacionales, organizaciones, etc. Al no tener éxito con este primer intento, se pensó en proceder a tratar de encontrar tasas de fallas en un sistema ya instalado, pero no se había monitoreado la vida de este sistema. Por esto se procedió a buscar información en portales estadounidenses de energía solar. La fuente más acertada fue un portal del departamento de energía de Estados Unidos. Se mencionan porcentajes de fallas en general, pero nada más específico, como frecuencia de fallas en períodos de tiempo. Se presentan las tasas de fallas como porcentajes de probabilidad de falla en períodos de tiempo establecidos. Esto fue lo más acertado que se encontró acerca del tema, y se procedió con el estudio con estas bases.

La idea general fue realizar el diagrama de bloques del corazón del sistema, es decir de los componentes más importantes. En el caso del sistema analizado lo más importante son los colectores (subsistema de traspaso de calor), los paneles (se mencionan como colectores en la introducción), el tanque (almacenaje de calor), el sensor (sensor que mide temperatura para activar o no el termostato), y el termostato (dispositivo eléctrico para calentar agua en caso de que no funcionen los paneles –en redundancia stand by-). (Ver figura 4.9, el diagrama de funcionamiento del sistema). A continuación se desarrolla el diagrama de bloques y se asignan las tasas de falla correspondientes a cada elemento, o confiabilidad.

Datos

Los datos encontrados a continuación son de un HCE (heat collector element) o elemento de colector de calor, en nuestro caso de paneles. Ya que se obtuvo esta información ya no es necesaria la confiabilidad de los colectores en sí. Como se podrá observar la información encontrada está como porcentajes de fallas en períodos de tiempo.⁽⁸⁾

Paneles	Unidad	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Tasa de Falla	% / año	3%	2%	1.0%	0.5%	0.2%	0.2%	0.2%

Entonces se tiene que transformar esta información a tiempos medios entre fallas para poder encontrar lambda. Por ejemplo en el año 94 se tiene un 3% de fallas, lo que se puede traducir a 3% de días del total de 365. Esto sería 10 fallas en el año 94, sean muy leves (fugas) o graves (corrosión). Entonces con esta base se hizo lo mismo para todos los años.

Paneles	Unidad	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Tasa de Falla	falla / año	10	7	4	2	1	1	1

La definición de tiempo medio entre fallas es: “El MTBF es la relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación, y el número total de fallas detectadas en esos ítems en un período observado.”⁽¹⁾. Se tomará en cuenta el MTBF por cada panel del total de cuatro que tiene el sistema analizado (ver figura 4.9). Dado que la luminosidad solar es efectiva en nuestro medio de 9 AM a 3 PM generalmente, el tiempo de operación es de 6 horas diarias, por lo que tenemos 2190 horas de operación anuales. El número de fallas son las mostradas en la tabla anterior. De esto se tiene un MTBF para cada año:

Paneles	Unidad	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
MTBF	falla cada x horas	219	312,9	547,5	1095	2190	2190	2190

⁸ U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy. <http://www.eere.energy.gov>

Ahora se consideró un MTBF promedio de todos los años para cada panel. Entonces tenemos un $MTBF = 1249,2$. Entonces tenemos para cada panel **un $\lambda = 0.00080052$** .

Para el sensor que mide temperatura y envía el impulso eléctrico para encender o no el termostato, se obtuvo información estándar que establece que la confiabilidad promedio de estos componentes es del 95%, por lo que **$R = 0.95$** en este caso.

Un termostato como se dijo es el dispositivo que se encuentra en redundancia stand-by (paralelo) con los paneles, solo se activa cuando el otro falla, es decir cuando los paneles no reciben suficiente brillo solar para calentar el agua a la temperatura establecida (por lo general un mínimo de $38^{\circ} C$). Entonces cuando el sensor detecta que el agua está a menos de $38^{\circ} C$ envía un impulso eléctrico y enciende el termostato. Este componente falla muy pocas veces y el estándar de confiabilidad está por lo general alrededor de un 95%. En este caso se dará un enfoque pesimista y se asumirá un **$R = 0.95$** .

Para el tanque de almacenamiento, si se da un buen proceso de diseño y construcción, este no debería fallar. Si se dan fallas, estas típicamente serán fugas por efectos de presión o temperatura excesiva, o por corrosión. Y muchas veces, dada la efectividad del sistema, esto puede ocurrir si no se dan los cuidados necesarios. Por ejemplo en el sistema analizado, si se dan 2 días de mucho sol y poco uso la temperatura puede subir hasta $80^{\circ} C$, y en este caso se tiene que drenar una cantidad del agua caliente para evitar fugas subsecuentes. Por todas estas razones la confiabilidad de un tanque puede variar entre un 85 y 95% dado el cuidado. En este caso se asumirá un **$R = 0.90$** .

Calculo confiabilidad del sistema⁽⁹⁾

Para el cálculo de confiabilidad se considera el diagrama de bloques de la figura 4.10 mostrado a continuación. En este se tiene los cuatro paneles solares con sus respectivos MTBF conectados en serie, y estos a su vez conectados en paralelo con el termostato. Todo este paquete está en serie con el tanque de almacenamiento, y luego de esto solo sale el resultado a las duchas directamente. El sensor y switch en este caso detecta la falla en el tanque, y no en los paneles, por lo que se considera en serie con el termostato. Se considera un período de análisis de una semana operacional, es decir de 42 horas.

⁹ O'Connor, Patrick. Practical Reliability Engineering. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, 1988.

Basándose en lo expuesto anteriormente y basándose en la figura 4.10 se procede al cálculo:

$$R(\text{paneles}) = \exp(-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)t) = \exp\left(-4\left(\frac{1}{1249.2h}\right)42h\right) = 0.874$$

$$R(\text{termostato}) = 0.95$$

$$R(\text{sensor}) = 0.95$$

$$R(\text{tan que}) = 0.90$$

$$R(\text{panel.y.term}) = \exp(-\lambda_1 t) + \lambda t \exp(-\lambda_2 t) = 0.874 + \left(\frac{1}{1249.2h} * 42h * 0.95\right) = 0.906$$

Ahora para calcular el efecto del switch, primero se calcula la probabilidad de que fallen los paneles y el switch, para luego calcular la confiabilidad real del switch. Se consideran los paneles y el switch en serie, ya que si los paneles fallan el tanque nota eso, y el tanque avisa al sensor / switch, así que se los puede considerar en serie, y así:

$$F(\text{paneles.y.sensor}) = (1 - 0.874)(1 - 0.95) = 0.0063$$

$$R(\text{real.sensor}) = 1 - 0.0063 = 0.9937$$

Por lo tanto la confiabilidad del sistema sería la confiabilidad combinada del tanque, el switch, y los paneles y termostato en conjunto, por lo tanto:

$$R(\text{sistema}) = R(\text{panel.y.term}) * R(\text{sensor}) * R(\text{tan que})$$

$$R(s) = 0.906 * 0.9937 * 0.90 = 0.81$$

Entonces se encuentra una confiabilidad general del sistema de un 81%.

5. MARCO ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA

5.1. Visión y Misión.

La visión proporciona una guía para distinguir entre el núcleo que debe preservarse y el futuro hacia el que debe estimularse el progreso. Lo malo es que muchas veces se entiende a este concepto de mala manera y se proponen objetivos que solo hablan de utilidades para los accionistas en lugar de brindar en esencia lo que la empresa es, y a donde quiere llegar. Una visión bien concebida consiste en dos componentes principales: una ideología esencial y un futuro visualizado. La ideología esencial define qué defendemos y el porque existimos, mientras que el futuro visualizado es lo que aspiramos a llegar a ser, lograr, crear, algo que requerirá cambios significativos y progreso.

Entonces para el desarrollo de una visión se debe considerar que valores centrales se tendrán en la empresa, cual es su propósito esencial, que metas grandes poderosas y audaces quieren alcanzar y por ultimo una descripción vívida del estado de la empresa en un futuro.

Ideología Esencial

Valores Principales:

- Competitividad a través de la buena relación interna entre la gente.
- Compromiso social y ambiental con la región y el país.
- Retroalimentación y mejoramiento continuo a todo nivel.
- Honestidad e integridad.
- Cumplir con estándares de calidad en todos los productos ofrecidos.
- Servicio al cliente por encima de todas las cosas (enfoco al cliente).
- Reputación excelente.

Propósito Esencial:

Utilizar un recurso natural como es la energía solar para comercializar a nivel nacional una alternativa poderosa para el calentamiento de agua para usos domésticos; y lograr de esta manera un ahorro de los recursos no renovables del planeta; y así colaborar para que las generaciones venideras puedan aun disfrutar de un medio ambiente puro y saludable.

Futuro Visualizado

MGPA (Metas Grandes Poderosas y Audaces a 10 o 30 años):

- Cumplir con un alto porcentaje de eficiencia en las metas propuestas.
- Ganar reconocimiento nacionalmente como una empresa confiable y que entrega productos de calidad.
- Servir de modelo organizacional de sus semejantes a nivel mundial.
- Generar una empresa con ventajas competitivas a nivel mundial.

Descripción Vívida:

SunFlower Systems será la empresa Líder en soluciones de energía alternativa en el campo de la energía solar. Será el líder por sobre todo en tecnología de paneles solares de bajas temperaturas, y será un precursor en soluciones fotovoltaicas y de biomasa. Será una empresa que comprende que los clientes son la base para generar ventajas competitivas, y por ende será una organización con innovadoras estrategias de servicio.

5.2. Cadena de Valor y de Soporte de la Empresa.

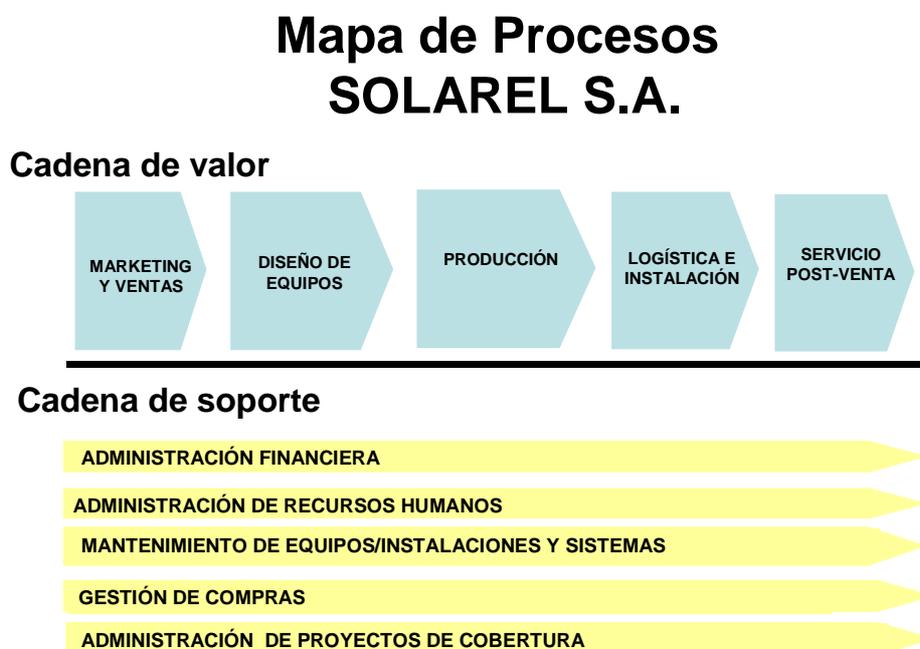


Figura 5.1. Cadena de Valor y Soporte de la empresa

Desglose de Macro Procesos

CADENA DE VALOR (Procesos Centrales-Valor al Negocio o al Cliente)

Mercadeo y Ventas

- Proyectos Inmobiliarios
- Desayunos de Negocios en la Casa Modelo
- Venta de Productos Puerta a Puerta
- La “Camioneta Solar”

La idea es proponer a alguna corporación de construcción de viviendas que el sistema ingrese como parte de la construcción de sus proyectos.

Los desayunos de Negocios servirán para vender la idea a los invitados y demostrarles cuales son los beneficios que se pueden alcanzar con estos sistemas.

Diseño de Productos

- Sistemas Pre-Ensamblados
- Sistemas Llave en Mano

Producción

- Estandarización de Procedimientos de Ensamble
- Línea de Ensamble
- Programación de Producción
- Módulos Pre-Ensamblados

Logística e Instalación

- Cadena de Distribución
- Capacidad de Respuesta Inmediata

Servicio Post-Venta

- Planes de Mantenimiento
- Seguimiento Personalizado

CADENA DE SOPORTE

Administración Financiera

- Balances
- Estado de Ganancias y Pérdidas
- Presupuestación
- Contribuciones Tributarias (SRI)
- Contabilidad

Administración de Recursos Humanos

- Programa de Remuneración Variable
- Selección e Inducción de Personal

Mantenimiento de Equipos/Instalaciones y Sistemas

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo

Gestión de Compras

- Importaciones
- Compras Locales
- Relaciones con Proveedores

Administración de Proyectos de Cobertura

- Alcance y Crecimiento de la Red de Clientes y Clientes Potenciales

5.3. Política de Calidad

Sunflower Systems esta comprometida en el diseño y manufactura de productos innovadores y confiables, proveyendo al mismo tiempo el mejor servicio a sus clientes dentro de nuestra industria.

En un esfuerzo para convivir con los estamentos de su política de calidad, *Sunflower Systems* está empeñado en mantener los siguientes objetivos de calidad:

- Diseño de sistemas alternos para el calentamiento del agua que sigan estrictamente los requerimientos del cliente.
- Respuesta telefónica cortas, personalizada, dentro de los primeros 3 rings.
- Reacción rápida a las solicitudes del cliente y considerar todas las ordenes bajo un concepto de tiempo crítico.

- Priorizar, tan pronto como sea posible, las reparaciones solicitadas por el cliente, de tal forma que el equipo este operando como si fuera nuevo.
- Desarrollar y mantener un ambiente de trabajo seguro y positivo.
- Asegurarse que nuestros precios de productos y servicios sean siempre razonables y competitivos.
- Mejorar continuamente nuestro sistema de manejo de control de calidad.
- Cumplimiento con la política de calidad y los requerimientos de sistemas de calidad.

6. DISEÑO DE PROCESOS

Para poder tener un buen control en cualquier ámbito, sea en finanzas, producción, calidad, mantenimiento; sea en una empresa de manufacturas o servicios, lo primero que hay que tener muy claro son los procesos constituyentes de un negocio. Primero se debe saber exactamente cuales son los procesos que están implementados, o a implementarse, según corresponda; que directamente generan los beneficios, es decir los procesos de valor o primarios. Se debe también identificar cuales son los procesos que ayudan a los procesos de valor a generar la riqueza, y cuales son los que direccionan la empresa. En otras palabras se deben identificar los procesos principales y los procesos de soporte.

Para los objetivos de este estudio el hecho de diseñar procesos antes de que existan físicamente es una gran ventaja, pues desde un inicio se tratará de eliminar tiempos y movimientos innecesarios, de optimizar al máximo el flujo del proceso, en general de hacer las cosas bien desde la primera vez y siempre.

A continuación se desarrollará el análisis de los procesos de la planta a conformarse mediante la utilización de cuatro metodologías muy conocidas y ampliamente usadas:

- **La Cadena de Valor de Porter:** Metodología para definir los procesos principales y de soporte de una empresa.⁽¹⁰⁾
- **La Matriz de Priorización:** Metodología utilizada para múltiples aplicaciones con el objeto de priorizar ya sea actividades, problemas, causas, o en este caso procesos.⁽¹⁰⁾
- **Mapas ICOM bajo norma IDEF0:** Metodología y norma para diagramar esquemas de procesos simples, donde se consideran entradas, salidas, controles, y mecanismos para un proceso.⁽¹¹⁾
- **Diagramas de flujo o flujogramas:** Metodología regida por normas ANSI para diagramar detalladamente flujos de procesos, actividades y hasta tareas enmarcadas dentro de procesos superiores o macro-procesos.⁽¹⁰⁾

¹⁰ Conocimientos obtenidos en Pasantía en VisionGroup S.A., Consultores en Reingeniería de Procesos. Ing. Eduardo Gabela, tutor. Enero – Mayo 2004.

¹¹ “IDEF0 Overview”. <http://www.idef.com/idef0.html>. Visitada el 13 de Noviembre 2004.

6.1. Cadena de Valor y Priorización

“El análisis de la cadena de valor, es una técnica original de Michael Porter con el fin de obtener ventajas competitivas.”⁽¹²⁾

Definición: En un seguimiento contable de un proceso productivo, donde materiales e insumos se convierten en un producto o servicio, se refleja o se nota un incremento teórico del valor sobre el costo inicial. Por lo general se supone que este valor tiene que ser superior a los costos acumulados que se han "agregado" para crear el producto durante la etapa del proceso productivo. Las actividades o procesos de valor son los que, vistos por el cliente final, son necesarios para satisfacer la percepción de calidad que esperan obtener del producto. Hay así mismo muchas otras actividades o procesos que una empresa requiere, pero que no agregan valor desde el punto de vista de las ventajas para un cliente, que pueden ser conocidas como procesos de valor agregado a la empresa. Además, existen también otras actividades que no agregan valor alguno, ni al cliente ni a la empresa, pero que son necesarias.⁽¹²⁾

Objetivo: La técnica de Cadena de Valor tiene por objetivo identificar las actividades o procesos que se realizan en una empresa que se ubican dentro el rango de valor, las más importantes para generar valor desde el punto de vista de un cliente. La cadena de valor es esencialmente una herramienta de análisis de gestión empresarial, mediante la cual descomponemos una empresa en sus partes constitutivas, con el fin de encontrar ventajas competitivas en los procesos que generan valor. Estas ventajas se logran cuando una empresa desarrolla e integra los procesos de la cadena de valor de forma menos costosa y más eficiente.⁽¹²⁾ Una cadena de valor genérica está constituida por dos elementos básicos:

- **Las Actividades Primarias**, que son aquellas que tienen que ver con el desarrollo del producto, su producción, las de logística y comercialización y los servicios de post-venta.
- **Las Actividades de Soporte** a las actividades primarias, como son la administración de los recursos humanos, las de compras de bienes y servicios, las de desarrollo tecnológico, las de infraestructura empresarial, etc.⁽¹²⁾

¹² “Cadena de Valor de Porter”, visitada el 13 de Noviembre 2004.

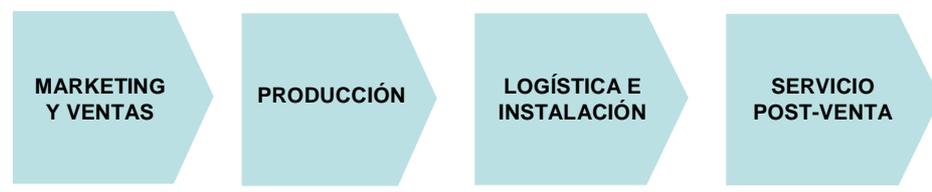
<http://www.gestiopolis.com/recursos/experto/catsexp/pagans/eco/no12/cadenavalorporter.htm>

Con el preámbulo metodológico y teórico se procedió a identificar los procesos constituyentes de la cadena de valor, en la parte superior de la figura 6.1 vemos los primarios, y en la parte inferior los secundarios. Primeramente se consideró como el primer proceso de valor el de Marketing y Ventas, pues dentro de este se encuentran todos los sub-procesos que deben identificar los requerimientos de los clientes, para transformarlos en características de los productos a producir, para satisfacer expectativas. Como es evidente este es un proceso que genera valor al cliente, por lo que se ubica en la franja superior. Luego está la producción, así mismo, este proceso genera valor al cliente, pues sin un buen proceso productivo no se podrán transformar requerimientos en productos de calidad. Luego está el proceso de Logística y Distribución, que en una empresa de esta naturaleza es esencial, pues no se vende un “panel solar”, se vende un “sistema instalado para calentar agua mediante energía solar”. El proceso de Servicio Post-Venta es primordial en cualquier negocio, se debe tener retroalimentación de las percepciones de calidad de los clientes, para poder mejorar e incrementar el valor, y consecuentemente incrementar los beneficios de la empresa.

Ahora dentro de los procesos de soporte se enumeran pocos, considerando que inicialmente este negocio no tendrá una gran envergadura, por lo que los que se muestran son los necesarios y habilitantes. Tenemos en primera instancia la Administración Financiera. Dentro de esta como ya se enumeró en el capítulo 5 se encuentran actividades como la contabilidad, la tributación, los estados contables, seguimiento de gastos, de activos, de pasivos, re-inversión o manejo de beneficios, etc. Luego se tiene la Administración de Recursos Humanos, muy importante en cualquier negocio, donde se deberán abarcar campos como remuneración, capacitación, seguridad e higiene, etc. Mantenimiento de Equipos, Instalaciones y Sistemas es el soporte primordial para el proceso de producción, y debe ser tomado en cuenta. La gestión de compras involucraría actividades como compras nacionales, importaciones, inventarios, almacenamiento, cadena de distribución, etc. Finalmente se muestra el proceso de Administración de Proyectos de Cobertura, que en esencia tendrá actividades que buscarán soportar el proceso de Marketing y Ventas, para poder crecer y tener incidencia en más áreas, conforme va avanzando el negocio.

Cadena de Valor SunFlower Systems

Cadena de valor



Cadena de soporte

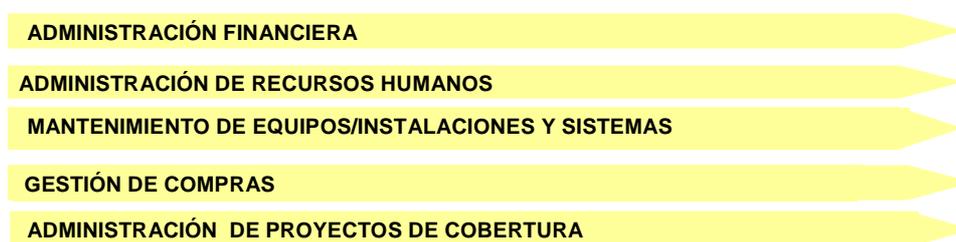


Figura 6.1. Cadena de Valor de SunFlower Systems.

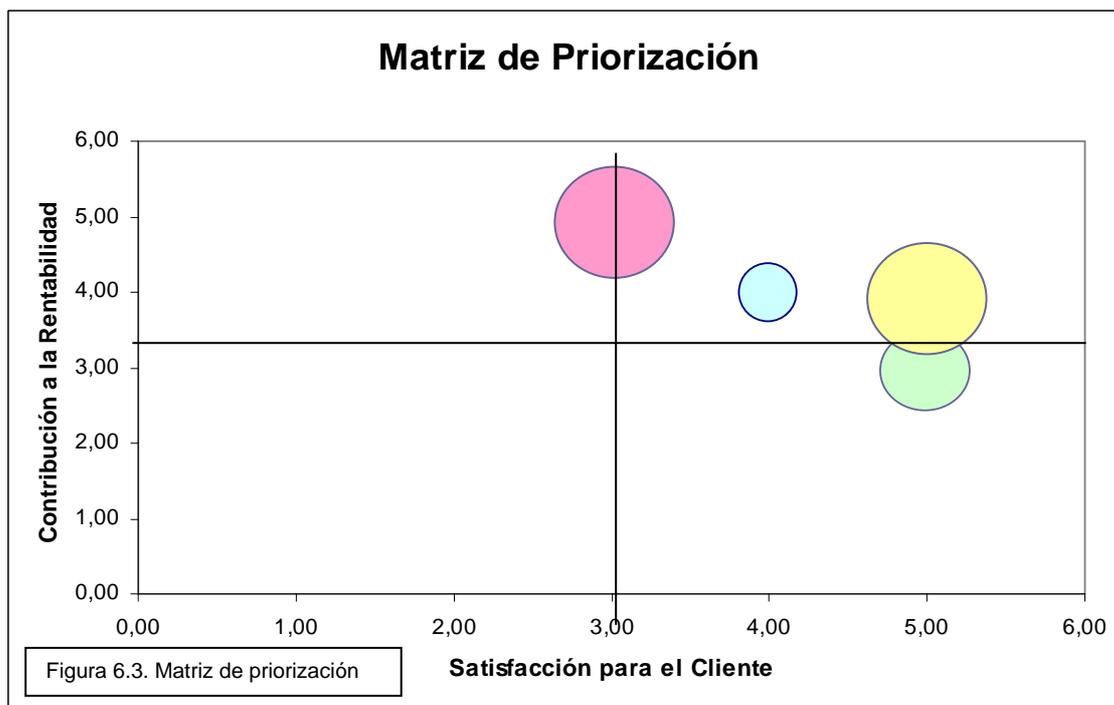
Para objetos de este estudio lo que se hará es explotar el macro-proceso de Producción, pues el diseño de los procesos constituyentes y actividades de este nos dará las pautas para la elaboración de los subsiguientes capítulos. Pero, para ilustrar el uso de la herramienta de matriz de priorización, que se mencionó anteriormente, se priorizarán los procesos primarios de la Cadena.

Para priorizar los procesos de la cadena de valor, se seleccionaron tres variables en función de lo que se piensa serán las directrices operativas de la empresa; para las que se dio una puntuación con un rango de calificación de 1 a 5, entendiéndose 1 como menos importante y 5 como más importante, como se muestra en la tabla 6.2. Para la tercera variable se considera una puntuación solo de 1 a 3, y esta será representada por el tamaño de los puntos en el gráfico, siendo 3 uno grande y 1 uno pequeño.

MP	Satisfacción para el cliente	Contribución a la rentabilidad	Contribución apertura nuevos mercados
Marketing y Ventas	3,00	5,00	3,00
Producción	4,00	4,00	1,00
Logística e Instalación	5,00	4,00	3,00
Servicio Post-Venta	5,00	3,00	2,00

Tabla 6.2. Tabla de Priorización de Procesos

Ahora, basándose en la tabla superior se genera la matriz de priorización, en donde se aprecia que el proceso que se deberían investigar en un principio para generar ventajas competitivas a la empresa es el de Logística e Instalación; pero como ya se explicó esto se lo hizo con un fin explicativo e ilustrativo, pues más adelante se procede con el diseño de mapas del proceso de Producción.



6.2. Mapas IDEF0 de la empresa

La norma IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) es una Norma Federal de Procesamiento de Información (FIPS), emitida por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología de EEUU en Diciembre de 1993. Esta norma se la ubica dentro de la categoría de Técnica de Modelamiento, y está basada en el Manual de Modelamiento de Funciones (IDEF0) de Junio de 1981 del programa de Arquitectura Integrada de Manufactura Asistida por Computadora de los Laboratorios Aeronáuticos Wright – USAF (ICAM). Esta norma describe el lenguaje de modelamiento IDEF0, las reglas y técnicas asociadas para desarrollar representaciones gráficas estructuradas de un sistema. El uso de esta norma permite la construcción de modelos que comprenden funciones de un sistema (actividades, tareas, procesos, operaciones), relaciones funcionales y datos (información u objetos) que soportan la integración del sistema. ⁽¹³⁾

¹³ “Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)”. Draft Federal Information Processing Standards Publication FIPS – 183. 21 de Diciembre de 1993.

Antecedentes:

Durante la década de los 70, el programa ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) de la Fuerza Aérea de EEUU vio la necesidad de incrementar su productividad manufacturera a través de aplicaciones de tecnología computacional. El programa ICAM identificó la necesidad de desarrollar mejores técnicas de análisis y comunicación para las personas involucradas en este mejoramiento. Como resultado, el ICAM desarrolló una serie de técnicas conocidas como IDEF, que incluyen las siguientes:⁽¹³⁾

1. **IDEF-0**, usada para producir “modelos de funciones”. Este modelo es una representación estructurada de las funciones, o procesos dentro de un sistema.⁽¹³⁾
2. **IDEF-1**, usada para producir un “modelo de información”. Un modelo de información representa la estructura y semántica de información dentro del sistema.⁽¹³⁾
3. **IDEF-2**, usada para producir un “modelo dinámico.” Un modelo dinámico representa las características de comportamiento del sistema.⁽¹³⁾

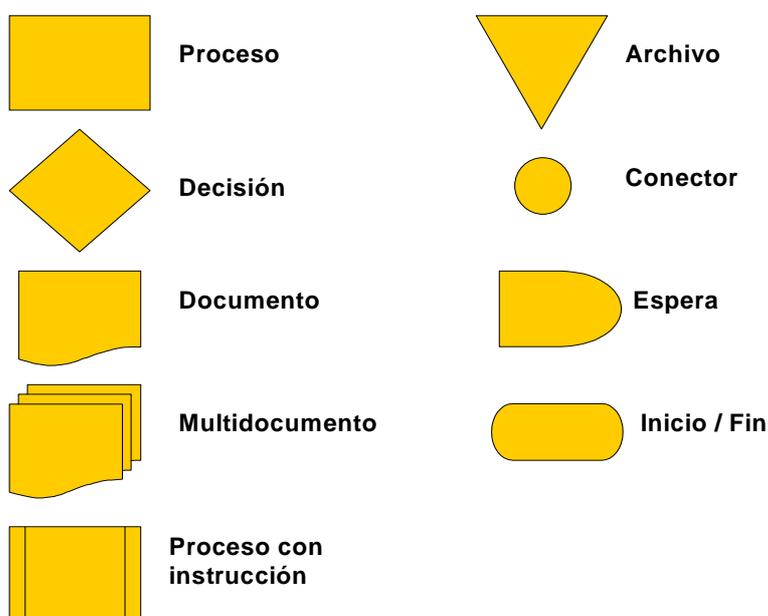
La semántica y reglas para el uso de esta técnica son muchas y extensas, y aunque parezcan engorrosas, en realidad son muy simples. Para clarificar los subsiguientes modelos se explica lo básico para comprenderlos. Una caja representa un proceso, sub-proceso, o actividad. Es muy poco común llegar a un nivel de tareas con esta técnica. En la esquina inferior izquierda de los diagramas se verá una indicación alfa numérica, el A-0 denota el proceso padre de todo el diagrama, el A0 el diagrama de los procesos constituyentes del padre, y los diagramas A1, A2, etc., denotan los diagramas de los procesos constituyentes de los que se indican en el A0 (ver figura 6.4. diagrama de nodos). Las flechas que se indican denotan cuatro elementos: las flechas que entran del costado izquierdo del diagrama a la cara izquierda de la caja del proceso son las entradas (input) al proceso, las flechas que salen de la cara derecha de la caja hacia el lado derecho del diagrama son las salidas (output) del proceso. Las que entran de arriba hacia abajo son los controles del proceso, las que entran de abajo hacia arriba son los mecanismos del proceso.

A continuación se presentan los mapas IDEF0 del macro-proceso de PRODUCCIÓN, que lo llamaremos CONSTRUCCIÓN DE PANELES (figuras 6.5, 6.6 y 6.7). Como se verá, este se subdivide en 3 procesos, los que a su vez se dividen en otros procesos como muestra el siguiente esquema conocido como diagrama de nodos (figura 6.4) en la siguiente hoja.

6.3. Diagramas de Flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos a seguir en un proceso, útil para entender como funciona realmente a un buen nivel de detalle un proceso productivo para obtener un resultado, siendo este un producto, un servicio, información, o combinaciones de estos. Al analizar cómo diferentes actividades o tareas se relacionan entre sí, frecuentemente se pueden detectar fuentes de problemas potenciales. Un diagrama de flujo se puede aplicar a cualquier tipo de problema, desde un flujo de materiales o un proceso de ensamble, hasta el proceso para realizar una venta. Un diagrama de flujo detallado cubre la mayoría de pasos de un proceso, pero usualmente este nivel de detalle no es necesario. Generalmente lo que se hace es desarrollar un modelo desde un bajo nivel de detalle hasta un alto nivel de detalle si se lo requiere así. Algunas aplicaciones donde es útil utilizar diagramas de flujo pueden ser: identificar oportunidades de mejora en un proceso, desarrollar estimados de costos de calidad, identificar causas de problemas, examinar tiempos de proceso, revisar y establecer controles o puntos de monitoreo, entre otras.⁽¹⁴⁾

Existe una norma ANSI que rige la utilización de esta herramienta, donde se indican todas las figuras que se pueden utilizar con sus respectivos significados, como representar documentos, instrucciones, movimientos, etc. A continuación se muestra un cuadro donde se encuentran las figuras más comunes para la elaboración de un diagrama de flujo.



¹⁴ “Diagrama de Flujo”. Sociedad Latinoamericana para la Calidad. <http://www.calidad.org/s/flujo.pdf>, visitada el 14 de Noviembre de 2004.

Ahora, como se puede apreciar este capítulo es básicamente un proceso estructurado que inicia con la definición de los procesos prioritarios de la cadena de valor, pasando por los mapas de macro-procesos con metodología IDEF0, llegando a los diagramas de flujo. Pero antes de llegar a estos una práctica común es realizar primero un diagrama de bloques simple, que se usará como marco director para la elaboración de los diagramas de flujos detallados. Como se podrá observar, para fines de este estudio se escogió diseñar los procesos a detalle de preparación de kit de ensamble y de ensamble de productos (se pueden ver estos procesos en el mapa IDEF0 nodo A2), pues esto permitirá la elaboración de los subsiguientes capítulos. A continuación se presenta el diagrama de bloques (figura 6.8) para estos procesos, y los diagramas de flujo para los mismos (figura 6.9).

7. LAYOUT DE PLANTA DE FABRICACIÓN

7.1. Recolección de Información

Antes de poder empezar a diseñar la distribución de cualquier tipo de planta industrial, o en sí la distribución de espacios de cualquier tipo de negocio, es indispensable que se conozca a gran detalle los productos que se construirán o venderán, y los procesos mediante los cuales sucederá esto. Muchas veces, por sobre todo para el diseño de un layout de instalaciones adicionales para una empresa ya existente, esta información de producto y proceso se lo puede obtener sin problema alguno, pero para el caso de estudio de este proyecto, las instalaciones serán para una empresa totalmente nueva, por lo que el proceso de recolección de información es imperativo y un poco más laborioso. Considerando esta premisa, en este capítulo el objetivo es saber que será producido, cómo será producido, y cuando será producido, con el propósito de llegar a un diseño de distribución de instalaciones.

Así pues se seguirán los siguientes pasos comúnmente utilizados para poder obtener toda la información necesaria para iniciar el proceso de diseño de un layout coherente con los productos que se crearán y con los procesos que se seguirán; estos pasos son: la descripción del producto, del proceso y de la programación⁽¹⁵⁾.

7.1.1. Descripción de Producto

Antes de diseñar una instalación tenemos que conocer íntimamente el producto a ser producido, o el propósito que servirá este espacio. Evidentemente el producto afectará la naturaleza de la instalación en muchos niveles. Por ejemplo solo el tamaño del bien a ser fabricado afectará el tamaño de la instalación; una planta para elaborar zapatos no tendrá ni el mismo tamaño ni la misma sofisticación de una planta para construir satélites. Pero a parte de las implicaciones evidentes, hay muchísimos otros detalles que dependerán de la naturaleza del producto. Para esto existen varias herramientas para describir un producto; en este estudio se utilizarán los dibujos de ingeniería (dibujos detallados de las partes del producto, del ensamble, etc.), las listas de partes, y el “bill of materials” (una lista de partes secuenciada según el nivel de ensamble en el que entrarán las partes)⁽¹⁵⁾.

¹⁵ Notas de Clase de Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 2, Gathering Information for Plant Layout.

Antes de proseguir con la recolección de información del producto, es muy importante en este punto determinar qué será lo que lo considerado como el “producto” de ahora en adelante. El proceso esencial, el proceso raíz de SunFlower Systems será uno donde las entradas sean los requerimientos de venta, materiales e insumos; y de donde salgan sistemas completos instalados para calentar agua de usos domésticos mediante colectores solares de bajas temperaturas. Ahora, para fines de diseño de procesos y layout de instalaciones se considerará como la unidad de producto el “panel solar”, puesto que es el componente más importante de un sistema solar, y es el producto que será fabricado en la planta. El resto de partes del sistema, el tanque de almacenaje, tuberías, llaves, válvulas, etc.; inicialmente no serán fabricados en las instalaciones propias (eventualmente los tanques deberán ser elaborados en la planta), y por ende no entrarán en esta parte del estudio.



Figura 7.1. Panel Solar.

7.1.1.1. Dibujos de Ingeniería

Es deseable obtener dibujos de ingeniería o técnicos de todos los componentes del producto final, de los sub-ensambles de las partes y del producto final. Estos diagramas conjuntamente con vistas de explosión del producto darán una idea del grado de complejidad de este y como las diferentes partes se formarán en el producto final⁽¹⁵⁾.

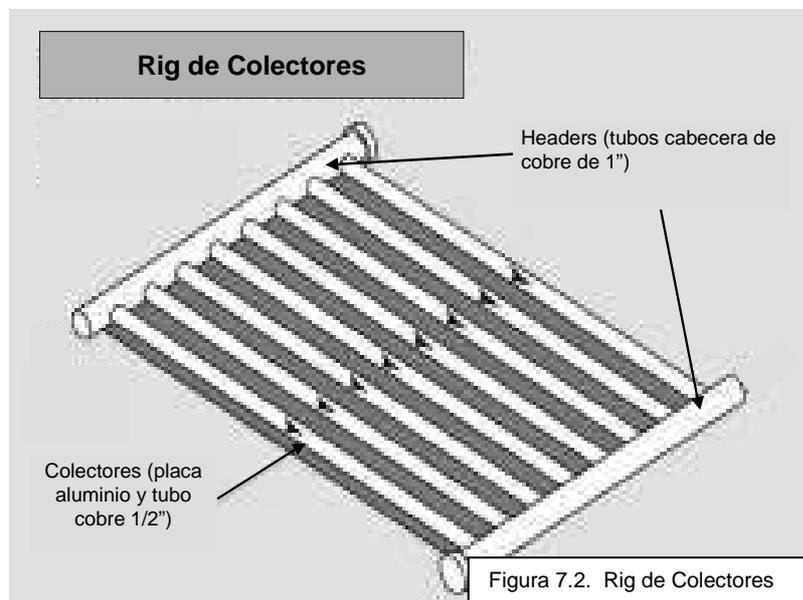
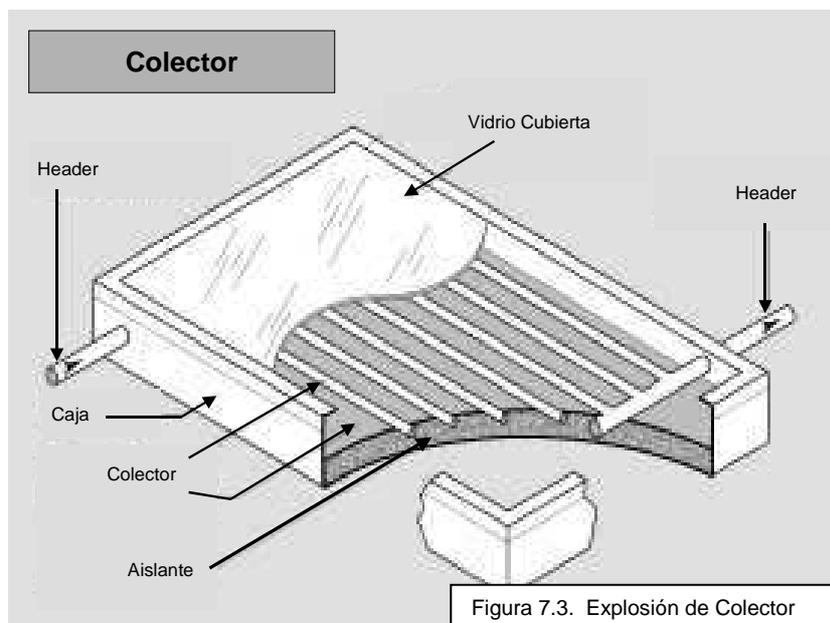


Figura 7.2. Rig de Colectores



7.1.1.2. Lista de Partes

Una lista de partes nos dará información más detallada y específica de las partes necesarias para ensamblar un panel solar (producto). En este documento se encontrará información como el número de parte, su nombre o descripción, su cantidad por cada producto, su material, sus dimensiones, si se lo fabrica o se lo compra, y su costo⁽¹⁵⁾. A continuación se presenta una vista de cómo será la lista de partes de un panel solar de SunFlower Systems, como un anexo se encuentra el documento en tamaño grande.

Tabla 7.4. Lista de Partes - por unidad de producción (1 panel)

Compañía	SunFlower Systems S.A.	Elaborado por	SFSlvj
Producto	Panel Solar Tipo A (PS-A)	Fecha	5/10/2004

	No. Parte	Item	Cantidad	Material	Tamaño	Hacer o Comprar	Costo Unitario (USD)	Costo (USD)
Partes	001	Caja	1	Aluminio	2M x 1M	H	35.00	35.00
	002	Tapa de base	1	Aluminio	2M x 1M x 2mm	C	15.00	15.00
	003	Cubierta de vidrio	1	Vidrio de 4mm	2M x 1M x 4mm	C	25.00	25.00
	004	Fin Tubes (colectores)	8	Cobre-Aluminio	6' x 4,5"	C	14.16	113.28
	005	M2 de Poliestireno	2	Poliestireno	2M x 1M x 2cm	C	4.50	9.00
	006	M2 de Lana de Vidrio con Foil Aluminio	2	Lana vidrio	Rollos de 1,22M de ancho	C	7.50	15.00
	007	Acoples SO-HE	4	Cobre	1" de diametro	C	2.36	9.44
	008	Tubo	2	Cobre	1" x 104cm "M"	C	5.86	11.72
	009	Cauchos aislantes para tubería expuesta	4	Caucho	10 cm x 1" x 25"	C	1.00	4.00
Insumos	010	Tubo de silicona	0.25	-	-	C	1.50	0.38
	011	Pintura aerosol negro mate	0.25	-	-	C	2.10	0.53
	012	Varillas de Sueda	8	Estaño-Plata	-	C	0.30	2.40
	013	Remaches	50	-	-	C	0.02	1.00
	014	Tomillos tripa de pato	20	-	1/4"	C	0.02	0.40

7.1.1.3. BOM (Bill of Materials)

El "bill of materials" es una representación jerárquica de la lista de partes; indica como se combinan las partes para formar sub-ensambles y ensambles en el producto final⁽¹⁵⁾.

A continuación se presenta una vista de cómo será el "bill of materials" de un panel solar de SunFlower Systems, y en una hoja separada adjunta está el documento en su totalidad.

Tabla 7.5. Bill of Materials (BOM) - por unidad de producción (1 panel)

Compañía SunFlower Systems S.A. Elaborado por SFSlvj
 Producto Panel Solar Tipo A (PS-A) Fecha 5/10/2004

	Nivel	No. Parte	Item	Diagrama No.	Cantidad	Hacer o Comprar	Notas
Partes	0	004	Fin Tubes (colectores)	-	8	C	
	0	008	Tubo	-	2	C	
	1	001	Caja	-	1	H	
	1	007	Acoples SO-HE	-	4	C	
	2	002	Tapa de base	-	1	C	
	2	005	M2 de Plietireno	-	2	C	
	2	006	M2 de Lana de Vidrio con Foil Aluminio	-	2	C	
	3	003	Cubierta de vidrio	-	1	C	
	3	009	Cauchos aislantes para tubería expuesta	-	4	C	
Insumos		010	Tubo de silicona	-	1/4	C	
		011	Pintura aerosol negro mate	-	1/4	C	
		012	Varillas de Suelta	-	8	C	
		013	Remaches	-	50	C	
		014	Tornillos tripa de pato	-	20	C	

7.1.2. Información del Proceso

Luego de haber detallado y analizado el producto a ser producido en la instalación, se debe estudiar el proceso mediante el cual será construido. Típicamente las decisiones de diseño de procesos son hechas antes de entrar a la fase de diseño de instalaciones; y si este es el caso se deberá conseguir la información del proceso (en este caso se tiene la información del proceso dado que el diseño de los procesos es parte de este estudio) e identificar si hay cualquier flexibilidad que podría ser aprovechada en el proceso.

7.1.2.1. Selección de Proceso y Secuenciamiento

La selección del proceso de manufactura a ser usado depende de un muchos y variados factores. A parte de la habilidad del proceso para crear, se deben considerar la capacidad de producción de este, la calidad del producto, factores económicos, y temas de seguridad y medio ambiente. La selección final del proceso resulta en la creación de varios documentos de ingeniería, los que incluyen los que serán discutidos a continuación. Pero antes de poder pasar a elaborar estos documentos detallados es importante tener un diagrama básico del flujo de operaciones del proceso de fabricación de un panel solar, por lo que los próximos documentos se regirán por el diagrama de bloques general (Figura 6.8) presentado en el capítulo anterior.

7.1.2.1.1. Tablas de Procesos Operativos

Lista todas las operaciones a ser realizadas en un producto, el equipamiento y herramientas necesarias, los tiempos relacionados y el orden en el que las operaciones serán realizadas⁽¹⁵⁾. La tabla de procesos operativos (figura 7.7) se encuentra en la siguiente hoja.

7.1.2.1.2. Hojas de Ruta

Este documento indica el orden en el que las operaciones deberán ser realizadas, y la secuencia de estaciones de trabajo que deben ser visitadas para completar una parte⁽¹⁵⁾. Una muestra de una hoja de ruta para la parte No. 001 detallada en la lista de partes se presenta a continuación. Las hojas de rutas para todas las partes del producto se presentan el Anexo 2.

Tabla 7.6. Hoja de Ruta No. 001

Compañía	SunFlower Systems	Nombre Parte	Caja	Elab. por	SFSlvj		
Producto	Panel PS-A	No. Parte	001	Fecha	21-Oct-04		
Operación No.	Descripción Operación	Tipo de Máquina	Herramientas	Tiempo		Materiales o Partes	
				Set-up (min)	Oper. (min)	Descripción	Cantidad
001-1	Corte	Mesa de corte	Esmeril Lima redonda Escuadra	2	6	Perfil aluminio (12 cm de ancho)-Cedal	1
001-2	Perforado	Drill bench		1	2		
001-3	Remachado	Remachadora	Alicate	0	2	Platinas dobladas a 90° Remaches 1"	4 18
001-4	Ensamble	Mesa de trabajo	D. Philips	0	1	Tornillos 1" tripa de pato	6
				3	11		

7.1.2.1.3. Diagramas de Precedencia

Estos diagramas muestran todas las operaciones que deben ser realizadas en una parte, o todos los pasos en una operación de ensamble, e indican que tareas deben ser hechas antes de que otras tareas puedan seguir. El gráfico resultante puede ser utilizado para buscar secuencias de operaciones alternativas que pueden ser usadas para hacer / ensamblar el producto⁽¹⁵⁾. Los diagramas de precedencia (Tabla 7.8) se presentan en la hoja subsiguiente a la de la figura 7.7.

7.1.2.2. Decisiones de Hacer o Comprar

El primer paso luego de tener lista la información del proceso es decidir si algunas partes o componentes del producto pueden ser elaboradas en la planta, o deberán ser adquiridas de fuentes externas. Esta decisión de hacer o comprar, generalmente se reduce a ser una decisión económica, pero en algunos casos podría resultar ser una decisión un poco más estratégica que podría afectar la posición competitiva de la empresa⁽¹⁵⁾.

7.1.2.2.1. Análisis Estratégico

Las variables de decisión claves al momento de hacer una decisión de hacer o comprar con un enfoque estratégico son:

- ***El rol de la tecnología del proceso para proveer una ventaja competitiva:*** La tercerización de tecnología de un proceso (transferencia de conocimiento, o tecnología a un tercero para que pueda elaborar alguna parte o pieza); podría dar como resultado proveedores que tienen suficiente habilidad y capacidad para convertirse en competencia. Es decir que un proveedor puede tomar suficiente tecnología del proceso tercerizado para empezar a investigar y desarrollar este proceso dentro de sus operaciones; y eventualmente utilizar esta tecnología para proveer de partes a otros competidores; o, si el proceso tercerizado es el núcleo del negocio finalmente convertirse en un competidor. Un típico ejemplo de esto son los proveedores Taiwaneses de componentes y tableros de circuitos integrados de bajo costo para computadoras. Inicialmente eran solo esto, pero luego migraron a fabricar computadoras bajo sus propias marcas⁽¹⁵⁾.

Consideraciones para SunFlower Systems: Las tecnologías o procesos claves que proveerán ventajas competitivas para la empresa son 2: Los colectores solares, y el diseño e instalación del sistema completo.

En el primer caso los colectores serán importados de la empresa Sun-Ray Solar ubicada en California, USA. Establecida en 1978 como una compañía innovadora, Sun-Ray Solar se ha posicionado para convertirse en el proveedor de elección de constructores y contratistas que demandan sistemas de calentamiento solar de óptima confiabilidad, desempeño y

efectividad respecto a costos. El núcleo de su negocio son sus placas absorbentes (colectores) únicas y patentadas.⁽¹⁶⁾

Los colectores que fabrica esta pequeña planta estadounidense tienen ventajas claras sobre los colectores que se pueden encontrar en paneles solares actualmente en el mercado nacional. Una es la unión perfecta entre el tubo de $\frac{1}{2}$ " de cobre y la placa colectora de aluminio. Las placas colectoras de aluminio de Sun-Ray Solar son unidas mecánicamente a una tubería sin costura de $\frac{1}{2}$ " de cobre. Esta unión mecánica permite que no haya espacio alguno o cámaras de aire atrapado entre la placa colectora y la tubería, optimizando y maximizando la transferencia de calor, y mejorando la eficiencia global del panel. Otra ventaja es la ubicación de la placa colectora con relación a la tubería. Los colectores convencionales (fig. 7.9) ubican las placas sobre o bajo la tubería, ofreciendo así una transferencia de calor pobre como muestra la figura. Las colectores Sun-Ray ubican las placas a media altura y todo alrededor de la tubería (fig. 6.9) por lo menos duplicando la eficiencia de transferencia de calor en relación a los sistemas tradicionales⁽¹⁶⁾.

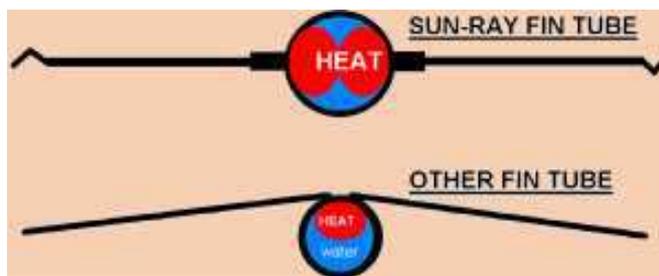


Figura 7.9. Corte Colectores.

La tercera ventaja sobre la mayoría (existe por lo menos una compañía de mi conocimiento que tiene esta ventaja) de colectores utilizados en paneles solares en Ecuador son los acanalamientos de la placa colectora. Como se puede observar en la figura 7.10 las placas negras de aluminio no son planas, pero tienen acanalamientos perpendiculares a la tubería que permiten una mejor captación de luminosidad solar, incrementando así la eficiencia de la transferencia de calor.



Figura 7.10. Colectores.

¹⁶ SunRay Solar – Proveedores de Colectores. <http://members.cox.net/sunraysolar/fintubes.html>, visitada el 6 de Noviembre de 2004.

Se puede concluir que estos colectores en el mercado nacional son una ventaja competitiva, pero al no ser dueños de la tecnología del proceso no se puede apropiarse y cerrarle el acceso de esta a la competencia. Sun-Ray Solar ofrece estos colectores al que los desee. En realidad esta tecnología es la ventaja competitiva de la empresa Californiana, y ellos son los que corren el riesgo de perderla. Por otro lado al ser este un proceso tan maduro no sería conveniente realizar, por ejemplo, un estudio de ingeniería inversa para desarrollar este proceso en nuestras operaciones. Una opción más real sería diseñar una matriz de aluminio similar a la de Sun-Ray, enviarla a un fabricante de perfiles de aluminio (Cedal por ejemplo), comprar la matriz (esto restringiría el uso de esa matriz a cualquier otra persona) y así tener un proveedor nacional de colectores restringidos a la competencia. Esto en otras palabras sería desarrollar un proveedor pero protegiendo la propiedad intelectual. Otra opción sería entrar en conversaciones con Sun-Ray y proponerles ser los distribuidores exclusivos para Ecuador. En resumen se trataría de mantener lo mas reservadamente posible la información de este proveedor, no se trataría de replicar el proceso dado que es un proceso maduro, pero eventualmente se intentaría diseñar y apropiarse de un colector propio, que siga brindando una ventaja competitiva.

El diseño e instalación de todo el sistema solar en una vivienda será la segunda ventaja competitiva. Esto no es un proceso que tenga mucha “tecnología”, y no involucra ninguna decisión de hacer o comprar, pero en el ámbito nacional es importante mencionarlo. ¿Por qué? Pues porque muchas de las empresas en este campo en el país no tienen buenos diseños y la instalación no es la mejor (por propia experiencia). Hay una inercia de no hacer las cosas bien desde la primera vez, y si no se diseña e instala correctamente un sistema, la confiabilidad y desempeño se reducen considerablemente, y sin duda alguna se presentarán problemas recurrentes en sistemas que deberían funcionar solos con un mínimo de mantenimiento. Por esto este proceso de diseño e instalación, aunque no contenga un grado tecnológico y aunque no pueda ser propiedad de nadie, es algo importante que será una ventaja competitiva para la empresa.

- ***La madurez de la tecnología del proceso:*** Esta consideración juega un papel clave en las decisiones de hacer o comprar. Aunque la tecnología sea nueva en un tipo de industria, no necesariamente significa que no exista en otro tipo de industria. Por decir algo, el proceso de termo formado en la industria de fabricar carcasas de celulares puede que sea

nuevo, pero en la industria de los electrodomésticos es un proceso muy maduro. En este caso si somos fabricantes de carcasas de celulares no sería conveniente invertir en investigación y desarrollo para implementar el termo formado, ya que la competencia podría conseguir un tercero que realiza este proceso fácilmente.⁽¹⁵⁾

Consideraciones para SunFlower Systems: Como ya se mencionó en el punto anterior el proceso de construcción de los colectores solares Sun-Ray es muy maduro (en vigencia desde 1978), por lo que como ya se comentó no se invertirán esfuerzos en desarrollar este proceso dentro de las operaciones de la empresa.

- **La posición tecnológica de la competencia:** Es críticamente importante poder potenciar o medir la habilidad de la competencia para desarrollar / adquirir y asimilar nueva tecnología. Estas evaluaciones se las hacen generalmente mediante estudios de Benchmarking, haciendo ingeniería inversa a productos de la competencia, e investigando para identificar el uso de la tecnología por la competencia. Si está involucrado un tema de tecnología propietaria (única desarrollada por la empresa), o si la tecnología representa una competencia clave de la compañía se debe pensar detenidamente la decisión de tercerización. Puede ser posible que la competencia utilice ingeniería inversa para aprender del proceso si este no se ha tercerizado, pero es menos riesgoso que transferir el “know how” a un tercero para que se convierta en nuestro proveedor⁽¹⁵⁾.

Consideraciones para SunFlower Systems: La competencia en este campo en el Ecuador no es muy extensa, se puede hablar de alrededor de 10 pequeñas industrias dedicadas al negocio de calentamiento de agua con colectores de bajas temperaturas. De estas una tiene una buena tecnología, pues tienen su propia matriz para colectores, única de su empresa (Cotas-4), y tienen un buen diseño e instalación de los sistemas. Pero el problema de estas y otras empresas es que les ocurrió lo que les ocurre a muchos, tienen un buen esfuerzo inicial para tener buena tecnología y buenos productos, pero luego caen en el pecado de no innovar. Estas empresas tienen los mismos productos y mismas ofertas que las que tenían hace 10 años. Entonces se puede decir que tuvieron un buen desarrollo inicial, pero tienen falencias en innovación, y en adquirir y asimilar nuevas opciones de tecnología. Ahora, no se considera el análisis de competencia una parte importante de este

estudio por lo que no se profundizará mas en este aspecto; pero si se deseara hacer esto se deberían conducir estudios de benchmarking, clientes fantasmas, o ingeniería inversa.

		Posición de SF Systems relativa a competencia									
		Débil	Igual	Fuerte	Débil	Igual	Fuerte	Débil	Igual	Fuerte	
Madurez del Proceso	Emergente	Comprar			Elab.	Elaborar			Desarrollar		
	Creciendo				Marginal				Capacidad		
	Maduro	Baja hoy			Compra marginal			Desarrollar proveedores			
					Alta hoy			Alta en el futuro			
		Importancia de tecnología de proceso para ventaja competitiva									

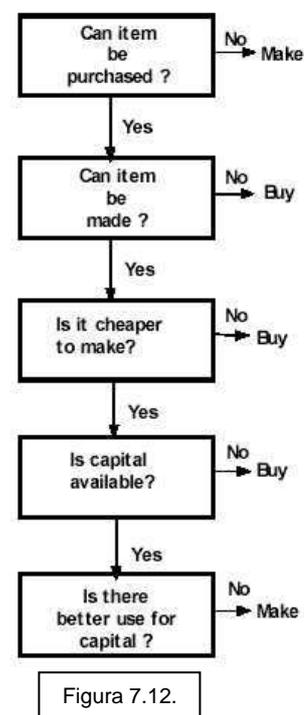
Tabla 7.11. Matriz Hacer / Comprar para consideraciones estratégicas⁽¹⁴⁾.

Una vez considerados los tres puntos anteriores se puede tomar una decisión de hacer o comprar los ítems. Como ya se mencionó se considera que el ítem crítico de ventaja competitiva es el colector, y se comentó que la decisión correcta al momento sería de realizar una compra marginal (bajo perfil), y tal vez a futuro desarrollar una matriz de colector propia y única para la empresa.

La teoría nos propone la matriz indicada en la figura 7.11 como una directriz para realizar estas decisiones estratégicas. Como se puede observar en la matriz de hacer o comprar, la decisiones que se tomarían son acertadas. Vemos que para una tecnología que es importante hoy, y que es madura, sea cual sea nuestra posición con respecto a la competencia se debe hacer una compra marginal de la parte; y vemos que para una tecnología que es importante a futuro y que es madura se debe desarrollar proveedores.

7.1.2.2.2. Consideraciones Económicas

Considerando resueltas las consideraciones estratégicas, es necesario estudiar las implicaciones económicas de la decisión de hacer o comprar. El tipo de análisis que es hecho en este caso es típico para la mayoría de estudios de justificación de proyectos. La figura 7.12 explica rápidamente este proceso. Los primeros dos pasos se deben responderse usando las consideraciones estratégicas discutidas. ¿Puede el colector comprarse? Si. ¿Puede el colector hacerse? Si. ¿Es más barato hacerlo o comprarlo? Habría que analizar esto.



Aunque estratégicamente se consideró que al momento lo apropiado es comprar los colectores, a futuro se deberá evaluar esta decisión nuevamente, siguiendo las preguntas: ¿Hay capital disponible? ¿Hay un mejor uso para ese capital? Financieramente estas alternativas se comparan basándose en las inversiones iniciales, en los costos anuales de operación y la demanda anual durante el período de vida de la parte. Dadas estas consideraciones la decisión se toma basándose en criterio económico como el período de repago, el valor presente de los beneficios futuros, y la tasa interna de retorno.⁽¹⁵⁾ Dado que la decisión de comprar los colectores ya se tomó en las dos primeras preguntas, no se profundizará en el análisis financiero para las decisiones de hacer o comprar.

7.1.3. Pronósticos de Demanda

Luego de haber determinado qué es lo que vamos a producir o fabricar, y el proceso mediante el cuál lo vamos a hacer, es ahora tiempo de determinar en qué cantidad lo vamos a producir.⁽¹⁵⁾

La mayoría de empresas proyectan lo que esperan producir para varios años futuro, y hacen esta actividad cada año. Generalmente esta actividad es parte del plan estratégico de una compañía. La información de los volúmenes de producción viene acompañada usualmente de información probabilística referente a la posibilidad de alcanzar estos pronósticos. Por ejemplo se podrían pronosticar varios escenarios, como el más probable, uno optimista y uno pesimista. Cuando se diseña una instalación, es importante que se tome en cuenta este tipo de información probabilística. Un buen plan de instalaciones permitirá una expansión de capacidad si las ventas son mayores a las esperadas (escenario optimista), o un plan de contingencia si las ventas son menores a las esperadas (escenario pesimista).⁽¹⁵⁾

Ahora, el problema para este estudio es que al ser esta una empresa nueva no se tiene un historial de demanda (ventas) en el que se pueda sustentar un pronóstico de demanda. Para conseguir esta información se deberían realizar esfuerzos considerables, como entrar como clientes fantasmas a otras empresas similares, o realizar un estudio de demanda, pero para los objetivos de este proyecto se consideró solamente determinar una cantidad x constante de demanda.

Por implicaciones de capacidad operativa y económica inicial se establecerá que se podrán vender 5 sistemas de paneles solares semanales, consistiendo cada sistema como se había mencionado del tanque de almacenaje, 2 paneles solares, y accesorios asociados. Lo que se fabricará, y por ende lo que determinará el flujo y balance operativo de la planta son los paneles solares. Así pues se determina la demanda en 10 paneles semanales o 2 paneles día.

7.2. Tecnología de Grupos

Partes similares son agrupadas en una parte (o familia de productos) para aprovechar las similitudes en el diseño y en los métodos de manufactura. Una *familia de partes* es una colección de partes similares en geometría y tamaño, o que tengan procesos de manufactura similares. Un *grupo de máquinas* son las máquinas que requieren las familias de partes (estos grupos a menudo requieren máquinas similares o idénticas para su fabricación). Estas máquinas pueden ser agrupadas en grupos de máquinas.⁽¹⁷⁾

7.2.1. Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Flujo de material mejorado / Reducción de manipulación: en vez de dividir la planta en departamentos de procesos, es posible dividirla en departamentos de familias de productos; siendo cada departamento capaz de realizar casi todas las operaciones requeridas para esa familia de productos. Ya que la parte puede ser producida enteramente en el departamento, no necesita tener movimientos o transportes entre departamentos, y esto simplifica el flujo de material.⁽¹⁷⁾
- Reducción de tiempos de set-up y costos de equipamiento y herramientas: Por la similitud de los productos, el equipamiento y herramientas pueden ser estandarizadas. Esto reduce los costos de equipamiento como también los tiempos de set-up.⁽¹⁷⁾
- Reducción de Diseño de pre-producción: Si una nueva parte debe ser elaborada, es ubicada en la familia de productos que más se le parezca. Los procesos, planos y equipamiento existente pueden ser modificados para acoplarse a la nueva parte, y esto reduce la fase de diseño de pre-producción.⁽¹⁷⁾
- Se reduce inventario de producto en proceso: Las partes fluyen a través del grupo de máquinas sin generar lotes de producción entre máquinas; esto reduce el inventario de producto en proceso y las posibilidades de pérdida de inventario.⁽¹⁷⁾
- Mayor satisfacción de operadores / obreros: Es común proveer capacitación cros funcional dentro de una célula. Los obreros dentro de un grupo de máquinas supuestamente trabajan como un equipo y son responsables no solo de la producción, pero también del control de calidad y esfuerzos de mejora. La variedad de tareas y el involucramiento en funciones de supervisión proveen enriquecimiento al trabajo, y mejora la satisfacción de los trabajadores.⁽¹⁷⁾

¹⁷ Notas de Clase Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 3, Group Technology.

Desventajas

- Mayor cantidad de equipo es requerido: Ya que cada grupo de máquinas debe ser autosuficiente, podría haber duplicación de equipos. Esto incrementará la cantidad de equipo requerido para un Layout de Tecnología de Grupos, sobre un Layout de Proceso.⁽¹⁷⁾

7.2.2. Encontrando Familias de Partes⁽¹⁷⁾

1. Inspección visual de las partes físicas.
2. Codificación y Clasificación de las partes. Se examina el diseño y/o atributos de manufactura. En este punto un código es asignado a características específicas de la parte. ¿Es la parte cilíndrica o cónica? ¿Tiene ranuras? ¿Necesita tratamiento de calor?
3. Análisis de Flujo de Producción: Ya que las partes en una familia de partes tienen procesos de manufactura similares, es posible identificar partes similares estudiando las hojas de ruta.

7.2.3. Análisis de Flujo de Producción⁽¹⁷⁾

Existen cuatro etapas en el análisis para una planta existente:

1. Análisis de flujo de fábrica: Combina máquinas de diferentes procesos en grupos principales. Resulta en una simplificación global de flujo de material.
2. Análisis de grupo: Separa todas las partes asignadas a un grupo principal en familias más pequeñas. A cada familia se le asigna un grupo de máquinas más pequeño que procesa por completo la familia.
3. Análisis de Línea: Encuentra la mejor ruta para cada familia para el layout de planta.
4. Análisis de Equipamiento: Divide partes procesadas en cada máquina en familias de equipamiento. Las partes que requieren herramientas similares pertenecen a la misma familia de equipamiento.

Cada parte debe tener una tarjeta guía o de ruta que muestre la siguiente información:

- Número de parte
- Secuencia de operaciones realizadas
- Tipo de máquina para cada operación
- Tiempo de set-up y de operación para cada operación.
- Requerimientos de equipamiento, herramientas.

- Ruta

La información puede ser obtenida usando el sistema de manufactura actual. Es importante que cada parte tenga una hoja guía.

7.2.3.1. Análisis de Flujo de Fábrica

Se debe encontrar un sistema de flujo de material simple y eficiente.

1. Dividir la planta en “unidades procesadoras” y asigne las máquinas.
 - La lista de máquinas usada para realizar cada proceso se llama una unidad procesadora (PU).
 - Departamentos que sirven a algunos grupos principales no deberían ser incluidos en una PU. Por ejemplo, en la distribución actual el centro de suelda puede tener corte y troquelado. Pero, estas operaciones pueden también proveer partes para otros departamentos. En este caso se debería mantener corte y troquelado como PU separadas.
 - Procesos incompatibles deberían ser separados.
 - Si la entrada para algún departamento sale exclusivamente de otro departamento, se debería combinar ambos.
 - Asignar las PUs a la planta. Si las PUs son los mismos departamentos ya existentes, este paso es redundante.
2. Determinar los Números de Ruta de Proceso (PRNs): Un PRN es un código formado al seguir la secuencia correcta que cada parte visita una PU. Por ejemplo un PRN-173 implica la secuencia PU1-PU7-PU3.
3. Crear Tabla de frecuencia de PRNs, es decir ver que tan a menudo un PRN ocurre.
4. Dibujar un diagrama de flujo básico.
5. Simplificar el diagrama de flujo.
 - Combinar departamentos
 - Re – distribuir máquinas.
6. Quitar partes excepcionales.

7.2.3.2. Análisis de Grupos – Aplicación al Estudio de SunFlower Systems

Para crear familias de partes y grupos de máquinas, una matriz de parte – máquina es creada. Esta es una matriz de decisión 0 – 1, en donde uno significa que una máquina es requerida para una parte dada. Al crear esta matriz una máquina se refiere a un “tipo” de máquina. Así, si hay 5 equipos de suelda autógena, se creará una fila para estos equipos. El número de veces que una parte visita una máquina no se considera en esta etapa. Una vez creada esta matriz, es importante remover alrededor del 10% de las máquinas más pesadamente utilizadas. Es probable que existan bastantes copias de estas máquinas y por ende es posible dividir estas máquinas en los diferentes grupos luego. La matriz resultante es entonces examinada para encontrar familias de partes.⁽¹⁷⁾ A continuación se presenta la matriz para el caso de las operaciones para la fabricación de paneles solares. Como se puede observar se tiene la lista de partes y la lista de máquinas. Las moladoras con diferentes discos se toman como una sola máquina.

Parte	Descripción	Parte								
Maq		001	002	003	004	005	006	007	008	009
a	001 Caja	1	1	0	0	0	0	0	1	0
b	002 Tapa de base	1	0	0	0	0	0	0	1	0
c	003 Cubierta de vidrio	1	0	0	0	0	0	0	0	0
d	004 Fin Tubes (colectores)	1	1	1	1	1	1	0	1	1
e	005 M2 de Poliestireno	0	1	1	1	0	0	0	1	0
	006 M2 de Lana de Vidrio con Foil Aluminio									
	007 Acoples SO-HE									
	008 Tubo									
	009 Cauchos aislantes para tubería expuesta									

Grupos de máquinas similares	
Máquina	Descripción
a	Mesa de corte
b	Drill bench (banco de perforación)
c	Remachadora
d	Mesa de trabajo
e	
	Moladora c/disco esmeril
	Moladora c/disco cepillo
	Moladora c/disco vidrio

Figura 7.13. Matriz de 0 y 1

Para identificar las familias las columnas y filas son intercambiadas de manera que una estructura de bloques sea obtenida dentro de la matriz. Hay algunos algoritmos que se pueden utilizar para hacer esto:

- Método Visual
- Algoritmo de King para análisis de grupos
- Formulación P-median

7.2.3.2.1. Método Visual

Un algoritmo visual simple para este problema puede ser descrito de la siguiente manera:

1. Se escoge cualquier fila y se dibuja una línea horizontal a través de ella.
2. Por cada 1 en la fila que ha sido cruzado una vez por la línea se dibuja una línea vertical a través de la columna correspondiente.
3. Ahora se toma cada nueva columna identificada en el paso previo. Para cada 1 en la columna que ha sido cruzado una vez por una línea vertical, se dibuja una línea horizontal a través de la fila.
4. Se repite este proceso hasta que no hayan 1s cruzados solo por una línea (es decir tienen que estar cruzados por dos líneas o por ninguna).
5. Remover todas las filas y columnas que han sido cruzadas para formar un grupo de familia de partes – máquina.
6. Continuar para el resto de la matriz.

A continuación se presenta el procedimiento descrito basándose en la matriz presentada anteriormente. Como se puede observar las líneas rojas corresponden a lo que se está haciendo en cada matriz, y las líneas azules son las que ya se hicieron anteriormente.

Algoritmo Visual

		Parte								
Maq		001	002	003	004	005	006	007	008	009
a		1	1	0	0	0	0	0	1	0
b		1	0	0	0	0	0	0	1	0
c		1	0	0	0	0	0	0	0	0
d		1	1	1	1	1	1	0	1	1
e		0	1	1	1	0	0	0	1	0

		Parte								
Maq		001	002	003	004	005	006	007	008	009
a		1	1	0	0	0	0	0	1	0
b		1	0	0	0	0	0	0	1	0
c		1	0	0	0	0	0	0	0	0
d		1	1	1	1	1	1	0	1	1
e		0	1	1	1	0	0	0	1	0

		Parte								
Maq		001	002	003	004	005	006	007	008	009
a		1	1	0	0	0	0	0	1	0
b		1	0	0	0	0	0	0	1	0
c		1	0	0	0	0	0	0	0	0
d		1	1	1	1	1	1	0	1	1
e		0	1	1	1	0	0	0	1	0

		Parte								
Maq		001	002	003	004	005	006	007	008	009
a		1	1	0	0	0	0	0	1	0
b		1	0	0	0	0	0	0	1	0
c		1	0	0	0	0	0	0	0	0
d		1	1	1	1	1	1	0	1	1
e		0	1	1	1	0	0	0	1	0

Máquinas a, b, c, d y e para todas las partes excepto la 007

Figura 7.14. Algoritmo Visual

El método visual como se puede apreciar no puede utilizarse en la práctica real para solucionar problemas grandes; si no hay agrupaciones claras el método puede resultar en que todas las máquinas terminen en el mismo grupo, como ocurrió en el caso del análisis mediante este algoritmo para la fabricación de paneles solares. Por esto es necesario tener un método más formal y robusto, como los que se mostrarán a continuación.

7.2.3.2.2. Algoritmo de King para análisis de grupos

El *Algoritmo de King* o el *Algoritmo de Agrupamiento por Rango y Orden (Rank Order Clustering Algorithm)* formaliza el método visual. Toma una matriz parte – máquina dada y trata de convertirla en una forma bloque diagonal re – ordenar filas y columnas bajo un cierto juicio.

Se considera una matriz parte – máquina $A = [a_{ij}]$ con N partes (columnas) y M máquinas (filas) donde:

$$a_{ij} = 1 \text{ si la máquina } i \text{ es requerida para la parte } j.$$

$$a_{ij} = 0 \text{ de otra manera.}$$

El algoritmo involucra una cierta cantidad de iteraciones en las que, primero las filas y luego las columnas son re – ordenadas. El procedimiento continúa hasta que en alguna iteración no se necesite ningún re – ordenamiento. Para determinar si se necesita un re –

ordenamiento de fila, el algoritmo asigna a cada columna un peso o ponderación $w_j = 2^{N-j}$ donde j es el número de columna. Un puntaje de fila $s_i = \sum_{j=1}^N w_j a_{ij}$ es calculado usando estas ponderaciones. Luego las filas son organizadas en orden decreciente basándose en los puntajes calculados. Usando la matriz re – ordenada resultante de esto se sigue un procedimiento similar para organizar las columnas. Primero los pesos de las filas se calculan como $w_i = 2^{M-i}$ donde i es el número de fila. Un puntaje de columna $s_j = \sum_{i=1}^M w_i a_{ij}$ es calculado y las columnas son ordenadas en orden decreciente según el puntaje de columna. Cualquier empate de puntajes se resuelve arbitrariamente. Este proceso se sigue hasta que ya no hayan re – ordenamientos posibles.

Es importante notar que la matriz de inicio tiene una gran influencia en la matriz final resultante. Además, ya que los pesos usados son $w_i = 2^{M-i}$ el tamaño del problema que puede ser resuelto es limitado, ya que el peso excederá rápidamente el tamaño del número más grande representable por una computadora.⁽¹⁷⁾

A continuación se presenta la aplicación del Algoritmo de King para la misma matriz presentada inicialmente.

Algoritmo de King

Iteración 1, Paso1: Re-ordenamiento filas

	Parte									
Maq	001	002	003	004	005	006	007	008	009	s_i
a	1	1						1		336
b	1							1		258
c	1									256
d	1	1	1	1	1	1		1	1	507
e		1	1	1				1		226
w_j	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

Iteración 1, Paso 2: Re-ordenamiento columnas

	Parte									
Maq	001	002	003	004	005	006	007	008	009	w_j
d	1	1	1	1	1	1		1	1	16
a	1	1						1		8
b	1							1		4
c	1									2
e		1	1	1				1		1
s_j	30	25	17	17	16	16	0	29	16	

Iteración 2, Paso1: Re-ordenamiento filas

	Parte									
Maq	001	008	002	003	004	005	006	009	007	s_i
a	1	1	1	1	1	1	1	1		510
b	1	1	1							448
c	1	1								384
d	1									256
e		1	1	1	1					240
w_j	256	128	64	32	16	8	4	2	1	

Figura 7.15. Algoritmo de King

Ya que en el último cuadro vemos que las filas ya están en orden decreciente de puntaje de filas, no se necesita más re – ordenamiento, y en este punto el algoritmo termina. En este caso tal parece que de nuevo resulta que el flujo de la planta para construir paneles solares no es apto para dividir las instalaciones en familias de partes – máquinas, pues en la última matriz no se produce la estructura bloque – diagonal esperada. Cuando se tiene la estructura bloque – diagonal como en la figura siguiente, se puede identificar fácilmente las familias dentro de un flujo de planta. Lamentablemente este método no aplica para el caso de estudio de este proyecto.

	2	1	5	3	6	7	4	8	
A	1	1	1						224
F	1	1	1						224
C	1			1	1	1			156
E				1	1	1	1		30
B							1	1	3
D							1	1	3
$w_j = 2^{N-j}$	128	64	32	16	8	4	2	1	

$$s_i = \sum_{j=1}^N w_j a_{ij}$$

Figura 7.16. Estructura bloque – diagonal

La matriz mostrada es en un caso donde este algoritmo aplica, y donde claramente podemos identificar familias. De todas maneras, podemos notar que aún esta matriz no es exactamente bloque – diagonal. En particular se ve que la parte2 – máquinaC y la parte4 – máquinaE interfieren en la estructura buscada. Estos casos deben ser tratados como excepciones y para el resto se debe tratar de mover o añadir maquinaria para romper la planta en 3 familias de partes y grupos de máquinas.

7.2.3.2.3. Formulación P-median

Este modelo tiene sus raíces en el modelo P-median de teoría de localización. Este método trata de crear locaciones medias o “centrales” que son usadas como anclas para las familias de partes. Cuando se utiliza esto en teoría de localización, el modelo usa distancias entre locaciones para medir si están cerca. En el contexto de este sub – capítulo similarmente se puede definir una distancia entre diferentes partes (o máquinas) basándose en las máquinas (o partes).

Se considera una matriz parte – máquina $A = [a_{ij}]$ con N partes (columnas) y M máquinas (filas) donde:

$$a_{ik} = 1 \text{ si la máquina } i \text{ es requerida para la parte } k.$$

$$a_{ik} = 0 \text{ de otra manera.}$$

Luego se puede definir la disimilitud entre dos máquinas basándose en las partes que las requieren. Para esto se utiliza el métrico ponderado Minkowski para medir la

disimilitud.
$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n w_k |a_{ik} - a_{jk}|^r \right]^{1/r}$$

En esta formula w_k es un peso que depende de la parte y es usado para dar más importancia a partes críticas. También dentro de este contexto, el exponente r puede tomar cualquier valor entero positivo. (Si la matriz no fuera una matriz 0-1 el exponente podría ser usado para incrementar la significancia de diferencias grandes en los valores de la matriz).

Supongamos que se definen las siguientes variables de decisión:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{ij} = 1 \text{ si la máquina } i \text{ es asignada a la familia } j. \\ x_{ij} = 0 \text{ de otra manera.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{jj} = 1 \text{ si una familia } j \text{ es creada.} \\ x_{jj} = 0 \text{ de otra manera.} \end{array} \right.$$

Sabemos que cada máquina debe ser asignada a un grupo. $\sum_j x_{ij} = 1$. Pero las máquinas no

pueden ser asignadas a un grupo a menos que el grupo sea creado para lo que $x_{ij} \leq x_{jj}$.

Finalmente el número de grupos debe ser igual a P . $\sum_j x_{jj} = P$

Así pues se podría escribir el siguiente problema de programación de enteros en el que se busca formar grupos de máquinas de manera de la disimilitud entre las máquinas en un grupo sea minimizada. Este modelo se llama el problema P – median.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

$$\sum_j x_{jj} = P$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Ya que este problema es un problema de programación de enteros, debe ser resuelto utilizando una técnica enumerativa como la de rama y límite (branch and bound).⁽¹⁷⁾

7.3. Balanceo de Línea

Una línea de ensamble es una secuencia de estaciones de trabajo, conectadas entre ellas por un sistema de manejo de material, que es usado para ensamblar componentes en un producto final. El proceso de ensamble consiste en una secuencia de tareas o elementos de trabajo. Una tarea consiste en algunas operaciones elementales que están concatenadas por el uso de una herramienta común, plantilla o accesorio. Consecuentemente, las tareas no pueden ser sub- divididas y deben ser completadas en su estación asignada. Las tareas en un proceso de ensamble son ordenadas, es decir que suelen existir requerimientos de precedencia que deben seguirse. El problema de balanceo de una línea de ensamble es un problema de asignar tareas a estaciones de trabajo. Ya que diferentes tareas requieren tiempos diferentes, la asignación de tiempos de tareas a estaciones de trabajo es complicada, y esto resulta en tiempo ocioso en estaciones de trabajo. Uno de los objetivos del problema de balanceo de línea es minimizar este tiempo ocioso. Un objetivo secundario es balancear la carga de trabajo a través las estaciones de trabajo de manera que ninguna de estas tenga cargas muy altas o bajas de trabajo.⁽¹⁸⁾

La asignación de tareas a estaciones de trabajo es hecha para asegurar que la línea de ensamble pueda alcanzar una producción determinada. Así, a cada estación de trabajo se le da una cantidad fija de tiempo para completar su tarea. Dependiendo de la tasa de demanda y tiempos de tareas puede que sea necesario duplicar una o más estaciones de trabajo. La figura que se muestra a continuación muestra un esquema de un sistema serial simple y uno con una estación paralela. Cuando la demanda es alta es usual hasta duplicar toda la línea de ensamble. Duplicar estaciones tiene la ventaja de acortar la línea, pero puede que necesite más equipamiento y herramientas. Las líneas paralelas tienen otras ventajas también. Ya que cada estación de trabajo tiene un tiempo mayor para completar sus tareas, más tareas pueden ser asignadas a la estación. También si existe algún problema con algún equipo o herramienta en una estación, otra línea paralela puede seguir trabajando. En el caso de una sola línea serial, esta tendría que parar cuando haya una falla en cualquier estación.⁽¹⁸⁾

Aunque el problema de balanceo de línea es típicamente resuelto luego de que el proceso de ensamble ha sido diseñado, es una buena práctica revisar el proceso de ensamble para re- diseñar tareas para remover cualquier área con problemas. Así, una

¹⁸ Notas de Clase de Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 4, Assembly Line Balancing.

estación cuello de botella puede tener más holgura al re – diseñar algunas de las tareas y su equipamiento asociado.⁽¹⁸⁾

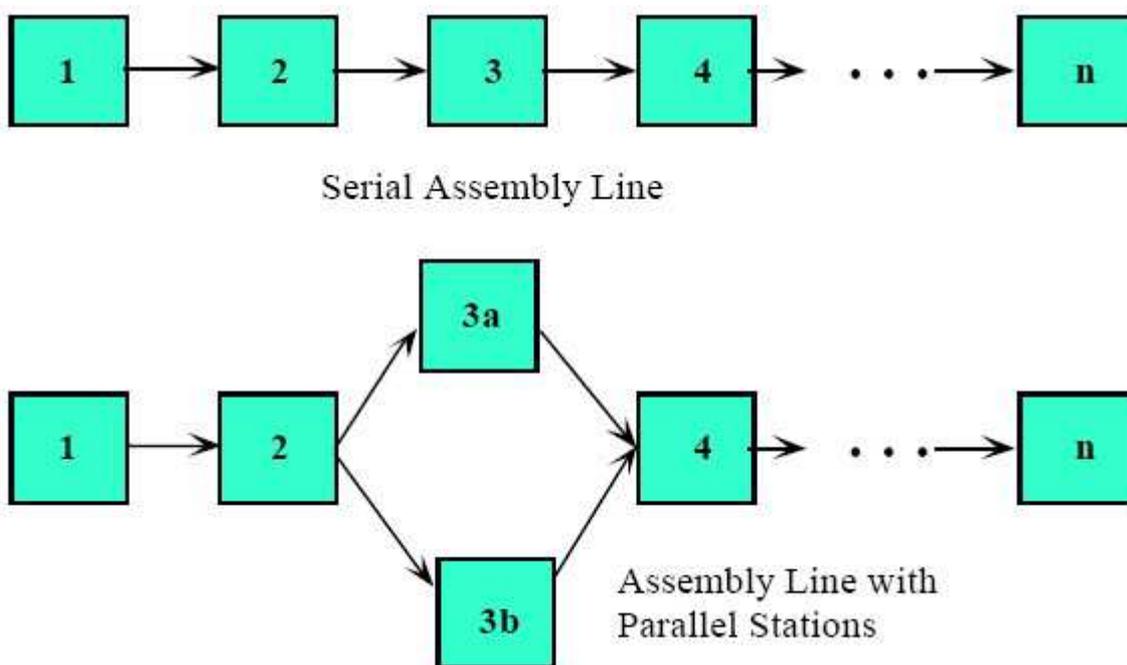


Figura 7.17. Líneas de ensamblaje

Líneas ritmadas o arrítmicas

Ya que los tiempos de tareas asignados una estación de trabajo pueden ser diferentes, las partes son producidas a diferentes velocidades en la línea. Esto también puede ocurrir por la variabilidad de tiempos de tareas. Consecuentemente, las estaciones pueden tener insuficiencia de insumos, o pueden crearse colas en las estaciones. Para regular el flujo de producción a menudo se asigna un “ritmo” a las líneas de ensamblaje. En una línea ritmada cada estación de trabajo tiene una cantidad de tiempo fija llamada tiempo de ciclo C . El sistema de manejo de materiales se diseña entonces para que luego de cada C unidades de tiempo los materiales sean indexados, es decir que todos los materiales se mueven una a una estación más adelante, cada parte pasa a una nueva estación. Si una estación termina en menos que C unidades de tiempo, queda ocioso por el tiempo restante. Por otro lado, si la estación no puede completar la tarea en C , la parte será de todas formas indexada a la siguiente estación. La parte incompleta será indexada a través de todas las estaciones restantes con poco o nada de trabajo hecha en ella. Para asegurarse que estos casos no se den a menudo, es común dar un tiempo de holgura a cada

estación para minimizar la probabilidad de trabajo incompleto. Si no hay mucha variabilidad en los tiempos de tareas, es preferible tener una línea arrítmica o asincrónica. En estas líneas cada estación trabaja a su propio ritmo y avanza la parte a la siguiente estación cuando completa las tareas asignadas.⁽¹⁸⁾

Aplicación

Antes de empezar el análisis previo al balanceo se debe determinar que tipo de esquema operativo se utilizará en la planta, es decir la manera en que el material se mueve a través de la planta. Esto es importante pues la naturaleza de este esquema determina que tipo de administración se debe darle, es decir como se va a manejar, como se va a optimizar. Por ejemplo el flujo productivo de un campo petrolero (flujo de proceso continuo) tiene un manejo muy diferente al de un taller mecánico – automotriz (Job-Shop). Inicialmente, luego de no haber tenido resultados favorables en el ejercicio del Grupos de partes o máquinas, se considera conveniente iniciar con un esquema de células productivas o “Job-Shop”, y posiblemente pasar a un esquema de líneas de producción desconectadas. El primero se utiliza generalmente para talleres de pequeña envergadura, que tenga lotes pequeños con una gran variedad de rutas de material. El segundo es un flujo en el que se producen lotes de producto en un número limitado de rutas identificables. Aunque existen estas rutas las estaciones individuales de trabajo entre las líneas no están conectadas por un sistema de manipulación rítmico de material, es decir que se puede crear inventario entre estaciones.⁽¹⁹⁾ Entonces para efectos del estudio, SunFlower Systems tendrá inicialmente un esquema de Job-Shop, en el cual habrá una célula productiva para cada tipo de operación, es decir una para corte, otra para remachado, etc., de manera que todo material que necesite una operación de corte entrará a la célula de corte, todo material que necesite remachado, irá a la célula de remachado, y así en adelante, hasta que eventualmente todas las partes estén listas y puedan pasar al ensamble final.

Ahora, para poder proceder con el análisis previo se necesita la información de demanda de producto para poder determinar el ritmo requerido y tiempos del proceso. Como se indicó en las sección de pronósticos de demanda, inicialmente se esperará tener una demanda de 5 sistemas de paneles solares semanales, es decir 10 unidades del “producto” (recordemos que se definió a 1 panel solar como 1 producto). Considerando

¹⁹ Hopp, Wallace J; Spearman, Mark L. Factory Physics. Foundations of Manufacturing Management. Ed. D Irwin, 1995.

una semana de 5 días y 8 horas efectivas diarias, estas 10 unidades semanales significarían 1 panel cada 4 horas.

$$T.\text{disponible} = 8 \frac{h}{\text{dia}} * 60 \frac{\text{min}}{h} = 480 \text{ min/ dia}$$

$$T.\text{ciclo} = T_c = \frac{480 \text{ min/ dia}}{2u / \text{dia}} = 240 \text{ min/ unidad} = 4hr / \text{unidad}$$

Claro está que se debe tomar en cuenta otros temas antes de fijar el dato de tiempo de ciclo de 4 horas sin más ni más. Estas implicaciones a considerar son el tiempo necesario para instalación (esto es si el equipo de personas que trabajan en la planta son las personas que trabajan en la instalación, de otra forma esto no aplicaría), y el tiempo de acopio de las partes de todo el sistema, pues como se mencionó anteriormente el resto de componentes como el tanque de almacenaje será fabricado por otros proveedores (esto no afectará el ensamble final del sistema, pues este se hace en el proceso de instalación, que es realmente trabajos de plomería y principios básicos de hidráulica.)

De las hojas de ruta presentadas se obtiene que el tiempo total para ensamblar un panel solar es de 194.5 minutos o 3.2 horas, sin tener todavía una línea balanceada, es decir tomando en cuenta los tiempos totales utilizados en cada operación para cada parte del producto. A continuación se puede observar el esquema de tiempos.

Tabla 7.18

	Tiempo (min)		
	Set-up	Operación	Total
Caja	3,0	11,0	14,0
Tapa Base	3,0	6,0	9,0
Cubierta Vidrio	4,0	14,0	18,0
Colectores	0,5	8,0	8,5
Poliestireno	1,0	4,0	5,0
Lana de vidrio	2,0	2,0	4,0
Tubos cobre	9,0	31,0	40,0
Cauchos	0,0	2,0	2,0
Subensamble-1	10,0	25,0	35,0
Inspección-1	4,0	10,0	14,0
Ensamble final	5,0	40,0	45,0
		TOTAL (min)	194,5
		TOTAL (hr)	3,2

Así pues teniendo un T_c de 4 horas por unidad y un tiempo real de 3.2 horas por unidad tendríamos una holgura de 0.8 horas por unidad, es decir 1.6 horas diarias o 8 horas semanales. Estas 8 horas no serían suficientes para el acopio de todo el sistema e instalación de los mismos en teoría, pero de un punto de vista real, hay muchos temas a considerar. Uno es que si no se tiene el tiempo entre semana se tendrá que trabajar los

sábados (8 horas adicionales), otro es que no todo el tiempo todo el personal estará en la planta, seguramente se tendrá capacidad de sobra inicialmente por lo que lo real es que parte de la gente estará armando productos, mientras que otra parte estará preparando los kits completos, y los preparativos previos a instalación. En fin, hay muchas consideraciones para este tópico de tiempo disponible para acopio e instalación, pero para fines del estudio se tiene confianza de que estos datos iniciales son adecuados para el análisis.

El siguiente punto para proceder con el análisis del balanceo de línea es esquematizar el flujo de material a través de las células productivas, en otras palabras dibujar la línea de ensamble (recordemos que no se tendrá una “línea en sí”). A continuación vemos el esquema de las 5 células productivas que se tendrán:

- Célula de corte de metales ET-1 (mesa de corte): En esta célula se realizarán las operaciones de corte de perfiles de aluminio para la caja, el corte de la tapa base de aluminio, y de los tubos de cobre (headers).
- Célula de perforado ET-2 (un “drill bench” – una estación con un taladro fijo industrial): En esta célula se realizarán las operaciones de perforado en los perfiles de aluminio para su posterior ensamble, y el perforado en los headers para su posterior suelda con los colectores.
- Célula de remachado ET-3 (inicialmente simplemente una mesa de trabajo con una remachadora industrial manual, a futuro se esperaría tener una troqueladora / remachadora industrial eléctrica, por lo que se tratará a esta operación en una célula separada): En esta célula se realizan trabajos de remachado varios necesarios, en un principio básicamente los de la caja de aluminio.
- Célula de Ensamble / Mecánica ET-4 (llamada mesa de trabajo en las hojas de ruta, comprende toda herramienta y equipo para sub. – ensambles y ensambles finales, además de herramientas y equipos para procesamiento de partes intermedias – moladora, equipo de suelda, cortador vidrio, limas, etc.): En esta célula se realizan operaciones de procesamiento de cubierta de vidrio, corte a medida de poli estireno, lana de vidrio, cauchos aislantes, esmerilado, lijado, limpieza de partes, etc.
- Célula de prueba de presión ET-5 (pruebas de presión para rig de colectores): Para esta operación se pone una célula operativa a parte por la importancia que se le quiere dar, pues si al inyectar agua caliente a presión en el rig recién soldado se

tienen goteos o fugas que no se detecta, el eficacia de todo el sistema estará comprometida.

A continuación se presenta el gráfico de flujo de materiales con sus respectivos tiempos asignados. Para poder seguir el flujo de materiales se debe hacer referencia a la Figura 7.7 (Tabla de Procesos Operativos).

Esquema de Flujo de Materiales

Guía de Colores

- | | |
|-------------------------|--|
| ● Caja de aluminio | ● Acoples SO-HE |
| ● Tapa base de aluminio | ● Rig Colectores |
| ● Cubierta vidrio | ● Aislantes (poliestireno, lana vidrio, cauchos) |
| ● Headers | ● Producto Terminado (panel solar) |
| ● Colectores | |

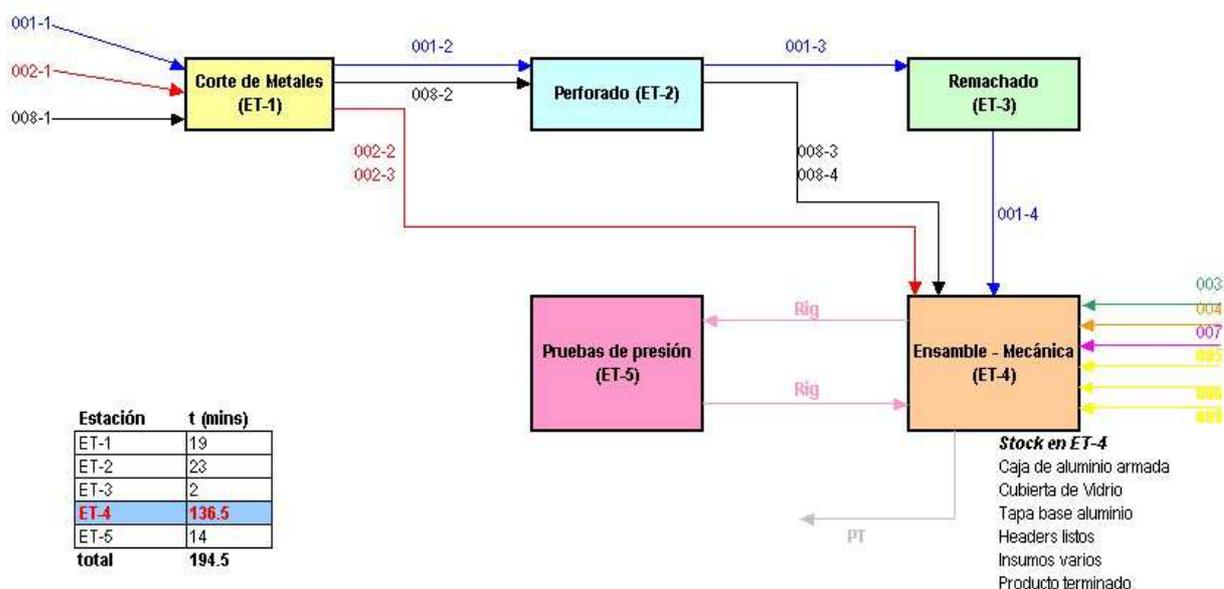


Figura 7.19. Esquema de flujo de materiales original

Ahora, al momento de analizar este esquema surgen incógnitas muy interesantes. El primer tema que salta sin ningún análisis exhaustivo se da al observar los tiempos de cada estación en el cuadro de tiempos. Vemos que en la ET-4 se tiene la gran mayoría del tiempo e procesamiento del panel, el 70% del tiempo total transcurre en esta estación, esto no se lo podía ver a simple vista en el cuadro de tiempos por operación mostrado anteriormente. Además se sabe que del tiempo total, la operación más significativa es la de suelda del rig de colectores (en la tabla de tiempos por operación vemos que un 61% del tiempo en la ET-4 es para esta parte). Lo más razonable en este punto es en vez de agrupar en conjuntos de máquinas (recordemos que en el capítulo de análisis de grupos se llegó a la conclusión de que no se puede agrupar las operaciones, ni las partes, ni las máquinas de este proceso) desagrupar las máquinas, para poder “balancear” el proceso. Balancear entre

comillas puesto que lo ortodoxo al balancear una línea es tratar de agrupar operaciones para minimizar tiempos, sea en horas máquina u horas hombre, y en este caso estamos haciendo un “balanceo inverso” al desagrupar una célula productiva para evitar el tener una operación tipo “cuello de botella” y tener un movimiento de materiales más fluido. A continuación se presenta el nuevo esquema de flujo de materiales con la célula productiva adicional que se acaba de definir, la ET-6 o Célula de Solda.

Esquema de Flujo de Materiales

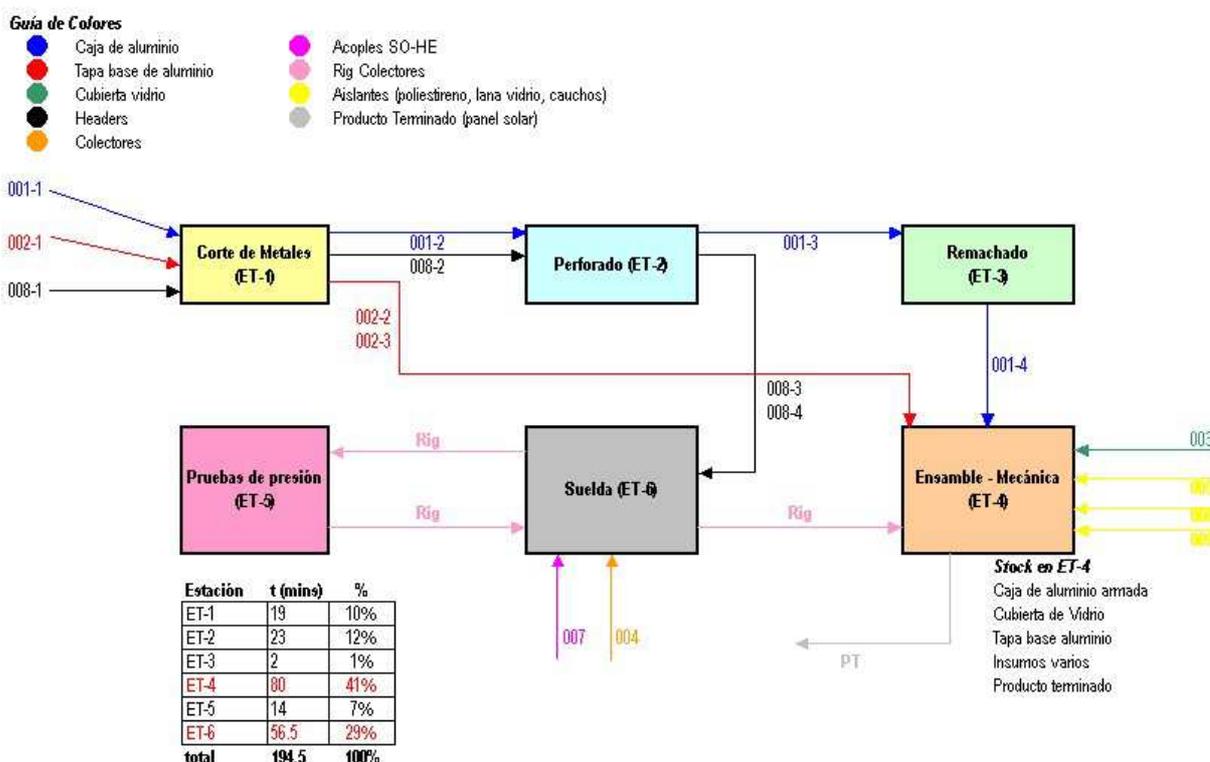


Figura 7.20. Esquema de flujo de materiales optimizado

Como se puede apreciar en la tabla de tiempos (para mejor visualización el esquema se encuentra al 100% de su tamaño en el Anexo 4) el tiempo de la estación 4 bajó de 136.5 minutos a 80 minutos, y la nueva estación 6 tiene un tiempo de 56.5 minutos. Estas dos ET siguen siendo las más importantes en cuestión de tiempos de operación, pero se ha reducido considerablemente de un 70% del tiempo total a un 41%.

El siguiente inconveniente que se presenta al hacer un análisis visual, es que el modelo que se ha presentado no es el modelo común para balancear una línea (estos se basan en esquemas de operaciones, es decir primero la operación A, luego la B, etc., como se puede apreciar en el gráfico al inicio de este sub. – capítulo). Esto no es lo que tenemos en el último gráfico mostrado arriba, se podría asemejar una operación única A en este

caso por ejemplo el perforado de los headers, que tiene que ser hecho antes de la operación B, que es el limado de los headers, pero esquematizar este modelo para el caso de este estudio no sería práctico. Por otro lado en este modelo de flujo de materiales a través de células productivas se nota que el problema no va a ser tanto balancear los tiempos entre operaciones, pero priorizar operaciones. Esto es porque el panel no podrá ser armado hasta que esté soldado el rig de colectores, lo que se traduce en que las operaciones a ser realizadas para ensamblar esta parte serán las que dicten el ritmo del proceso. En conclusión lo que se debe hacer ahora en vez de proseguir con el modelo de balanceo tradicional, es organizar y programar el flujo de materiales de manera que sé de prioridad a los materiales requeridos para el sub. – ensamble 1.

La primera premisa para comenzar esta programación es que la primera parte que se debe terminar es el rig de colectores. Para esto la siguiente premisa que debemos considerar es que el primer material a ser procesado son los tubos de cobre (headers). Siguiendo estas consideraciones lo que se va a hacer para empezar el análisis es explotar la priorización de operaciones dentro de cada estación de trabajo como se puede ver en la figura 7.21.

ET-1: Corte metales		
Orden	Parte / Proceso	t
1	008-1	7
2	001-1	8
3	002-1	4
total		19

ET-2: Perforado		
Orden	Parte / Proceso	t
1	008-2	20
2	001-2	3
total		23

ET-3: Remachado		
Orden	Parte / Proceso	t
1	001-3	2
total		2

ET-5: Pruebas presión		
Orden	Parte / Proceso	t
1	I-1	14
total		14

ET-6: Suelta		
Orden	Parte / Proceso	t
1	008-3	12
2	008-4	1
3	004-1	8.5
4	SE-1	35
total		56.5

ET-4: Ensamble-Mecánica		
Orden	Parte / Proceso	t
1	001-4	1
2	002-2	2.5
3	002-3	2.5
4	003-1	12
5	003-2	3.5
6	003-3	2.5
7	005-1	5
8	006-1	4
9	009-1	2
10	E-1	45
total		80

Figura 7.21. Priorización de Operaciones

Ahora al entrar en un proceso de fabricación este documento sería el mandante al momento de programar el flujo de materiales, de manera de poder minimizar el tiempo de proceso por unidad y suavizar el flujo de materiales, tratando de evitar cuellos de botella.

En este caso se estableció que el cuello de botella crítico es el tiempo de procesamiento de toda la materia prima y proceso final para ensamblar el rig de colectores. Otra manera de ver el problema es la cadena crítica. La definición clásica de “la cadena crítica” es el tiempo más largo de actividades concatenadas que definen la duración total de un proyecto.⁽²⁰⁾ La idea es tomar el tiempo de la cadena crítica del proceso como el tiempo completo para armar el rig de colectores más el tiempo de la inspección de presión, más el tiempo para el ensamble final como la cadena crítica, considerando así que este será el que defina el tiempo de ciclo para la construcción de paneles solares. Esto se aceptará pues mientras se completan las operaciones de la cadena crítica a la par se irán completando el resto de operaciones, es decir que la duración del proceso estará dada por la cadena crítica de operaciones.

Para encontrar la cadena crítica de este proceso se utilizará un modelo de investigación de operaciones para administración de proyectos, que lleva por nombre el Método de la Ruta Crítica, o CPM (Critical Path Method). El CPM fue desarrollado en 1957 por J.E. Kelly de Remington Rand y M.R. Walker de DuPont, y se trata básicamente de un método de programación que representa a un proyecto (proceso en nuestro caso) como una red, y tiene la ventaja de permitir la práctica de “administración por excepción”. Esto quiere decir que si por ejemplo se tiene un proceso con 2,500 operaciones, quizás solo 100 de estas serán críticas, y se puede enfocar el esfuerzo en estas.⁽²¹⁾

Los pasos estándar a seguir para trabajar con este modelo son:

1. Lista de actividades: define las actividades del proceso y establece relaciones de precedencia apropiadas. Esta es la parte más importante del modelo CPM.⁽²¹⁾

Tabla 7.22

Operación	Descripción	Predecesores	
		Inmediatos	Tiempo
001-1	Caja corte	-	8
001-2	Caja perforado	001-1	3
001-3	Caja remachado	001-2	2
001-4	Caja armado	001-3	1
002-1	Tapa de base corte	-	4
002-2	Tapa de base esmerilado	002-1	2,5
002-3	Tapa de base limpieza	002-2	2,5
003-1	Cubierta de vidrio corte	-	12

²⁰ Concepto del libro *La Cadena Crítica* de Goldratt.

²¹ Eppen, G.D. y otros. *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*. Prentice-Hall, México 2000. Capítulo 14, pg. 659.

003-2	Cubierta de vidrio lijado	003-1	3,5
003-3	Cubierta de vidrio limpieza	003-2	2,5
008-1	Tubo corte	-	7
008-2	Tubo perforado	008-1	20
008-3	Tubo esmerilado	008-3	12
008-4	Tubo limpieza	008-4	1
004-1	Fin Tubes (colectores)	-	8,5
SE-1	Rig de Colectores	008-4 / 004-1	35
I-1	Inspección de presión	SE-1	14
005-1	M2 de Poliestireno	-	5
006-1	M2 de Lana de Vidrio	-	4
009-1	Cauchos aislantes	-	2
E-1	Ensamble final Panel	001-4 / 002-3 / 003-3 / I-1 / 005-1 / 006-1 / 009-1	45

2. Diagrama de Red: en un diagrama de red, cada actividad u operación está representada por una flecha llamada rama o arco. El principio y fin de cada operación están indicados por un círculo, que se llama nodo.⁽²¹⁾

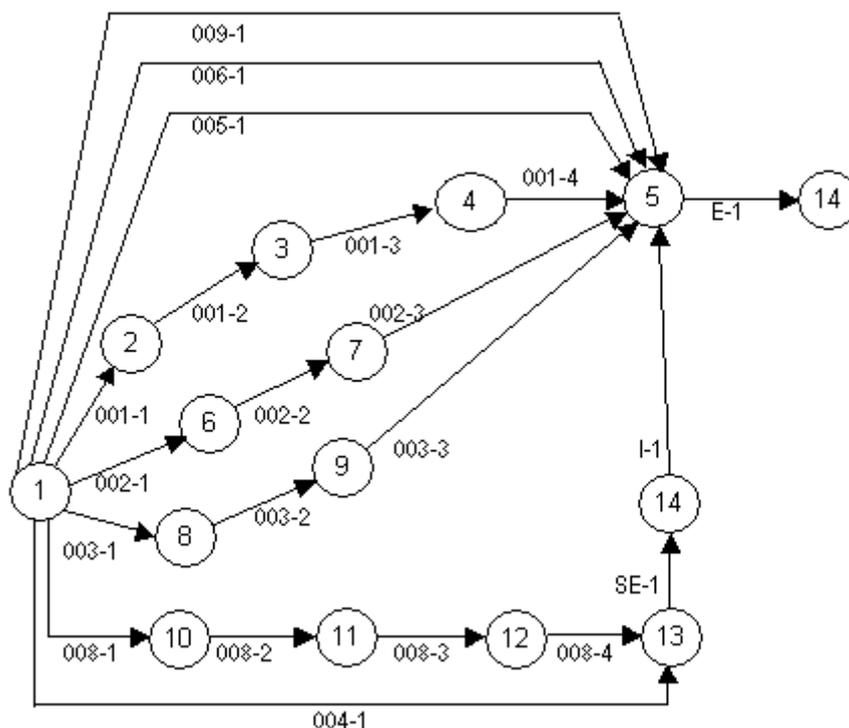


Figura 7.23. Diagrama de Red

3. Cálculo de la ruta crítica: la lista de actividades y un diagrama de red apropiado son elementos útiles para representar las relaciones de precedencia entre las actividades de un proyecto. Basándose en la lista de actividades se puede ver, como ya se mencionó anteriormente, que el tiempo total requerido para construir un panel solar es de 194.5

minutos. Sin embargo, claramente el tiempo total del ciclo de construcción puede ser menor, puesto que muchas actividades pueden llevarse a cabo simultáneamente.⁽²¹⁾

Para el cálculo de la cadena crítica se hace uso de la herramienta para planificación de proyectos, MS Project. Basándose en la lista de actividades y sus respectivos tiempos presentados en el punto 1, y basándose en el diagrama de red del punto 2 se procede a ingresar la información en el programa. Una vez terminado este paso lo que se obtuvo es un diagrama de red donde se puede apreciar la ruta crítica de operaciones. Este gráfico se lo puede apreciar en el Anexo 5 (operaciones críticas en recuadro color rojo). Del gráfico que se obtuvo de MS Project, se puede listar fácilmente las operaciones críticas, y por ende la ruta crítica con su respectivo tiempo total:

Tabla 7.24

Cadena Crítica - Secuencia de operaciones

Operación	Tiempo
008-1	7
008-2	20
008-3	12
008-4	1
SE-1	35
I-1	14
E-1	45
total	134

Como se puede apreciar en esta tabla la ruta crítica está compuesta por las operaciones de mayor duración por un lado, y que no son excluyentes por otro. De la definición de cadena crítica, 134 minutos se convertiría en el tiempo de ciclo entonces. Y esto se corrobora pues si se resta el tiempo total que se calculó en el esquema de flujo de material (194.5 minutos) del tiempo de la ruta crítica tenemos 60.5 minutos, que es el tiempo de las operaciones restantes, y al ser menor al de la ruta crítica, y son excluyentes, estamos seguros que el tiempo máximo de proceso de un panel solar sería de 134 minutos.

El siguiente paso que comúnmente se daría es aplicar un modelo de programación lineal para tratar de acortar el tiempo de la cadena crítica. En este punto este paso no sería práctico para efectos de este estudio. Lo que sí se puede comentar es que se podría analizar cada una de las actividades de la lista de actividades críticas que se obtuvo para ver como se las podría mejorar en términos de tiempo. Por ejemplo en la operación SE-1,

que corresponde esencialmente a la suelda del rig de colectores, el tiempo de 35 minutos se consideró tomando en cuenta 1 solo soldador con un solo equipo. Inicialmente esto sería lo correcto para cualquier empresa que empiece desde cero, pero si se ve que es rentable, se podría comprar otro equipo y contratar otro soldador y el tiempo se reduciría por lo menos en la mitad (a 18 minutos), lo que acortaría a su vez la ruta crítica en 18 minutos, y en sí el flujo de materiales aceleraría su ritmo. Como este ejemplo habría muchas opciones para optimizar el proceso.

Una vez que hemos definido claramente la ruta crítica se puede dar por terminado el Balanceo de la línea. Ahora que se ha terminado esta parte del estudio se deben hacer dos conclusiones: se duplicaron esfuerzos pues se reconoce que en el capítulo de Análisis de Grupos o Familias de Partes se llegó ya a comprender que no podrían agruparse las partes o las máquinas en el proceso de ensamble de paneles, y al ser este en esencia el fin del modelo propuesto para el balanceo de grupos, pues se dio una redundancia al haber encontrado nuevamente que este modelo no procede. La siguiente conclusión es que al final no todo fue un esfuerzo en vano pues se descubrieron 3 oportunidades de mejora en el proceso propuesto, el crear una nueva estación de trabajo, el programar las actividades de manera de suavizar el flujo de materiales y optimizar los tiempos, y el calcular la cadena crítica del proceso para conocer el tiempo de ciclo real del proceso.

7.4. Layout de planta

El problema de layout de planta se relaciona con la localización y organización de departamentos, células productivas o máquinas en una planta o piso de oficina. Dados los aspectos geométricos y combinatorios del problema, el modelo de layout es un problema de difícil cómputo. El problema de layout tiene también factores asociados cuantitativos y cualitativos, que pueden ser difíciles de modelar y analizar.⁽²²⁾

En general, es siempre preferible hacer alguna simplificación y análisis en el proceso para descomponer el problema en problemas más pequeños (se realizó esto en los sub – capítulos anteriores, especialmente en el 7.3 de balanceo de línea). Esto reduce el tamaño del problema permitiendo un estudio más cuidadoso de varias alternativas de layout.⁽²²⁾

7.4.1. Tipos de patrones de flujo

En el problema de layout de planta, a menudo se da énfasis en el flujo de materiales entre departamentos o estaciones de trabajo. El flujo de material requiere manejo de material, que es una operación costosa y que no agrega valor. Idealmente, sería preferible que el análisis preliminar realizado haya reducido el problema a un número de grupos de máquinas y dentro de cada grupo todas las partes sigan una misma secuencia de máquinas. Como bien se puede recordar, en el capítulo de Balanceo de línea se llegó a establecer seis estaciones de trabajo o grupos de máquinas, que idealmente podrían ser ordenadas en un arreglo lineal, y ahora el único problema sería ubicar estas máquinas en el espacio reservado para las estaciones de trabajo. Dependiendo en la aplicación y espacio disponible, las máquinas pueden ser ubicadas en uno de los patrones mostrados en la figura 7.25.⁽²²⁾

²² Notas de Clase de Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 5, Plant Layout.

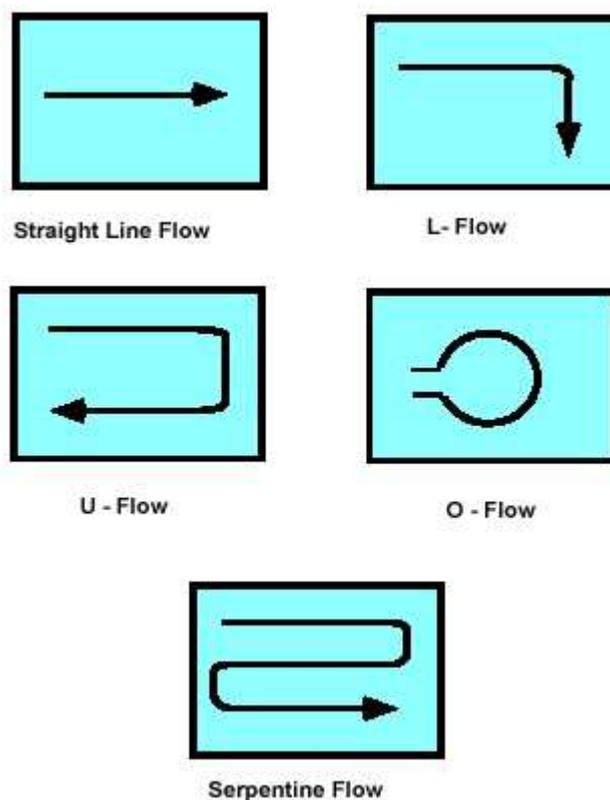


Figura 7.25. Tipos de Patrones de Flujo

El patrón de flujo en U es a menudo usado cuando es necesario tener el inicio y fin de la línea en el mismo lado de la planta, generalmente para propósitos de manejo de material. Flujos U son también preferidos en layout justo a tiempo. En este caso, los trabajadores son ubicados en medio de la U y pueden monitorear el progreso entre ellos y colaborar fácilmente cuando sea requerido. La proximidad de espacio también ayuda a crear un ambiente de trabajo en equipo.⁽²²⁾

Flujos O son comúnmente usados en células de máquinas que son operadas por un robot común de manejo de material. Layouts en forma de serpentín son usados para procesos de ensamble largos que tienen que entrar en áreas cuadradas.⁽²²⁾ Los flujos lineales y en L no necesitan mayor aclaración. El lineal sería ideal en un proceso que por consideraciones de volumen de producción y transporte necesite tener el acceso de materia prima por un extremo de la planta, y la salida de producto terminado por el otro extremo.

7.4.2. Tipos de layout⁽²²⁾

Dependiendo de la naturaleza del producto y del tipo de manufactura (alto volumen, bajo volumen, mix de productos, etc.) que se realizan, los layouts de planta se categorizar como sigue:

- *Producto Estático*: son usados cuando el producto a ser elaborado es grande un pesado. En estos casos, el producto es manufacturado o ensamblado en una locación fija, y la maquinaria se mueve alrededor del producto según sea necesario. Ejemplos de estos layouts son plantas de construcción de aeronaves, barcos, etc. La manufactura de este tipo de productos es controlada bajo un esquema de proyecto, y la locación de la maquinaria cambia a medida que el proyecto avanza.
- *Layout de Producto o Línea de Producción*: son usados cuando un producto único, o productos muy relacionados deben ser elaborados en volúmenes altos. Máquinas/estaciones de trabajo son arregladas en una línea de ensamble. El orden de las máquinas en la línea sigue el orden en el que el proceso debe ser hecho. Previo el diseño de uno de estos layouts a menudo se resuelve un problema de balanceo de línea para determinar el mejor grupo de tareas o actividades que deben ser hechas en cada estación.
- *Layout de Grupo o Celular*: son usados cuando una familia de componentes debe ser manufacturada por una célula productiva pequeña. En este arreglo, un grupo de máquinas forma una célula. Cada célula tiene su propio sistema de manejo de material. Si es posible, partes de componentes son procesadas por completo en una sola célula productiva. Luego los componentes son ruteados a áreas de ensamble.⁽²²⁾
- *Layout de Proceso*: este arreglo agrupa máquinas que hacen actividades similares en departamentos de procesamiento. Así en una planta con layout de proceso puede haber un departamento de suelda, uno de troquelado, uno de molido, etc. Estos layouts son comunes en plantas con esquemas job-shop. Requieren una gran cantidad de manejo de material ya que las partes se mueven entre departamentos para variadas operaciones. Tienen la ventaja de que trabajadores y supervisores se pueden especializar en su proceso.

7.4.3. Desarrollo de Modelo de Layout (Metodología SLP – Systematic Layout Planning)

Antes de proceder con el modelo SLP, se debe determinar que tipo de flujo y que tipo de layout se aplicará para la planta de SunFlower Systems. Dada la envergadura pequeña inicial de la empresa se considera que el esquema U para flujo de material será el óptimo por variadas razones. Primero solo se tendría un puerto de descarga y carga de materiales, así como también una sola puerta principal; que es algo importante para minimizar puntos de control y aumentar seguridad. Otra ventaja sería el hecho de reducir el personal, en el flujo U se pueden tener pocas personas que hagan varias operaciones.

El tipo de layout que se usará es el layout de proceso. Recordemos que en capítulos anteriores se estableció que la planta tendrá un esquema de “job-shop”, y precisamente la teoría indica que este tipo de layout funciona en el dicho esquema de planta. Es cierto que este tipo de distribución posiblemente aumentará la necesidad de manejo de material, y es pues un poco obsoleto, pero para la planta propuesta, con su envergadura pequeña y pocos recursos iniciales, este esquema es el apropiado.

Marco Teórico de Metodología SLP⁽²³⁾

A continuación se presentará los pasos que deben seguirse teóricamente para aplicar la herramienta de los planos de distribución física de las instalaciones.

Lo primero que hay que preguntarse para empezar es *¿Qué hay que saber?* Para responder esto hay enfocarse en las iniciales PQRST. Estas significan:

P = productos o servicios ofrecidos

Q = cantidad, volumen de productos o servicios ofrecidos

R = ruta, secuencia del proceso, el “como” se mueve todo para crear productos o servicios

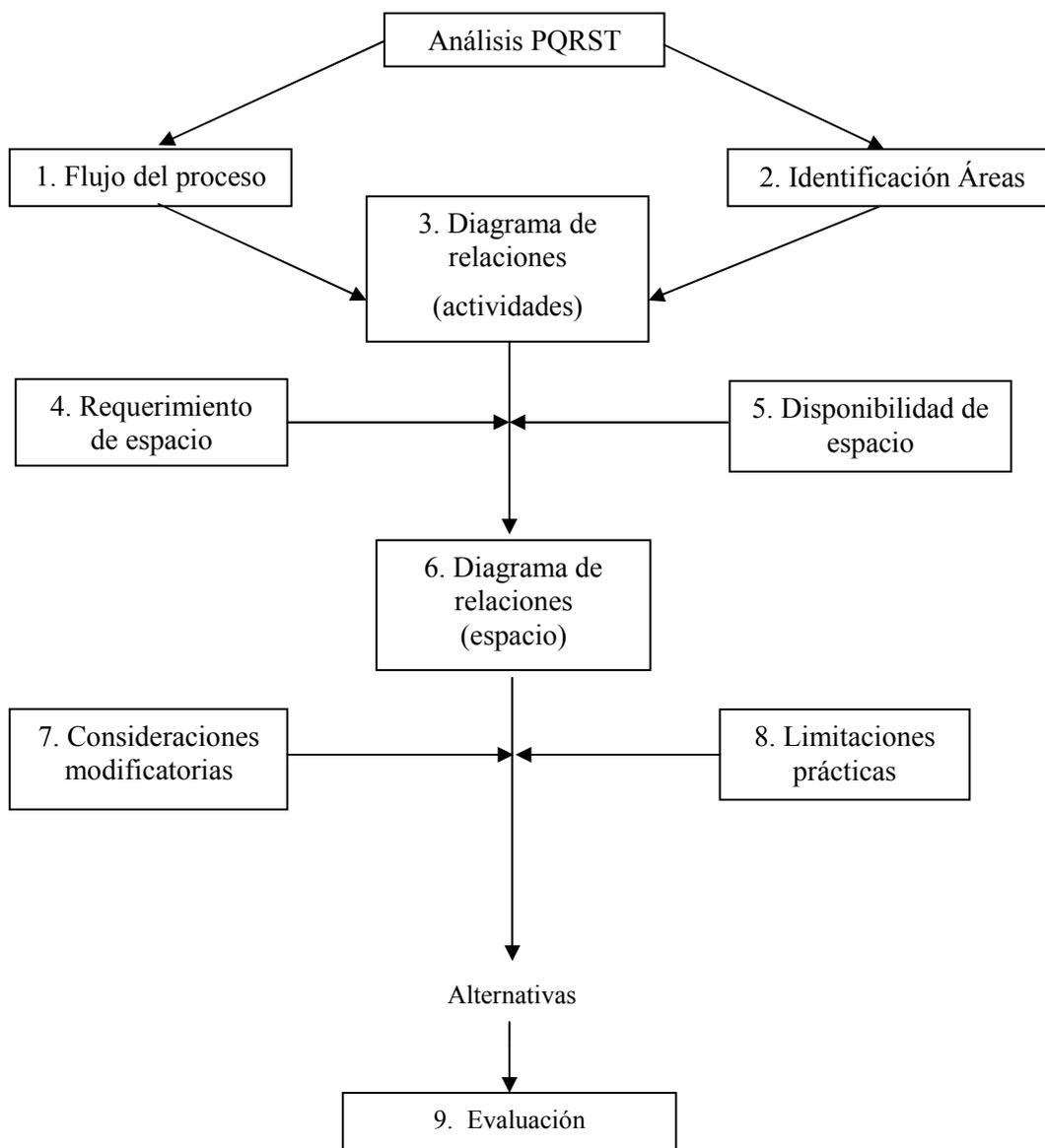
S = soporte: bodegas, cafetería, baños, enfermería, etc.

T = tiempo, cronograma de actividades, el “cuando” suceda cada paso

²³ Clases del 28 de Noviembre y 3 de Diciembre del 2002. Ingeniería Industrial. Prof. Patricio Cisneros, Primer Semestre 02-03 USFQ.

“SLP”. <http://quantum.ucting.udg.mx/tutorial/planta/7.htm> visitada el 11 de Diciembre de 2004.

El paso siguiente es aplicar la metodología del “SLP”. Esta consta de 9 pasos que se deben elaborar concatenadamente para llegar a una decisión acerca de que layout aplicar en la empresa de nuestro interés. Estos pasos son:



1. Flujo del proceso: Este flujo se lo debe tratar de elaborar no tan detalladamente, es decir que no se deben ubicar cada actividad, tarea, decisión, archivo, movimiento; solamente un esquema global que muestre las áreas principales productivas de la empresa. Esto ayuda a visualizar las actividades que requieren de espacio para así elaborar posteriormente el layout.

2. Identificación de Áreas: Las áreas mostradas en el paso anterior se deben identificar como una de las siguientes opciones. Cada una de estas opciones tiene su respectivo símbolo.

 formado, tratamiento, ensamblaje, desensamblaje, etc.

 movimiento

 almacenamiento

 demora

 inspección

 servicio y soporte

 planificación

3. Diagrama de relaciones (actividades): Este diagrama relaciona las áreas identificadas entre ellas con relación a la necesidad de que estén juntas o separadas. Para realizar estas relaciones utilizamos diferentes trazados de líneas con un significado específico cada una:

absolutamente necesario de que estén juntas 

especial importancia de que estén juntas 

importante que estén juntas 

ordinario 

sin importancia (vacío)

no deseable que estén juntas 

extremadamente indeseable que estén juntas 

4. Requerimiento de Espacio: Según las necesidades de cada área identificada se especifica el requerimiento de espacio (en m²) para cada una de estas. Con estas áreas identificadas se obtiene un área total requerida para la instalación. Basándose en estos datos se obtiene el porcentaje que ocupa cada área del total.

5. Disponibilidad de Espacio: Dado que no siempre la ubicación, el tamaño, o la distribución del terreno o área destinada para la instalación concuerda con el requerimiento de m^2 (puede que sea mayor o menor) es necesario ajustar los requerimientos de áreas de acuerdo al área disponible y a los porcentajes del paso anterior.
6. Diagrama de relaciones (espacio): Ya con las áreas identificadas, con las relaciones de proximidad, y con los espacios definidos para cada área y para toda la instalación; se avanza a elaborar el diagrama de relación de espacio. Este ya es un layout pero general. Básicamente ubica las áreas que tenemos en el espacio disponible, de manera que representen sus superficies y sus ubicaciones correctas. Este layout no es definitivo.
7. Consideraciones Modificadorias: Son las que obligan a modificar el layout general elaborado (diagrama relaciones) en concepto de ubicaciones y superficies de las áreas. Algunas condiciones modificadorias pueden ser la necesidad de puertos de carga y descarga, circulación de montacargas, salidas de emergencia, etc.
8. Limitaciones Prácticas: Son limitaciones que no se pueden evitar y que obligan definitivamente a modificar el layout. Una limitación práctica puede ser una obligación municipal de instalar una planta de tratamiento de aguas residuales.
9. Evaluación: La evaluación se usa para escoger la alternativa de layout más apropiada para la instalación. Basándose en las alternativas propuestas se pueden utilizar tres tipos de análisis para evaluarlas. El primero es el *balanceo de ventajas y desventajas*, luego el *análisis de factores* y finalmente el *análisis de costos*. Una buena opción para la evaluación es una combinación de estos tres sistemas. Para esta combinación lo que se hace es primero evaluar las alternativas usando solo ventajas y desventajas y descartar las que definitivamente no servirán. Luego con el análisis de factores se puede realizar una evaluación más profunda de las alternativas que quedan. Para este análisis se usa una lista de factores a considerar para cada layout. Estos factores se los ponderan basándose en un consenso de grupo. Si hay 10 factores la calificación de ponderación será de 1 a 10, siendo 10 la nota más alta. Estos factores pueden ser:
 - a. Fácil expansión futura
 - b. Versatilidad

- c. Flexibilidad
- d. Efectivo flujo de materiales
- e. Efectivo manejo de materiales
- f. Efectivo almacenamiento
- g. Utilización de espacio
- h. Efectiva integración con áreas de soporte
- i. Seguridad y cuidados
- j. Adecuadas condiciones de trabajo / satisfacción de RRHH
- k. Fácil supervisión y control
- l. Apariencia, valor promocional, imagen.

Estos son algunos de los factores que se utilizan comúnmente en la evaluación. El siguiente paso en el análisis de factores sería calificar cada alternativa para cada factor con una calificación de 0 a 4, siendo 4 la mejor. Luego para cada recuadro que corresponda a cada factor con cada alternativa se multiplican la ponderación de los factores por la calificación de la opción. Por ejemplo, si se necesita expandirse la alternativa A no tiene ningún problema, entonces para el factor de fácil expansión (peso 6) A recibe una calificación de 4, y en el recuadro correspondiente se llega a un total de $6 * 4 = 24$. Se hace esto para todas las alternativas y luego se obtienen los totales numéricos de estas. Las que tengan mejores puntajes pasan al análisis de costos. Si tenemos por ejemplo dos opciones que pasaron el análisis anterior, se hace una comparación basándose en costos, y la que tenga menos costo de implementación será escogida. De esta manera se aplica un sistema de evaluación efectivo.

7.4.4. Propuesta de Layout

Análisis PQRST

Con respecto al análisis PQRST faltaría definir el soporte para el proceso. El producto se definió como una unidad de panel solar, ítem que ha sido descrito exhaustivamente. La cantidad, es decir la demanda se definió en 5 sistemas compuestos de 2 paneles semanalmente, o sea 10 paneles solares semanales.

En lo que es soporte, este punto se refiere a todo lo que son espacios de soporte para la producción en la planta. Es decir espacios de acopio y despacho de material,

bodegas, oficinas, baños, etc. En el capítulo 8 se tiene dibujado un poco estos requerimientos, pero se desarrollaran a detalle en este punto.

Oficinas: Se requerirá espacio para tener una sala para clientes y puesto de secretaria, una oficina para el Supervisor de Producción / Instalación / Gerente, y una oficina de planificación (planos, reuniones personal, laboratorio, etc.).

Baño: Será necesario 1 baño para oficinas (clientes, secretaria) y 1 baño para planta.

Bodegas: Será necesaria una bodega general para insumos y materia prima; y otra para producto terminado y acopio de partes para el sistema completo (tanques, tubería, valvulería, etc.)

Acopio y Despacho: Será un espacio común de entrega y despacho de materiales y productos, idealmente cerca de la bodega de MP y de la de PT.

Metodología SLP

1. Flujo de Proceso

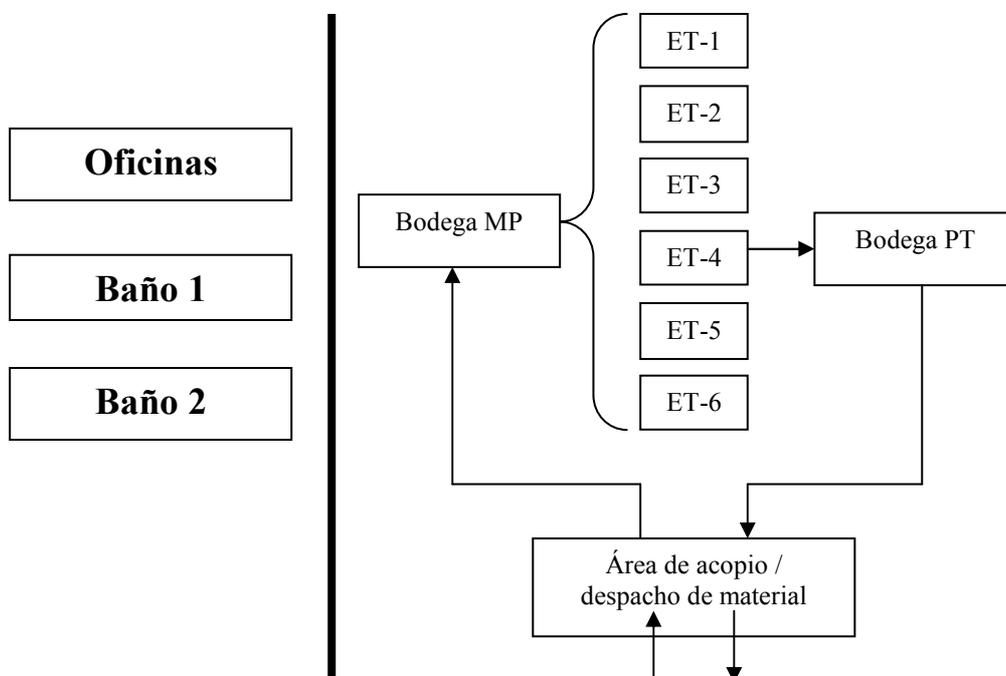
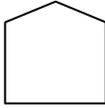
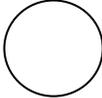


Figura 7.25. Flujo de proceso general

2. Identificación de Áreas

Tabla 7.26

Espacio	
Oficinas (1)	
Baño 1 (2)	
Baño 2 (3)	
Area acopio/despacho materiales (4)	
Bodega Materia Prima (5)	
ET-1 (6)	
ET-2 (7)	
ET-3 (8)	
ET-4 (9)	
ET-5 (10)	
ET-6 (11)	
Bodega Producto Terminado (12)	

3. Diagrama de Relaciones (actividades)

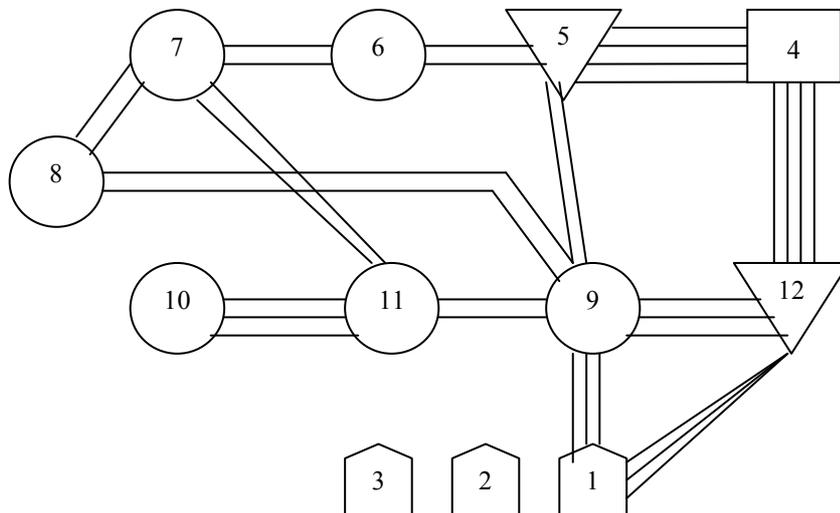


Figura 7.27. Diagrama de Relaciones de Actividades

4. Requerimientos y Disponibilidad de Espacio

Tabla 7.28

No.	Áreas	M2 requeridos	%	M2 disponibles
1	Oficinas	50	25%	99
2	Baño 1	2	1%	4
3	Baño 2	6	3%	12
4	Acopio/despacho mat.	40	20%	79
5	Bodega MP	25	12%	49
6	ET-1	10	5%	20
7	ET-2	10	5%	20
8	ET-3	5	2%	10
9	ET-4	15	7%	30
10	ET-5	5	2%	10
11	ET-6	10	5%	20
12	Bodega PT	25	12%	49
TOTAL		203	100%	400

5. Diagrama de Relación de Espacio

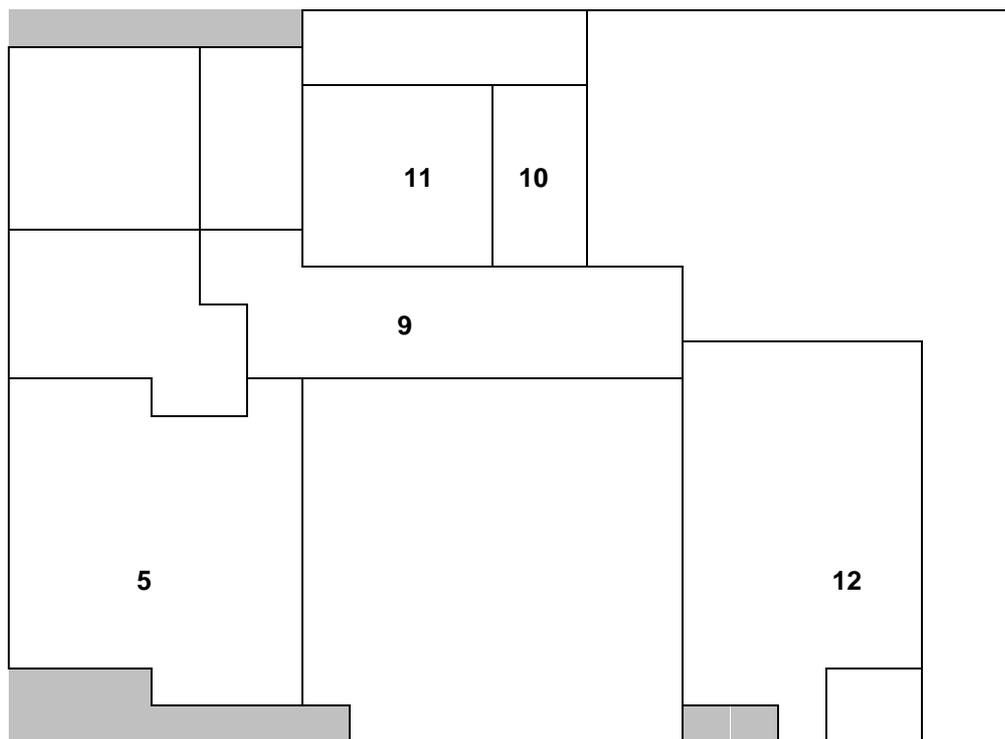


Figura 7.29. Diagrama de Relación de Espacios

6. Condiciones Modificadorias

Para el diagrama de relaciones actual se deberán considerar necesidades como corredores para transporte de MP, con carritos Kanban, montacargas, lo que corresponda. Para esto se tratará de mantener las relaciones de espacio pero armar el flujo de materiales en forma de U, de manera que el corredor principal estaría en medio de la U, con un ancho mínimo de 2 M, y el largo que sea necesario.

Se necesitarán también puertas. Una puerta de 4 M de ancho sería necesaria para el ingreso y salida de material en el área de recepción / despacho de material. Se necesitará también una puerta para el acceso de clientes a las oficinas de 2 M de ancho. Finalmente en lo que refiere a accesos / salidas, se tratará de ubicar por lo menos una salida de emergencia en el sector de operaciones de 2 a 3 M de ancho.

7. Limitaciones Prácticas

Las limitaciones prácticas son básicamente 6.

- La primera es la ventilación, debe haber ductos de ventilación, ventiladores, y posiblemente extractores de partículas de sea polvo, aluminio, madera, etc.
- La siguiente es la iluminación, deben haber lámparas luminarias instaladas apropiadamente en el techo, además de lámparas direccionales en cada puesto de trabajo.
- La siguiente es seguridad física e industrial, deben haber detectores de humo, extintores y mangueras ubicadas e identificadas correctamente, debe haber un plan de evacuación trazado detalladamente, debe haber puestos para lavados de ojo de emergencia, puestos para lavado de manos e higiene, y en general puntos clave para asegurar la integridad de los empleados.
- La siguiente limitación es la seguridad en contra de robos, se debe instalar un sistema de alarma, barrotes de hierro en las ventanas, puertas macizas con sistemas de cierre seguros, etc.
- La quinta limitación es los requerimientos sistemas hidráulicos para herramientas, se deben considerar espacios para el tanque neumático de aire comprimido y el compresor.

- La última limitación tiene que ver con el suministro de agua potable. En el proceso hay operaciones claves que no pueden quedar sin suministro de agua, por esto se debe considerar la construcción de una cisterna de por lo menos 9 metros cúbicos de capacidad, y considerar un espacio para la instalación del tanque hidroneumático con su respectiva bomba.

8. Alternativa Propuesta

Como se puede apreciar en la siguiente propuesta de layout se satisface los requerimientos de espacio, así como las condiciones modificatorias y limitaciones prácticas. Esta propuesta no es necesariamente óptima, pero al no existir el espacio físico en el que se debe aplicar este diseño no se puede intentar avanzar más adelante en el proceso del diseño del layout, pues lo ideal es una vez puesto en marcha el proyecto ajustar el diseño a las locaciones reales.

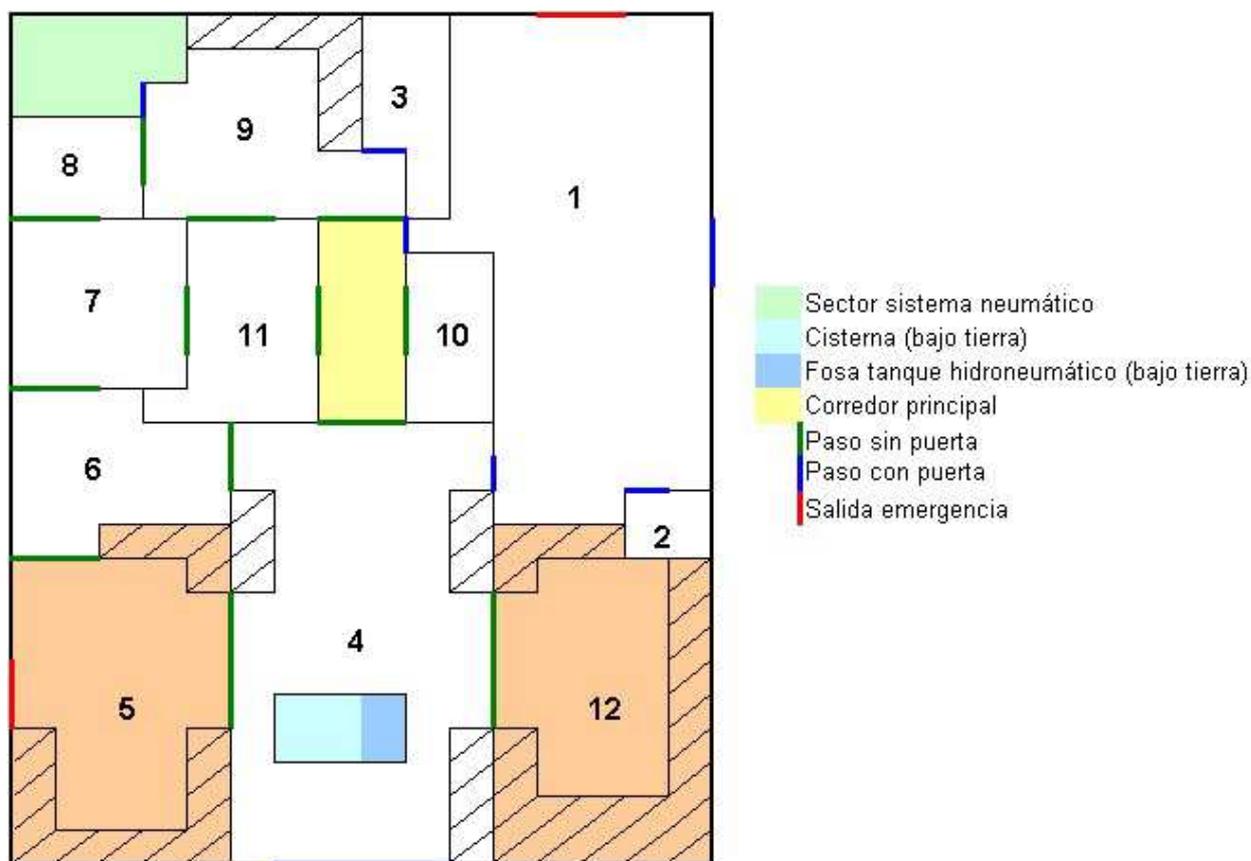


Figura 7.30. Propuesta de Layout

9. Evaluación

Al no tener varias alternativas no se puede dar un proceso de evaluación de las mismas. Si se llega a poner en marcha el proyecto como se mencionó anteriormente lo ideal será evaluar el layout propuesto una vez dispuesto el espacio general para la instalación, y en ese punto además desarrollar si fuese necesario más alternativas y evaluarlas para decidir cuál será la mejor para seguir adelante.

8. UBICACIÓN DE PLANTA

La teoría de localización le corresponde el problema de determinar localizaciones óptimas para una o más facilidades nuevas para servir a un grupo de clientes. Este problema se genera en muchos contextos. En un contexto macro involucra localización de aeropuertos, botaderos de basura, facilidades de manufactura o distribución. En un contexto menor puede incluir la localización de un equipo específico, una troqueladora, una piladora, etc., con respecto a otras máquinas o equipo. Finalmente problemas de este tipo también pueden generarse al diseñar una tarjeta de circuitos eléctricos.⁽¹²⁴⁾

La decisión de localización debe ser hecha considerando muchos criterios. Estos pueden incluir costos, distancias, seguridad, etc. A menudo factores cualitativos y consideraciones políticas afectan la elección final de la localización. A continuación el estudio se concentrará en algunos problemas de localización elementales.⁽²⁴⁾

8.1. Tipos de Problemas de Localización

Dependiendo del problema a considerar los modelos de localización difieren mucho entre ellos. Fundamentalmente estos modelos son afectados por la manera en que las distancias son medidas y la función objetivo a utilizar.⁽²⁴⁾

8.1.1. Medición de Distancias

Cuando se piensa en distancias generalmente se considera la distancia en línea recta entre dos puntos. Empero, en el día a día de todas las personas se encuentran situaciones en las que es imposible viajar a través de la distancia en línea recta. De hecho esta distancia aplica generalmente solo para estimar la distancia real entre puntos. Existen diferentes tipos de medidas de distancia que pueden ser usadas para diferentes problemas. Hay una familia entera de medidas para la distancia entre dos puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) definida como

$$l_k = \left(|x_1 - x_2|^k + |y_1 - y_2|^k \right)^{\frac{1}{k}}$$

Se nota que a medida que k crece, la mayor de las diferencias x y diferencias y es la que más influye en la distancia total. En el límite cuando $k \rightarrow \infty$ se nota que la distancia es

²⁴ Notas de Clase de Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 6, Location Theory.

completamente dependiente en la mayor de las dos distancias. Este caso especial es llamado la Distancia Tchebychev. A continuación se presenta una tabla con algunas de las medidas de distancia más comunes. Algunas de las siguientes no pertenecen a la familia I_k .

Tabla 8.1 Nombre común	k	Fórmula	Uso
Rectilínea	1	$(x_1 - x_2 + y_1 - y_2)$	Layout de planta y bodegas, localización en áreas metropolitanas grandes, diseño de circuitos integrados, sistemas de tuberías
Euclidean	2	$(x_1 - x_2 ^2 + y_1 - y_2 ^2)^{\frac{1}{2}}$	Movimiento / viaje en áreas rurales abiertas, viaje sobre áreas cortas en aeronaves
Tchebychev	3	$\max(x_1 - x_2 , y_1 - y_2)$	Para cierto tipo de equipo que permite movimiento independiente en dos direcciones ortogonales.
Basada en gráfico	--	--	Redes de caminos, calles con diferentes velocidades, etc.

Las distancias basadas en gráficos son comúnmente usadas cuando el viaje / distancia entre dos puntos está restringida a seguir ciertos caminos pre definidos. La distancia de estos caminos puede no tener ninguna relación con las coordenadas de los puntos finales o cotas (end-points).⁽¹⁾

8.1.2. Funciones Objetivas

El segundo factor que afecta los modelos de localización es la función objetivo. Generalmente las facilidades son localizadas de manera que puedan satisfacer varios diferentes objetivos. Métodos que puedan abarcar el manejo de varios objetivos existen pero no entran dentro del alcance de este estudio, pues este se concentrará en algunos problemas comunes de un solo objetivo.

El más fácil de comprender es el objetivo **minisum**. En este caso la nueva facilidad es localizada de manera que la suma ponderada de la distancia entre los clientes / proveedores / etc. y la facilidad es minimizada. Estos problemas son conocidos como problemas de **localización media**. Este objetivo es apropiado cuando el costo de transporte o manejo de material debe ser minimizado. El peso o ponderación asociado con un cliente / proveedor existente es entonces la cantidad de interacción que se espera que tengan estos con la nueva facilidad.⁽²⁴⁾

Cuando se localizan facilidades de emergencia (cuerpo de bomberos, hospitales, etc.), la distancia entre un cliente y la facilidad puede significar la diferencia entre salvar el cliente y dejar que muera por una emergencia. Así el cliente que está más lejos de la facilidad es seguramente que sería más afectado en una emergencia. Para minimizar el daño al cliente es importante que el cliente que se encuentre más lejos esté lo más cerca posible de la facilidad de emergencia. Este es el problema de objetivo **mínimax** que minimiza la distancia máxima de cualquier cliente. Estos problemas son conocidos como problemas de **localización central**.

Si existe algún requerimiento absoluto de que cierto cliente debe estar dentro de una cierta distancia de una nueva facilidad, queda el problema de determinar el número mínimo y locaciones de nuevas facilidades para cubrir todos los clientes. Estos problemas son conocidos como problemas de **localización de cobertura**.⁽²⁴⁾

8.2. Problemas de Distancia Rectilínea

Las distancias rectilíneas son comúnmente usadas cuando el espacio a ser considerado es esquematizado con una malla o red. Esto ocurre en planeamiento de ciudades y dentro de plantas de manufactura y distribución. Movimiento / viaje es solo permitido en los caminos o pasillos que forman la malla.⁽²⁴⁾

8.2.1. Facilidad Única minsum – 1 – media

El problema 1 – media involucra la minimización de la suma ponderada de las distancias desde la locación de los clientes / proveedores a la nueva facilidad, o viceversa. Consideremos el problema m con localización en el punto $P_i = (a_i, b_i)$ y permitamos que la ponderación asociada al cliente en la locación P_i sea w_i . Este peso puede reflejar la importancia de este cliente / proveedor en cierta manera. Podría por ejemplo representar el número esperado de viajes que hará el cliente a la nueva facilidad, o que se harán desde la nueva facilidad a la localización del cliente, o el valor relativo del tiempo del cliente / proveedor con relación a otros.

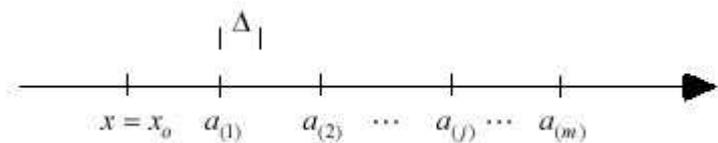
Supongamos que la nueva instalación se ubica en el punto $X = (x, y)$, la suma ponderada para todas las distancias entre la instalación y los clientes / proveedores está dada por:

$$f(X) = \sum_{i=1}^m w_i d(X, P_i) = \sum_{i=1}^m w_i (|x - a_i| + |y - b_i|)$$

El problema que se debe resolver es encontrar un punto X que minimice la función anterior. Nótese primero que esta función se puede separar en x y y . Así pues se puede separar también la optimización en dos partes, el problema $-x$ y el problema $-y$.

$$\min f(X) = \underbrace{\min_x \sum_{i=1}^m w_i (|x - a_i|)}_{\text{problema } -x} + \underbrace{\min_y \sum_{i=1}^m w_i (|y - b_i|)}_{\text{problema } -y}$$

El enfoque que se tiene que dar a ambos problemas para resolverlos es idéntico. Consideremos el problema $-x$ como se muestra en la siguiente figura.



Supongamos que se inicia en el punto $x = x_0$ mostrado en la figura. Ya que todas las facilidades están a la derecha de este punto, sabemos que mover la instalación a la derecha llevará a una reducción en la función objetivo (la suma total de las distancias ponderadas se reducirá).

Esto será verdadero hasta que se alcance el punto $a_{(1)}$. Moverse más a la derecha de este punto significará alejarse de los clientes / proveedores de este punto y más cerca al resto de ellos.

Supongamos que nos movemos una distancia Δ a la derecha del punto $a_{(1)}$, así la función objetivo incrementará (la suma total de las distancias ponderadas crecerá) en $w_{(1)}\Delta$ porque nos estamos alejando del punto $a_{(1)}$, pero se reducirá en $\sum_{i \neq 1} w_{(i)}\Delta$ porque nos estamos acercando al resto de clientes / proveedores.

El incremento / reducción general dependerá de los valores relativos de $w_{(1)}$ y $\sum_{i \neq 1} w_{(i)}$. Si

$w_{(1)} > \sum_{i \neq 1} w_{(i)}$ la función objetivo incrementará, si $w_{(1)} < \sum_{i \neq 1} w_{(i)}$ se reducirá, y si son iguales

se mantendrá igual. En general si $x = a_{(j)}$ entonces mover una distancia Δ a la derecha del punto resultará en un cambio en la función objetivo igual a $\left(\sum_{i \leq j} w_{(i)} - \sum_{i > j} w_{(i)} \right) \Delta$. Así, para determinar si es ventajoso mover la facilidad a la derecha se debe evaluar $\left(\sum_{i \leq j} w_{(i)} - \sum_{i > j} w_{(i)} \right)$. Si $\left(\sum_{i \leq j} w_{(i)} - \sum_{i > j} w_{(i)} \right) < 0$ entonces se mueve la instalación a la derecha. Así, a medida que se mueve la facilidad a la derecha hasta el primer punto $x = a_{(j)}$ en el que se encuentra que $\left(\sum_{i \leq j} w_{(i)} - \sum_{i > j} w_{(i)} \right) \geq 0$. El valor más pequeño con el que esta condición será cierta es $\sum_{i \leq j} w_{(i)} \geq \frac{1}{2} \sum_i w_{(i)}$. Así pues el procedimiento para encontrar la coordenada – x óptima es empezar del punto más a la izquierda y añadir a este las ponderaciones de los puntos de clientes / proveedores a la izquierda y en ese punto. Si esta suma de ponderaciones es igual o mayor que la mitad del total de peso entonces el punto en ese momento es el óptimo.

La coordenada – y óptima puede ser encontrada de una manera similar pero empezando en la coordenada – y (vertical) más pequeña y moverse hacia arriba hasta que la condición en la suma de ponderaciones es satisfecha.

De la descripción del procedimiento mostrada, es claro que la solución óptima a este problema satisface la siguiente propiedad:

- La coordenada – x (o coordenada – y) de la solución óptima debe ser igual a la coordenada – x (o coordenada – y) de uno de los puntos de los clientes / proveedores existentes. (Esto no significa que la solución debe caer en la misma localización que alguno de los clientes / proveedores existentes.)

Ejemplo

Considerar las siguientes 5 localizaciones de clientes / proveedores existentes y sus respectivas ponderaciones:

i	1	2	3	4	5
ai	3	3	4	6	8
bi	5	1	6	7	2
wi	5	8	7	15	12

Tabla 8.2

Problema – x: Ya que hay dos puntos que tienen la misma coordenada x (a) se agrupan en un mismo punto.

(j)	1	2	3	4
$a(j)$	3	4	6	8
$w(j)$	5+8=13	7	15	12
$\sum_{i \leq j} w_{(i)}$	13	20	35 > 47/2 = 23,5	47

Tabla 8.3

Problema – y:

(j)	1	2	3	4	5
$b(j)$	1	2	5	6	7
$w(j)$	8	12	5	7	15
$\sum_{i \leq j} w_{(i)}$	8	20	25 > 47/2 = 23,5	32	47

Tabla 8.4

De esta manera se llega a la solución, la localización óptima para esta facilidad utilizando el modelo 1 – media es en el punto (6, 5) como se muestra en la siguiente figura.

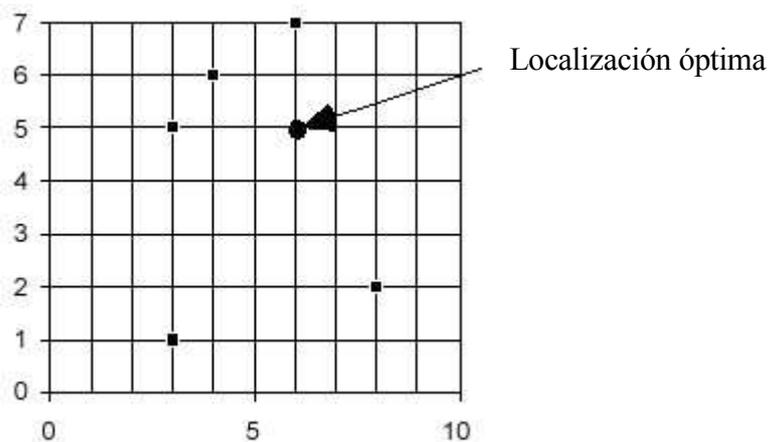


Figura 8.5

8.2.2. Facilidad Única minimax – 1 – central

El problema 1 – central se genera en el contexto de problemas de localización de instalaciones de emergencia. En estos problemas es deseable minimizar la distancia máxima de cualquier cliente a la facilidad de emergencia. Este problema es relativamente fácil de resolver cuando se usan distancias rectilíneas.⁽²⁴⁾

Consideremos un problema con m clientes localizados en puntos $P_i = (a_i, b_i)$. Supongamos que se ubica una nueva facilidad en el punto $X = (x, y)$, el problema puede ser escrito formalmente como:

$$\min f(X) = \min\left(\max_i d(X, P_i)\right) = \min\left(\max_i (|x - a_i| + |y - b_i|)\right)$$

Este modelo como se puede apreciar no aplica para los fines de este estudio, pues nace de la idea de instalaciones de emergencia, donde por razones críticas es extremadamente importante tratar de minimizar al máximo las locaciones más alejadas de los clientes potenciales. En sí la idea de minimizar la máxima distancia no es práctica para este estudio pues no se busca tener la mayor cantidad de clientes o proveedores dentro de una distancia específica, pero estar lo más centralizado con relación a estos como sea posible, y por otro lado de cubrir la mayor cantidad de ellos como sea posible con la facilidad propuesta.

8.3. Modelo de Ubicación de Plantas

En base a las premisas teóricas expuestas se ha reducido las opciones de modelos a elegir de una base de opciones muy amplia a un modelo específico. Primero se tenían las opciones de modelos con distancias rectilíneas, euclideas, de Tchebychev o basadas en gráficos; de las cuales se procedió a elegir los modelos con distancias rectilíneas. En estos existen los modelos de distancia media, distancia central y de localización de cobertura. Para fines de este estudio se utilizará el **modelo minisum o de distancia media**. Por otro lado también podría aplicar el modelo de localización de cobertura por la necesidad del negocio de tratar de cubrir la mayor cantidad del mercado potencial de clientes y proveedores con la facilidad propuesta, pero esta parte se concentrará solamente en el desarrollo del modelo minisum para la planta propuesta anteriormente.

Entonces, para proceder al desarrollo de este modelo el primer paso es definir el sector principal de influencia y luego definir los sectores de los clientes potenciales que conformarán los puntos de clientes / proveedores. El sector escogido es la Ciudad de Quito con énfasis en los valles de Cumbayá y Tumbaco. Dentro de estos sectores se procedió a elegir basándose en nivel económico los sectores, barrios o urbanizaciones que tienen un nivel económico medio y medio alto. La lista está conformada por:

1. Sector de la Urb. El Condado en el norte extremo de Quito
2. Sector del Quito Tennis Club en el norte de la ciudad
3. Sector de las urbanizaciones Miravalle 1 – 3, y Rancho San Francisco
4. Sector de la Urb. Santa Lucía Alta y sector de la Hostería Brandenburg
5. Sector Urb. Jardines del Este
6. Sector Reservorio de Cumbayá (Jacarandá, Valle 1 – 3, Balcones de Cumbayá)
7. Sector Pillagua y El Aromito (Los Eucaliptos, Colegio Menor)
8. Sector La Primavera
9. Sector San Patricio (Auquichico, Lumbisi)
10. Sector La Viña Tumbaco
11. Sector Intervalles (urbanizaciones ubicadas en la vía antes de Cunuyacu)
12. Sector La Morita Tumbaco
13. Sector El Arenal Tumbaco
14. Sector Los Arrayanes Puembo
15. Sector Puembo

El siguiente paso ahora es definir las coordenadas de estos puntos en una malla o plano cartesiano. Para proceder con este paso se basó el plano cartesiano en Cartas Geográficas de los sectores “Chaupicruz” y “El Quinche” obtenidas en el Instituto Geográfico Militar (IGM.) En estas cartas escala 1:25000 justamente se encuentran los sectores listados. Los ejes en estas cartas son definidos por puntos cardinales, por lo que para el eje Y (vertical) se aplica el eje Norte, y para el eje X (horizontal) se aplica el eje Este. Así pues las coordenadas (x, y) equivalen a coordenadas (aN, bE), donde a y b corresponden a coordenadas geográficas en metros con respecto a puntos clave como por ejemplo la línea ecuatorial. Por ejemplo, en la tabla 8.6 a continuación se toma como origen para la malla el punto O (79E, 73N). El punto 79 Este en esta carta es en realidad el punto 779,000 metros Este, y el punto 73 Norte es el punto 9,973,000 metros Norte. Para las coordenadas Norte es interesante que solo llegan hasta 9,999,999 metros, pues a los 10 millones de metros se convierte en 0 metros pues ha llegado a la línea ecuatorial. Con estos precedentes a continuación se presenta la tabla 8.6 de las locaciones de clientes propuestas con sus respectivas coordenadas y ponderaciones (estas se hicieron en una escala del 1 al 5, siendo el 5 la más importante.):

Tabla 8.6

No.	Locación	Punto	Coordenadas (aj, bj)	Ponderación (1-5)
0	Origen	O	(79E, 73N)	--
1	El Condado	P1	(79E, 89N)	2
2	Quito Tennis	P2	(79.5E, 82N)	1
3	Miravalle	P3	(84.5E, 79.5N)	2
4	Sta. Lucía alta + Brandenburg	P4	(84.5E, 78.5N)	4
5	Jardines del Este	P5	(85.5E, 79N)	1
6	Sector Reservorio + Jacarandá	P6	(86.5E, 79N)	3
7	Pillagua + Aromitos	P7	(88E, 79N)	3
8	Sector La Primavera	P8	(86.5E, 76.5N)	1
9	Sector Auquichico + Lumbisí	P9	(84.5E, 76N)	4
10	La Viña	P10	(88E, 77.5N)	5
11	Sector Intervalles	P11	(87.5E, 76.5N)	3
12	La Morita	P12	(91E, 76.5N)	2
13	El Arenal	P13	(92.5E, 78N)	2
14	Arrayanes	P14	(93E, 81N)	4
15	Puembo	P15	(94.5E, 80.5N)	2

Una vez definidos los puntos o coordenadas de las localizaciones de los clientes potenciales se procede a desarrollar el modelo de localización media minisum como se mostró en el ejemplo de la parte teórica.

(j)	a(j)	w(j)	$\sum_{i \leq j} w_{(i)}$	(j)	b(j)	w(j)	$\sum_{i \leq j} w_{(i)}$
1	79,0	2	2	9	76,0	4	4
2	79,5	1	3	8	76,5	6	10
3	84,5	10	13	10	77,5	5	15
6	85,5	1	14	13	78,0	2	17
7	86,5	4	18	4	78,5	4	21 > 39/2 = 19,5
9	87,5	3	21 > 39/2 = 19,5	5	79,0	7	28
10	88,0	8	29	3	79,5	2	30
12	91,0	2	31	15	80,5	2	32
13	92,5	2	33	14	81,0	4	36
14	93,0	4	37	2	82,0	1	37
15	94,5	2	39	1	89,0	2	39

Tabla 8.7. Modelo Minisum

Como se puede apreciar se procedió con el algoritmo de suma de las ponderaciones hasta el primer momento en que la suma acumulada de estas sea mayor o igual que la mitad de la suma de las ponderaciones totales. Así se llega a que el punto ideal para ubicar la facilidad de producción propuesta para los paneles solares es el X (87.5E, 78.5N). En el extracto de las cartas geográficas que se aprecia a continuación se puede ver que este punto cae justamente en la Urbanización El Aromito, en el sector de Pillagua, Cumbayá.

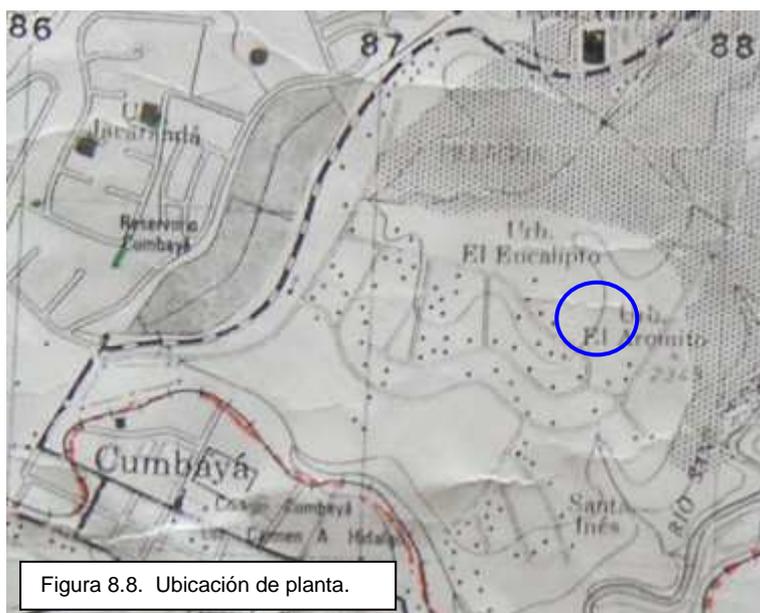


Figura 8.8. Ubicación de planta.

Ahora, es bastante interesante que el punto no haya caído en una quebrada o en el reservorio, pero de todas maneras no es posible ubicar una facilidad de producción (aunque sea de poca envergadura) en un sector meramente urbano. Por esto se consideraría mover la facilidad de producción a un sector más conveniente en las

cercanías del pueblo de Cumbayá, o en última instancia más lejos si es que fuese el caso.

8.4. Identificación de posibles locaciones para ubicar Planta

Además de la consideración indicada, relacionada a la diferenciación de sectores por fines de uso: urbanos, comerciales, industriales; el siguiente paso un poco más aterrizado es la identificación de posibles locaciones reales para ubicar la planta. Basándose en el resultado del modelo minisum de la localización de la facilidad, en consideraciones cualitativas generales de requerimientos de espacio, energía, instalaciones existentes, etc., y en consideraciones más específicas de los mismos requerimientos; se procedió a hacer una inspección visual del sector en busca de alternativas de locaciones. Como se puede apreciar a continuación se presentan dos tablas, una con las condiciones generales esenciales y deseables del sector, y una con las condiciones técnicas requeridas para la planta.

Tabla 8.9. Criterios para la Ubicación

Factor	Esencial	Deseable
Buen clima laboral sin antecedentes de militancia sindical		x
Entorno industrial favorable (sin que predomine un patrón principal)		x
Disponibilidad de mano de obra	x	
Disponibilidad de alojamiento		x
Empleados de alta productividad / ética profesional		x
Tasas competitivas de salarios / prestaciones	x	

Acceso a materias primas / suministros	x	
Acceso a agua potable	x	
Acceso a alcantarillado		x
Acceso a energía eléctrica	x	
Acceso a telecomunicaciones	x	
Terrenos urbanos vs. Rurales		x
Oficinas generales separadas de las áreas de manufactura		x
De entre 10 y 50 km de un área metropolitana importante		x
Superficie: entre 1,000 y 2,000 m ² , no menos de 600 m ²	x	
Acceso de transporte público al sitio (buses)	x	
Disponibilidad de rutas de acceso de hasta segundo orden	x	

Tabla 8.10. Datos sobre el lugar y las instalaciones para la ubicación planeada

Área de manufactura (construcción de mampostería y techo de ardex, altura de 4 metros dentro de la fábrica, manufactura ligera, pisos de concreto de 3-4 pulgadas de espesor, un muelle para camión mediano o camioneta.	600 metros cuadrados
Tamaño del Lugar	1,000 a 2,000 M ²
Fuerza laboral	Disponibilidad de al menos 1 técnico metalmecánico, 1 plomero y 5 asalariados comunes (peones).
Energía eléctrica	2000 Kwh. / mes (USD 0,08 / Kwh.)
Agua potable	50 metros cúbicos / mes
Espacios de estacionamiento	5 a lado de la acera.

Basándose en estas premisas se recorrió el sector de Cumbayá y Tumbaco y se encontraron 4 lugares que se acercan bastante a las condiciones deseadas para la instalación de la planta de fabricación. A continuación se presenta una lista de los mismos con sus respectivas descripciones.

1. Terreno en Vía Interoceánica, 20 metros al Oeste de la parada de buses de Cumbayá
2. Lubricadora / Aserradero semi – abandonado diagonal al Mercado Municipal de Cumbayá
3. Taller metal mecánico a lado de Ferretería Cano Lastra en Tumbaco
4. Taller metal mecánico / enderezada en frente del Estadio de Tumbaco

8.5. Identificación de fortalezas / debilidades de locaciones

A continuación una a una se van analizando las locaciones propuestas en base a las consideraciones de resultados de modelo minisum y condiciones requeridas para la locación.

1. Terreno Cumbayá: Esta locación cumple todos los criterios excepto por supuesto el de los requerimientos del área para la instalación, pues es inexistente. Este es un terreno llano, simplemente con cerramientos y nada más. Algo bastante interesante de este lugar es que tiene acceso a dos vías, por su frente sur tiene acceso a la vía Interoceánica, y por el frente Norte a la calle de atrás de la Universidad San Francisco de Quito. Ambas vías son muy transitadas, y podría dar muchas opciones para configuración planta / oficinas. El gran impedimento de este lugar es que se necesitaría una inversión inicial para la nivelación de terreno y construcción de toda la infraestructura. Por otro lado se puede considerar este “impedimento” como una ventaja, pues desde un principio se puede construir la facilidad bien con los requerimientos precisados y adecuados, nada más ni menos.
2. Vieja Lubricadora Cumbayá: Este lugar cumple la gran mayoría de los criterios propuestos. La primera observación de esta locación es que tiene el problema de estar un poco escondida, es decir fuera del rango visual de la gente que transita por la vía principal. Este lugar tiene la ventaja de que ya tiene una cierta infraestructura construida correctamente, sobre todo la losa. Habría que hacer inversiones para la construcción de un galpón y readecuación de facilidades existentes.
3. Taller 1 Tumbaco: Cumple también con prácticamente todos los criterios indicados anteriormente. Sufre un poco del mismo problema que el lugar anterior, de no estar en un lugar de fácil visualización. Este lugar al ser ya un taller metalmecánica tiene ya en cierto grado la infraestructura deseada para la facilidad de producción de paneles solares. Habría que primero asegurarse que el lugar sigue en venta, si es así el lugar necesitaría ciertas readecuaciones, pero la inversión más representativa sería la construcción de oficinas, pues no existen al momento. Otro problema grave es que no tiene mucho espacio, cumple con el mínimo de los 400 M2 propuestos al diseñar el layout, pero parece que dada la ubicación del galpón al momento sería complicado

construir oficinas, por lo que posiblemente sería necesario hacer un revamping total del lugar, incluyendo re – ubicación del galpón.

4. Taller 2 Tumbaco: Al igual que los anteriores este lugar cumple con los requisitos mínimos. El problema groso en esta locación sería el hecho de que no se ha manifestado que esté en venta. A parte de esto necesitaría infraestructura para oficinas y facilidad de producción, pero tiene una buena ubicación. Una alternativa posible sería el diálogo con los propietarios para ver si se podría entrar en una sociedad para instalar una planta en el punto.

8.6. Selección de Locación óptima según posibilidades reales

Basándose en la revisión de los lugares propuestos, se considera que lo más conveniente sería adquirir el terreno llano, para así empezar el diseño y construcción de facilidades desde cero, asegurándose que se harán las cosas bien desde un principio y siempre. Además de esta consideración la ventaja más importante de esta locación es su ubicación. Tiene dos frentes con potencial flujo de personas, ubicación central, dentro de un área altamente comercial en el pueblo de Cumbayá. Claro que antes de proceder con esta decisión habría que revisar si esta es factible económicamente, revisando si el flujo de fondos futuro será suficiente para aguantar la inversión inicial que se requeriría.

Si no es así se tendría que reconsiderar esta opción y revisar cuál de las tres opciones restantes sería la siguiente más conveniente para instalar las facilidades de producción de SunFlower Systems.

9. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los planes o programas de mantenimiento preventivo que se propondrán para los equipos instalados (sistemas de paneles solares instalados en viviendas de clientes) y para los equipos de planta (equipos y herramientas instalados en la facilidad de producción); se basarán en 3 pasos⁽²⁵⁾:

- Identificación y listado de equipos, componentes y herramientas instaladas y de planta
- Clasificación y priorización de equipos
- Propuesta de programa de Mantenimiento Preventivo

9.1. Equipos Instalados

Los equipos instalados estarán integrados por muchas partes y componentes, los principales y los periféricos. Dentro de los periféricos varios se encuentran partes como válvulas universales, tapones, tubería, soportes, bases, etc. Para el diseño del plan de mantenimiento se concentrará en los equipos y partes más importantes, que son:

- Panel solar (2 paneles por cada unidad de producto)
- Tanque de Almacenamiento (70 a 120 Gal. Según requerido)
- Termostato
- Control automático (sensor de temperatura para sistema paralelo)
- Válvula de Presión
- Válvula de Aire

Cabe recalcar que no es del todo necesario priorizar estos equipos, pues todos son primordiales para el correcto funcionamiento del sistema de colectores de bajas temperaturas. Se puede decir que el panel solar es el más crítico, pues sin estos componentes el sistema es inexistente, pero el resto son también importantes, pues fallas en ellos significarán fallas en el sistema y molestias para los clientes.

A continuación se presenta la tabla 9.1 con el plan propuesto para el mantenimiento preventivo de los sistemas solares instalados en viviendas de clientes.

²⁵ Tavares, Lourival Augusto. Administración Moderna de Mantenimiento. Novo Polo Publicaciones, Brasil.

Equipo	Descripción	Períodi- cidad Mtto.	Tareas	Equipos y Repuestos	t (mins)
<u>Panel solar</u>	Limpieza vidrio	mensual	Limpieza con agua y esponja de cubiertas de vidrio de los paneles para quitar polvo y otros agentes reductores de transmisión de luminosidad.	Manguera larga, esponja, franela o trapeador.	10
	Chequeo de Fugas	semestral	Chequear uniones por fugas de agua, chequear vidrio por condensación.	----	10
	Chequeo aislantes, pintura y sellante de vidrio.	c/ 2 años	Chequear aislantes de toda tubería de fluido caliente, reemplazar si es necesario. Chequear estado de pintura negra, re-pintar de ser necesario. Revisar sellante de vidrios, remover y re-aplicar de ser necesario.	Estilete, formón, lana de vidrio, cilindros de espuma flex, cauchos aislantes, pistola de silicón, pintura aerosol negro mate.	60
<u>Tanque de almacenamiento</u>	Chequeo temperatura	en caso de días seguidos de mucho sol o mensual	Chequear en el termómetro la temperatura del agua dentro del tanque si es mayor a 55°C evacuar 1/4 del tanque.	----	10
	Evacuar sedimentación	mensual	Con la llave de piso del tanque evacuar fluido para eliminar sedimentación que viene en el agua. Dejar correr hasta que agua salga cristalina.	----	5
	Chequeo fugas	mensual	Cuando se evacua sedimentación se chequea que no haya fugas en las uniones del tanque.	----	5
	Chequeo remaches y corrosión	c/ 2 años	Chequear estado de remaches del tanque y de corrosión.	Alicates, remachadora, moladora con lija metal, anticorrosivo.	60
<u>Válvula de presión</u>	Chequeo presión tanque	en caso de días seguidos de mucho sol o mensual	Si hay demasiada temperatura en el tanque liberar fluido y abrir válvula para liberar presión excesiva si existe.	-----	5
<u>Válvula de aire</u>	Chequeo volumen aire en tanque	mensual	Abrir válvula de aire para liberar volúmenes de aire excesivos, si se da el caso	-----	5

<u>Termostato</u>	Chequear topes eléctricos, estado de cables, funcionamiento	anual	Chequear estado general, activar a propósito y chequear que funcione	Alicates, cinta aislante, desarmadores, multímetro.	15
<u>Control automático</u>	Chequear tarjeta electrónica, funcionamiento	anual	Chequear tarjeta de circuitos integrados, buscar fusibles quemados, contactos interrumpidos, etc. Activar a propósito y constatar que funcione.	Probador lógico, cautín, desarmadores, alicate.	30

9.2. Equipos en Planta

Los equipos de planta son los equipos, edificios, herramientas y demás implementos instalados en la planta de fabricación para poder producir los paneles solares. Al hacer el listado se clasificará y priorizará directamente los equipos, estarán listados en 4 categorías y estarán priorizados en orden numérico, siendo 1 el más importante. Las categorías son: edificios, instalaciones, equipos y herramientas, y sistemas y comunicaciones.

Edificios:

1. Galpón
2. Planta
3. Oficinas

Instalaciones:

1. Instalaciones Neumáticas (compresor)
2. Instalaciones Eléctricas
3. Instalaciones Hidráulicas (cisterna + bomba + tanque hidroneumático)
4. Instalaciones Sanitarias

Equipos y Herramientas:

1. Drill Bench
2. Remachadora industrial
3. Sierra eléctrica metal
4. Esmeril Eléctrico
5. Entenalla

Sistemas y Comunicaciones:

1. Computadores PC
2. Impresora

A continuación se presenta la tabla 9.2 con el plan propuesto para el mantenimiento preventivo de los equipos más importantes instalados en la planta de fabricación.

Tabla 9.2.

Edificios

Equipo	Descripción	Períodi- cidad Mtto.	Tareas	Equipos y Repuestos	t (mins)
<u>Galpón</u>	Chequeo estructura metálica	anual	Revisar visualmente estructura metálica por corrosión. Lijar y pintar de ser necesario.	Moladora con disco esmeril, pintura, escalera.	30-120
	Chequeo estado techo	anual	Revisar estado de techo por lado inferior y superior.	2 personas para esta actividad, escalera.	60-240
	Chequeo estado paredes	anual	Revisar paredes por humedad, grietas, desgaste, etc. Reparar según el caso.	Espátula, pintura, masilla, brocha, escalera.	30-180
<u>Planta</u>	Chequeo piso planta	anual	Revisar cementación por humedad, grietas, desgaste, etc. Reparar según el caso.	Insumos varios para re-cementación.	60-420
	Chequeo obra civil	anual	Revisar paredes, ventilación, acabados, etc.	----	60
<u>Oficinas</u>	Chequeo obra civil	anual	Revisar pisos, paredes, cielo falso, ventilación, etc.	----	60

Instalaciones

Equipo	Descripción	Períodi- cidad Mtto.	Tareas	Equipos y Repuestos	t (mins)
<u>Compresor</u>	Sangrado	semanal	Cada semana vaciar el tanque de compresor totalmente.	Llaves corona.	10
	Chequeo y Cambios de aceite	mensual	Chequeo general de compresor y cambio de aceite si es necesario (para compresores de pistón de aceite.)	Herramientas varias.	45
	Overhaul	anual	Cada año revisar, y si es necesario mandar el compresor a overhaul, reparación de motor total.	Tercerizado	48 h
<u>Instalaciones Eléctricas</u>	Revisión fusibles	mensual	Revisar estado breakers bifásicos y trifásicos.	Desarmadores, cinta aislante, guantes aislantes.	15

	Revisión acometida	trimestral	Revisar acometida de línea eléctrica desde poste/transformador a medidor.	Escalera.	30
	Revisión medidor	trimestral	Revisar correcto funcionamiento de medidor de energía eléctrica. Comprar contador con factura.	Desarmadores.	20
<u>Bomba + tanque Hidroneumático</u>	Revisión presión y volumen aire	c/ 2 meses	Revisar la pérdida de presión del tanque, si es muy rápida, vaciar el tanque para quitar todo el aire y volver a bombear.	Llaves de pico, baldes.	120
<u>Cisterna</u>	Limpieza	anual	Secar la cisterna y limpiarla.	Escalera, esponja, trapeador, desinfectante.	120
<u>Instalaciones Sanitarias</u>	Funcionamiento y estado sanitarios.	semestral	Revisar correcto funcionamiento de inodoros, lavamanos, duchas, etc.	Herramientas varias plomería.	90

Equipos y Herramientas

Equipo	Descripción	Períodi- cidad Mto.	Tareas	Equipos y Repuestos	t (mins)
<u>Drill Bench</u>	Ajuste	mensual	Chequear ajuste de partes móviles y ajuste del montaje.	Desarmadores, llaves hexagonales/corona, juego de rachas.	10
	Engrasado	mensual	Limpiar y re-engrasar visagras y partes móviles.	Desengrasante, waipe y grasa.	30
<u>Remachadora Industrial</u>	Ajuste	mensual	Chequear ajuste de partes móviles y ajuste del montaje.	Desarmadores, llaves hexagonales/corona, juego de rachas.	10
<u>Sierra eléctrica metal</u>	Chequeo disco	mensual	Chequear desgaste de disco de corte, reemplazar de ser necesario.	Llaves corona.	5
	Ajuste	mensual	Chequear ajuste de partes móviles y ajuste del montaje.	Desarmadores, llaves hexagonales/corona, juego de rachas.	10
<u>Esmeril eléctrico</u>	Chequeo disco	anual	Chequear desgaste de disco esmeril, reemplazar de ser necesario.	Llaves corona.	5
<u>Entenalla</u>	Ajuste	semestral	Chequear ajuste de partes móviles y ajuste del montaje.	Desarmadores, llaves hexagonales/corona, juego de rachas.	10
	Engrasado	semestral	Limpiar y re-engrasar tornillo de compresión.	Desengrasante, waipe y grasa.	20

Sistemas y Comunicaciones

Equipo	Descripción	Periódicidat Mtto.	Tareas	Equipos y Repuestos	t (mins)
<u>Computadores PC</u>	Revisión antivirus	quincenal	Correr análisis completo de equipos y actualizar definiciones.	----	60
	Liberar espacio y defragmentar	mensual	Liberar espacio y correr defragmentador.	----	480
	Crear respaldos	c/ 2 meses	Crear backups en CD, DVD, o Cinta según sea requerido.	CDs, DVDs, o Cinta.	180
<u>Impresora</u>	Limpieza cabezas	mensual	Relizar procedimiento para limpiar cabezas inyectoras de tinta.	----	5

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Análisis final de Resultados

Condiciones de Luminosidad Solar

- En esta sección se calculó basándose en información histórica (1995-2000) el porcentaje promedio de luz efectiva al mes, y la radiación promedio mensual.
- El porcentaje de luz efectiva al mes (relación de horas de brillo solar intenso – Heliofanía – y horas totales de luz al día – 12 horas) entre enero y diciembre de un año tipo varía entre el 35% y el 60%, teniendo los picos altos en los meses de verano de Julio y Agosto, y los picos bajos en febrero y marzo. El promedio total anual oscila alrededor del 50% de luz efectiva, valor que es más que suficiente para que cualquier sistema de colectores de bajas temperaturas funcione. Esto pues por ejemplo en países ubicados más al norte con porcentajes de luz efectiva en algunos casos de menos de 15% estos sistemas funcionan sin problema. Además de esto hay que tomar en cuenta que en Ecuador se tiene 12 horas promedio anuales de luz solar con un mínimo de variabilidad, mientras que en otros países que usan eficientemente estos sistemas se puede tener hasta 3 meses de casi cero luz solar.
- La radiación promedio mensual (calculada basándose en el procedimiento mostrado en esta sección) varía en una año tipo entre 600 y 750 vatios por metro cuadrado (W/m^2), con picos en los mismos meses indicados. Esto es un resultado más que satisfactorio, pues se tendrá más de la energía requerida para calentar el agua a temperaturas correctas para uso doméstico, y en generalmente mucho más que esto.

Cálculo de Confiabilidad

- Se encontró una confiabilidad del 81% para el sistema. Esto lamentablemente no es un valor que se acerca a la realidad, puesto que un sistema doméstico solar para calentar agua es mucho más confiable. Puede ser que los datos encontrados de porcentajes de fallas para los colectores no eran muy precisos, o que simplemente eran datos que se acoplan a las condiciones de utilización de Estados Unidos, que son muy diferentes a las de Ecuador, puesto que básicamente aquí no existen inviernos. La realidad es que un panel va a fallar muy pocas veces por goteo en un ambiente como el de Ecuador.

- Como se pudo ver en la tabla de porcentajes de fallas para los paneles presentada en la sección de calculo de confiabilidad, se da una alta incidencia de fallas (dada la naturaleza de este sistema) en el primer año, pero luego va bajando hasta hacerse casi inexistente. Esto es ya que como se comenta estos sistemas solares para calentar agua son altamente confiables, y fallarán muy poco.
- También se puede notar que existe una especie de mortalidad infantil en los paneles. Esto es dado a que luego de la instalación los paneles tienen que acoplarse a las condiciones de funcionamiento (humedad, temperatura, etc.) hasta ajustarse por completo y estabilizarse. Las principales fallas en los primeros años son típicamente fugas de agua por fallas de suelda, o de ajuste de plomería.

Tecnología de Grupos

- Como bien se recordará, luego de terminar el Algoritmo de King para análisis de grupos se encontró que el flujo de la planta para construir paneles solares no era apto para dividir las instalaciones en familias de partes – máquinas, pues en la matriz encontrada de partes – máquinas no se produjo la estructura bloque – diagonal esperada. Así pues, lamentablemente este método no aplicó para el caso de estudio de este proyecto.

Balanceo de Línea de Ensamble

- En esta sección aparentemente se habían duplicado esfuerzos pues en el Análisis de Grupos se llegó ya a comprender que no podrían agruparse las partes o las máquinas en el proceso de ensamble de paneles, y al ser este en esencia el fin del modelo propuesto para el balanceo de grupos, se dio una redundancia.
- Al finalizar esta sección en definitiva no hubo un esfuerzo duplicado pues se descubrieron 3 oportunidades de mejora en el proceso propuesto: el crear una nueva estación de trabajo, el programar las actividades de manera de suavizar el flujo de materiales y optimizar los tiempos, y el calcular la cadena crítica del proceso para conocer el tiempo de ciclo real del proceso.

Layout de Planta

- Al terminar la metodología SLP de esta sección se llegó a proponer un diseño de layout. EL mismo presentado tiene un diseño coherente y aplicable según las posibilidades reales. Es simple y a la vez eficiente.

Ubicación de Planta

- Usando el modelo minisum con distancias rectilíneas y basándose en las 15 locaciones propuestas de ubicación de clientes potenciales, se encontró el punto óptimo donde debe ubicarse la planta, que era en el sector del Aromito en Cumbayá coordenadas (87.5E, 78.5N).
- Resultó muy interesante que el punto no haya caído en una quebrada o en el reservorio (suele pasar a menudo a personas que usan este modelo en geografías irregulares como en este caso). Lamentablemente no es posible ubicar una facilidad de producción en un sector meramente urbano.
- A causa de la premisa anterior se debió buscar alternativas en un sector un poco más comercial / industrial en el pueblo de Cumbayá. De cuatro posibles alternativas se consideró que lo más conveniente era irse por la opción del terreno llano, para así empezar el diseño y construcción de facilidades desde cero. Además, la ventaja más importante de esta locación era su ubicación. Tiene dos frentes con potencial flujo de personas, ubicación central, dentro de un área altamente comercial en el pueblo de Cumbayá.

10.2. Conclusiones

- Este estudio aunque es meramente teórico tiene fundamentos reales, pues se tiene ya experiencia en la construcción de estos sistemas. Al tener esta experiencia y al tener gran parte de la información de fuentes reales el estudio es factible y aplicable a un ámbito real.
- Resultó muy interesante ver como al desarrollar este tema de estudio poco a poco se fueron cubriendo muchos de los temas estudiados durante la carrera de Ingeniería Industrial; como Diseño de Procesos, Diseño de Instalaciones, Optimización de Sistemas Productivos, Confiabilidad, Teoría de Mantenimiento, Ingeniería Económica, etc.

10.3. Recomendaciones

- Si en dado momento se decide tomar este estudio técnico como base para proponer un proyecto a desarrollar se deben hacer dos estudios adicionales para poder decidir si se procede o no: Primero un estudio de mercado y demanda, y segundo un estudio de factibilidad económica.
- Se debe empezar a divulgar este tipo de estudios, y se debe empezar a incentivar desarrollo de proyectos en desarrollo de energías alternativas sustentables aún más aplicados, como proyectos de energía eólica, o de biomasa. Esta es una recomendación particularmente importante dado el acelerado ritmo que lleva el mundo en incremento de consumo de energía, y dado el acelerado paso que se lleva hacia problemas ambientales graves.
- En el ámbito nacional, es imperativo aplicar este tipo de tecnologías en la provincia de Galápagos lo antes posible. Esto pues siendo este archipiélago un patrimonio de la humanidad que es de nuestra responsabilidad se debe protegerlo. La contaminación tanto por emisiones gaseosas a la atmósfera de CO₂, como por derrames de buques transportadores de combustible utilizado en generación eléctrica son inaceptables, y considero que esta puede ser una de las soluciones que ayude a parar estos crímenes.

11. BIBLIOGRAFÍA

“El petróleo ecuatoriano llega a US\$ 46.92 por disparada del WTI”. Diario “El Hoy”, Quito 21 de Junio de 2005.

“Crude Oil Falls on Speculation That U.S. Fuel Inventories Rose Last Week”. Diario de Negocios en Línea “Bloomberg”, visitado el 21 de Junio de 2005. <http://www.bloomberg.com/news/markets/energy.html>

Boyle, G. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, Oxford. 1998.

Hinrichs, R.A. Energy: Its use and the environment. Saunders College Publishing, New York, 1996.

Twidell, J. & Weir, T. Renewable Energy Resources. E & FN Spon Publishing, London, 1997.

Tavares, Lourival Augusto. Administración Moderna de Mantenimiento. Novo Polo Publicaciones, Brasil.

U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy. <http://www.eere.energy.gov/consumerinfo/factsheets/ac7.html>

Solar Energy Handbook. Honeywell Commercial Division.

O’Connor, Patrick D.T. PRACTICAL RELIABILITY ENGINEERING. John Wiley & Sons. Ltd. West Sussex, 1988.

“IDEF0 Overview”. <http://www.idef.com/idef0.html>. Visitada el 13 de Noviembre de 2004.

“Cadena de Valor de Porter”. Visitada el 13 de Noviembre de 2004. <http://www.gestiopolis.com/recursos/experto/catsexp/pagans/eco/no12/cadenavalorporter.htm>.

“Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)”. Draft Federal Information Processing Standards Publication 183 (21/12/93). <http://idef.com/downloads>. Visitada el 14 de Noviembre de 2004.

“Diagrama de Flujo”. Sociedad Latinoamericana para la Calidad. <http://www.calidad.org/s/flujo.pdf>, visitada el 14 de Noviembre de 2004.

Notas de Clase de Diseño de Instalaciones IIN442. Capítulo 2 a Capítulo 6. (Gathering Information for Plant Layout, Group Technology, Assembly Line Balancing, Plant Layout, Location Theory).

Tompkins, James A.; White, John A.; Bozer, Yavuz A.; Tanchoco, J.M.A. FACILITIES PLANNING. John Wiley & Sons, Inc. Tercera edición, Hoboken, 2003.

SunRay Solar – Proveedores de Colectores.

<http://members.cox.net/sunraysolar/fintubes.html>, visitada el 6 de Noviembre de 2004.

Hopp, Wallace J; Spearman, Mark L. Factory Physics. Foundations of Manufacturing Management. Ed. D Irwin, 1995.

Eppen, G.D. y otros. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Prentice-Hall, México 2000. Capítulo 14, pg. 659.

“SLP”. <http://quantum.ucting.udg.mx/tutorial/planta/7.htm> visitada el 11 de Diciembre de 2004.

12. ANEXOS