
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

JEFATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



T E S I S

**REINGENIERÍA DEL PROCESO DE COCCIÓN
DE SOMBREROS DE PALMA UTILIZANDO
ENERGÍA RENOVABLE**

PRESENTA:

ALDERETE GATICA VICTOR OZIEL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

ASESOR DE TESIS:

M. C. RODOLFO CARRO LÓPEZ

HUAJUAPAN DE LEÓN OAXACA, MÉXICO

2009

Dedicatoria.

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida gozando de lo más preciado que tengo: mis padres, mis hermanas, mi familia, salud y libertad. Es bien sabido que todo esfuerzo tiene su recompensa. Por lo que este trabajo lo dedico a:

Mi Padre: Quien con su fuerza de voluntad, sus ganas de trabajar, esfuerzo, cansancio, actitud, visión y cariño, ha hecho que se forme en mí un criterio vasto de perspectivas de la vida, del trabajo y la responsabilidad, que un hombre de bien debe cumplir en la vida.

Mi Madre: Quien a perseverado en el papel de “*MADRE*” en todos los aspectos y ha sabido ser un ejemplo de altruismo y humildad en mi vida. Doy gracias por su atención que me ha brindado y por estar conmigo en las buenas y en las malas conservando en mí un sentimiento amable y armónico hacia la vida.

Mis Hermanas: Quienes me han dado su apoyo cuando lo he necesitado y solo esperan mi bienestar a cambio, por que ellas han deseado siempre lo mejor para mí y nunca han faltado en los momentos cruciales de mi vida.

Mi novia: Quien a lo largo de este tiempo juntos me ha enseñado el valor de los detalles y ha visto en mí una persona capaz de dar lo mejor de sí.

Agradecimientos.

Agradezco a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo, a mi asesor de tesis, M.C. Rodolfo Carro López, al jefe de carrera, M.C. Ignacio Hernández Castillo, al Dr. Daniel Erasto Santos Reyes y a mis profesores en general, ya que sin su ayuda hubiese sido mucho más difícil de realizar.

A mi familia en general, ya que con sus palabras, consejos y aprecio han logrado mover en mí un sentimiento de perseverancia, a mis amigos porque con su apoyo moral lograron motivarme a seguir adelante.

Agradezco a la Universidad Tecnológica de la Mixteca por haber cumplido su misión conmigo, la de formar un profesional competitivo en los diversos aspectos de la formación que le concierne.

Índice General

| | |
|---|----|
| Dedicatoria | 2 |
| Agradecimientos | 3 |
| Índice general | 4 |
| Índice de figuras | 6 |
| Índice de tablas..... | 8 |
| | |
| CAPÍTULO 1. Introducción..... | 9 |
| 1.0 Introducción | 10 |
| 1.1 Problemática..... | 12 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 1.3 Justificación | 14 |
| 1.4 Delimitaciones | 14 |
| | |
| CAPITULO 2. Marco teórico..... | 16 |
| 2.0 Marco teórico | 17 |
| 2.1 La palma..... | 17 |
| 2.1.1 Clasificación de la palma..... | 18 |
| 2.1.2 La palma, enfoque económico..... | 21 |
| 2.2 Impacto ambiental..... | 25 |
| 2.2.1 Energías renovables..... | 26 |
| 2.2.2 El sol, recurso inagotable y mal aprovechado | 30 |
| 2.2.3 La radiación solar en México | 32 |
| 2.2.4 El agua, elemento vital | 33 |
| 2.2.5 Lluvia ácida, factores que la propician..... | 34 |
| 2.2.6 Normatividad ambiental | 36 |
| 2.3 Riesgo de trabajo..... | 38 |
| 2.3.1 Definición de riesgo | 39 |
| 2.3.2 Seguridad industrial..... | 40 |
| 2.3.3 Análisis del riesgo | 40 |
| 2.3.4 Exposición a químicos y vapores tóxicos..... | 45 |
| 2.3.5 Ácidos y bases | 45 |
| 2.3.6 Reacciones acidas en el proceso..... | 46 |
| | |
| CAPITULO 3. Desarrollo del sistema | 48 |
| 3.0 Desarrollo del sistema | 49 |
| 3.1 Metodología Schoroeder para el diseño del sistema | 49 |
| 3.1.1 Generación de la idea | 49 |
| 3.1.2 Requerimientos del consumidor | 50 |
| 3.1.3 Investigación y desarrollo | 51 |
| 3.1.3.1 Registro del método actual | 52 |
| 3.1.3.2 Recolección de datos preliminares | 54 |
| 3.1.3.3 Realización de pruebas a pequeña escala | 57 |
| 3.1.4 Selección del producto | 63 |
| 3.1.5 Diseño preliminar del producto | 64 |
| 3.1.5.1 Dimensionamiento volumétrico y capacidad del equipo de cocción..... | 65 |
| 3.1.5.2 Determinación de variables de trabajo (Presión, temperatura, calor y acidez)..... | 66 |

| | |
|---|--------|
| 3.1.5.3 Determinación de los requerimientos en el concentrador solar..... | 73 |
| 3.1.5.4 Diseño preliminar del proceso..... | 74 |
| 3.1.6 Diseño definitivo del producto..... | 74 |
| 3.1.6.1 Dimensionamiento del horno y sistema de gas (Materiales y Revestimientos) | 76 |
| 3.1.6.2 Dimensionamiento del equipo solar..... | 78 |
| 3.1.6.3 Diseño definitivo del proceso..... | 79 |
| CAPITULO 4. Implantación del nuevo sistema | 80 |
| 4.0 Implementación del sistema..... | 81 |
| 4.1 Instalación del horno propuesto..... | 81 |
| 4.2 Instalación del concentrador solar y sistema de gas..... | 86 |
| 4.3 Instalación de la tubería..... | 90 |
| CAPITULO 5. Pruebas finales al sistema..... | 91 |
| 5.0 Pruebas finales, calibración y capacitación..... | 92 |
| 5.1 Pruebas de trabajo (Sin carga de producto)..... | 92 |
| 5.2 Calibración del sistema (Con carga de producto)..... | 93 |
| 5.3 Capacitación del personal..... | 97 |
| CAPITULO 6. Conclusiones..... | 98 |
| 6.0 Conclusiones..... | 99 |
| MESOGRAFÍA..... | 101 |
| ANEXO A | 103 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Localización de la mixteca en la República Mexicana | 10 |
| Figura 1.2: Clasificación de la mixteca según la geografía. | 10 |
| Figura 1.3: Localización de Santiago Cacaloxtepec Oaxaca. | 11 |
| Figura 1.4: Labor de tejido de la palma para la elaboración de sombreros | 11 |
| Figura 1.5: Esquema general del proceso de cocción de sombreros de palma. | 12 |
| Figura 1.6: Esquema específico del proceso de cocción de sombreros de palma. | 13 |
| Figura 1.7: Enfoque del proyecto de tesis. | 13 |
| Figura 1.8: Esquema de la delimitación del proyecto de tesis. | 15 |
| Figura 2.1: Diversidad de productos elaborados a base de palma dulce | 17 |
| Figura 2.2: Tipos de palma (familia brahea) | 19 |
| Figura 2.3: Petate o petatl. | 21 |
| Figura 2.4: Tenates elaborados con palma | 22 |
| Figura 2.5: Niña vistiendo un capisayo para cubrirse del agua (zona triqui)..... | 22 |
| Figura 2.6: Soyate o faja tradicional femenina (Sierra Mixe Oaxaca)..... | 22 |
| Figura 2.7: Soplador elaborado con palma | 23 |
| Figura 2.8: Sombrero de palma | 23 |
| Figura 2.9: Escobas de palma | 24 |
| Figura 2.10: Modo de protección del operador del sistema actual de cocción de sombreros de palma. | 26 |
| Figura 2.11 Concentración mediante lentes..... | 31 |
| Figura 2.12 Concentración en un punto..... | 31 |
| Figura 2.13 Concentración en una línea | 31 |
| Figura 2.14: Concentración fija mediante espejos planos. | 31 |
| Figura 2.15: Esquema de la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. | 32 |
| Figura 2.16: Radiación solar en el mundo | 32 |
| Figura 2.17: Radiación solar en México..... | 32 |
| Figura 2.18: Radiación solar en la república mexicana [$\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$]..... | 33 |
| Figura 2.19: Radiación solar en Oaxaca. | 33 |
| Figura 2.20: Diagrama lógico de la ejecución de un análisis HAZOP | 42 |
| Figura 3.1: Esquema de la metodología para el diseño Schoroeder. | 49 |
| Figura 3.2: Diagrama Causa-Efecto para las variables involucradas en la cocción de sombreros de palma. | 51 |
| Figura 3.3: Horno para la cocción de sombreros | 52 |
| Figura 3.4: Deposito de agua dentro del horno..... | 52 |
| Figura 3.5: Acomodo de los sombreros por niveles de posición encontrada..... | 53 |
| Figura 3.6: Horno de cocción con carga de sombreros cubierto con petates para retener el vapor | 53 |
| Figura 3.7: Prehumedecido de los sombreros para facilitar su cocción en el proceso | 53 |
| Figura 3.8: Protección del operador, dadas las molestias del vapor ácido..... | 54 |
| Figura 3.9: Compartimiento del horno para la quema del azufre | 54 |
| Figura 3.10: Salida del vapor de azufre al borde del deposito de agua..... | 54 |
| Figura 3.11: Estanque de suministro de agua para el proceso | 55 |
| Figura 3.12: Brazas generadas por el proceso y apagadas con excesiva cantidad de agua..... | 55 |
| Figura 3.13: Gruesa de sombreros | 56 |
| Figura 3.14: Leña utilizada para el proceso..... | 57 |
| Figura 3.15: Azufre utilizado por los productores..... | 58 |
| Figura 3.16: Muestra de palma verde | 58 |
| Figura 3.17: Muestra objetivo, sombrero cocido mediante el método actual del productor..... | 58 |
| Figura 3.18: Muestra 1 de sombrero cocido con azufre sometida al proceso 20 minutos | 59 |
| Figura 3.19: Muestra 2 de sombrero cocido con azufre sometida al proceso 30 minutos | 59 |
| Figura 3.20: Muestra 1 de sombrero cocido solo con agua por 35 minutos | 59 |
| Figura 3.21: Muestras sometidas al proceso durante 15 minutos solo con agua | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.22: Pruebas realizadas durante 25 minutos del proceso (solo con agua)..... | 60 |
| Figura 3.23: Muestra sometida a una concentración 0.09M de vinagre en agua, durante 10 minutos | 61 |
| Figura 3.24: Muestra sometida a una concentración 0.17M de vinagre en agua, durante 15 minutos | 61 |
| Figura 3.25: Muestra sometida a una concentración 0.23M de vinagre en agua, durante 15 minutos | 62 |
| Figura 3.26: Muestra sometida a una concentración 0.28M de vinagre en agua, durante 25 minutos | 62 |
| Figura 3.27: Esquema de configuración inicial del sistema | 65 |
| Figura 3.28: Esquema de la geometría del horno de cocción de sombreros. | 65 |
| Figura 3.29: Esquema de la geometría básica del horno propuesto | 66 |
| Figura 3.30: Esquema del recubrimiento con aislante térmico | 66 |
| Figura 3.31: Diagrama P-V del agua | 68 |
| Figura 3.32: Concentrador elíptico de alta potencia | 73 |
| Figura 3.33: Área disponible para la instalación de los concentradores. | 75 |
| Figura 3.34: Esquema del mecanismo de apertura del horno | 77 |
| Figura 3.35: Esquema del mecanismo de apertura del horno. Fuente: propia | 77 |
| Figura 3.36: Esquema del aislamiento de la tubería | 78 |
| Figura 3.37: Esquema del evaporador | 78 |
| Figura 3.38: Layout del posicionamiento del equipo en general. | 78 |
| Figura 4.1: Preparación de partes para armado | 81 |
| Figura 4.2: Proceso de soldadura | 81 |
| Figura 4.3: Inspección visual de la unión de juntas | 82 |
| Figura 4.4: Cuerpo del horno armado y soldado | 82 |
| Figura 4.5: Polipasto para mover la carga en el campo | 82 |
| Figura 4.6: Abombado y armado de la tapa..... | 83 |
| Figura 4.7: Soldadura de la tapa del horno | 83 |
| Figura 4.8: Ensamble de la tapa con el cuerpo del horno | 83 |
| Figura 4.9: Maniobra con el polipasto para mover la carga | 84 |
| Figura 4.10: Ensamble de la tapa con el cuerpo del horno | 84 |
| Figura 4.11: Contrapeso para la apertur | 84 |
| Figura 4.12: Instalación del aislamiento térmico..... | 84 |
| Figura 4.13: Revestimiento con Lamina galvanizada C-22..... | 84 |
| Figura 4.14: Winch de tracción | 85 |
| Figura 4.15: Poléa de tensión | 85 |
| Figura 4.16: Mecanismo de cierre de la tapa del horno | 85 |
| Figura 4.17: Bridado de la tapa al cuerpo del horno..... | 85 |
| Figura 4.18: Conexión de red de vapor al horno | 86 |
| Figura 4.19: Estructura metálica que evitará que el sombrero se moje en el fondo del horno | 86 |
| Figura 4.20: Tubería de drenado, Fuente: Fotografías del tesista..... | 86 |
| Figura 4.21: Instalación de los concentradores solares en la azotea de la empresa. | 87 |
| Figura 4.22: Mecanismo automatizado de seguimiento del sol para los concentradores solares. | 88 |
| Figura 4.23: Dispositivos de medición del equipo y seguridad del mismo. Fuente: Fotografías del tesista..... | 88 |
| Figura 4.24: Construcción del equipo a base de gas L.P. Fuente: Fotografías del tesista | 89 |
| Figura 4.25: Equipo de gas L.P., terminado | 89 |
| Figura 4.26: Equipo acoplado al horno en la línea de alimentación de vapor. | 89 |
| Figura 5.1: Software Minitab, herramienta de software para el diseño experimental | 93 |
| Figura 5.2: Análisis de medias para Taguchi L-4..... | 95 |
| Figura 5.3: Análisis de desviaciones estándar para Taguchi L-4..... | 95 |
| Figura 5.4: Manómetro de baja presión en el horno | 96 |
| Figura 5.5: Acomodo final del sombrero dentro del horno | 96 |
| Figura 6.1: Evidencia de cocción de sombreros de palma en el nuevo sistema..... | 99 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Clasificación de los tipos de palma del género Brahea. Fuente: virtual palm encyclopedia..... | 20 |
| Tabla 2.2: Categorías de riesgo según HRN..... | 41 |
| Tabla 2.3 Resumen de palabras guía y variables de proceso utilizadas en los análisis HAZOP. | 42 |
| Tabla 2.4: Matriz de interacción para los factores involucrados en el proceso. Fuente: Propia. | 43 |
| Tabla 2.5: Tabla de análisis HAZOP. Fuente: Propia..... | 44 |
| Tabla 3.1: Concentrado de resultados obtenidos en las pruebas preliminares. Fuente: Propia..... | 63 |
| Tabla 3.2: Parámetros de funcionamiento del sistema. Fuente: Propia | 67 |
| Tabla 3.3: Entalpía para el proceso en valores extremos. Fuente : Propia | 68 |
| Tabla 3.4: Entalpía inicial y final del calentamiento de la lámina. Fuente: Propia..... | 69 |
| Tabla 3.5: Cantidad de vapor necesaria para el proceso de cocción. Fuente: Propia | 70 |
| Tabla 3.6: Parámetros de funcionamiento de los evaporadores. Fuente: propia..... | 70 |
| Tabla 3.7: Entalpía para evaporadores. Fuente: Propia | 71 |
| Tabla 3.8: Parámetros de evaporadores | 72 |
| Tabla 3.9: Datos técnicos del concentrador elíptico. Fuente: Propia..... | 73 |
| Tabla 3.10: Especificaciones de la cantidad de material necesaria para el recipiente | 76 |
| Tabla 3.11: Requerimiento de los evaporadores. Fuente: Propia | 78 |
| Tabla 5.1: Tabla de rangos de operación para las variables descriptivas..... | 93 |
| Tabla 5.2: Diseño experimental L-4 Taguchi | 94 |
| Tabla 5.3: Diseño experimental definiendo valores | 94 |
| Tabla 5.4: Evaluación del desarrollo experimental | 94 |
| Tabla 6.1: Análisis de mejoras con el sistema implementado | 99 |

Capítulo 1

Introducción

1.0 Introducción

El desarrollo tecnológico experimentado por los países industrializados ha llevado consigo una notable mejora en el nivel de vida. Sin embargo, la proliferación de instalaciones industriales y el transporte de determinados materiales han implicado así mismo la aparición de nuevos riesgos (1). Este trabajo parte del hecho de la existencia de riesgo en el aspecto laboral de una empresa productora de sombreros de palma situada en la comunidad de Santiago Cacaloxtotec Oaxaca, así como el impacto ambiental del proceso de cocción de los mismos, por ello al tomar como base estos factores, se desarrolla un sistema inmerso en el contexto sustentable, con el fin de impulsar el desarrollo generalizado de la empresa y de la región misma.

Primero se definirá la localización de la zona en la que se trabajará: *La región mixteca*, Ñuu Savi en lengua nativa y “Pueblo de la Lluvia” en español, está ubicada al Sur de la República Mexicana, cubriendo parte de los Estados de Puebla, Guerrero y Oaxaca (figura 1.1), por ello existe una clasificación para la mixteca según la geografía de la misma, por tanto se clasifica, dado lo anterior en mixteca oaxaqueña, poblana y guerrerense, de la cual la mixteca oaxaqueña se divide en mixteca alta y mixteca baja (figura 1.2).



Figura 1.1: Localización de la mixteca en la República Mexicana

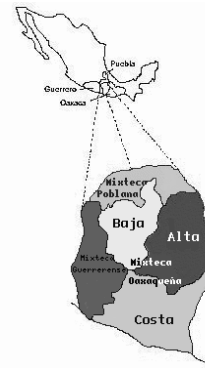


Figura 1.2: Clasificación de la mixteca según la geografía.

Fuente: Fuente: INAFED, enciclopedia de municipios

Santiago Cacaloxtotec Oaxaca se localiza en la región mixteca baja con coordenadas $97^{\circ} 44'$ de longitud oeste y $17^{\circ} 43'$ de latitud norte, a una altura de 1,760 metros sobre el nivel del mar (figura 1.3). En este municipio se desarrolla el presente proyecto de tesis, puesto que el 58% de la población tiene como principal actividad económica la elaboración de sombreros de palma¹, mientras que otra pequeña parte de la población del sector se dedica al proceso posterior a la elaboración de los mismos, tal como el proceso de cocción, el planchado, almacenamiento y su distribución, por ello la relevancia de este trabajo tiene énfasis sobre el sector de población a la que se dirige, así como su impacto sustentable sobre el ecosistema.

¹ Según el datos del INEGI la población económicamente activa del municipio asciende a 564 personas de las cuales 557 se encuentran ocupadas: 12% sector primario, 58% sector secundario, 29% al sector terciario y el 1% a otros



Figura 1.3: Localización de Santiago Cacaloxtepec Oaxaca. Fuente: INAFED, enciclopedia de municipios

Las artesanías en la región mixteca tienen una gran importancia tanto económica como cultural, ya que estas artesanías, han sido elaboradas desde tiempos inmemorables, los palmares se extienden desde la parte Veracruz y San Luis Potosí, hasta Guatemala, teniendo su mayor densidad de población de palmas en la zona de Guerrero y Oaxaca abarcando la mixteca oaxaqueña, poblana y guerrerense. (2)

En la figura 1.4 se observa el trabajo que a diario libran los habitantes de esta zona, puesto que la mayor parte de familias trabaja la palma para sostenerse, y aunque el trabajo es arduo y prolongado, la cantidad de remuneración es demasiado baja, ya que el producto en la mayoría de las ocasiones se ve inmerso en una compleja red de intermediarios.



Figura 1.4: Labor de tejido de la palma para la elaboración de sombreros
Fuente: Griselle VeláscoRodríguez, 1993

“La situación de las artesanas que producen sombreros de palma en la mixteca oaxaqueña no es tan positiva, enfrentan problemas de intermediarismo, monopolio de los precios y de la palma, lo que significa costos muy bajos para la docena de sombreros. En esta región la única actividad productiva es la elaboración de sombreros, ya que sus tierras no son aptas para las labores agropecuarias, pero este trabajo tiene un rendimiento tan bajo que apenas pueden subsistir”. (3)

Dado lo anterior una gran parte de la población ha emigrado hacia Estados Unidos en busca de un mayor ingreso a la familia, incluso la emigración femenina ha tenido lugar en los últimos años. Dando un panorama de escasez, poblacional en la región.

1.1 Problemática

La problemática de este trabajo se desenvuelve en el contexto de las prácticas milenarias de los procesos, ya que los productores al realizar el proceso de cocción de la palma, lo hacían con la creencia de la analogía entre colores de la palma ya cocida y el azufre (Color amarillento), sin embargo, cuando el azufre es incinerado, se evapora formando un gas azufrado, el cual se define como el dióxido de azufre (SO_2), el cual si existe exceso de oxígeno, en este caso proveído por el aire forma el compuesto SO_3 o trióxido de azufre, y cuando se mezcla con el vapor de agua en la cámara de cocción, reacciona con el vapor de agua dando paso a la formación de una solución diluida de ácido sulfúrico H_2SO_4 , el cual al no estar controlado, en cuanto a su aislamiento del entorno, es un factor de riesgo significativo para los operadores y personas cercanas al proceso ya que afecta en primer plano, las vías respiratorias, y en exposiciones recurrentes, puede ocasionar severos daños a la salud. Dado lo anterior, la problemática con respecto al riesgo, es disminuir o eliminar la sustancia ácida del proceso, para cuidar la salud de los operadores.

El siguiente aspecto es el impacto ambiental que tienen los energéticos y el proceso como tal al ser ejecutado, este impacto viene dado por los factores de insumos tales como la leña, el agua, y el tratamiento post-proceso que se les da. El primero, la leña, es un insumo de alto impacto en la región ya que al ser una zona de clima semidesértico, la flora es escasa, por lo que este insumo, atenta directamente contra el ecosistema de la región.

El segundo insumo, el agua, bien es sabido que es uno de los más importantes recursos tanto en uso industrial como en uso domestico, por lo que el impacto en la región, así como en el entorno y el proceso, tiene un papel muy importante y crucial, por ello la conservación de la misma toma importancia significativa, ya que en la actualidad el aspecto de sustentabilidad esta regulado por normas internacionales ISO 14000² que tratan en ciertos apartados, el tratamiento y uso adecuado del agua en los procesos (4)

En la figura 1.5 se muestra el esquema general del proceso de cocción de sombreros, el cual involucra los insumos antes mencionados. Por otra parte, el proceso en específico, consiste en ciertos factores, los cuales son los protagonistas de la problemática en general (figura 1.6).



Figura 1.5: Esquema general del proceso de cocción de sombreros de palma. Fuente: Propia

Nótese que la figura 1.6 muestra, encerrados en cuadros de color verde, los factores del proceso de cocción que tienen una influencia directa con lo que respecta a impacto ambiental, mientras que los factores encerrados con un cuadro rojo, representan la influencia de con respecto al riesgo laboral (*Vapor ácido y daño a operadores*).

² La norma ISO 14000 es una norma ambiental que en su apartado dirigido para PyMes reglamenta el uso adecuado del agua en los procesos

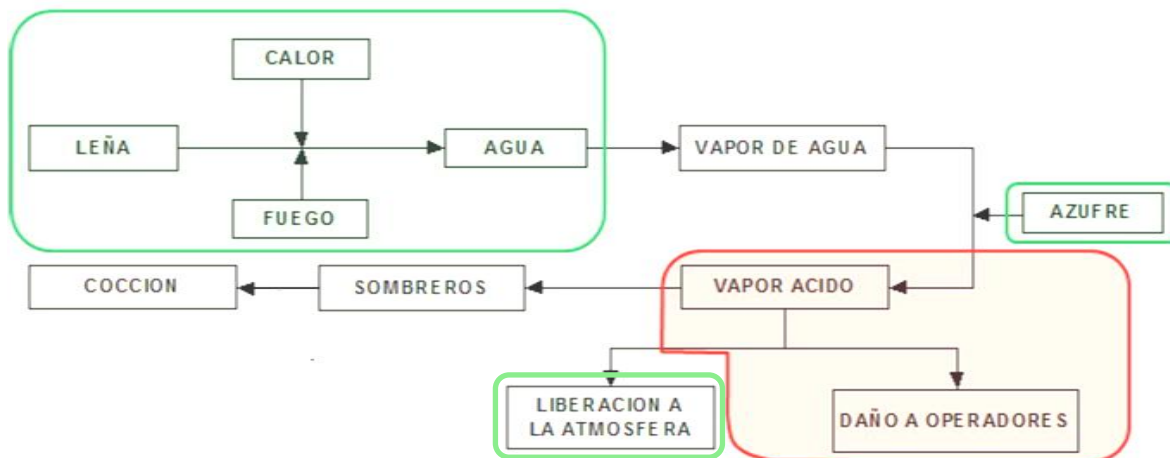


Figura 1.6: Esquema específico del proceso de cocción de sombreros de palma. Fuente: Propia

En seguida se define el contexto general del enfoque del proyecto de tesis de acuerdo a la problemática que se tiene en el proceso (figura 1.7), dada esta perspectiva del proyecto, este analizará y diseñará un sistema que dará solución a estos factores.

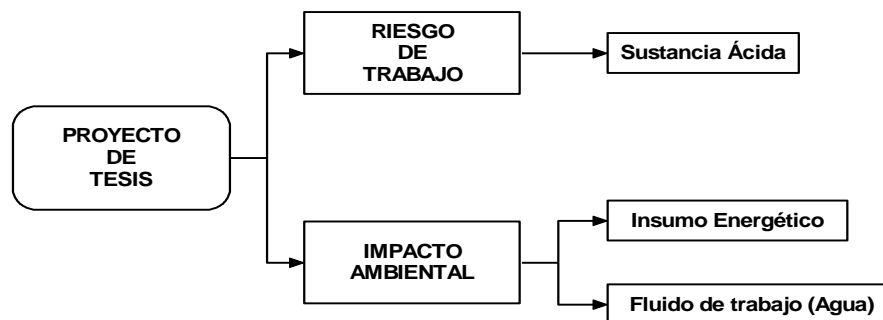


Figura 1.7: Enfoque del proyecto de tesis. Fuente: Propia

1.2 Objetivos

Diseñar y configurar un sistema que realice en un contexto sustentable y seguro el proceso de cocción de sombreros de palma, mediante la aplicación de la reingeniería del mismo, para reducir el impacto ambiental que causa y el riesgo de trabajo que representa.

Objetivos específicos:

- Disminuir el riesgo de trabajo, analizando el cambio o eliminación de la sustancia ácida, con la finalidad de proteger al operador.
- Reducir el impacto ambiental, al seleccionar una fuente energética renovable con base a estudios objetivos, para reducir el impacto que tiene sobre el entorno la producción de leña.
- Reducir el desperdicio del insumo agua en el proceso, con el fin de hacer eficiente el uso de este recurso, reutilizando el agua sobrante del proceso.

1.3 Justificación

Puesto que en los últimos años el tema de la sustentabilidad ha tenido relevancia mundial, es preciso adicionar a este contexto a la industria mexicana, y más aún a las Py-Mes, ya que el estancamiento de estas empresas muchas veces se debe al desconocimiento de métodos, técnicas y/o tecnologías que pueden de una alguna manera relativamente sencilla aumentar su capacidad como empresa, por lo que en este trabajo se ha desarrollado un esquema sustentable para la industria de los sombreros de palma en la región de Santiago Cacaloxtepc Oaxaca.

El contexto sustentable de la industria del sombrero de palma consistiría en una reingeniería del proceso de cocción del mismo, ya que el uso de una sustancia acida como fluido de trabajo al ser liberada a la atmósfera tiene un gran impacto ambiental y un riesgo de trabajo muy grande, así como también lo tiene el uso de energéticos como la leña. Esto puede mejorarse de tal manera que el uso de la leña sea incluso nulo, puesto que se puede optar por energéticos renovables, con lo que se reducen las emisiones tóxicas a la atmósfera, además se disminuiría significativamente el riesgo de los operadores; si la sustancia ácida es modificada o eliminada. Con respecto al uso del agua, se puede ver que el desperdicio es excesivo, por ello, al contemplar la reingeniería como una opción para la solución a la problemática, se diseñaría un sistema capaz de reutilizar el agua del proceso usando solo lo necesario para el mismo, es decir, solo lo que la palma necesita para ser cocida.

1.4 Delimitaciones

Esta investigación se limita solo al proceso de cocción de la palma, ya que el proceso general abarca desde la preparación de hebras o cinta de palma, el tejido, cocción, planchado, almacenamiento y distribución (figura 1.8). Este trabajo solo define el proceso de cocción con un ámbito sustentable, sin embargo esta modificación abarca casi el 60% del proceso total por lo que es un punto clave para el producto terminado.

La recopilación de datos será solo del proceso actual tomándolo como punto de referencia para iniciar la investigación, y así analizar el enfoque de riesgo e impacto ambiental en el mismo. Cabe señalar que los datos sobre las propiedades de la palma, tanto térmicas como químicas y/o mecánicas no están formalizados, ya que solo están definidas variables biológicas y/o botánicas de la misma, por lo que en esta investigación se efectuarán pruebas a muestras de palma para definir estas variables. Las pruebas que se desarrollarán con las muestras, serán a pequeña escala con el fin de tener resultados significativos para el proceso real. El proyecto será dimensionado de acuerdo a la necesidad de la empresa, por lo que este proyecto se torna hacia una exclusividad absoluta del usuario, en este caso la empresa productora.

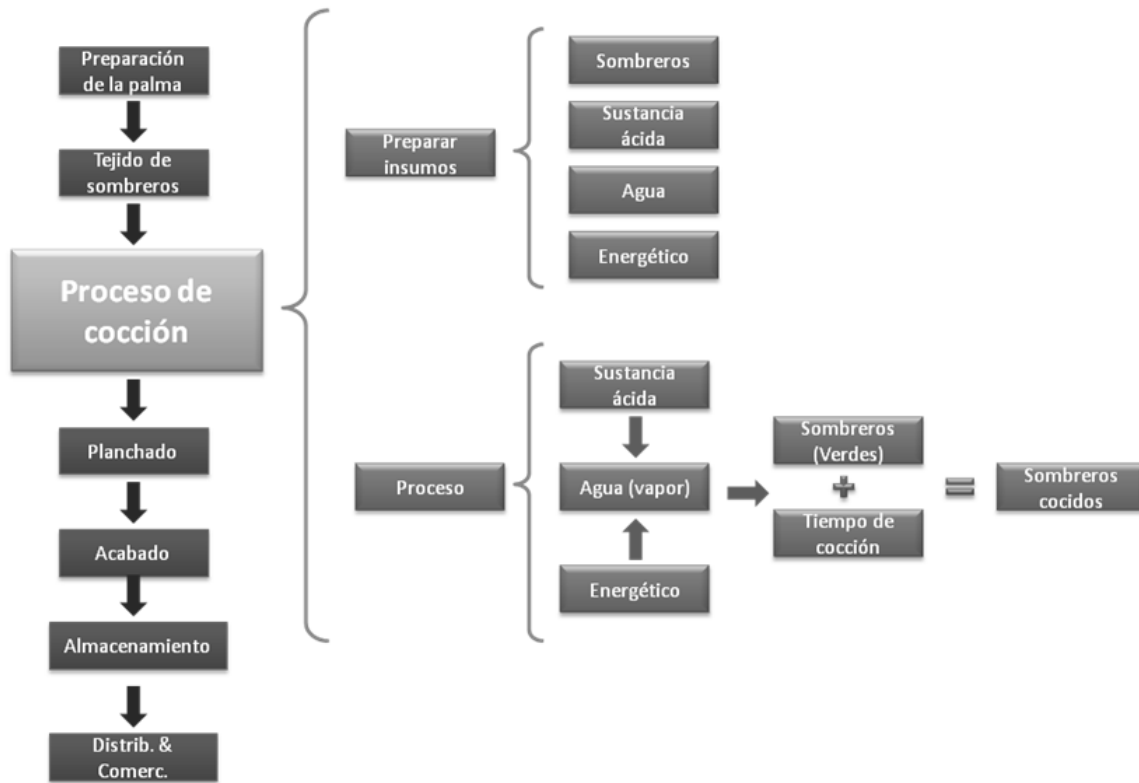


Figura 1.8: Esquema de la delimitación del proyecto de tesis. Fuente: Propia

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.0 Marco teórico

Este trabajo se desarrolla en un marco teórico que involucra la aplicación de conocimientos relacionados con medio ambiente y seguridad industrial; partiendo de este hecho, por la parte de medio ambiente se analizará el sistema actual y su impacto para determinar el uso de una tecnología alternativa, así como la configuración del sistema final. Por la parte de seguridad industrial se aplicaran conocimientos de termodinámica, estática, resistencia de materiales y temas afines, con el objetivo de configurar los requerimientos del sistema tales como cantidad de calor, dimensionamiento, variables de trabajo, diseño del horno y recubrimiento, localización del sistema, y operación del mismo. En seguida se desglosa el marco teórico en que se ve inmerso este proyecto de tesis.

2.1 La palma

La palma soyate, palma dulce o palma de sombrero es un recurso natural no maderable de gran importancia y ha sido utilizada desde tiempos inmemorables en el sur de México, con el fin de elaborar diversos productos, tanto para uso personal, como para comercialización, por ello, los pueblos indígenas han desarrollado diversos productos a base de palma, los cuales son: petates, cestos, bolsas, sopladores, sillas, juguetes, escobas, techos, cojinetes para bestias, cuerdas para todo tipo de amarres, entre muchos más (figura 2.1), al grado de que en la actualidad se identifican más de 100 productos diferentes. Antes de la llegada de los españoles, los grupos indígenas del occidente y sureste de México pagaban como tributo al imperio azteca cestos, petates, pequeños asientos y otros productos elaborados con la palma soyate. Durante la Colonia, los monjes franciscanos iniciaron la producción de sombreros, la cual se convirtió en una de las industrias de exportación más importantes de México durante el siglo XIX y principios del XX. (5)



Figura 2.1: Diversidad de productos elaborados a base de palma dulce
Fuente: Riqueza de los bosques mexicanos, más allá de la madera, 2005

El aprovechamiento de la materia prima como tal consiste en la manera en que sea explotada la palma soyate, ya que se ha establecido cierta relación entre la manera de la cosecha, según el tipo, cantidad, y frecuencia de corte de follaje de los palmares (2), por lo que se han identificado dos vertientes de la misma especie, y aunque tiene mucho que ver el

suelo en donde florece. Se han definido aspectos importantes, los cuales relacionan el tamaño del palmar, la calidad de la hoja³, de ahí que la densidad de población de los palmares se ha visto afectado por el uso inadecuado de los mismos.

En tiempo de lluvias una planta produce una hoja cada dos semanas aproximadamente, mientras que durante las secas aparece una cada tres semanas en promedio. Las cadenas de producción y comercialización para los diferentes productos de palma pueden ser muy grandes, por lo que las comunidades se han especializado, de modo que algunos productos pasan hasta por cuatro intermediarios antes de llegar al mercado. (2)

2.1.1 Clasificación de la palma

La palma de sombrero con el nombre científico de *Brahea Dulcis*, pertenece a la familia *Palmae*, que consta de diversos géneros, tales como *Acrocomia*, *Asterogyne*, *Astrocaryum*, *Attalea*, *Bactris*, *Brahea* (genero al cual pertenece la palma en cuestión), *Chamaedorea*, *Coccothrinax*, *Cocos*, *Cryosophila*, *Geonoma*, *Sabal*, entre otros géneros que abarcan la diversidad de esta familia de plantas (5). Dentro del género *Brahea* se derivan, ciertas especies, las cuales se definen en la tabla 2.1.

También se muestra la diversidad existente de esta planta, con la finalidad de despejar ciertas dudas que el lector pudiese tener con respecto a la clasificación de la palma. Por ello se puede decir que la palma en nuestro país es muy apreciada por su belleza, ya que se considera una planta de ornato. En México se encuentran alrededor de 18 géneros de palmas nativas con mas de 60 especies. Siete de estos géneros corresponden a plantas con hojas en forma de abanicos y once hojas en forma de plumas, algunas con forma de abanico son utilizadas para el tejido de sombreros y cestos, entre otros artículos. (6)

Cuando la planta es joven, se puede observar como un conjunto de abanicos saliendo de las rocas, mas tarde presenta un tronco delgado con una altura de 2 a 7 metros, su madera es dura y pesada, la planta toma su nombre palma debido a su semejanza con la palma de la mano con los dedos abiertos. (6)

³ Las hojas utilizadas para sombreros y artesanías deben ser tiernas, aún plegadas y medir por lo menos 50 centímetros de longitud.

Dada la anterior clasificación a grandes rasgos, en seguida se pueden apreciar, las diversas especies del genero Brahea para identificar la de interés para este trabajo (figura 2.2).



Brahea Aculeata



Brahea Decumbens



Brahea Sarukhanii



Brahea Dulcis/Berlandieri



Brahea Pimo



Brahea sp. "San Carlos"



Brahea Moorei



Brahea Salvadorensis



Brahea Brandegeei



Brahea Calcareea



Brahea Edulis



Brahea Armata/Clava

Figura 2.2: Tipos de palma (familia brahea)
Fuente: virtual palm encyclopedia

Tabla 2.1: Clasificación de los tipos de palma del género Brahea. Fuente: vital palm encyclopedia

| GENERO | NOMBRE COMÚN | DISTRIBUCION Y HABITAT | DESCRIPCION | GENERAL | CULTURA |
|---------------------------------------|---|---|--|--|---|
| <i>B. Aculeata</i> | Sinaloa Hesper Palm, Aculeata Fan Palm | Sonora, Sinaloa, Durango, en la parte sur del desierto de sonora, en suelos rocosos y muy secos | De pequeño a mediano tamaño de abanico, con un tronco rugoso de hasta 5m de altura, hojas color verde claro, peciolo con nervaduras. | Es utilizada para techumbre y tejido | Ambiente muy soleado, resistente a sequía y heladas, crecimiento lento. |
| <i>B. Dulcis/Berlandieri</i> | Palma de sombrero, Soyatl, palma de abanico, palma apache | Sur de México hasta Nicaragua, suelos secos pedregosos (calizos) | Especie unitronco, inusualmente de hasta 7m de altura, aspecto verde-azul grisáceo en las hojas peciolo con nervadura. | Fruto comestible y uso para el tejido de sombreros y otros productos | Alta radiación solar, libre de humedad, resistente a sequía y heladas. |
| <i>B. Calcareea</i> | Desconocido | Se encuentra en seco, en bosques abiertos del oeste de México hasta Guatemala | Palma solitaria de hasta 12m, color verde brillante en los bordes de las hojas, es la única brahea que tiene el peciolo libre de nervaduras. | | Alta radiación solar, libre de humedad, resistente a sequía y heladas. |
| <i>B. Decumbens</i> | Palma azul enana, palma de la Sierra Madre | Montañas de la Sierra Madre y noreste de México | El tronco es casi imperceptible, el peciolo llega medir hasta 2m, las hojas tienen un color azul acerado | Muy popular entre los coleccionistas de palmas | Ambiente soleado pero también templado, resistente a sequía y heladas, crecimiento lento. |
| <i>B. Edulis</i> | Palma de Guadalupe | Norte de la isla de Guadalupe, costa oeste de México, en pendientes pronunciadas y pedregosas | Palma solitaria de hasta 10m, fisuras verticales y anillos poco marcados, las hojas una vez secas quedan dobladas y pegadas junto al tronco | Fruto comestible | Alta radiación solar, libre de humedad, resistente a sequía y heladas. |
| <i>B. Salvadorensis</i> | | Selva abierta en América Central. | Palma de tamaño medio con color verde claro, hojas definidas y en forma de abanico. | | Alta radiación solar, posiblemente resistente a sequía y heladas. |
| <i>B. sp. "San Carlos"</i> | | Cerca de San Carlos México | Es un tanto difícil de clasificar, ya que se asemeja a la B. Armata, y a la B. brandegeei. El peciolo esta acorazado con espinas. | | |
| <i>B. Armata/Clara</i> | Blue Hesper Palm | Cañones rocosos de Baja California y noroeste de México | Planta distintiva y atractiva con largas hojas azul grisáceas, el tronco llega a medir hasta 50cm de diam. Solo llega a crecer hasta 12m de altura | Planta muy popular en las zonas áridas de México y Estados Unidos | Zonas secas y áridas, crecimiento muy lento, escasamente se le ve en climas tropicales y subtropicales, por lo que usualmente es humeda, es muy resistente al frío. |
| <i>B. Brandegeei/Erythea Elegance</i> | Palma de Taco | Sonora y Baja California, México, cañones cercanos al agua corriente, | Es la mas alta de las Braheas, llega a medir hasta 13m de altura, hojas abanicadas, y verde alrededor | | Ambiente soleado pero también templado, resistente a sequía y heladas, crecimiento lento, no tolera alta humedad. |
| <i>B. Moorei</i> | | Seca en grandes altitudes y pendientes pronunciadas | Es de hojas pequeñas, y el tronco esta enterrado, luce una corona exuberante, hojas color verde oscuro, con el revés blanco. | Recientemente se ha cultivado pero es muy difícil de realizar, sin embargo tiene futuro en la horticultura | Sombreado, tolera sequía y muy bajas temperaturas, por debajo de -10°C |
| <i>B. Pimo</i> | | Oeste de México | Palma de tamaño medio, con hojas de color verde brillante finamente delineadas, y en forma de abanico | | Alta radiación solar probablemente resistente a sequía y heladas. |
| <i>B. sarukhanii</i> | | Nayarit y Jalisco México | Palma de tamaño medio, con hojas de color verde brillante finamente delineadas, y en forma de abanico | Se ha descrito recientemente | Alta radiación solar probablemente resistente a sequía y heladas. |

La palma *Brahea Dulcis* (Humboldt, Bonpland & Kunth Martius) o palma dulce (dado el sabor de su fruto) llega medir 7 m de altura y 20 cm de diámetro en el tronco, ocasionalmente presenta retoños, hojas no muy persistentes y rígidas de hasta 1,7m, verdes en el haz y pálidas en el envés con 40 a 60 segmentos de una textura fina y corteza lisa atrayente, fruto amarillo de 1,5 cm colgando hasta dos metros, tienen una pulpa succulenta y muy dulce. Su crecimiento es lento, se desarrolla en las colinas semidesérticas y bosques de robles de zonas calcáreas y tiene una distribución en las zonas rocosas del oeste y centro de México; San Luis Potosí, Veracruz, Puebla, Hidalgo, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. En Guatemala; Huehuetenango y Quetzaltenango, también se encuentra en Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En ocasiones el tronco se encuentra tumbado sobre el suelo y es en estas ocasiones cuando surgen retoños de la base (tabla 2.1). *Brahea dulcis* es una especie de las más longevas de su género llegando a vivir hasta 300 años, resistente al frío hasta temperaturas de -8°C , su trasplante es complicado. (7)

2.1.2 La palma, enfoque económico

En la época en la que aparece la agricultura el hombre se vuelve sedentario y se ve en la necesidad de elaborar artefactos y prendas que le sean útiles para vestir, dar confort al dormir y guardar sus alimentos, es aquí cuando nace la “*cestería*”, cuyos productos sustituyeron a las pieles que cada vez era más difícil de conseguir, por lo que se desarrollaron los siguientes productos: (6)

El petate o petatl: Enser que hace la función de cama o mesa y sirve para realizar actividades como el tejido y el hilado, o simplemente para el descanso al tenderlo en el suelo. Entre los habitantes de Mesoamérica la importancia de este artefacto era tal, como lo son ahora los muebles, su elaboración era esmerada, logrando bellos diseños con hojas de palma teñidas de colores. En la actualidad los petates son de un color uniforme del tejido de palma y en algunas ocasiones con colores de teñido, pero aun su funcionalidad sigue siendo la misma (figura 2.3). (6)



Figura 2.3: Petate o petatl.

Fuente: El petate, Sabana Grande Puerto Rico, 2007

El tenate: De igual importancia que el petate, este sirvió para contener y transportar todo tipo de materia prima de un lugar a otro, aún hoy en día se utiliza para guardar granos, fruta, tortillas etc. Su tamaño varía desde pequeños recipientes hasta enormes cestos usados para la pizca de frutas, generalmente va acompañado por un mecapatl que es un cinturón que se apoya en la frente del cargador para ayudar al transporte sobre la espalda (figura 2.4). (6)



Figura 2.4: Tenates elaborados con palma
Fuente: Griselle Velásco Rodríguez ,1993

El capisayo: Es una capa elaborada con tejido de palma, su finalidad es ser usada como impermeable en los tiempos de lluvia, ya que su construcción y la permeabilidad de la fibra no permite el paso del agua (figura 2.5). (6)



Figura 2.5: Niña vistiendo un capisayo para cubrirse del agua (zona triqui)
Fuente: www.triquicopala.com

El soyate: Es una faja usada por las mujeres, esta elaborada a manera de un tubo largo u angosto que se enreda en la cintura con la finalidad de proteger a la persona que carga objetos pesados, o bien con fines estéticos pues busca que la cintura de la mujer sea lo más angosta posible (figura 2.6). (6)



Figura 2.6: Soyate o faja tradicional femenina (Sierra Mixe Oaxaca)
Fuente: Griselle Velásco Rodríguez, 1993

Huaraches: Originalmente se usaron los huaraches o sandalias de palma, artículo indispensable para el confort de los pies. (6)

Sopladores y abanicos: Son artículos que sirven para producir una corriente de aire ya sea en busca de confort o para atizar el fuego. Tuvieron gran demanda hasta la aparición de la estufa de petróleo (figura 2.7). (6)



Figura 2.7: Soplador elaborado con palma
Fuente: Los utensilios antiguos, 2003

Juguetes: Hoy en día estos juguetes son considerados verdaderas obras de arte, sin embargo en su mayoría son elaborados solo por encargo de alguna casa comercial. (6)

El sombrero: La necesidad de proteger la cabeza de las inclemencias del frío y del calor, hizo que el hombre elaborara distintos artefactos para su uso, de distintas formas y materiales es como surgen los sombreros (figura 2.8), lo cuales constituyen una de las mas antiguas tecnologías para su elaboración a base de palma. Hoy en día se piensa que el sombrero tal y como se conoce es de origen asiático o italiano y que fue introducido por los españoles, pues el hombre mesoamericano usaba penacho u otro tipo de gorro, sin embargo existe evidencia de códices muy antiguos, que muestran a los antiguos hombres con un sombrero tejido tal vez de palma, ya que su forma no difiere mucho de los modelos actuales. (6)



Figura 2.8: Sombrero de palma
Fuente: www.solostocks.com

La escoba: La evolución de la escoba ha sido desde dos hojas de palma usadas para limpiar algún lugar, posteriormente se aumentó su numero, hasta atar muchas hojas y hacer mas robusto el artefacto. A la llegada de los españoles la escoba tomó la forma que actualmente se conoce, es decir, que se incluye un trozo de madera para facilitar su uso y manejo. Las primeras escobas en la época colonial, se elaboraban sujetando la palma sobre el mango de madera con la ayuda de un mecate del mismo material (figura 2.9). (6)



Figura 2.9: Escobas de palma
Fuente: changlonet.com, 2008

Como se mencionó anteriormente, los enseres elaborados de palma han tenido su utilización y manufactura desde tiempos inmemorables, por ello en la actualidad aun son producidos y empleados en ciertas actividades, sin embargo, el uso de los sombreros de palma aún es imprescindible en muchos lugares, puesto que el trabajo en el campo demanda tiempo en el mismo, por lo que los campesinos tienen la necesidad de cubrirse del sol, por ello, el uso de sombreros de palma aun es indispensable.

Primeramente los compradores de sombreros, llamados también “empleadores”, eran los agentes directos o indirectos de unas quince casas acaparadoras de Tehuacán, generalmente españoles. Iban de pueblo en pueblo pagando y recogiendo la producción y ellos mismos la transportaban hasta Tehuacán y recibían de un 15 a un 20% más de lo pagado a los tejedores indígenas. Este porcentaje se veía ampliamente multiplicado por la gran cantidad de sombreros recogidos. (6)

En la actualidad los sombreros de palma representan el ingreso principal para algunas familias indígenas, incluido un porcentaje significativo de las familias de Santiago Cacaloxtepec Oaxaca, puesto que los campesinos han tenido que dejar de lado el trabajo de sus tierras por la escasez de agua y la erosión de los suelos, siendo el trabajo de la palma un ingreso primario para estas familias.

“A pesar de que esta industria genera grandes utilidades, los acaparadores son los primeros beneficiados, para los campesinos solo ha representado un medio para sobrevivir en condiciones sumamente precarias.” (8).

El sombrero que más se elabora, es el tipo *anicero*, porque es más usado y fácil de hacer puede ser tejido hasta por un niño de 8 años de edad. Una familia compuesta por el jefe de familia, su cónyuge y de dos a seis hijos, pueden tejer 40 sombreros a la semana por lo que recibirían de \$1.00 a \$2.00 por sombrero. El acaparador después de procesar el sombrero obtiene un beneficio neto de \$15 por sombrero. (8)

“El sombrero es el más común y el principal producto de la región, el cual tiene un precio de \$5.00; los tenates, petates, mecates, sopladores, soyates, canastos, floreros, etc. depende del tamaño, colores y formas, pero el precio es similar al de los sombreros.” (8)

2.2 Impacto ambiental

En los últimos años, el consumismo, la producción masiva, y el giro mercantil de las actividades ha llevado consigo un efecto colateral a estas acciones, el cual se define en un contexto sustentable, como *impacto ambiental*, y puesto que últimamente el género humano ha tomado en cuenta este factor, ha desarrollado una serie de normatividades, tratados, y políticas con el fin de apoyar la disminución de dicho impacto generado por las empresas y por el consumidor mismo.

El impacto ambiental se encuentra presente en muchas de las actividades humanas, tales como el transporte, el consumo de productos, el proceso de producción de los mismos, o incluso la lluvia ácida, la cual es consecuencia de las emisiones de los motores de combustión interna. En estos tiempos el transporte es imprescindible, sin embargo, las emisiones de los motores han jugado un papel muy importante en el llamado “*efecto invernadero*”, ya que estos gases están compuestos principalmente por bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y metano. Y dado que todo gas tiende a subir, se aloja en ciertos niveles de la atmosfera, formando una capa densa acumulada, la cual es capaz de absorber o emitir radiación infrarroja o calor. (9)

El efecto invernadero ha sido el principal detonador del cambio climático global, el cual afecta directa o indirectamente a todos los ecosistemas presentes en el planeta, a tal grado que los especialistas en el tema han llegado a generar teorías hasta cierto punto, catastróficas acerca de la tendencia y proyección del escenario que le espera al planeta entero por el cambio de temperaturas y presiones generalizadas, aunado a las prácticas erradas que se han hecho hasta el momento sin tomar conciencia de los efectos globales.

Lo anterior ha hecho que los dirigentes de las naciones pongan atención a este tipo de problemas, que se en la actualidad se han desenlazado, y por ello, se debe generar conciencia del impacto ambiental.

En este proyecto se desarrollará un sistema para la cocción de sombreros de palma, partiendo de la identificación de una gran problemática con respecto al método actual del proceso, ya que el proceso se ha hecho tradicionalmente con recursos inmediatos por parte de los productores, implicando el hecho de liberar gases de cierta toxicidad a la atmosfera impactando negativamente al ecosistema de la región.

El proceso de cocción de sombreros de palma desprende una mezcla de azufre en forma de gas y agua en forma de vapor, formando un compuesto químico de alta toxicidad, a tal grado que el operador del sistema actual, inminentemente debe usar protección respiratoria (figura 2.10), ya que el gas desprendido del proceso tiene efectos nocivos a las vías respiratorias y zonas húmedas del cuerpo humano (sección 2.3.5). Por otra parte el impacto ambiental de este proceso tiene que ver directamente con la tendencia a generar lluvia ácida en la región puesto que el bióxido de azufre (SO_2) es un componente principal de la misma (sección 2.2.5).



Figura 2.10: Modo de protección del operador del sistema actual de cocción de sombreros de palma.

Fuente: Propia

En base a esta problemática se parte del hecho de tratar de cambiar o eliminar la sustancia ácida y/o configurar un sistema que reduzca considerablemente el impacto del método. Para lograr este fin es necesario conocer las alternativas que se tienen con respecto a un contexto sustentable utilizando un sistema alternativo para realizar la reingeniería del proceso.

2.2.1 Energías renovables

A través de cada una de las etapas del desarrollo humano, éste ha evolucionado en pensamientos, actos, etc. Pero lamentablemente muchos de estos logros, han sido para el avance tecnológico y aunque lo lamentable no es el hecho de desarrollar una tecnología o procesos sofisticados, lo desconcertante es el casi acabar con todos los recursos que nuestro planeta tierra nos brinda.

En la actualidad hemos sido testigos de drásticos e impredecibles cambios climáticos, los cuales han sido originados entre otras cosas, por el excesivo uso del petróleo como combustible universal, a lo cual podemos sumar el difícil abastecimiento de agua para uso humano y la tala inmoderada como factores principales a nivel mundial de la escasez de recursos; sin embargo se dice que la necesidad es la madre de la inventiva, pero en este caso la madre de la alternativa, es entonces cuando dicha tendencia marca el inicio de la preocupación de la humanidad por preservar el medio que le rodea dado que a lo largo de 259 años aproximadamente a partir del inicio de la revolución industrial, periodo realmente corto comparado con la historia de la humanidad, ésta ha quemado sin medida lo que ha encontrado con el fin de satisfacer sus necesidades.

Como consecuencia de lo anterior, el intelecto humano ha dado un giro hacia la búsqueda de fuentes alternativas de energía así como la mejora de las ya existentes, con lo que ha concluido por retomar las fuerzas básicas de la naturaleza como abastecedoras de energía limpia, acoplándolas con la tecnología del hombre moderno. El presente documento ofrece un esbozo acerca de las fuentes de energía renovable de hoy en día, haciendo énfasis en sus principios de funcionamiento y aplicaciones según la necesidad. Cabe señalar que el tema de energía ha tenido ciertas ambigüedades a lo largo del tiempo, sin embargo con la formulación de la teoría de la conservación de energía se han desarrollado ideas con respecto a la obtención alterna de esta, tales como:

- Energía solar
- Energía eólica
- Energía biomásica
- Energía geotérmica
- Energía del maremotríz
- Energía nucleoelectrica

La energía solar es una fuente que ha existido desde tiempos inmemorables ya que en nuestra estrella *sol* acontecen eventos de fusión nuclear por lo que esta energía liberada es capaz de viajar distancias enormes hasta la tierra, en donde esta es vital para la fotosíntesis en las plantas y vegetales, sin embargo una de las formas de transferencia de calor es la radiación, esta forma de transferencia depende del área de captación de los rayos de energía, así como del albedo⁴ del material captante, sus aplicaciones varían según la necesidad. La captación adecuada de energía solar es lo que en esta época es limitante para obtener el máximo rendimiento de esta fuente de energía, de hecho se dice que cada minuto el sol provee la suficiente energía para satisfacer la demanda de un año entero de electricidad en el mundo. (10)

Desde la década de los 50's se ha estudiado el efecto fotovoltaico sin gran avance bajo esta perspectiva de paneles, los cuales funcionan teniendo una reacción fotoquímica interna del silicio y otros materiales que los componen, sin embargo en las ultimas décadas se han dado avances significativos en el área de la nanotecnología desarrollando películas delgadas y flexibles con esta propiedad fotovoltaica, con lo cual en un futuro no muy lejano se espera llegar al punto de desarrollar pintura fotovoltaica y hacer mas flexible y menos costosa la obtención de energía. (10)

El esquema de los paneles esta dado por la radiación que incide en las placas fotovoltaicas que acomodadas en un arreglo para obtener la potencia necesaria canalizan la energía a un banco de baterías y posteriormente al modulo de inversión de señal el cual convierte la señal de CD a una de AC para poder ser usada con las bombillas y aparatos de uso común.

Por otra parte se tienen otras aplicaciones de la energía solar en el ámbito foto-térmico el cual se divide en la parte de calentamiento de agua por el principio de conducción y la concentración de altas cantidades de calor en un punto con concentradores de geometrías especiales capaces de hacer incidir la energía en un punto específico es decir coleccionar la radiación solar recibida en cierta área y reflejarla puntualmente.

El calentamiento de agua se obtiene mediante la circulación de agua por un colector que consta de dos cabezales de recolección y un arreglo de tubos que los interconecta de diámetro menor con la finalidad de que el agua que circule por estos tubos sea mas fácilmente calentada, ya que el aumento de la energía interna del agua esta relacionada directa-

⁴ El **albedo** es la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma

mente con su capacidad calorífica, el agua se recircula por un tiempo determinado hasta alcanzar la temperatura deseada, con estos sistemas las posibilidades de calentamiento de grandes volúmenes de agua el costo disminuye significativamente, y se obtiene el mismo resultado que con los sistemas a base de gas, carbón, combustibles líquidos y resistencias eléctricas.

Los sistemas de concentración son los más utilizados en el ramo industrial; desde el análisis de los antiguos griegos de las secciones cónicas y el desarrollo de la geometría analítica, se definieron ciertas propiedades geométricas de algunas curvas, sin embargo, en la actualidad se ha visto el uso pleno de estas geometrías y estas funcionan haciendo un perfil parabólico o de paraboloides el cual en el foco teórico tendrá una mancha de energía la cual es la concentración de energía.

La energía eólica es la energía generada por el movimiento del viento, la cual es aplicada en las zonas que tienen gran incidencia de corrientes naturales del mismo, dependiendo de la factibilidad del estudio de la incidencia de viento se hace la configuración del sistema de torres con generadores eléctricos.

A pesar de que a lo largo del tiempo se ha utilizado esta tecnología en los famosos “Molinos de viento” en la actualidad el diseño de los aerogeneradores va mucho más allá del diseño simple de antaño, por lo que ahora se hacen simulaciones por computadora y estudios aerodinámicos del desempeño de las hojas de impulsión, además de que, acoplados con la tecnología moderna en generadores, hace de estos, unos verdaderos desafíos de ingeniería, para elevar el rendimiento. (10)

La energía biomásica es aquella que se encuentra potencialmente en los desechos o residuos de la actividad orgánica, es decir se encuentra presente en los residuos de las plantas de las cuales el uso a nivel mundial es impresionante, tales como la cascarilla de arroz, de trigo, maíz, y la innumerable cantidad de vegetales y semillas comestibles. La energía biomásica también está presente en los desechos de los animales, incluido el hombre, tales como estiércol, ya que este en un proceso natural se descompone y genera el biogas. (10)

De lo anterior podemos decir que existe una clasificación de este tipo de energía la cual comprende la energía por procesos termoquímicos, bioquímicos y combustión directa, por lo que en los procesos bioquímicos tenemos que nuestros ancestros quemaban la hojarasca seca de su cosecha para generar calor y posteriormente cocer sus alimentos, en la actualidad estos residuos orgánicos son tratados de tal forma que den origen a combustibles de tipo líquido o de gasificación con el menor impacto posible, por tanto en las últimas décadas ha cobrado gran importancia los biocombustibles como el biodiesel y bioetanol provenientes del bagazo de caña o piña, y los aceites de soya o de canola, los cuales tienen un desempeño muy bueno con respecto de los derivados de petróleo, de hecho el octanaje del bioetanol es superior al de la gasolina, por lo que la combustión de estos alcoholes y combustibles es mucho más ecológica en cuanto a reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. (11)

Por otra parte la generación de energía en base a procesos bioquímicos tiene un impacto realmente bueno sobre el uso de combustibles de origen fósil como el gas comercial (butano), en estos procesos, como antes se mencionó, el desecho animal o incluso humano

tiende a fermentarse naturalmente en presencia de ciertas bacterias que llevan a cabo esta acción, entonces cuando ocurre la fermentación, se produce gas metano, el cual tiene un desempeño superior con respecto al butano en cuanto a la pureza y calidad de la combustión, por ello, es cuando aparece el concepto de los biodigestores, los cuales son depósitos de desechos orgánicos a cierta temperatura para la generación de biogas, así como también, la generación de energía para combustión directa implica el uso de carbón vegetal en el mejor de los casos ya que no genera humos, pero no reduce en gran cantidad la contaminación, en este caso la combustión directa no es recomendable, aunque con el tratamiento debido por ejemplo de la cascara de coco y otros residuos agrícolas se puede llevar a cabo una combustión más limpia. (11)

La energía geotérmica usa como principal fuente el calor generado naturalmente en las profundidades de la tierra, con lo que en muchos lugares es admirable ver algún geiser emitir una gran cantidad de agua y vapor a gran temperatura, esta energía es utilizada para mover turbinas, y así generar electricidad. Esta fuente requiere de una gran infraestructura para llevar a cabo el proceso, sin embargo es una de las formas más limpias de obtener energía. (10)

En ocasiones cuando es inminente el uso de una energía alternativa en una región en la cual no se ve favorecida por una radiación buena para el uso de energía solar, ni por corrientes de aire, ni un océano cercano, ni una zona de algún geiser, capaces de satisfacer la demanda de esa región, es cuando la energía geotérmica tiene un giro distinto, por lo que se hace un estudio de las capas de la tierra de la región y se perfora hasta tener profundidades alta concentración de calor y es inyectada agua a grandes presiones, la cual es devuelta a la superficie en forma de vapor a gran velocidad y presión, creando así un geiser inducido pero funcional. (10)

La energía maremotriz posee un potencial realmente bueno, ya que el movimiento de las corrientes marinas induce una fuente de tracción mecánica sobre los dispositivos de captación. La energía del océano se divide en la generada por las olas u ondas formadas mar adentro por acción del viento, y la generada por la acción de la marea, la primera se basa en el principio de compresión de gases, ya que en la orilla del mar se construye un edificio que encierra una cápsula de aire en la parte superior y cuando en la parte inferior el agua sube por el efecto del choque de las olas el aire es comprimido y conducido a gran velocidad hacia una turbina de generación de energía eléctrica, dado lo anterior se debe colocar dicha construcción en zonas con gran incidencia de olas. (10)

La energía obtenida de forma mareomotriz se desarrolla en estuarios haciendo barreras entre el océano y los estuarios, con lo que solo se deja pasar por una parte de la barrera el agua y con el movimiento de vaivén de la misma, se pueden hacer girar turbinas colocadas en zonas específicas de la barrera, generando así cantidades considerables de energía eléctrica. (10)

La energía nucleoelectrica es una de las formas más discutidas sobre su obtención, esta funciona con un isótopo, uranio del cual solo el 0.7% sufre fisión, el U-235 y el resto es U-238 el que solo queda como residuo dentro de los reactores, sin embargo existen muchos factores de seguridad que cuidar, se hace remembranza al caso de Chernóbil, en donde

hubo problemas de sobrecalentamiento y el sistema de seguridad era precario, lo que ocasiono una explosión dejando rastros de radiactividad hasta la fecha, hoy en día las centrales nucleoelectricas han mejorado en cuanto a tecnología y sistemas de seguridad, por lo que ahora se cuenta con por lo menos dos sistemas de seguridad un primario, un secundario y uno de emergencia. (10)

La energía se produce al introducir el isótopo en un baño de agua a presión, se procede a hacer reaccionar el isótopo y el agua es calentada, al grado de generar vapor y mover turbinas, para generar electricidad, el vapor es refrigerado y recuperado en forma de agua mediante el uso de CO₂ y se recircula para volverá a generar vapor.

La gran ventaja de este proceso es la enorme cantidad de energía generada a partir de una mínima cantidad de combustible radiactivo, se dice que el 11% de la energía demandada mundialmente es producida por este método, sin embargo su contraparte es el altísimo riesgo de los deshecho o residuos producidos, que aunque son mínimos son altamente contaminantes, pero el método como tal trata de energía que no genera polución, al obtenerla.

Cabe mencionar que existen otras fuentes de energía tales como la hidráulica y de combustibles fósiles pero este documento solo trata de explicar, las energías renovables o de índole sustentable, siempre y cuando sean apropiadamente manejadas.

2.2.2 El sol, recurso inagotable y mal aprovechado

Según narran los antiguos historiadores, en el año 212 A.C., a petición del rey Herón, Arquímedes quemó las naves romanas que sitiaban la ciudad de Siracusa. Para llevar a cabo tal hazaña, Arquímedes utilizó varios espejos planos o tal vez escudos reflejantes que en conjunto formaban un gran espejo cóncavo, pues en esa época ya se utilizaban espejos pulidos de plata y cobre para concentrar la luz del sol. Este tipo de espejo cuando posee la forma de un paraboloide de revolución, tiene la propiedad de que todos los rayos luminosos que inciden sobre él desde cualquier dirección se concentran en un punto; el foco del espejo. De esta forma, mediante la concentración de la energía de los rayos solares se logra alcanzar altas temperaturas y, quizá como Arquímedes, incendiar grandes objetos. (12)

A pesar de las contribuciones de grandes personajes del ámbito científico como Euclides, Salomón de Caus, E.W. Von Tschirnhausen, Joseph Priestley, Horace de Saussure, Robert Stirling, entre otros, el aprovechamiento de la energía solar permaneció en el desván del olvido debido a que, entre otras cosas, los dispositivos solares no podían competir, con las maquinas que empleaban combustibles fósiles como el petróleo, el gas o el carbón. (12)

En 1949 las actividades en torno al aprovechamiento de la energía solar comenzaron a prosperar, se construyó el primer gran horno solar en Mont Louis, cerca de Odeillo, ya que aprovechaba la fachada de un edificio para formar un gran espejo parabólico, por lo que en el foco de este horno se alcanzan temperaturas de 4000 °C. (12)

Dado el avance desde aquellas épocas, a la fecha se tiene que la generación y conservación de energía a base de energía solar se clasifica de dos formas, las cuales consisten en la captación *fototérmica* y la *fotovoltaica*. La *fototérmica* consiste en la utilización y/o

combinación de los principios de transferencia de calor (*conducción, convección y radiación*) en este caso se hace referencia a que en esta parte se encuentran los colectores de distintas geometrías, los cuales pueden ser fijos o con un mecanismo de seguimiento del sol. En la figura 2.11 se ilustra el principio de los concentradores solares mediante lentes, mientras que en la figura 2.12 se ilustra el principio de concentradores de geometrías curvas haciendo incidir la energía en un punto o una línea (figura 2.13) según el tipo de aplicación.

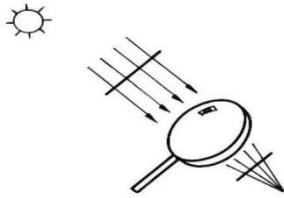


Figura 2.11 Concentración mediante lentes

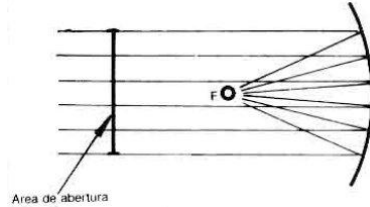


Figura 2.12 Concentración en un punto
Fuente: El oro solar, Tonda Juan, 1993

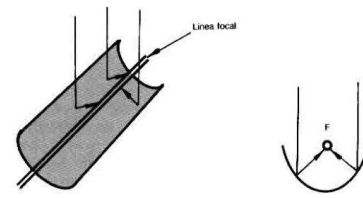


Figura 2.13 Concentración en una línea

Dado lo anterior se concluye que mediante el método de concentración con geometrías curvas es necesario implementar un sistema de seguimiento del sol, ya que de otra forma, como se muestra en la figura 2.14, la concentración se puede llevar a cabo con espejos planos en una posición fija, sin embargo la eficiencia disminuye (13), aunque los colectores funcionan en base a principios geométricos básicos, el mecanismo de seguimiento aparente del sol resulta complejo ya que varía según la posición geográfica, el día del año, y la hora del día; sin embargo en la siguiente sección se trata ese tema.

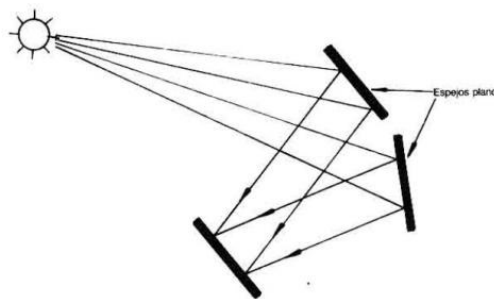


Figura 2.14: Concentración fija mediante espejos planos.
Fuente: El oro solar, Tonda Juan, 1993

La generación de *energía fotovoltaica* a base de radiación solar, es en realidad la conversión directa de energía solar en energía eléctrica, mediante ciertas reacciones fotoquímicas a nivel molecular, basándose en el principio de Planck que calcula la energía de los rayos solares, el efecto fotoeléctrico enunciado por Einstein, además del concepto corpuscular de la luz, y aunado a los antecedentes de Edmund Becquerel dieron paso para que Gordon Pearson, Darryl Chapin y Calvin Fuller investigadores de los Laboratorios Telefónicos Bell utilizaran silicio con impurezas en lugar de selenio para fabricar celdas solares, así surgieron las primeras celdas solares que tenían una eficiencia del 15%. En la figura 2.15 se muestra el esquema de un panel fotovoltaico.

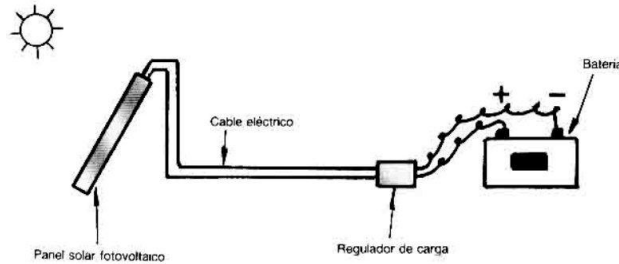


Figura 2.15: Esquema de la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos.
Fuente: El oro solar, Tonda Juan, 1993

Dado lo anterior se puede concluir que la energía provista por el sol es en principio una gran fuente, sin embargo lo interesante es la manera en que se obtenga útilmente esta energía, además de su proceso, y funcionalidad, por ello, la energía solar en México representa una de las fuentes mas abundantes de energía, ya que es privilegiado en cuanto a radiación solar.

2.2.3 La radiación solar en México

Una vez que se sabe como funciona la radiación solar y como es su disipación a lo largo de su viaje del sol al suelo terrestre, en la figura 2.16 se muestra el esquema de la radiación solar en el mundo haciendo ver con un color oscuro las zonas que tienen mayor radiación solar (14), por ello, se puede ver que México es uno de los países privilegiados en cuanto a radiación solar, y por lo tanto se hace factible el uso de equipos de energía solar en ciertas partes del país dadas estas circunstancias, previo estudio de la región. En la figura 2.17 se muestra a grandes rasgos la radiación solar en México, nótese que las regiones mas oscuras representan las zonas que tienen mayor radiación solar anual, por lo que el área comprendida en el pacifico sur incluye al estado de Oaxaca haciendo factible el uso de equipos solares en esta zona de la república mexicana.

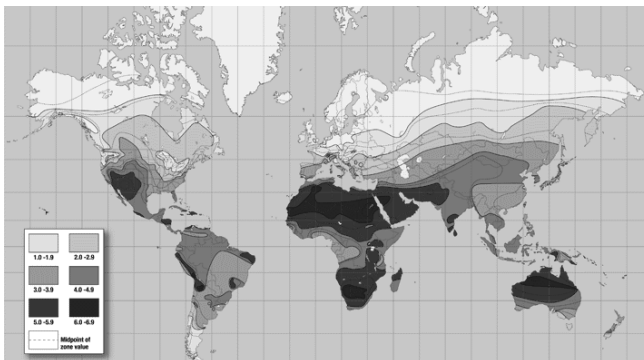


Figura 2.16: Radiación solar en el mundo
Fuente: biopps.com, Mexico,



Figura 2.17: Radiación solar en México.

En la figura 2.18 se ilustra como en la zona de Oaxaca se ve beneficiada con una radiación promedio de $450 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$ equivalente a $5.23 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ en promedio para todo el estado (12), en la figura 2.18 se muestra que la radiación para la zona de Huajuapán y sus alrededores es cercana a $7.5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, lo cual hace factible el uso de equipos de energía solar para esta región de Oaxaca (15).

Cabe señalar que Huajuapán de León presenta una nubosidad de 12 días soleados por 4 nublados, en promedio y bajo condiciones ajenas a frentes fríos, huracanes u otras variables que pueden afectar este factor, por lo que se tiene que Huajuapán de León a lo largo de un año es capaz de absorber en promedio 270 días de sol por 90 sin sol, lo que implica una captación de energía promedio de 2.025 MW en este tiempo. Cantidad nada despreciable para un año en Huajuapán de León Oaxaca.

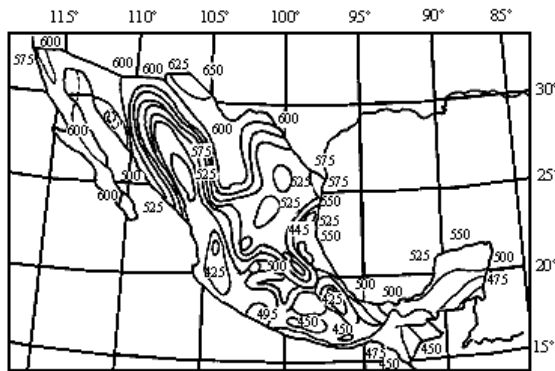


Figura 2.18. Radiación solar en la republica mexicana [cal/cm²/día]. Fuente: El oro solar, Tonda Juan, 1993

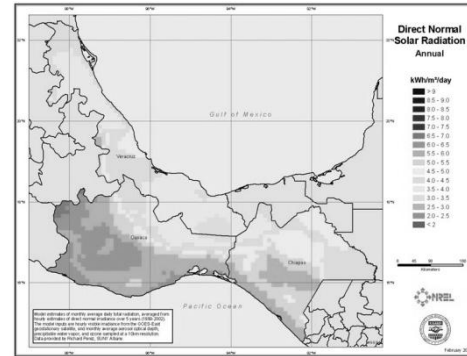


Figura 2.19: Radiación solar en Oaxaca. Fuente: nrel.gov, 2009

Dado lo anterior, podemos concluir que la utilización de la energía solar como energético alternativo para la región de Huajuapán de León Oaxaca, en específico para la comunidad de Santiago Cacaloxtepéc Oaxaca, es viable dadas las condiciones del lugar.

2.2.4 El agua, elemento vital

El agua en la naturaleza se puede encontrar en tres estados diferentes, sólido, líquido y gaseoso, este elemento es de vital importancia para la vida en el planeta, por ello, el planeta tierra es también llamado el planeta azul, ya que es bien sabido que $\frac{3}{4}$ partes del planeta esta constituido por agua, hablando mas específicamente el 71 por ciento de la superficie del planeta está cubierta por agua, cuyo volumen se estima en mil 460 millones de kilómetros cúbicos; sin embargo, grandes regiones carecen de ella debido a una distribución natural no equitativa. Esta proporción irregular se ha incrementado por las alteraciones climáticas, la contaminación y el uso irracional del líquido. (16)

Del volumen total del agua, el 97.5 por ciento es salada y está contenida en los mares y los océanos. El 2.5 por ciento restante es agua dulce y casi toda se encuentra almacenada en los casquetes polares de la Antártida y Groenlandia y como agua subterránea fósil; la más accesible está concentrada en ríos, lagos y embalses, y representa el 0.007 de toda el agua de la tierra. De esta porción, el 87 por ciento se emplea para la agricultura. Entonces, la cantidad del líquido restante es muy pequeña y las necesidades aumentan conforme crece la población mundial, que según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) superará los diez mil millones de habitantes en el año 2050. (16)

El problema de la contaminación del agua provoca que unos 25 millones de personas mueran anualmente en países en desarrollo a causa de distintas enfermedades relacionadas con el vital líquido. Asimismo, se estima que 20 por ciento de la población mundial

carece de agua potable segura mientras que el 50 por ciento no tiene acceso a servicios sanitarios adecuados. (16)

En México, aproximadamente el 76 por ciento del agua, se consume en el riego de cultivos, 17 por ciento en el abastecimiento a las poblaciones, cinco por ciento en la industria y el resto en otros usos. En las plantas hidroeléctricas se utilizan 119 mil millones de metros cúbicos de agua para movilizar turbinas y producir electricidad. El sector industrial hace lo propio en sus áreas azucarera, petrolera, química, petroquímica, celulosa, alimenticia y metal básico y emplea 4 mil millones de metros cúbicos al año. En total se extraen cerca de 79 mil millones de metros cúbicos anuales y conforme transcurre el tiempo, el desarrollo de México dependerá más de los recursos hidráulicos. (16)

Se llama agua potable a la que se puede beber y aguas minerales a las que brotan generalmente de manantiales y son consideradas medicinales para ciertos padecimientos. Las aguas duras se caracterizan porque, si se hierven, dejan en el fondo del recipiente un residuo calcáreo; no sirven para beberlas y como no producen espuma con el jabón tampoco sirven para lavar. (17)

Un 70% de nuestro cuerpo está constituido por agua; encontramos agua en la sangre, en la saliva, en el interior de nuestras células, entre cada uno de nuestros órganos, en nuestros tejidos e incluso, en los huesos. (17)

A fin de crear conciencia en la población mundial, la Asamblea General de las Naciones Unidas acordó conmemorar cada 22 de marzo el "Día Mundial del Agua". La celebración inició a partir de 1993 y se estableció en una época en la que resulta indispensable sensibilizar a toda la humanidad sobre la función vital que desempeña este recurso en el desarrollo de todos los países. (16)

Dada la situación actual del recurso, los movimientos para el cuidado del mismo, ha tenido gran impacto en el entrono global, puesto que las instituciones gubernamentales, de muchos países han impuesto regulaciones con respecto al uso racional de este recurso, por ello, cobra importancia el hecho de saber cuánto y como utilizar el vital líquido, ya sea en la industria o en lo doméstico, por lo que las regulaciones se encuentran fundamentadas en las normas como la ISO 14000, la cual tiene como objetivo realizar una evaluación a las empresas y empresarios que están involucrados desde el diseño de equipo, mantenimiento y uso adecuado del agua, tipos de emisiones de vapor etc.

2.2.5 Lluvia ácida, factores que la propician

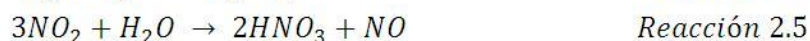
A cualquier lugar que acudimos, estamos rodeados por una multitud de sustancias extrañas a nuestro alrededor, las cuales en muchas ocasiones son imperceptibles a nuestro organismo, sin embargo la concentración en el ambiente de todas y cada una de estas sustancias propician según su composición el daño o afecciones que tiene puntualmente a ciertos individuos o con efecto masivo este tipo de sustancias, en esta sección se definirá lo que es llamada la "lluvia ácida" la cual es causada por ciertas condiciones climáticas de cierto lugar o región, ya que la lluvia ácida está dada por la saturación de ciertos gases que al mezclarse con el exceso de humedad en el ambiente desencadenan reacciones que favorecen el cambio del pH de las precipitaciones de dicho lugar.

En consecuencia, la sociedad contemporánea está preocupada, cada vez más consciente y atenta a los problemas del entorno en que se vive, ver el aire de la ciudad que se habita saturado de humo y polvo y pensar: "eso es lo que respiramos día tras día" nos preocupa y nos enoja, la mayor fuente de contaminación atmosférica es el uso de combustibles fósiles como energéticos tales como el petróleo gas y carbón, los cuales son usados en cantidades enormes, del orden de millones de toneladas por día, y los desechos de su combustión se arrojan a la atmósfera en forma de polvo, humo y gases. Los dos primeros podemos verlos y nos desagradan, pero los gases que no podemos ver, son los más peligrosos. (18)

Las principales causas de lluvia ácida son los óxidos de nitrógeno y azufre que se generan al momento de la combustión; el nitrógeno lo aporta la atmósfera y no hay forma de evitarlo, el azufre forma parte de los combustibles, eliminarlo completamente es muy costoso; la lluvia ácida y la niebla ácida estarán con nosotros dañando todo lo que toquen, tanto en el campo como en la ciudad. Estos compuestos en forma de gotas de lluvia y de niebla son de corta vida, pronto reaccionan con algo orgánico e inorgánico, al reaccionar se consumen pero dejan un daño que puede ser irritación de mucosas en humanos y animales o deterioro en la cutícula de las hojas de los vegetales, en ambos casos, dando entrada a patógenos y reduciendo la producción agrícola. (18)

La lluvia ácida y otros tipos de precipitación ácida como neblina, nieve, etc. han llamado recientemente la atención pública como problemas específicos de contaminación atmosférica secundaria; sin embargo, la magnitud potencial de sus efectos es tal, que cada vez se le dedican más y más estudios y reuniones, tanto científicas como políticas ya que en la actualidad hay datos que indican que la lluvia es en promedio 100 veces más ácida que hace 200 años. (18)

Se cree que los siguientes ácidos se forman a partir de los contaminantes primarios como el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno por las siguientes reacciones:



La oxidación adicional de los óxidos de azufre (reacción 2.1) y de nitrógeno (reacción 2.2) puede ser catalizada por los contaminantes atmosféricos (reacción 2.3), incluyendo las partículas sólidas y por la luz solar. Una vez formados los óxidos SO_3 y NO_2 (trióxido de azufre y bióxido de nitrógeno respectivamente), reaccionan con facilidad con la humedad atmosférica para formar el ácido sulfúrico (reacción 2.4) y nítrico (reacción 2.5) respectivamente. Estos permanecen disociados en la atmósfera y le imparten características ácidas y eventualmente, se precipitan con la neblina, la lluvia o la nieve, las que, por lo tanto, tendrán mayor acidez en las áreas que reciben continuamente dichos óxidos que en las que no están alteradas. (19)

Los óxidos de azufre y nitrógeno son las principales causas de la acidificación tanto del suelo como de las aguas. Los compuestos de azufre son responsables de dos tercios del

total de la lluvia ácida y los compuestos de nitrógeno no producen acidificación si los mismos son absorbidos por las plantas. Dentro de dichos compuestos sulfurados el SO_2 es el principal contaminante y se produce en la combustión de carbón y del petróleo crudo.

En suma, ¡Cada año se liberan a la atmósfera entre 50 y 60 millones de toneladas de SO_2 ! En la troposfera, el SO_2 se oxida casi por completo hasta H_2SO_4 en forma de aerosol, el cual termina por ser arrastrado como lluvia ácida. (19)

En este caso, para el análisis de la problemática del productor de sombreros de palma en Santiago Cacaloxtpec Oaxaca, se tiene que el azufre se quema y el gas generado de este proceso es mezclado con vapor de agua para llevar a cabo la cocción de los sombreros, este fenómeno, representa una situación de riesgo muy alto, además de ser un factor latente de la formación de lluvia ácida en la región, cabe señalar, que este proyecto de tesis, solo se enfoca al cambio de la sustancia ácida, para disminuir el riesgo y el impacto ambiental, cuestiones como el análisis y caracterización de la sustancia ácida, corresponde a otra línea de investigación, alterna a la problemática tratada en este proyecto.

2.2.6 Normatividad ambiental

Con respecto a la regulación ambiental se pueden encontrar las normas ambientales ISO 14000, las cuales son requeridas en el ámbito industrial, debido a que garantizan la calidad de un producto mediante la implementación de controles exhaustivos, asegurándose de que todos los procesos que han intervenido en su fabricación operan dentro de las características previstas de acuerdo al cuidado del medio ambiente. La normalización es el punto de partida en la estrategia de la calidad, así como para la posterior certificación de la empresa. (20)

Estas normas fueron escritas con el espíritu de que la calidad de un producto no nace de controles eficientes, si no de un proceso productivo y de soportes que operan adecuadamente. De esta forma son normas que se aplican a la empresa y no a los productos de esta, su implementación asegura al cliente que la calidad del producto que él esta comprando se mantendrá en el tiempo. En la medida que existían empresas que no hayan sido certificadas constituye la norma una diferenciación en el mercado. Sin embargo con el tiempo se transformará en algo habitual y se comenzará la discriminación hacia empresas no certificadas. Esto ya ocurre hoy en países desarrollados en donde los departamentos de abastecimiento de grandes corporaciones exigen las normas a todos sus proveedores. (20)

La falta de visión de la sociedad y los gobiernos al no contemplar los efectos provocados por la tecnología moderna y la falta de respeto al entorno, han dado lugar a alteraciones ambientales, ante estos daños irreversibles en el corto y mediano plazo, gran parte de la humanidad parece indiferente e reiterativa. De esta manera se ISO 14000 se enfoca a atacar el problema, es así que se crea el Comité Técnico 207 de ISO 14000, ahora mundialmente conocido como ISO TC207 Environmental Management.

Actualmente más de 100 países participan en el TC207, entre ellos México, representado por el organismo COTENNSAAM (Comité Técnico Nacional de Normalización de Sistemas de Administración Ambiental).

Las normas ISO 14000 son herramientas y sistemas para la administración de numerosas obligaciones ambientales y la realización de evaluaciones del producto, sin prescribir que metas debe alcanzar una organización que busca proporcionar una guía para el desarrollo de un enfoque comprensivo para la administración del medio ambiente y la estandarización de algunas herramientas de análisis ambiental clave, tales como la clasificación y la evaluación del ciclo de vida.

La International Organization for Standardization (ISO) tuvo sus comienzos poco después de la segunda guerra mundial, ISO es un organismo internacional no gubernamental con sede en Ginebra, con más de 100 agrupaciones o países miembros, no está afiliada a las Naciones Unidas, ni a ninguna organización europea.

Los países interesados están representados en ISO por autoridades dentro de los mismos, por ejemplo, en México por la DGN (Dirección General de Normas), en Estados Unidos por la ANSI (American National Standards Institute), para el sector privado, y para el sector gubernamental por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), la EPA (Environmental Protection Agency).

Ya que ISO es una institución no gubernamental, no tiene autoridad para imponer sus normas en ningún país u organización, además los técnicos expertos de los organismos miembros desarrollan las normas ISO mediante un proceso de amplias discusiones, negociaciones y consenso internacional.

Dentro de las labores de TC207 acordadas para el ámbito de trabajo se destacan las siguientes:

- El control ambiental va, desde la estandarización en el cambio de herramientas hasta el sistema de control ambiental excluyendo:
 - Métodos de prueba para contaminantes que son responsabilidad de ISO/TC 146 (Calidad del aire), ISO/TC 147 (Calidad del agua), ISO/TC 190 (Calidad de la tierra) e ISO/TC 43 (Acústica).
 - Establecimiento de límite de valores relativos a los contaminantes o corrientes de salida.
 - Establecimiento de niveles de desempeño ambiental.
 - Estandarización de productos

ISO 14000 puede dividirse en dos áreas:

1. La administración de una organización y su sistema de evaluación.

- a. *Sistema de Administración Ambiental (EMS)*
 - i. *ISO 14001*: Especificación con guía para su uso
 - ii. *ISO 14004*: Guías generales sobre principios, sistemas y técnicas de soporte.
- b. *Auditoria Ambiental (EA)*:
 - i. *ISO 14010*: Guías para auditoria ambiental (Principios generales)
 - ii. *ISO 14010-1*: Procedimientos de auditoria

- iii. *ISO 14012*: Criterios de calificación para auditores ambientales de sistemas de administración ambiental.
 - c. *Evaluación del Desempeño Ambiental (EPE)*:
 - i. *ISO 14031*: Guías para la evaluación del desempeño ambiental
- 2. Herramientas ambientales para la evaluación del producto.**
- a. Aspectos ambientales en las normas de productos (EAPS):
 - i. *ISO 14060*: Guía para aspectos ambientales para las normas de productos.
 - b. Clasificación Ambiental (EL):
 - i. *ISO 14020*: Principios básicos para todas las clasificaciones ambientales.
 - ii. *ISO 14021*: Auto declaración de afirmaciones ambientales (Términos y definiciones)
 - iii. *ISO 14022*: Símbolos.
 - iv. *ISO 14023*: Metodología de pruebas y verificación
 - v. *ISO 14024*: Programas del practicante.
 - c. Evaluación del ciclo de vida (LCA):
 - i. *ISO 14040*: Principios y marco.
 - ii. *ISO 14041*: Análisis de metas y definiciones (ámbito e inventario).
 - iii. *ISO 14042*: Evaluación de impacto.
 - iv. *ISO 14043*: Evaluación de mejoras.

Los elementos detallados en ISO 14001 deben ser puestos en práctica, documentados y ejecutados de tal manera que un registrador independiente pueda conceder y justificar el registro con base en evidencia de que la organización ha puesto en práctica, un sistema de administración ambiental (EMS) viable. ISO 14001 ha sido redactado para que tenga aplicación en organizaciones de cualquier tipo y tamaño, para conformarse a diversas condiciones geográficas, sociales y culturales.

ISO 14004 es de índole “informativo” y puede ser utilizado por empresas medianas y pequeñas, que tratan de mejorar u optimizar un sistema existente.

ISO 14010 presenta principios generales sobre auditorías ambientales (EA) y debe tener aplicación en todos los tipos de auditorías ambientales (EA).

ISO 14011 tiene aplicabilidad para las auditorías de registro, en todos los tipos y tamaños de organizaciones que operen un sistema de administración ambiental (EMS)

2.3 Riesgo de trabajo

La definición de riesgo laboral aparece en el artículo 4 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, que define el término como “la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de su trabajo”. El concepto de riesgo laboral menciona la palabra “posibilidad”, es decir, que bajo determinadas circunstancias, una persona tiene la probabilidad de llegar a sufrir un daño profesional. Un claro ejemplo puede ser el del trabajador que realiza su tarea sobre un suelo mojado, pues este, tiene la posibilidad de resbalarse y sufrir una caída. Así, podemos definir peligro como el conjunto de elemen-

tos que, estando presentes en las condiciones de trabajo, pueden desencadenar una disminución de la salud de los trabajadores.

2.3.1 Definición de riesgo

Se han propuesto diversas definiciones del riesgo: “situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento”, o bien “probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial” (entendiendo por peligro una situación física que puede provocar daños a la vida, a los equipos o al medio), o aún, “consecuencias no deseadas de una actividad dada, en relación con la probabilidad de que ocurra”. (1)

Los peligros implican riesgos y probabilidades, y éstas son palabras que tratan sobre lo desconocido pero tan pronto como se elimina el elemento desconocido, el problema ya no es de seguridad (4). Es muy común encontrarse con la confusión del concepto de seguridad y de salud, puesto que la seguridad se ocupa de los efectos agudos de los riesgos y la salud trata sus efectos crónicos.

Bajo este contexto un riesgo es un peligro latente que en muchas ocasiones los ingenieros de seguridad se tienen que ver involucrados con el fin de prevenir las consecuencias del mismo, por ello, es un tema un tanto subjetivo para algunos empresarios en muchas ocasiones, puesto que para ellos, el riesgo presente en una cierta actividad, solo tiene un costo, por el uso y compra de equipo de seguridad, por el implementar programas de seguridad y como en ocasiones pasan periodos considerablemente largos sin un accidente, creen que solo han tenido una pérdida de dinero. (4)

Una situación de riesgo se ve inmersa en una serie de factores que rodean al individuo en dicha situación, es decir, el simple hecho de estar trabajando a cierta altura sobre el nivel del suelo por mínima que parezca, y en una posición en la que se necesite un esfuerzo extra al normal por equilibrar el peso y enfocar la actividad, tiene ya una probabilidad de que un evento de lesión o accidente ocurra.

Sin embargo según el enfoque de ingeniería para la evasión de riesgos planteada por el primer ingeniero de seguridad H.W. Heinrich, quien determinó mediante práctica de campo y estudios objetivos la relación 88:10:2 donde plantea que:

| | |
|---|------|
| ➤ Actos inseguros | 88% |
| ➤ Condiciones inseguras | 10% |
| ➤ Causas inseguras | 2% |
| ➤ Causas totales de accidentes en el lugar de trabajo | 100% |

La tendencia actual es prestar más atención a la maquinaria, el entorno, las protecciones, y los sistemas de protección, por lo que el análisis de los accidentes se profundiza para determinar si accidentes que al principio parecieran causados por “descuidos del trabajador”, hubieran sido evitados mediante el rediseño del proceso. Este planteamiento ha cobrado gran importancia en el enfoque de ingeniería para enfrentar los riesgos en el lugar de trabajo. (4)

Otro factor que supone riesgo en un entorno laboral, es el hecho de que la edad de un trabajador, juega un papel importante en la probabilidad del riesgo, ya que es bien sabido que los informes de accidentes confirman que en una gran porcentaje de las lesiones son causadas por actos inseguros de trabajadores jóvenes con exceso de confianza, por lo que este factor juega un papel importante en el concepto de riesgo. (4)

2.3.2 Seguridad industrial

En la industria se corren riesgos de dos tipos: los latentes y los conocidos, en el caso en el cual el piso permanece mojado en el área de una fabrica, y no se han tomado acciones al respecto ya que a lo largo del tiempo, no ha pasado nada o nadie ha sufrido una accidente a consecuencia de un factor de este tipo, esto implica un riesgo latente ya que si no se le presta la atención adecuada en su tiempo y forma correctos, el riesgo juega un papel importante, pues las consecuencias de esta condición del trabajo presentan cierta variabilidad en cuanto al efecto del accidente, dependiendo de cómo suceda el mismo, por lo que, los efectos pueden ser desde un rasguño hasta la muerte de una persona.

Dado lo anterior la seguridad industrial es un tema muy amplio dentro de la misma puesto que muchas veces se refiere a casos y cosas que aun no tienen ocurrencia física o palpable, sin embargo muchas empresas invierten grandes cantidades de dinero para tratar este tema, por ello la seguridad industrial tiene un rol lo suficientemente importante en las empresas, tanto para la prevención de accidentes, como para la disminución de costos, y se relaciona también con la calidad indirectamente.

2.3.3 Análisis del riesgo

Para analizar el riesgo se debe ser objetivo y tener una metodología. Para este caso del proceso de cocción de sombreros de palma, se utilizarán dos métodos, el primero que es de aplicación y diagnostico rápido y la técnica HAZOP (*Análisis de Peligros y Operabilidad*), con lo cual se determinará el grado de riesgo potencial en el proceso.

El primer método consiste en determinar el *número de riesgo HRN (Hazard Rating Number)* (1). Este método simplificado está basado en los cuatro factores siguientes, a los cuales se atribuye un valor de la gama indicada en cada caso:

1. Posibilidad de exposición al peligro (Valor de 0 a 15, 0=imposible,15=seguro)
2. Frecuencia de la exposición al peligro (De 0,1=no frecuente a 5=constante)
3. Número de personas expuestas al riesgo (de 1=entre 1 y 12 personas a 12=50 o mas personas involucradas)
4. Máxima pérdida probable (de 0,1=arañazos a 15=muerte)

El producto de estos cuatro factores da como resultado un numero HRN, y las categorías de riesgo correspondientes se muestran en la tabla 1.6, para indicar la acción a tomar.

Tabla 2.2: Categorías de riesgo según HRN.
Fuente: Analisis de riesgo en instalaciones industriales, 1999.

| RIESGO | HRN | PLAN DE ACCION PARA LA GESTIÓN |
|--------------------|------------|--|
| Riesgo “Tolerable” | 0 – 1 | Aceptar el riesgo y considerar posibles acciones |
| Riesgo Muy bajo | 1 – 5 | Actuar en 1 año |
| Riesgo Bajo | 5 – 10 | Actuar en 3 meses |
| Riesgo Importante | 10 – 50 | Actuar en 1 mes |
| Riesgo Alto | 50 – 100 | Actuar en 1 semana |
| Riesgo Muy alto | 100 – 500 | Actuar en 1 día |
| Riesgo Extremo | 500 – 1000 | Actuar en inmediatamente |
| Riesgo intolerable | > 1000 | Parar actividad y eliminar el peligro |

Para este caso del proceso de cocción de sombreros de palma, los valores de los cuatro factores es como sigue:

- Posibilidad de exposición al peligro = 10
- Frecuencia de la exposición al peligro = 7
- Número de personas expuestas al riesgo = 1
- Máxima pérdida probable = 7

$$HRN = 10 \times 7 \times 1 \times 7 = 490$$

Lo cual representa un riesgo muy alto, que implica tomar decisiones rápidamente. Cabe señalar que este proceso ha sido practicado durante mucho tiempo, por lo que, los productores han creído que el proceso se tiene que hacer así, (“*así se ha hecho siempre*”) sin embargo, dada esta situación en la actualidad las instituciones encargadas de la regulación sanitaria, han determinado que el proceso tiene un impacto ambiental bastante grave desde el hecho que usa leña para llevar a cabo el proceso, y mas aun por el uso al aire libre de SO₂, por ello las acciones tomadas al respecto serán derivadas de este proyecto a lo largo del desarrollo del mismo.

Ahora se hará el análisis del riesgo según el método HAZOP (*Análisis de Peligros y Operabilidad*) para esto se necesitará definir ciertos parámetros con los que trabaja esta técnica, la técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias. Para ello refiérase a la tabla 2.3 la cual define las palabras guía y las variables tomadas en cuenta en el proceso. (1)

Tabla 2.3 Resumen de palabras guía y variables de proceso utilizadas en los análisis HAZOP.

Fuente: Analisis de riesgo en instalaciones industriales, 1999.

| Palabra guía | Significado | Parámetro de proceso | Ejemplos de desviación |
|--------------|--|---|---|
| NO | Negación de la intención del diseño | Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad Mezcla Voltaje Adición Separación pH | “No”+”Caudal”=Falta de caudal |
| MENOS | Disminución cuantitativa | | “Menos”+”Nivel”=Bajo nivel |
| MAS | Aumento cuantitativo | | “Mas”+”Presión”=Presión excesiva |
| OTRO | Sustitución parcial o total | | “Otra”+”Composición”=Presencia de impurezas |
| INVERSA | Función opuesta a la intención de diseño | | “Inverso”+”Caudal”=Flujo inverso |

La forma en que opera esta técnica se muestra en la figura 2.20:

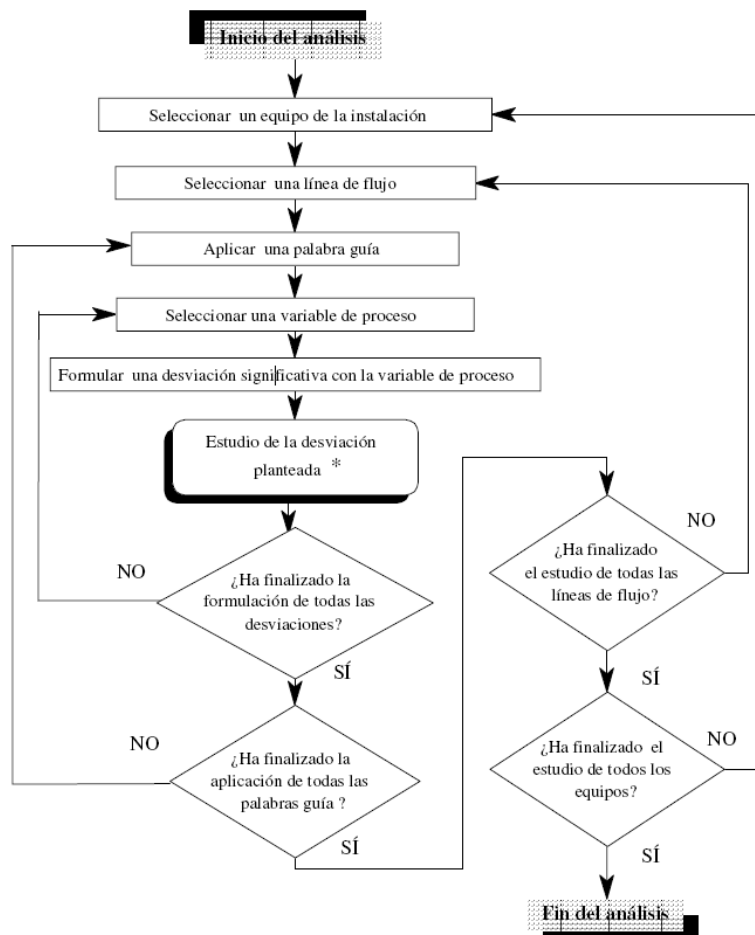


Figura 2.20: Diagrama lógico de la ejecución de un análisis HAZOP

Fuente: Analisis de riesgo en instalaciones industriales, 1999

Ahora se procederá a desarrollar esta técnica aplicándola al sistema actual de cocción de sombreros de palma, para ello se hará una breve descripción de los factores más destacables del mismo, tales como que, el operador vierte el agua a evaporar en el deposito del horno tradicional, posteriormente, enciende el fuego colocando la leña en el incinerador, después hace la incineración del azufre en el compartimiento del horno para este fin, cabe señalar que esto se realiza una vez que el sistema ha sido cargado con los sombreros a cocer, posteriormente el operador tiene que verificar constantemente la correcta incineración de la leña, por lo que en esta situación, se tiene que exponer a los vapores generados por el proceso durante un tiempo largo y recurrente durante el mismo. Una vez que el proceso ha terminado, el operador procede a destapar los sombreros, ya que han sido cubiertos con petates para retener el vapor, en esta parte del proceso el vapor aún sigue presente en la envolvente de trabajo y el operador es expuesto nuevamente a los vapores tóxicos.

Descripción de las protecciones del horno.

Cabe señalar que el método en el que el proceso actual se desenvuelve es en un contexto rustico, por ello las protecciones son precarias o nulas para el proceso de cocción, por otra parte el operador solo utiliza una paliacate a manera de filtrar el aire que respira.

Definición de la matriz de interacción.

Ahora una vez que se ha descrito el proceso y como esta involucrado el operario se tiene que, las variables a considerar en este análisis son:

1. El azufre incinerado, el cual ocasiona la reacción ácida en la cámara de cocción dentro del horno.
2. El calor producido por el horno al trabajar con la carga de leña como energético para evaporar el agua.
3. El tiempo de exposición del operador durante un turno de trabajo.

Tabla 2.4: Matriz de interacción para los factores involucrados en el proceso. Fuente: Propia.

| | Azufre | Vapor | Calor | Tiempo | Aire | Comentario |
|--------|--------|-------|-------|--------|------|---|
| Azufre | | - | - | - | X | Atmósfera tóxica en el proceso |
| Vapor | X | | X | X | X | Exposición al vapor ácido |
| Calor | X | - | | X | - | Incineración del azufre y exposición al SO ₂ |
| Tiempo | - | - | X | | | Exposición prolongada |

Da la tabla 2.4 se tiene que la atmósfera es altamente tóxica para el operador, así como también la exposición prolongada del mismo a los vapores, tiene base en el tiempo en que se realiza la operación. El operador es tanto expuesto al SO₂ como al acido diluido generado por el proceso.

Debido al análisis anterior la tabla para el análisis HAZOP queda como sigue:

Tabla 2.5: Tabla de análisis HAZOP. Fuente: Propia.

| Palabra Guía | Variable | Desviación | Causas Probables | Consecuencias | Comentarios: Medidas correctivas |
|--------------|--------------------------|--|--|--|--|
| MAS | Vapor de agua | Vapor generado y esparcido en la envolvente de trabajo elevando la temperatura de la misma | El sistema opera a presión atmosférica, es decir, se encuentra descubierto | El operador al ser sometido a diferencias bruscas de temperatura puede ocasionar daños a sus salud | Diseñar un contenedor que sea cerrado para evitar la liberación de gases tóxicos |
| MAS | Calor generado | Dada la evaporación de agua y el uso de leña, la envolvente de trabajo, eleva su temperatura, dado el calor generado por la combustión | El incinerador para la leña está expuesto al medio de trabajo | | Cambiar el energético actual por uno de índole sustentable |
| MAS | Dióxido de azufre | El dióxido de azufre es liberado al ambiente mientras el azufre es incinerado | El azufre es quemado directamente en un compartimiento abierto del horno de cocción | El desgarramiento pulmonar a largo plazo debido a la aspiración del gas tóxico | Cambiar la sustancia ácida |
| MAS | Vapor de ácido sulfúrico | Una vez que se ha incinerado el azufre, la interacción con el vapor de agua da paso a la formación del ácido en la atmósfera | El dióxido de azufre es conducido a la cámara de cocción, donde este es mezclado, con el vapor de agua | Aceleración del daño pulmonar para el operador, irritación crónica de las zonas húmedas. | Eliminar el azufre del proceso |
| MAS | Tiempo de exposición | Dada la necesidad de verificación y chequeo del proceso, el tiempo de exposición es prolongado | El proceso requiere de control durante el mismo, para asegurar la calidad del producto final | Recurrencia en síntomas de malestar para el operador. | Reducir tiempo de proceso mediante la reingeniería del mismo |

Una vez determinada la situación mediante HAZOP, el resultado de este se puede expresar como sigue:

- El sistema necesita ser rediseñado proponiendo un sistema cerrado para llevar a cabo la cocción
- La sustancia ácida debe ser cambiada o eliminada del proceso
- El tiempo de proceso debe ser disminuido

2.3.4 Exposición a químicos y vapores tóxicos

Por las mismas definiciones de salud y seguridad, siempre será más difícil detectar los riesgos para la salud que los riesgos de seguridad. Como observamos en el capítulo 1, la salud se ocupa de los efectos crónicos a largo plazo por exposición, en tanto que la seguridad trata de los efectos agudos, más obvios, que causan daños de inmediato. (4)

La OSHA¹ es un organismo internacional que regula la seguridad e higiene laboral, y desde algunas décadas ha dedicado y capacitado a las empresas bajo ciertos enfoques hacia distintos problemas de seguridad industrial. Al principio, la OSHA no tenía un equipo suficiente de profesionales de la salud para evaluar riesgos con respecto a sustancias tóxicas, y su interés se centraba en la seguridad. Pero desde principios de los años setenta la proporción de especialistas de la salud con los que cuenta la OSHA ha aumentado mucho. (4).

Dada esta situación se tiene como principales involucradas, las siguientes NOM:

NOM-047-SSA1-1993: Que establece los límites biológicos máximos permisibles de disolventes orgánicos en el personal ocupacionalmente expuesto.

NOM-116-STPS-1994, Seguridad-Respiradores purificadores de aire contra partículas nocivas.

NOM-017-STPS-2008. Equipo de protección, personal, selección, uso y manejo en los centros de trabajo

2.3.5 Ácidos y bases

Los ácidos y base son tan comunes como la leche de magnesia y la aspirina mismas, aunque mucha gente desconozca sus nombres químicos, ácido acetilsalicílico (aspirina) e hidróxido de magnesio (leche de magnesia). La química de ácidos y bases es muy importante en los procesos industriales y es fundamental en los sistemas biológicos. (19)

Los ácidos son sustancias que se ionizan en agua para formar iones H^+ y las bases son sustancias que se ionizan en agua para formar iones OH^- . El químico sueco Svante Arrhenius formuló estas definiciones a finales del siglo XIX para clasificar a las sustancias cuyas propiedades en disolución acuosa eran bien conocidas. (19)

Los ácidos tienen sabor agrio: por ejemplo, el vinagre debe su sabor al ácido acético, y los limones y otros frutos cítricos contienen ácido cítrico. Los ácido tiene el efecto de cambiar el color de los pigmentos vegetales; por ejemplo, cambian el color del papel tornasol de azul a rojo, las soluciones acuosas de los ácidos conducen la electricidad. (19)

Las bases tienen sabor amargo, se sienten resbaladizas; por ejemplo, los jabones, que contienen bases, muestran esta propiedad; producen una disociación electrolítica capaz de conducir la electricidad.

Como es bien sabido, el agua es un disolvente único. Una de sus propiedades especiales es su capacidad para actuar como un ácido o una base. El agua se comporta como una base en reacciones con ácidos como el HCL CH₃COOH y funciona como un ácido frente a las bases como el NH₃. El agua es un electrólito muy débil y, por tanto, un mal conductor de la electricidad, pero experimenta una ligera ionización, la cual se conoce como la *autoionización* del agua. (21)

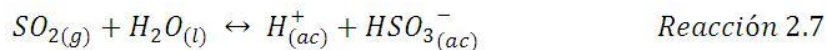
Por estas razones en el proceso de cocción de sombreros de palma en Santiago Caloxtepec Oaxaca, el agua funge como el solvente para la solución ácida compuesta por azufre y agua, también tiene el efecto de dilución para la mezcla, por ello, el producto de dicha mezcla tiene cierta concentración, lo suficientemente dañina para el operador como para irritar las vías respiratorias.

2.3.6 Reacciones acidas en el proceso

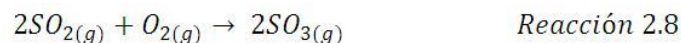
A pesar de que el azufre no es un elemento muy abundante (constituye solo alrededor del 0.06% en masa de la corteza terrestre), resulta muy accesible porque es común encontrarlo en la naturaleza en forma elemental. El azufre tiene dos óxidos importantes: el dióxido de azufre, SO₂ y el trióxido de azufre SO₃. El dióxido de azufre se forma cuando el azufre se quema en el aire:



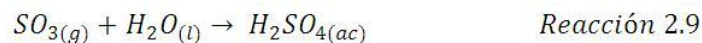
El dióxido de azufre (reacción 2.6) es un gas incoloro con un olor picante, bastante tóxico, es un óxido ácido que reacciona con el agua como sigue:



El dióxido de azufre (reacción 2.7) se oxida de manera lenta hasta trióxido de azufre como se muestra a continuación:



El trióxido de azufre (reacción 2.8) se disuelve en agua para formar ácido sulfúrico:



La contribución del dióxido de azufre a la lluvia ácida se analizó en la sección 2.2.5. Por otra parte se puede calcular el pH de la sustancia ácida actual, con la finalidad de tener un parámetro objetivo del mismo.

Soren Sorensen propuso en 1909 una medida de acidez denominada pH. El pH de una disolución se define como *el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno en (mol/L)*. El pH de una disolución es una cantidad adimensional

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Para determinar el pH se deberá conocer la concentración del soluto en el solvente para ello se calcula la molaridad en base a la ecuación 2.2 y considerando que los 200g de azufre reaccionan con 100L de agua (sección 3.1.3.1):

$$\text{molaridad}(M) = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de solución}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Por consiguiente la molaridad de la solución esta dada por 6.24 moles de soluto, considerando los 200g de azufre utilizados y masa atómica del azufre igual a 32.07 g/mol, obteniendo así la molaridad para la solución acida utilizada en el proceso de cocción de sombreros de palma:

$$\text{molaridad} = \frac{6.24}{100} = 0.0624M$$

Por lo tanto $[H^+] = 0.0624$ y con la ecuación 2.1 se tiene que:

$$pH = -\log[0.0624] = 1.2$$

Por lo tanto el pH de esta solución resulta demasiado ácida, como para ser liberada a la atmosfera y que el operador esté expuesto.

Capítulo 3

Desarrollo del sistema

3.0 Desarrollo del sistema

Una vez expuestos los puntos del apartado anterior y ya que se realizarán pruebas a pequeña escala, se procederá a desarrollar el sistema para la cocción de sombreros a base de energía renovable en función de los cálculos preliminares, los cuales nos determinarán la cantidad necesaria de las variables principales, tales como cantidad de vapor, cantidad de calor y partiendo de este hecho es como se hará el dimensionamiento y configuración del sistema en general

3.1 Metodología Schoroeder para el diseño del sistema

Para que el sistema de cocción a base de energía renovable sea diseñado se implementará la metodología Schoroeder para su diseño, ya que se debe tomar en cuenta al usuario final, dado que es quien determinará en la fase de pruebas tanto preliminares como finales, la consistencia del producto final, el cual serán los sombreros de palma sometidos al proceso de cocción, por ello, su opinión es imprescindible para el desarrollo del sistema.

Nótese que en la figura 3.1 se muestra el esquema de la metodología para el diseño del sistema, de la cual se desglosará paso a paso la información para cumplir con los objetivos fijados en la sección 1.2.

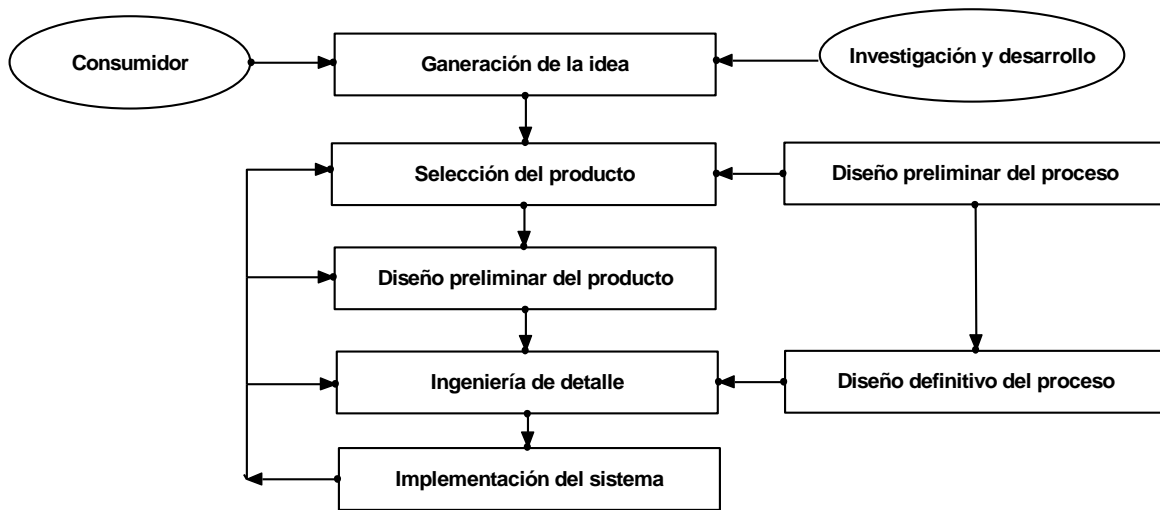


Figura 3.1: Esquema de la metodología para el diseño Schoroeder. Fuente: Propia

Cabe señalar que esta metodología será ajustada a la problemática actual con el fin de personalizar el diseño del sistema en función de las necesidades actuales y reales del ambiente en que se implantará el mismo, cabe señalar que la reingeniería consiste en realizar el mismo proceso en cuestión, pero bajo un método distinto al actual y dentro de un marco sustentable.

3.1.1 Generación de la idea

Como ya se ha tratado en secciones anteriores; el proceso actual de cocción de sombreros de palma presenta una problemática inmersa en dos grandes vertientes, las cuales son el impacto ambiental y riesgo de trabajo.

Con respecto al impacto ambiental se tiene que el uso de la sustancia ácida SO_2 , la cual al interactuar con el ambiente que rodea el sistema actual genera un exceso de humedad, y puede llegar a formar pequeñas gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en el campo de trabajo, el cual posteriormente al ser liberado a la atmósfera dadas las condiciones del método actual, es nocivo para la salud del operador del sistema en un grado considerable, e impacta en el ecosistema local ya que propicia la lluvia ácida. Por otra parte el impacto ambiental se ve influido directamente por el uso del energético (leña) y el fluido de trabajo (agua) ya que dadas las condiciones de la región y la escasez de recursos, la leña es traída de otro lado, generando costos elevados para el productor, además de que el proceso consume excesivamente el recurso agua, ya que en forma de vapor es liberada a la atmósfera, con la mezcla de los vapores de azufre, en forma de una solución ácida.

La segunda vertiente que es el riesgo de trabajo, involucra directamente al operador puesto que si se configuran las variables descriptivas de afección al impacto ambiental, como consecuencia se disminuirá el riesgo para el operador del sistema, puesto que para lograr los objetivos de la sección 1.2 se debe hacer una reingeniería del proceso manipulando los siguientes aspectos:

1. Eliminación de la sustancia ácida o disminución del pH de la misma reemplazándola con otro tipo de sustancia.
2. Diseñar un sistema seguro para el operador
3. Diseñar un sistema que evite la liberación de gases nocivos a la atmósfera
4. Diseñar un sistema que reduzca el consumo de agua
5. Cambiar y/o eliminar el energético usado actualmente (leña)

Cabe señalar que en el capítulo 2 referente al marco teórico en el que se desarrolla este proyecto de tesis, se ha fundamentado la base sobre la que se desarrollará el sistema a aplicar la reingeniería del proceso.

3.1.2 Requerimientos del consumidor

Es importante mencionar que para este caso, el papel de consumidor lo hará el empresario, puesto que es la persona que sabe las características finales del sombrero, tales como la consistencia que debe tener el producto final una vez cocido, por lo que, se cuenta con muestras objetivo, con el fin de tener un parámetro definido de comparación, sin embargo en la fase 6.1 del proyecto referente a pruebas finales del sistema con producto, se deberán retroalimentar los resultados de las pruebas, en base al criterio de aceptación del producto final.

En general, el sombrero una vez que se ha sometido al proceso de cocción, para el productor debe presentar dos características primordiales, que son: color y consistencia, implicando una tonalidad amarillenta con brillo y una elasticidad determinada respectivamente. Por ello al hacer las pruebas preliminares pertinentes se determinarán los factores substanciales para efectuar dichos requerimientos, tratando de cumplir necesariamente con los objetivos planteados en la sección 1.2.

Una vez descrito el proceso en la sección 1.1 se pueden identificar los parámetros mas importantes durante el proceso de cocción de sombreros como sigue (Véase la figura 6 de la sección 1.1) :

1. El calor producido por una fuente energética
2. Uso del agua en forma de vapor como fluido de trabajo
3. El pH del fluido de trabajo tendiente a un ácido
4. Proceso a presión atmosférica
5. Perdida del agua

Al manipular los factores descritos anteriormente se cumplirá en cierto grado con los requerimientos finales del cliente, por lo que, en la sección 3.1.2 se determina el diseño a seguir según los requerimientos del cliente y sus variables descriptivas.

3.1.3 Investigación y desarrollo

En esta fase se definirá el diseño del sistema según los requerimientos del cliente (Sección 3.1.1) por lo que se define el esquema de la figura 3.2 como una representación del sistema en general, y los efectos de las variables involucradas directamente (Diagrama causa-efecto Ishikawa).

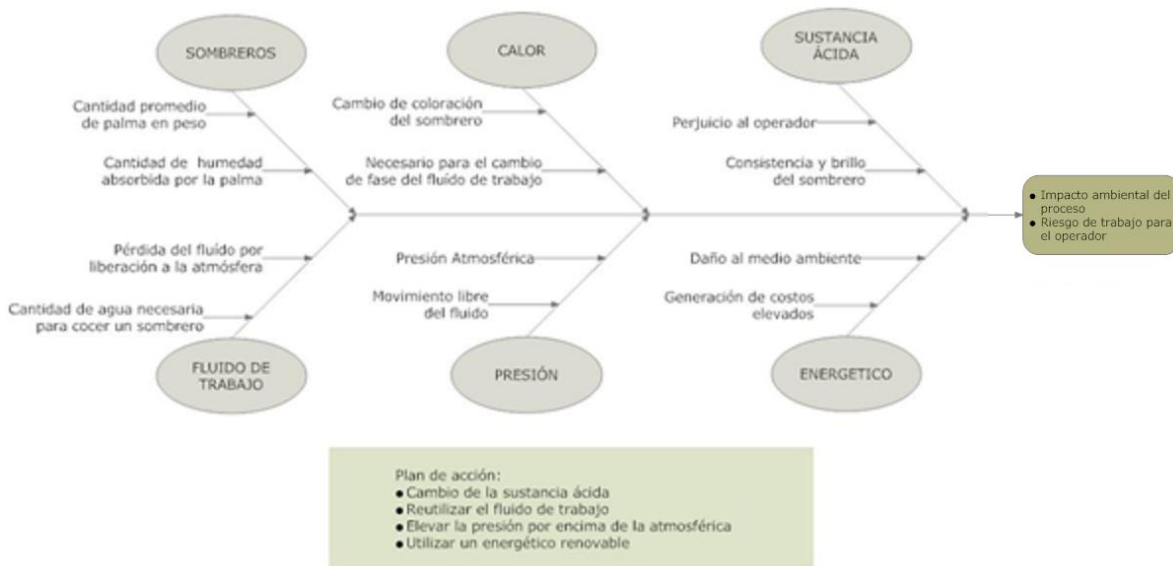


Figura 3.2: Diagrama Causa-Efecto para las variables involucradas en la cocción de sombreros de palma. Fuente: Propia

Se analizará la palma como tal para su caracterización de acuerdo a las necesidades del proyecto, por ello, se tendrán que desarrollar ciertas pruebas, las cuales se describen en la sección 3.1.3.3, las cuales serán base para el desarrollo del sistema, ya que en función de estas pruebas se calculará y configurará el dimensionamiento del sistema final, así como los requerimientos del equipo a usar con energía alternativa.

El desarrollo del sistema está dado por el seguimiento de las fases de la metodología Schoroeder (sección 3.1), las cuales serán tratadas a detalle en secciones posteriores a lo largo del desarrollo del proyecto

3.1.3.1 Registro del método actual

El cocido de sombreros de palma se lleva a cabo en un área que los contiene, la cual no es más que 4 pequeñas paredes de ladrillo (figura 3.3), en el interior, tiene empotrado un depósito de agua, el cual no es más que un tanque de acero, cortado por la mitad para lograr este fin (figura 3.4), por la parte debajo del depósito de agua, se encuentra el hogar del horno, el cual no es más que un espacio o cavidad para colocar la leña que producirá el calor necesario para lograr el cambio de fase del agua del depósito.



Figura 3.3: Horno para la cocción de sombreros



Figura 3.4: Depósito de agua dentro del horno

Fuente: Fotografías del tesista

Una vez que el sistema se carga con la cantidad de sombreros a cocer, se adiciona la leña y se enciende, para que se caliente el agua del depósito de agua, es importante mencionar que el horno en las paredes y en los alrededores del hogar, dado que está construido de ladrillo, y como se sabe que el ladrillo es un material cerámico, tiene la capacidad de retención de energía en forma de calor, formando un gradiente de temperatura considerablemente bueno, aun después de haber terminado el proceso de cocción, por lo cual se puede decir que la primera carga de sombreros del turno, es la que en general, consume más energía puesto que el productor comenta, que la primera carga “*deja caliente el horno para las siguientes*”, ocasionando que el tiempo de cocción se reduzca, para la segunda y tercera carga de sombreros, por ello, el tiempo de la primera carga cocida de sombrero oscila entre 3.0 y 3.5 horas, mientras que las segunda y tercera carga de sombreros, esta lista en alrededor de 2.0 y 2.5 horas.

Los sombreros son acomodados de tal forma que, como ya ha sido mencionado, el vapor de la sustancia ácida, mientras sube por su condición de fase (gaseosa), sea conducido por los huecos o lugares libres entre los sombreros, logrando así una inmersión uniforme de los sombreros en el vapor ácido. Este acomodo consiste en hacer grupos de tres sombreros, colocándolos boca abajo en el fondo del contenedor de sombreros por encima del depósito de agua, una vez que el área baja es cubierta con los sombreros, se coloca una nueva nivel de sombreros, pero con la diferencia de que ahora son puestos boca arriba, esto se repite sucesivamente (figura 3.5), hasta contar con la capacidad del horno completa para la carga de sombreros, llegando a meter a cocción un total de 4 gruesas (medida establecida por el productor), con 144 sombreros por gruesa o 576 sombreros en total para una carga a cocer.



Figura 3.5: Acomodo de los sombreros por niveles de posición encontrada

Fuente: Fotografía del tesista

Cabe señalar que para obtener el mayor rendimiento del vapor cuando pasa a través de las fibras del sombrero, el productor cubre con petates (figura 3.6), la parte más alta de la carga de sombreros, logrando un efecto de contención, por lo menos temporal del vapor, haciendo un tanto más, uniforme la distribución de vapor.



Figura 3.6: Horno de cocción con carga de sombreros cubierto con petates para retener el vapor



Figura 3.7: Prehumedecido de los sombreros para facilitar su cocción en el proceso

Fuente: Fotografías del tesista

Por otra parte en base a la experiencia del productor, el mismo ha determinado que es necesario humedecer el sombrero antes de someterlo al proceso (figura 3.7), con la finalidad de hacer inmediata la presencia del vapor de agua al momento de pasar el vapor generado en el deposito, al ceder calor al agua con la que se han humedecido a través de las fibras y el vapor que no puede pasar por las fibras sea generado por el calor cedido del vapor a la palma. Un dato importante de esto es que según comenta el productor, el sombrero no necesita ser humedecido cuando el ambiente esta húmedo, es decir, en tiempos de lluvia, el sombrero no necesita ser humedecido, por lo que este es un factor importante a considerar para las pruebas finales, en función de la condición de los días.

Se ha hablado de la sustancia ácida (secciones 2.3.6 y 2.3.7), y en este caso, en el horno se tiene acondicionado rústicamente un compartimiento en el cual se quema azufre

(figura 3.9), este compartimiento se conecta mediante una tubería de concreto que viaja desde el compartimiento para el azufre, hasta dentro del horno, a la zona en la que se contienen los sombreros (figura 3.10), estos vapores generados de la combustión del azufre son mezclados en el borde del depósito de agua con el vapor que se está generando al estar encendido el hogar, formando así un compuesto ácido en forma de vapor. Este compuesto ácido (H_2SO_4) se encuentra diluido, pero sin embargo es tan molesto para quien se encuentre cerca, que el operador, quien es el que mas tiempo está expuesto a este riesgo, e incluso el productor, se tiene que proteger con “*paliacates*” la nariz ya que el olor es irritante para la garganta (figura 3.8).



Figura 3.8: Protección del operador, dadas las molestias del vapor ácido



Figura 3.9: Compartimiento del horno para la quema del azufre

Fuente: Fotografías del tesista



Figura 3.10: Salida del vapor de azufre al borde del depósito de agua

Fuente: Fotografía del tesista

3.1.3.2 Recolección de datos preliminares

Los datos de entrada que se pueden definir con respecto al proceso son:

- La cantidad de agua usada para la cocción
- La cantidad de sombreros por carga
- La cantidad de azufre que se utiliza en el proceso
- El tiempo de cocción
- La cantidad de leña usada en el proceso

Dado lo anterior se inicia sabiendo que la cantidad de agua utilizada es extremadamente alta, puesto que para llenar el depósito de agua del horno, el productor utiliza cinco cubetas con una capacidad de 20 litros de agua, causa por la cual se cuenta con un estanque de agua, para abastecer el proceso (figura 3.11) . En la primer carga se llena el sistema con 100 litros de agua, de la cual para la segunda carga del turno se completa el depósito con 4 cubetas mas, es decir, con 80 litros y un poco más, para la tercer carga de sombreros a cocer se vuelven a adicionar 4 cubetas u 80 litros, por lo que en el proceso en sí se consume agua como se muestra a continuación:

$$\text{Cantidad de agua en el proceso} = [(5 + 4 + 4)\text{cubetas}](20\text{ L}) = 180\text{ L/Turno}$$



Figura 3.11: Estanque de suministro de agua para el proceso
Fuente: Fotografías del tesista

Por otra parte como consecuencia de la quema de leña, el productor, al término de cada carga cocida obtiene las brazas de la leña, por lo que, este se da a la tarea de detener la combustión haciendo uso de agua para lograrlo. Según datos expresados por el productor, por cada carga de sombreros, se obtiene cierta cantidad de brazas (figura 3.12), la cual para ser apagada por completo requiere de alrededor de 3 cubetas de agua o 60 litros de agua, y puesto que por día o por turno se realizan 3 cargas de sombrero para cocer, la cantidad de agua para apagar las brazas asciende a 180 litros de agua por turno.



Figura 3.12: Brazas generadas por el proceso y apagadas con excesiva cantidad de agua
Fuente: Fotografías del tesista

De lo anterior se puede decir que el uso del agua relacionado con el proceso directa e indirectamente asciende a 360 L/Turno o a 7200L mensuales. Esto con una cuota fija de \$320 anuales tiene un costo de \$0.04/L, sin embargo el impacto es mas ambiental que lo relacionado a costo.

La cantidad de sombreros esta expresada por una medida estándar usada por el productor, la cual se define como “gruesa”, la cual está constituida por un total de 144 sombreros (figura 3.13), dada esta medida el productor por cada carga a cocer, mete 4 gruesas o 576 sombreros, en tantos de 3 sombreros acomodados en niveles, un nivel se coloca boca arriba y el siguiente boca abajo, con la finalidad de que el vapor recorra uniformemente los sombreros a su paso. Dada esta situación la cantidad de sombreros producida es 576 por carga o de 1728 por día, por lo que la capacidad del sistema es de 34560 sombreros mensuales, estimando una producción diaria con un sistema de semana inglesa para su operación.



Figura 3.13: Gruesa de sombreros
Fuente: Fotografía del tesista

La cantidad de azufre utilizada para el proceso es en promedio de 200g en peso, este componente es incinerado en un compartimiento extra del horno, y este se lleva por un conducto interno hasta la cámara de evaporación, en la parte inferior de la carga de sombreros, y es ahí cuando se efectúa la mezcla del vapor de agua con el vapor de azufre (figura 3.10), dando paso a la generación de la sustancia ácida, la cual es en esencia, vapor de ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido, esta mezcla o sustancia ácida se hace pasar a través de la carga de sombreros, y puesto que se está hablando de un gas, este tiende a subir, logrando con el acomodo del sombrero un recorrido uniforme a través de la carga de sombreros.

El tiempo de cocción de las cargas de sombrero a lo largo de un turno, según el productor, para la primera carga es de 3.0 a 3.5 horas, mientras que el horno después de la primera carga de sombreros cocida guarda cierta cantidad de calor, ya que el ladrillo al ser un cerámico conserva el calor dadas sus propiedades térmicas, por ello, para las siguientes cargas, es decir, la segunda y la tercera, el tiempo oscila entre las 2.0 y 2.5 horas. Cabe señalar que la calidad de combustión para la leña es muy inferior con respecto a una combustión rica en oxígeno, por ello, la capacidad de calentamiento se ve reducida, además de que la cantidad de agua al ser, una masa lo suficientemente grande (100L) es necesario ocupar una gran cantidad de energía en forma de calor para aumentar la energía interna del agua y además llevar a cabo el cambio de fase.

Dada la situación anterior, con respecto a la cantidad de energía en forma de calor necesaria para el proceso, se puede traducir a cantidad de leños necesarios para que la cantidad de energía en forma de calor sea la necesaria (figura 3.14). En este punto, el energéti-

co tiene un papel importante, ya que representa un costo directo para el productor, pues la carga de 24 leños le genera un costo de \$70.00 MN, por lo que para cada carga de sombreros a cocer el productor usa en promedio 40 leños, por lo que, al día, produciendo 3 cargas de sombreros, implica el uso de 120 leños con un costo de \$210 pesos diarios, implicando un costo mensual de \$4200 mensuales en promedio de costo de leña.



Figura 3.14: Leña utilizada para el proceso
Fuente: Fotografía del tesista

Por lo antes mencionado se puede definir el costo de cocción de los sombreros unitariamente como sigue:

$$\begin{array}{l} \text{Costo Fijo Unitario por} \\ \text{Sombrero Cocido} \\ \text{(CFUSC)} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Costo Azufre} \\ + \\ \text{Costo Leña} \end{array} \right.$$

Dada la relación anterior el costo de a leña es de \$4200 mensuales, el del azufre es de \$96 mensuales, y puesto que la producción mensual de sombrero es de 34560 sombreros en promedio, considerando que se produce diariamente, en un lapso de 5 días hábiles el CFUSC se calcula como sigue:

$$CFUSC = \frac{4200 + 96}{34560} = \frac{4296}{34560} = 0.12 \text{ \$/sombrero}$$

3.1.3.3 Realización de pruebas a pequeña escala

Por los motivos expuestos anteriormente se ha considerado implementar el sistema descrito en la sección 3.1.1, por ello, se realizarán pruebas a las muestras de sombreros, con el fin de tomar como referencia estos resultados preliminares para determinar los parámetros del sistema en general. A continuación se muestran los resultados de las pruebas realizadas para verificar que la palma es capaz de adquirir las mismas propiedades requeridas sin necesidad de producir ácido sulfúrico SO₄ diluido, al mezclar el vapor de azufre con el vapor de agua, por otra parte se hará variar los parámetros de cocción, tales como el tiempo

y el pH con la finalidad de tener una variedad de resultados para comparar con los parámetros finales requeridos por el cliente.

A continuación se muestran los insumos del proceso (figura 3.15 y 3.16), cabe señalar que estos insumos son los protagonistas del proceso de cocción, sin embargo, la muestra objetivo es la que se muestra en la figura 3.17, la cual, es un sombrero, cocido mediante el método actual del productor, por lo que el objetivo de estas pruebas es alcanzar las mismas características del sombrero, cocándolo mediante una proceso alterno.



Figura 3.15: Azufre utilizado por los productores



Figura 3.16: Muestra de palma verde

Fuente: Fotografías del tesista



Figura 3.17: Muestra objetivo, sombrero cocido mediante el método actual del productor. Fuente: Fotografías del tesista

En esta primera fase se realizaron dos pruebas de cocción, con 700 ml de agua, una durante aproximadamente 20 minutos en exposición al vapor y otra durante 30 minutos. Ambas fueron hechas en presencia de azufre agregado directamente al agua, cabe señalar que, esta prueba es solo una réplica a pequeña escala del proceso actual, sin embargo, se puede notar que el resultado obtenido no es el esperado, puesto que el sombrero, ha alcanzado una coloración oscura, la cual no es la requerida por el productor, así como también la consistencia en cuanto a textura y elasticidad del mismo, el resultado es inaceptable, sin embargo, estas pruebas se han realizado, solo para entender físicamente el comportamiento del fenómeno de cocción (figura 3.18 y 3.19).



Figura 3.18: Muestra 1 de sombrero cocido con azufre sometida al proceso 20 minutos



Figura 3.19: Muestra 2 de sombrero cocido con azufre sometida al proceso 30 minutos

Fuente: Fotografías del tesista

Ahora se realizaron nuevamente otras dos pruebas con solo agua, pero ahora se utiliza $\frac{1}{2}$ litro de agua durante 35 minutos para ambos sombreros (figura 3.20). Es importante decir que estas pruebas son solo para averiguar el efecto del calor, y tiempo de cocción, y por consecuencia el efecto del pH del fluido de trabajo.



Figura 3.20: Muestra 1 de sombrero cocido solo con agua por 35 minutos

Fuente: Fotografías del tesista

Ambos sombreros terminaron siendo flexibles y con un mejor brillo pero no soportaron la intensidad de la temperatura y comenzaban a teñirse de color café (figura 3.20). Puesto que los resultados fueron un tanto parecidos a los requerimientos por el productor, se han hecho otras pruebas de cocción solo con agua, con la finalidad de determinar si el pH bajo o tendiente a ácido, es o no necesario.

En seguida se muestra el resultado de las pruebas realizadas durante 15 minutos con $\frac{1}{2}$ litro de agua, es importante resaltar los resultados obtenidos, puesto que en esta ocasión el color y brillantez han sido alcanzados, sin embargo la consistencia elástica de la palma, la estabilidad del tejido se han visto perjudicadas, ya que las hebras del tejido del sombrero “se aflojaron”, es decir, que la palma adquirió una consistencia “quebradiza” (Figura 3.21).



Figura 3.21: Muestras sometidas al proceso durante 15 minutos solo con agua
Fuente: Fotografías del tesista

En las siguientes pruebas, se realizaron sometiendo las muestras a 25 minutos para permitirle a la palma absorber un poco más de vapor y conseguir mayor flexibilidad, lo cual se logró, sin embargo, el color se oscureció levemente, pero el brillo de la palma aun se mantiene, por lo que no se cumple con los parámetros requeridos (Figura 3.22).

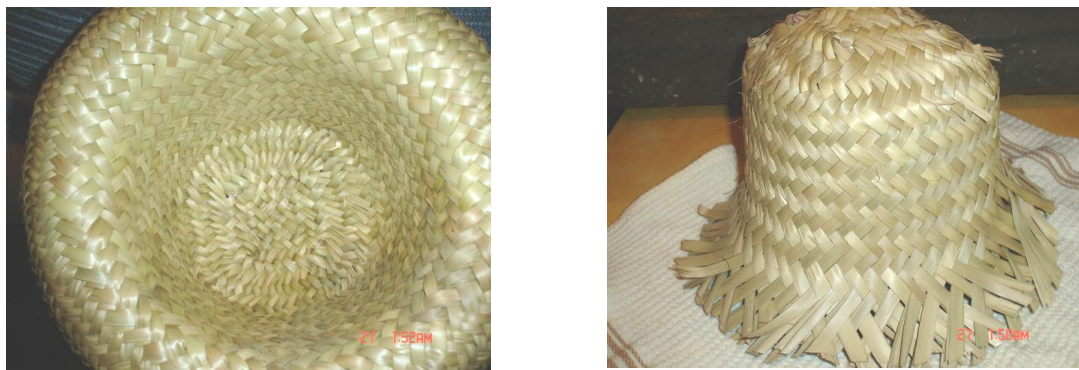


Figura 3.22: Pruebas realizadas durante 25 minutos del proceso (solo con agua)
Fuente: Fotografías del tesista

Puesto que en las pruebas anteriores, se hizo variar el tiempo y se probó con un pH cercano a 7, las siguientes pruebas se realizarán disminuyendo el pH, con la finalidad de obtener la consistencia necesaria de la palma en los tejidos, por lo que las siguientes fotografías son de pruebas realizadas con un pH menor a 7, pero sin llegar al cercano a 1, el cual es generado con el azufre, para ello, se hará variar la concentración de una solución ácida constituida por ácido acético en forma de vinagre y agua, en este caso se harán pruebas de cocción con diferentes tipos de concentración del vinagre en agua. Dados los resultados anteriores, la investigación tiende a alinearse hacia el aspecto de pensar que es necesario el parámetro de pH en un rango bajo, el cual, tal vez determine la consistencia final de las fibras de palma.

A continuación se muestra el resultado de la primer prueba hecha con la solución ácida, la cual contó con una relación de 200ml de agua con 20ml de vinagre, es decir una concentración 0.09M de vinagre en agua, durante un tiempo de 10 minutos (figura 3.23), de lo cual se puede concluir que, la flexibilidad es buena, con brillo intenso y un color amarillento bueno si lo comparamos con la figura 1.3, la cual es la muestra del sombrero cocido normalmente con azufre, por el productor mediante el método rústico.

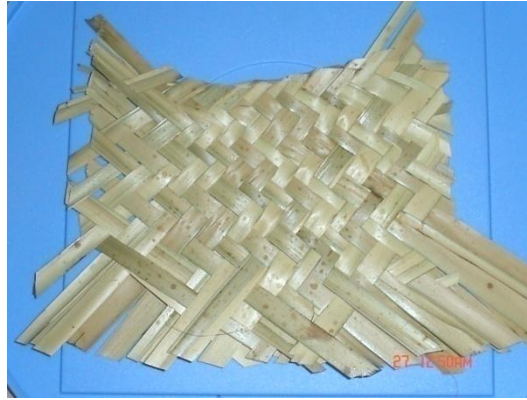


Figura 3.23: Muestra sometida a una concentración 0.09M de vinagre en agua, durante 10 minutos
Fuente: Fotografías del tesista

La siguiente prueba, se ha realizado haciendo una relación de 200ml de agua con 40 ml de vinagre, es decir, una concentración de 0.17M de vinagre en agua, durante 15 minutos de cocción, es evidente, según las imágenes, que se obtiene casi el mismo resultado de la prueba anterior (concentración 0.09M) excepto por que el color se torna muy aproximado al deseado, el brillo notoriamente es intenso; y la consistencia de las fibras es muy buena, por lo cual esta prueba ha resultado en buenas características aceptables para el producto final, por ello, esta prueba representa el mejor de los resultados hasta el momento (figura 3.24).

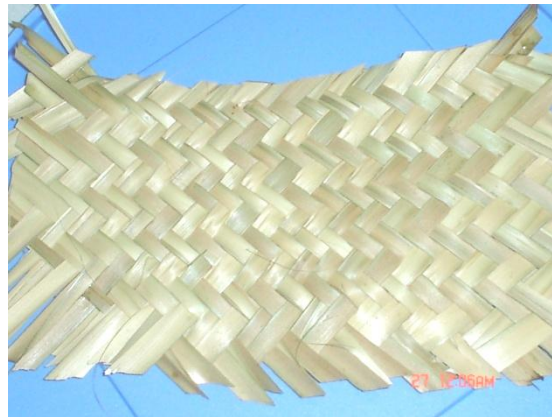


Figura 3.24: Muestra sometida a una concentración 0.17M de vinagre en agua, durante 15 minutos
Fuente: Fotografías del tesista

Dados los resultados anteriores, la siguiente prueba (figura 3.25) consiste en una relación de 200ml de agua con 60 ml de vinagre, es decir, una concentración 0.23M, durante 15 minutos, el resultado es bueno pero a diferencia de lo anterior toma un color más oscuro en relación a la muestra objetivo.



Figura 3.25: Muestra sometida a una concentración 0.23M de vinagre en agua, durante 15 minutos
Fuente: Fotografías del tesista

Una vez que se ha visto el efecto de elevar el pH, la siguiente prueba se realizó con una relación de 200ml de agua con 80 ml de vinagre, es decir una concentración 0.28M durante 25 minutos, esta prueba tardó más que las demás para poder cocer adecuadamente el sombrero, pero también lo opaco y lo hizo quebradizo (figura 3.26).



Figura 3.26: Muestra sometida a una concentración 0.28M de vinagre en agua, durante 25 minutos
Fuente: Fotografías del tesista

De este modo se concluye que la mejor opción es reemplazar el azufre por vinagre en una proporción de Agua-20% vinagre, o una concentración 0.17M, ya que es en esta etapa en la que se visualizaron al máximo las características requeridas al final del proceso de cocción: brillo, color amarillo, y flexibilidad, sin tendencia quebradiza la palma, proporcionándole al sombrero un manejo mucho más adecuado. Esta sección se enfoca prácticamente, a brindar información sobre las causas y consecuencias del uso de una sustancia ácida, con pH muy bajo, así como, también para conocer físicamente el proceso. Posteriormente se presentará una descripción detallada del sistema mecánico, propuesto para llevar a cabo este proceso, haciendo uso de un energético alternativo, como lo es el sol.

En la siguiente tabla se muestra el concentrado de resultados de estas pruebas realizadas a la palma:

Tabla 3.1: Concentrado de resultados obtenidos en las pruebas preliminares. Fuente: Propia

| Pruebas | Vinagre | Agua | Molaridad | Consistencia final de la palma | Tiempo |
|----------|---------|--------|-----------|--|--------|
| Prueba 1 | - | 700 ml | - | Color oscuro | 20 min |
| Prueba 2 | - | 700 ml | - | Color oscuro | 30 min |
| Prueba 3 | - | 500 ml | - | Color oscuro | 35 min |
| Prueba 3 | - | 500 ml | - | Color opaco y sin brillantez mala consistencia de la palma | 15 min |
| Prueba 4 | - | 500 ml | - | Color opaco poca brillantez | 25 min |
| Prueba 5 | 20 ml | 200 ml | 0.09M | Buena coloración pero un poco tendiente a color oscuro | 10 min |
| Prueba 6 | 40 ml | 200 ml | 0.17M | Buena coloración y elasticidad de la palma | 15 min |
| Prueba 7 | 60 ml | 200 ml | 0.23M | Buena pero un poco tendiente a color oscuro | 15 min |
| Prueba 8 | 80 ml | 200 ml | 0.28M | Color oscuro y palma quebradiza | 25 min |

3.1.4 Selección del producto

Una vez que el sistema ha sido descrito en secciones anteriores, se procede a definir el proyecto en cuanto al desarrollo de ingeniería correspondiente a los requerimientos del cliente (sección 3.1.2).

El proyecto, como ya se ha visto es tendiente a la innovación tecnológica como consecuencia de la reingeniería del proceso actual de cocción de sombreros de palma, por ello, para cumplir con el objetivo principal (sección 1.2), y puesto que se sabe que las necesidades para la cocción de los sombreros requiere de los siguientes factores:

1. Sustancia ácida
2. Cantidad de calor y vapor de agua
3. Sistema seguro que evite la liberación de gases a la atmósfera.
4. Energético sustentable

Es necesario proponer las soluciones preliminares en función de lo requerido, lo cual será analizado a detalle en secciones posteriores.

Para el tratamiento de la sustancia ácida, se propone disminuir el pH de la misma, o tratar de eliminarla, con lo cual se busca un impacto directo en el riesgo de trabajo presente en el área laboral, como efecto de la misma. Para este caso es utilizar, en dado caso que así se requiera, una solución ácida constituida por alguna sustancia que esté al alcance del usuario y cumpla con los objetivos.

Para tratar el aspecto relacionado con la cantidad de calor y el vapor de agua, se considerará una relación muy estrecha entre, el equipo de suministro energético, y el equipo que no permitirá la liberación de gases, es decir, se requiere el diseño de un sistema cerrado con un enfoque industrial, capaz de realizar el proceso de cocción en condiciones aisladas del entorno, por otra parte se deberá acoplar con un sistema de suministro energético para la generación de vapor de agua. Cabe señalar que la cantidad necesaria de vapor estará deter-

minada por las pruebas preliminares a las muestras de palma (sección 3.1.3.3), por consiguiente la cantidad de calor se dará en función de las propiedades del agua, y en base a eso se hará el requerimiento de la capacidad del sistema de suministro energético. (sección 3.1.5.3).

Con respecto al diseño del sistema que evite la liberación de gases, se necesitará inminentemente hacer un diseño mecánico del sistema, puesto que el sistema necesita hermeticidad para lograr el objetivo, además que para lograr una aceleración en el proceso de cocción se deberá someter a presión la carga de sombreros, la cual estará inmersa en un baño de la sustancia ácida en forma de vapor, este sistema al ser un recipiente sometido a presión, e interactuar con la energía en forma de calor al momento de interactuar con el vapor, se deberá conservar por el mayor tiempo posible la energía del sistema, por lo que se necesitará aislar térmicamente el sistema, para eficientar el uso de la energía.

Por último, según lo expuesto en la sección 2.2.3, la región en la que se desarrolla el proyecto se ve beneficiada en gran parte por la radiación solar, por ello el uso de esta fuente energética es una alternativa factible para su inclusión en el proyecto, sin embargo, puesto que el proyecto de tesis tiene por objetivo solo configurar un sistema, seguro y sustentable, enfocado a la disminución del impacto ambiental como efecto de la liberación de gases directamente relacionados con la sustancia ácida, solo se profundizará en el diseño del recipiente a presión en función de los requerimientos de la palma de sombrero, por otra parte, el pH de la solución ácida, se modificará, solo con el fin de obtener resultados satisfactorios para el usuario del sistema, con respecto a la cocción, sin embargo la caracterización de la sustancia ácida, para con el sistema, es otro tema de investigación, así como también la parte del diseño del equipo solar, por ello, solo se hará el requerimiento del equipo solar a un proveedor del estado, dedicado a este ramo, esta requisición constará de lo necesario en cuanto a la potencia, eficiencia y capacidad de generación de vapor del equipo.

Dado lo anterior se puede definir que el sistema general para realizar la cocción de sombreros de palma a base de un energético renovable, estará constituido por dos equipos con cierta función específica cada uno, el primero es un sistema para contener los sombreros, en el cual se efectuará la cocción de los mismos, además de que los gases de cocción elevarán la presión, favoreciendo el tiempo de cocción y la no liberación de gases a la atmósfera. Dicho sistema estará acoplado al segundo equipo, el cual suministrará el vapor necesario para efectuar la cocción de sombreros, cabe señalar que este segundo equipo, funcionará a base del energético renovable propuesto, es decir, el equipo solar, el cual se requerirá al fabricante de acuerdo a las necesidades.

Por otra parte, es importante resaltar que la sustancia ácida, se cargará en el equipo de generación de vapor, ya que se requiere que el vapor tenga un pH menor al actual en el sistema con azufre, por lo que entonces se buscará la mejor solución acuosa para este fin, esperando cumplir con las exigencias del productor de sombreros.

3.1.5 Diseño preliminar del producto

El sistema que se propone entonces estará constituido por un equipo en el que se efectuará físicamente la cocción involucrando a los sombreros de palma con el vapor de la sustancia ácida propuesta, teniendo en cuenta que estará aislado del entorno, por ello, el

vapor de agua será utilizado para la cocción, se condensará internamente durante el proceso y será reutilizado puesto que aún conserva un pH bajo o ácido, capaz de ser reutilizado para corridas posteriores. Por otra parte se acoplará al equipo anterior, otro equipo, el cual es responsable de generar el vapor necesario para el proceso, este sistema se configurará para funcionar a base de energía solar como energético, para ello, se hará la requisición del equipo a un proveedor de este tipo de tecnología, que opera en el estado de Oaxaca, según sea lo requerido con respecto a potencia y eficiencia.

De lo anterior se puede definir el sistema en general, como dos equipos, los cuales estarán acoplados de la manera en que se muestra en la figura 3.27.

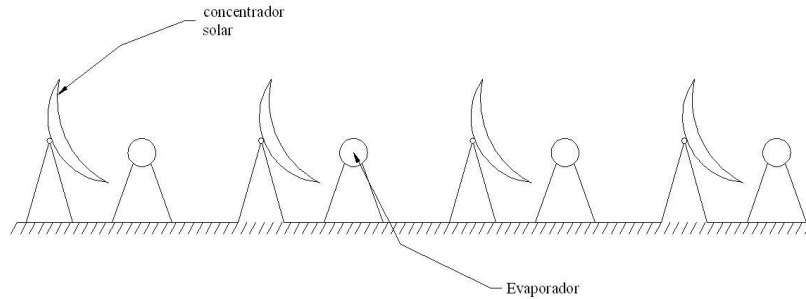


Figura 3.27: Esquema de configuración inicial del sistema
Fuente: propia

3.1.5.1 Dimensionamiento volumétrico y capacidad del equipo de cocción

La capacidad volumétrica y de contención del sistema de cocción se determina a partir del siguiente desarrollo, que involucra el volumen del sistema actual como referencia, el cual tiene cierto volumen, por lo que se midió y se le calculó el volumen, dada su geometría (figura 3.2.1), el cálculo se reduce a la multiplicación del largo, por el ancho y por la altura (volumen de un prisma):

$$\text{Volumen del horno} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

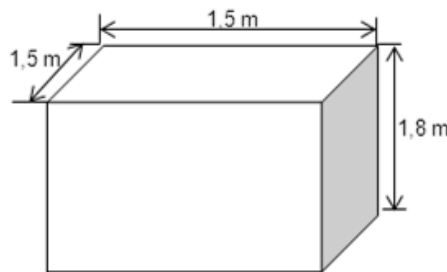


Figura 3.28: Esquema de la geometría del horno de cocción de sombreros.
Fuente: propia

De lo anterior se sabe que el volumen del horno es de 4.05m^3 , y puesto que el horno propuesto es un recipiente sometido a una presión mayor a la atmosférica, entonces deberá tener una geometría curva, por lo que, el diseño de la misma se basa en un cilindro de acero, diseñado según los parámetros que se definirán mas adelante. Puesto que el volumen del

horno actual es de 4.05m³ entonces el parámetro a determinar será el diámetro del horno conforme la ecuación 1:

$$D = 2 \sqrt{\frac{V}{h\pi}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$$V = 4.05\text{m}^3$$

$$h = 1.8 \text{ m}$$

Es importante resaltar que la altura h es de 1.80m ya que se conservará la altura del sistema actual, por otra parte, con esos valores para V y h el diámetro resulta de 1.70m (figura 3.2.3), sin embargo se sabe que el horno tendrá un aislamiento térmico, por lo que esto aumentará el diámetro, haciendo un poco mayor el requerimiento de espacio en el área de instalación de la misma, por lo que el horno con el recubrimiento necesita un área de 1.82x1.82m o de 3.31 m² ya que son 2 pulgadas de espesor del aislante (Figura 3.2.4)

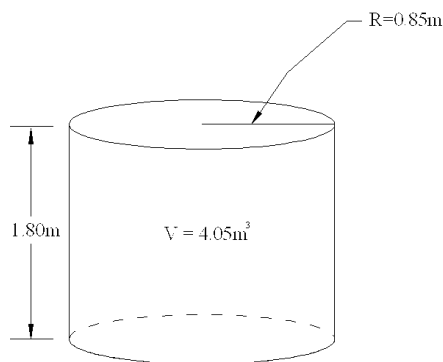


Figura 3.29: Esquema de la geometría básica del horno propuesto

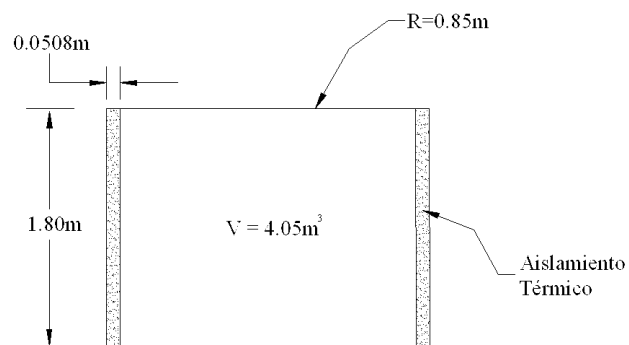


Figura 3.30: Esquema del recubrimiento con aislante térmico

Fuente: propia

Es importante señalar que la capacidad de contención de sombreros tiene que ver directamente con el acomodo de los mismos, ya que como se ha mencionado en secciones anteriores

3.1.5.2 Determinación de variables de trabajo (Presión, temperatura, calor y acidez)

Las variables de trabajo se determinarán de acuerdo a las condiciones actuales del entorno en que se desenvolverá el proyecto y las requeridas según el diseño mecánico del mismo, es decir, dependiendo de la presión barométrica para Huajuapán de León la cual es de 800mbar, la temperatura del agua mínima requerida para el diseño de 16 °C, el volumen de la cámara de cocción que es de 4.05m³.

De lo anterior se puede definir la siguiente tabla como el concentrado de los parámetros de funcionamiento

Tabla 3.2: Parámetros de funcionamiento del sistema. Fuente: Propia

| Parámetro de funcionamiento | Abreviación | Valor |
|--|-------------|---|
| Presión barométrica en Huajuapán de León | P_B | 800mbar = 0.816 kg/cm ² |
| Temperatura del agua mínima para el diseño del sistema | T_{min} | 16 °C |
| Presión de trabajo | P_W | 245.15 kPa = 2.5 0.816 kg/cm ² |
| Temperatura de saturación según presión de trabajo | T_{sat} | 126.78 °C |
| Volumen de la cámara de cocción | V_C | 4.05 m ³ |

Con respecto a la masa de vapor necesaria para llenar el horno se toma en consideración lo siguiente:

1. El vapor se considera como un gas ideal
2. El recipiente u horno estará herméticamente sellado.
3. El volumen permanece constante dentro del recipiente

Por lo anterior se puede utilizar la ecuación de los gases ideales (ecuación 3.2):

$$PV = mRT \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

- P = Presión dentro del recipiente [kPa]
- V = Volumen del sistema [m³]
- m = Masa del fluido [kg]
- R = Constante del vapor de agua [kJ/kgK]
- T = Temperatura del fluido

Ajustando lo anterior al cálculo del sistema propuesto la ecuación 3.2 queda como sigue:

$$P_W V_C = mRT_{sat} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

De la ecuación 3.3 se necesita obtener la masa del vapor, y se sabe que R tiene un valor de 0.4615kJ/kgK por lo que se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$m = \frac{P_W V_C}{RT_{sat}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Sustituyendo valores:

$$m = \frac{245.15 \times 4.05}{0.4615 \times (126.78 + 273.15)} \text{ kg}$$

$$m = \frac{992.86}{184.57} \text{ kg}$$

$$m = 5.38 \text{ kg}$$

Se necesita generar 5.38 kg de vapor para llevar al horno a la presión de trabajo (2.5kg/cm^2). Establecido este factor de cantidad de vapor ahora mediante un análisis de la entalpia del agua se definirá la cantidad de calor necesaria para generar esta cantidad de vapor, por ello, según el diagrama P-V (figura 3.31). Es importante mencionar que el análisis se realizará considerando que el sistema es operado solo con agua, es decir, la acidez de la solución es despreciable, ya que el contenido de agua será mayor que el 80% (sección 3.1.3), por ello se inicia en base a las propiedades termodinámicas del agua, (Anexo A, Tabla de propiedades del agua), la relación de valores está dada por los parámetros P_B , T_{\min} , P_W y T_{sat} (Tabla 3.2).

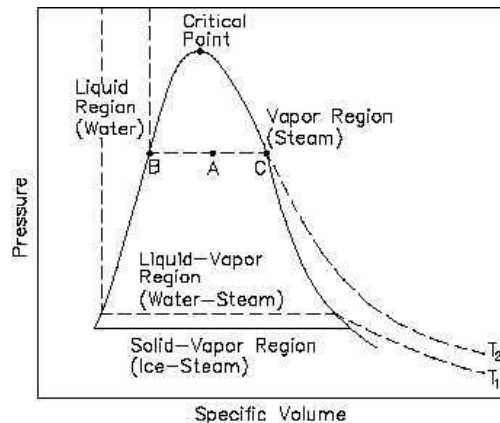


Figura 3.31: Diagrama P-V del agua

Nótese que en este diagrama se definen puntos en la gráfica con respecto al volumen específico y la presión, según la temperatura de 16°C el valor que le corresponde para el volumen específico en líquido comprimido es de $1.0012 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ mientras que para una temperatura de 126°C el volumen específico para líquido saturado es de $1.066 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ y en vapor saturado es de $0.75018 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Anexo A, Tabla de propiedades del agua)

Tabla 3.3: Entalpia para el proceso en valores extremos. Fuente : Propia

| Condición | Presión [kPa] | Temperatura [$^\circ\text{C}$] | Entalpia h [kJ/kg] |
|--------------------|---------------|----------------------------------|--------------------|
| Vapor saturado | 245.15 | 126 | 2715.5 |
| Líquido saturado | 245.15 | 126 | 532.6 |
| Líquido comprimido | 82.2 | 16 | 67.2 |

Una vez que se tienen los parámetros de entalpia del sistema en los valores extremos del proceso, se procede a calcular el calor requerido para dicho proceso, es decir, lo necesario para llevar el agua de una temperatura mínima de 16°C a una de 126°C como vapor saturado:

$$Q_{\text{Agua}} = h_{v\text{sat}} - (h_{L\text{sat}} - h_{L\text{comp}})$$

Donde:

$$\begin{aligned} h_{v\text{sat}} &= 2715.5 \text{ [kJ/kg]} \\ h_{L\text{sat}} &= 532.6 \text{ [kJ/kg]} \\ h_{L\text{comp}} &= 67.2 \text{ [kJ/kg]} \end{aligned}$$

Por lo que:

$$Q_{\text{Agua}} = 2715.5 - (532.6 - 67.2) = 2250.1 \text{ kJ/kg}$$

Una vez conocido el calor necesario para el agua se procede a calcular, el calor o energía perdidos durante el proceso, es decir, hay que estimar la transferencia de calor al recipiente que contendrá el vapor, además de calcular el calor absorbido por el sombrero para alcanzar una temperatura al interior del horno de aproximadamente 90°C para tener el mínimo de condensado.

Dado lo anterior se deberá considera la constante Cp del acero la cual tiene un valor de 0.46 kJ/kgK y puesto que se tiene que hacer un balance de energía el calor absorbido por el acero queda como sigue:

$$Q_{Ac} = Q_{vap} = \left[m_{Ac} \times Cp_{Ac} \times (T_f - T_i)_{Ac} \right] = m_{vap} \times (h_f - h_i)_{vap} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

Q_{Ac} = Calor absorbido por el acero [kJ/kg]

m_{Ac} = Masa del acero [kg]

Cp_{Ac} = Constante del acero [kJ/kgK]

T_f, T_i = Temperaturas final e inicial de analisis del acero [°C]

De lo anterior se necesita saber el material necesario para la construcción del horno (sección 3.1.8.1), por lo que, puesto que se requiere una masa de 211.8 kg de acero entonces $m_{Ac} = 211.8$ kg y dado que el análisis se hará de una temperatura inicial de 18°C hasta 95°C, entonces T_f y T_i tienen un valor de 95°C y 18°C respectivamente entonces de la ecuación 3.3:

$$Q_{Ac} = [211.8 \times 0.46 \times (95 - 18)_{Ac}] = 7501.9 \text{ kJ/kg}$$

Ahora para determinar la cantidad de vapor necesario para calentar la lámina se define la siguiente ecuación derivada de la ecuación 3.3:

$$m_{vap} = \frac{Q_{Ac}}{(h_f - h_i)_{vap}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Por lo tanto se necesita el cálculo de las entalpías en T_f y T_i por lo que en la tabla 3.3 se muestran los valores según tablas (Anexo A- tabla de propiedades del agua)

Tabla 3.4: Entalpía inicial y final del calentamiento de la lámina. Fuente: Propia.

| Condición | Presión [kPa] | Temperatura [°C] | Entalpia h [kJ/kg] |
|-------------------|---------------|------------------|--------------------|
| Vapor saturado hi | 245.15 | 126 | 2715.5 |
| Vapor saturado hf | 101.32 | 100 | 419.1 |

De la ecuación 3.4:

$$m_{vap} = \frac{7501.9}{2715.5 - 419.1} = 3.27 \text{ kg}$$

Se obtiene que se necesitan 3.27 kg de vapor para calentar la lámina.

La absorción de calor por el sombrero se estima mediante una prueba hecha al sombrero, en la cual se ha medido el peso antes y después de la prueba de cocción, para saber la cantidad de humedad absorbida por el mismo, los resultados fueron que cada 5 sombreros o 1.1kg de palma absorben 200g de vapor, por ello para una carga de 576 sombreros o 126.72kg de palma se necesitan 23 kg de vapor.

De los resultados anteriores las pérdidas tanto por la cocción, como por el calentamiento de la lámina, se estima que en la tubería de alimentación de vapor se tendrá una pérdida del 25% con respecto a las pérdidas de lo antes mencionado, por lo cual la tubería generaría una pérdida de 6.75kg de vapor.

Dada la situación se define como sigue la cantidad de vapor necesaria para realizar el proceso de cocción estimando pérdidas (Tabla 3.5).

Tabla 3.5: Cantidad de vapor necesaria para el proceso de cocción. Fuente: Propia

| Cantidad de vapor a utilizar | |
|---|--------|
| Vapor absorbida por la carga de sombreros | 23kg |
| Vapor en tuberías | 7kg |
| Vapor para calentar la lámina | 4kg |
| Factor de seguridad | 15% |
| Total de vapor necesario | 39.1kg |

Una vez obtenida la cantidad de vapor necesario, entonces se definirá la cantidad de calor necesario para evaporar lo requerido:

$$Q_{Proceso} = Q_{Agua} \times \text{Cantidad de agua en forma de vapor} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

De la ecuación 3.5:

$$Q_{Proceso} = 2250.1 \times 39.1 = 87978.91 \text{ kJ}$$

Con respecto a los evaporadores del sistema, puesto que el proceso preliminar consta de tres descargas de vapor (sección 3.1.5.4) entonces los evaporadores se diseñan de acuerdo a los siguientes requerimientos:

Tabla 3.6: Parámetros de funcionamiento de los evaporadores. Fuente: propia

| Parámetros de funcionamiento evaporadores | |
|--|---------------------------|
| Presión | 0,25MPa |
| Tsat | 127,4 °C |
| V. esp. del vapor | 0,7184 m ³ /kg |
| V. tot. del recipiente (todos los evaporadores) | 5,7472 m ³ /kg |
| V. liq. a presión atm | 8 L |
| Domo de vapor | 12 L |

De lo anterior se puede conocer la cantidad de vapor que puede haber en el espacio a presión diseñado (domo de vapor):

$$Cantidad\ de\ vapor\ a\ presión = \frac{Capacidad\ del\ domo\ de\ vapor}{Volumen\ específico\ del\ vapor} \quad Ecuación\ 3.6$$

De la ecuación 3.6:

$$Cantidad\ de\ vapor\ a\ presión = \frac{12/1000}{0.7184} = 0.0167\ kg$$

Ahora se define la entalpía a presión y temperatura de trabajo de los evaporadores

Tabla 3.7: Entalpía para evaporadores. Fuente: Propia

| Entalpía | |
|---------------------------------|--------------|
| 0,245 MPa y Tsat=126,7°C | |
| h _{liq sat} | 532,51 kJ/kg |
| h _{vap sat} | 2715,5 kJ/kg |

Por lo tanto de la ecuación 3.3 y sabiendo que la entalpía en función de la temperatura es de acuerdo a la tabla 3.7:

$$Q_{vap} = m_{vap} \times (h_f - h_i)_{vap} \quad Ecuación\ 3.7$$

Ahora se procede a hacer el cálculo del calor sensible y calor latente del sistema de evaporadores, con lo cual se toma en cuenta la entalpía de líquido subenfriado a presión atmosférica, la cual es h=67.95 (Anexo A, Tabla de propiedades del agua).

De la ecuación 3.7:

$$Q_{Sensible} = m_{vap} \times (h_{Lsat} - h_{Lsub})_{vap} = 8 \times (532.51 - 67.95) = 3716.48\ kJ$$

$$Q_{Latente} = m_{vap} \times (h_{Vsat} - h_{Lsat})_{vap} = 8 \times (2715.5 - 532.5) = 17464\ kJ$$

Por lo tanto:

$$Q_{Total} = Q_{Latente} + Q_{Sensible} \quad Ecuación\ 3.8$$

De la ecuación 3.8:

$$Q_{Total} = 17464 + 3716.48 = 21180.48\ kJ$$

Del resultado de la ecuación 3.8, se necesita relacionar con el tiempo para saber el tiempo de ciclo de producción de las descargas de vapor (sección 3.1.5.4). Por ello la relación entre calor y tiempo se da como sigue:

$$Q_{Tiempo} = \frac{Q_{Total}}{t} \quad Ecuación\ 3.9$$

Para realizar el cálculo se necesita definir el parámetro potencia del equipo, para determinar el tiempo en el que se logrará la descarga (sección 3.1.5.3, tabla3.6), por lo que la ecuación 3.9 queda como sigue:

$$t = \frac{Q_{Total}}{Potencia\ equipo} \quad Ecuación\ 3.10$$

Por lo que despejando el tiempo t de la potencia del equipo:

$$t = \frac{21180.48}{4} = 5295.12\ segundos$$

$$t = 88.25\ min = 1.4708hr = 1hr\ 28.3min$$

Dados los cálculos anteriores, entonces el sistema de evaporación se define como sigue (tabla 3.8):

Tabla 3.8: Parámetros de evaporadores

| Parámetros de evaporadores | |
|----------------------------|------------------------|
| V de agua | 0,018 m ³ |
| Largo | 0,08 m |
| Diámetro | 0,35 m |
| Perímetro | 1,09956 m |
| Volumen total | 0,00769 m ³ |

Con respecto a la acidez del sistema, está solo es función de la cantidad total de la solución y se puede definir como sigue

$$Concentración\ de\ vinagre = 0.17\ (Cantidad\ total\ de\ solución)$$

$$pH = -\log(Ka * [H^+]) \quad Ecuación\ 3.11$$

Donde:

pH = potencial de hidrógeno

Ka = Constante de ionización ácida

H⁺ = Concentración de iones hidrógeno

De lo anterior y dado que se utilizará vinagre al 5% de ácido acético entonces $Ka=1.8 \times 10^{-5}$ (19) por lo que, de la ecuación 3.11 se tiene:

$$pH = -\log[(1.8 \times 10^{-5})(0.17)]$$

$$pH = 5.52$$

Dado este pH=5.52, se puede decir que se ha tenido una mejora del 22% con respecto al pH de la sustancia inicial.

3.1.5.3 Determinación de los requerimientos en el concentrador solar

Una vez conocido el calor necesario para el proceso el cual es de 87978.91kJ u 87.978 MJ, y sabiendo que en los equipos solares de concentración existen pérdidas de acuerdo al viaje de la energía a través del espacio cercana al 37%, entonces el calor de la pérdida es de 32.55MJ por lo tanto el requerimiento total de calor para el sistema será de 120.53MJ. Por consiguiente el concentrador debe ser lo suficientemente potente como para generar esa cantidad de calor, por ello, al fabricante se le ha requerido el modelo de concentrador elíptico (figura 3.32), el cual tiene la capacidad de concentrar la energía solar, en un punto fuera del equipo.



Figura 3.32: Concentrador elíptico de alta potencia
Fuente: propia

Por lo anterior, según datos técnicos del fabricante, este concentrador tiene las siguientes características:

Tabla 3.9: Datos técnicos del concentrador elíptico. Fuente: Propia

| Parámetro de concentrador | Valor |
|---|---------------------------|
| Área requerida para instalación | 9 m ² |
| Área reflejante por equipo | 2.6 m ² |
| Q _{concentrador} /día/m ² | 7.2 MJ/día/m ² |
| Q _{concentrador} /día | 18.8MJ |
| Potencia del sistema | 4kW |

Una vez que se sabe que parámetros ofrece el fabricante, entonces se procede a hacer el cálculo del número de equipos que se necesitan, por ello, el número de equipos se define como sigue:

$$\text{Numero de concentradores} = \frac{\text{Energía total necesaria}}{\text{Energía entregada por equipo}} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Entonces, de la ecuación 3.6 se tiene lo siguiente:

$$\text{Numerode concentradores} = \frac{120.53}{18.8} = 6.41$$

Por lo anterior se sabe que se requiere de 7 concentradores elípticos de alta potencia además de requerir un área de 63m^2 para su instalación, esta área requerida por el fabricante de los concentradores se debe más que nada a la generación de sombras entre concentradores cuando se acoplan en un sistema lineal.

3.1.5.4 Diseño preliminar del proceso

El proceso de cocción de sombreros de palma, puesto que será llevado a cabo de forma tal que la generación de calor depende de la luz solar, se pretende hacer llegar el vapor generado por el equipo solar mediante descargas de vapor, con la finalidad de lograr un acabado del proceso después de 3 descargas de vapor, estas descargas se harán a cierta presión de trabajo, lo suficientemente grande, como para precalentar y calentar la tubería, y llenar el horno con el vapor requerido.

El proceso se describe como sigue:

- *Paso 1:* Se precalienta el recipiente, cuando la T sea de 100 C se abre la válvula de paso, para dejar salir el vapor hacia el condensador.
- *Paso 2:* Se espera un cierto tiempo para abrir la válvula de alimentación de vapor, con la finalidad de ayudar a evacuar el vapor semifrío y suministrar vapor caliente.
- *Paso 3:* Cerrar en cierto tiempo la válvula de escape, y alimentar el sistema hasta alcanzar nuevamente en el sistema la presión de 245,15 Kpa y 126 C
- *Paso 4:* Cerrar la válvula de alimentación cuando se hallan alcanzado las condiciones de P y T adecuadas
- *Paso 5:* Para finalizar el proceso, se requiere hacer vacío o suministrar aire para que condense el vapor excedente y se abra el sistema de cocción para retirar el sombrero

Con los pasos anteriores, se espera que el tiempo total del proceso sea de 3 horas, puesto que el sistema tendrá que evaporar los 39L requeridos para el proceso.

3.1.6 Diseño definitivo del producto

Una vez realizados los cálculos definidos en la sección 3.1.5.2 y 3.1.5.3 se procederá a definir totalmente el sistema, puesto que ahora se tiene que ajustar el sistema a restricciones de espacio disponible.

El espacio disponible en el lugar tiene ciertas restricciones, con respecto a, elevaciones, área libre para la instalación y condiciones de suelo irregulares etc. En esta parte se define el espacio disponible según lo requerido, el fabricante del equipo solar define que requiere un área de 9m^2 para la instalación exitosa de un concentrador, y ya que se requiere según el cálculo, una cantidad total de 7 concentradores, entonces el área total requerida

para la instalación de los concentradores es de 63m², ahora cabe determinar si esta área está disponible o no en el espacio físico existente.

Dadas las condiciones del lugar en el que el proyecto se ha desarrollado, se ha determinado que el lugar más factible para la instalación de los concentradores es la azotea del lugar donde se lleva a cabo el proceso actual (figura 3.33), esta azotea, pertenece a una instalación que tiene unas dimensiones de 10x5m por lo cual se tiene un área total de 50 m², sin embargo estas instalaciones no pertenecen al productor, además de que en estas instalaciones se encuentra un tinaco de abastecimiento de agua para los dueños de estas instalaciones lo que reduce el área de 50m² a 44m² efectivos para la instalación de los concentradores. Dada esta situación solo se tiene la capacidad de instalar 4.8 concentradores, lo que implica que solo se tiene la capacidad de instalar 4 concentradores



Figura 3.33: Área disponible para la instalación de los concentradores.
Fuente: propia

Puesto que este es un caso de contingencia se necesita estructurar un plan de acción alternativo, nótese en la figura 3.33 que en el centro se dispone de un corredor lo suficientemente grande como para instalar el sistema completo, sin embargo, la altura de la construcción, proyecta sombra hacia este lugar tornándolo inaceptable para la implementación del sistema. En general el plan de acción consiste en determinar una decisión que no perjudique el objetivo inicial planteado, por ello, se acordó con el productor, que en la azotea se instalarían 4 concentradores, y la capacidad faltante se compensaría con un sistema generador de vapor a base de gas L.P. el cual se diseñaría en cuanto a capacidad de producción de vapor, con el fin de ofrecerle al productor una alternativa en la cual el proceso de cocción de sombreros puede ser realizado con el sistema de gas, tornando al proyecto hacia la implementación de un sistema híbrido, el cual aún sigue cumpliendo con los objetivos planteados en la sección 1.2, el uso de leña es nulo, y el sistema sigue siendo seguro.

De esta manera el productor aceptó el plan de acción, ya que el sistema propuesto está provisto de tal flexibilidad que el productor podrá realizar el proceso de cocción, en los días en que el equipo solar tenga un muy bajo rendimiento como es en los días completamente nublados, o incluso realizando el proceso durante la noche.

3.1.6.1 Dimensionamiento del horno y sistema de gas (Materiales y Revestimientos)

El horno, es diseñado, en base al cálculo preliminar de volumen de vapor y en base a la presión manejada dentro del mismo, por ello el diseño se centra en los puntos mencionados a continuación:

- Diámetro del horno
- Altura del horno
- Aislamiento térmico
- Mecanismo de cierre y apertura

Conforme a lo antes dicho, el diámetro es de 1.73m y la altura es de 1.80m por ello, se procede a realizar el cálculo del material necesario para la fabricación del equipo:

Mediante el cálculo de la superficie del cilindro se llega a la siguiente conclusión:

1. El área envolvente requerida de material para fabricar el horno es de 9.78 m² aparte el área para las tapas, tanto para el fondo como para el cuerpo del mismo (22):
2. Para las tapas se necesita un área de 3.28m² para cada una, entonces el requerimiento consta de 6.57m² o que implica una cantidad de 4 laminas para su fabricación.

Tabla 3.10: Especificaciones de la cantidad de material necesaria para el recipiente

| Calibre | Largo | Ancho | Área | Peso por hoja | Número de láminas | Peso total del recipiente |
|-------------|-------|-------|-------|---------------|-------------------|---------------------------|
| 12 (2,66mm) | 1,8 | 0,91 | 1,638 | 35,3 | 6 | 211,8 |

Por lo anterior el dimensionamiento está dado por el plano de especificación del diseño para su construcción (Anexo A, Planos de trabajo)

3. Con respecto al aislante térmico se utilizará fibra de vidrio laminada, con un espesor de 2 pulgadas, posteriormente, se recubrirá el horno con lámina galvanizada calibre 22, a fin de dar un acabado al horno
4. Se realizará el bridado de la tapa con el fin de obtener un buen sello según la especificación del plano.
5. Se instalará el mecanismo de contrapeso para facilitar la apertura del horno con una fuerza mínima, de alrededor de la 10kg-fuerza, sin embargo el sistema en el sistema se ha colocado un mecanismo de malacate para hacer subir la tapa con el mínimo esfuerzo, para este caso el contrapeso funciona como un sistema de seguridad el cual no dejará que la tapa se cierre repentinamente (figura 3.34).

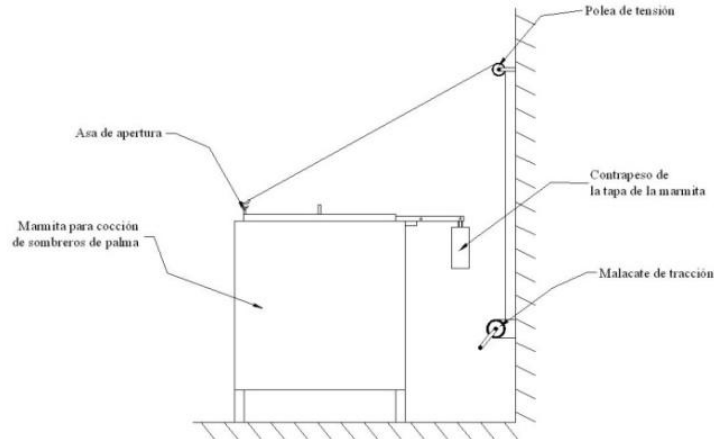


Figura 3.34: Esquema del mecanismo de apertura del horno
Fuente: propia

Ahora con respecto al dimensionamiento del sistema de gas, se tiene contemplado desarrollar un sistema con una capacidad volumétrica de 90L, de los cuales solo 45 será utilizados para el proceso de cocción, por lo tanto se tiene un domo de vapor de 45L, lo suficientemente grande como para que al momento de hacer la descarga se tenga una cantidad considerable de vapor. El esquema para el sistema a base de gas L.P. se muestra a continuación (sin embargo refiérase al Anexo A, Planos de trabajo):

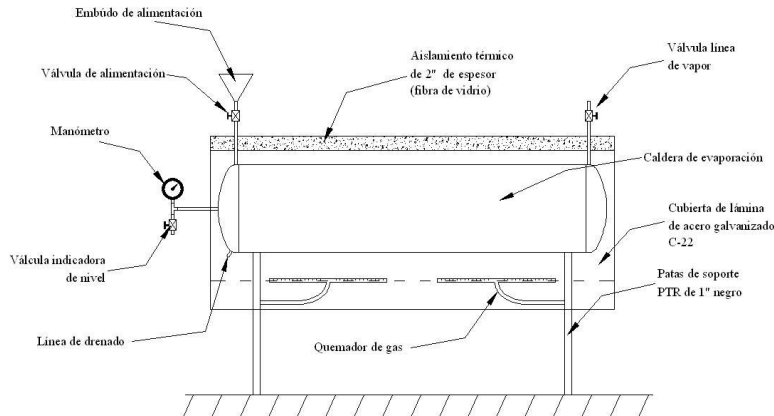


Figura 3.35: Esquema del mecanismo de apertura del horno. Fuente: propia

Nótese que el sistema está equipado con dos quemadores a lo largo del cuerpo del evaporador, esto con la finalidad de acelerar el suministro de calor al fluido de trabajo, ya que el área que se abarca es de casi el 50%, además de que el aislamiento térmico es de gran ayuda para el rendimiento del sistema.

Cabe señalar que el tendido de tubería será mediante el esquema de la figura 3.36 ya que esta debe ir con aislamiento térmico con la finalidad de elevar su eficiencia y minimizar pérdidas. Por otra parte el diseño de los evaporadores para el sistema solar (figura 3.37), se define solo usando las medidas del foco de concentración y el dimensionado como sigue (tabla 3.10)

Tabla 3.11: Requerimiento de los evaporadores. Fuente: Propia

| Parte | Cantidad | Largo | Diámetro |
|------------------------------------|----------|-------|----------|
| Evaporador de líquido | 3 | 8cm | 35cm |
| Evaporador para sobrecalentamiento | 1 | 20cm | 35 cm |

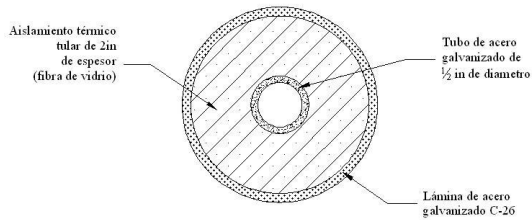


Figura 3.36: Esquema del aislamiento de la tubería
Fuente: propia

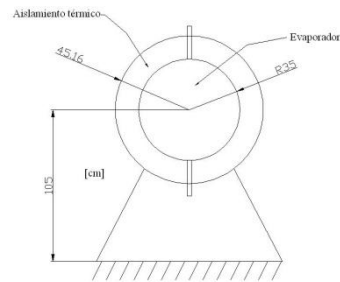


Figura 3.37: Esquema del evaporador

3.1.6.2 Dimensionamiento del equipo solar

En esta parte dado que el fabricante lo instalará, según sus requerimientos de espacio solo, queda hacer un bosquejo del “*layout*” del equipo. Este esquema consiste en posicionar los concentradores y evaporadores de tal manera que, el arreglo de estos propicie un buen funcionamiento (figura 3.38).

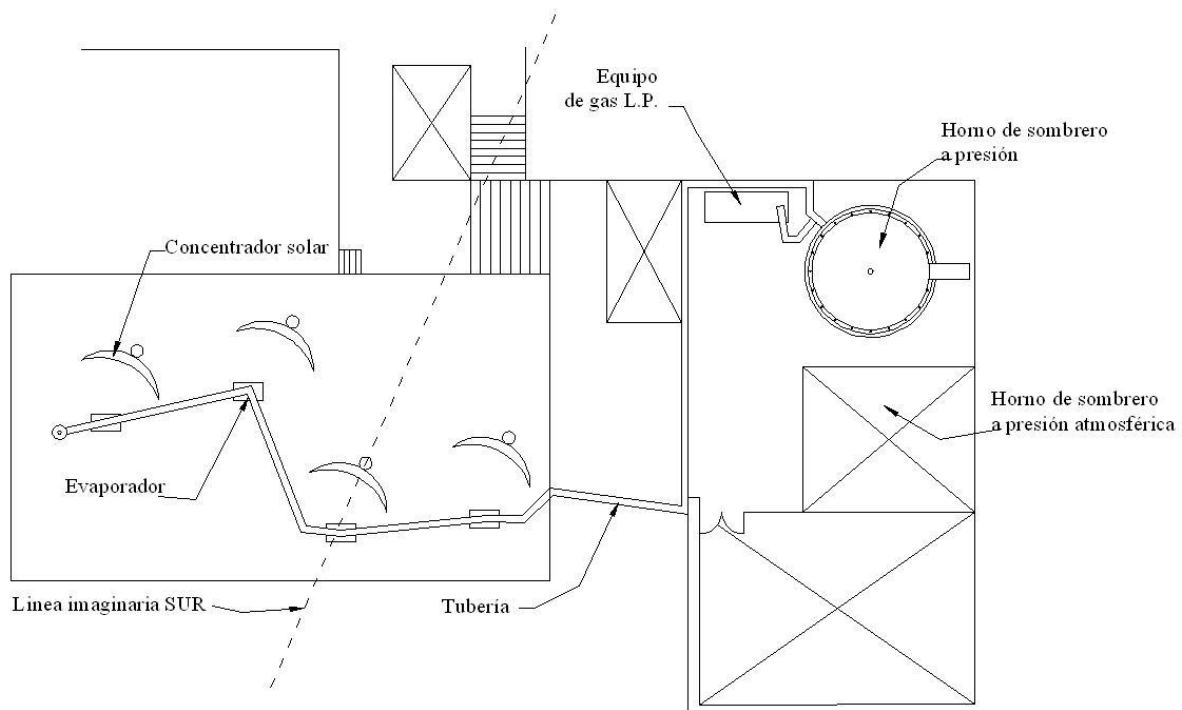


Figura 3.38: Layout del posicionamiento del equipo en general.
Fuente: propia

En el esquema anterior se muestra el acomodo del sistema solar y como es que se acopla con el horno de sombreros propuesto.

3.1.6.3 Diseño definitivo del proceso

Puesto que el sistema final resulta ser un sistema híbrido se deberá modificar el proceso de cocción, con relación a la serie y ejecución de pasos a seguir, ya que habrá que reestructurar la manera en como se había definido el proceso en la sección 3.1.5.4

Por lo anterior, la serie de actividades a desarrollar es como sigue:

Paso 1: Cargar el sistema con la carga de sombreros necesaria y simultáneamente poner a trabajar el equipo solar con la finalidad de que durante el tiempo en que el equipo se carga con los sombreros y se cierra el horno, transcurra un tiempo suficientemente largo como para generar cierta cantidad de vapor.

Paso 2: Al término de la carga del horno con los sombreros, poner en marcha el sistema a base de gas, esperar, a que el sistema solar genere la carga de presión necesaria.

Paso 3: Descargar el vapor generado con el equipo solar, hacia el horno y esperar que la presión caiga casi por completo, cerrar la válvula de suministro de vapor, y dejar que el equipo solar siga en marcha.

Paso 4: Una vez que el sistema a gas llegue a la presión de trabajo, descargar el vapor generado, y dejar abierta la válvula de suministro durante un tiempo considerable hasta que la presión se eleve en el horno.

Paso 5: Una vez que el equipo solar llegue a la presión requerida hacer la siguiente descarga de vapor.

Paso 6: Esperar el tiempo necesario para luego, cerrar el suministro de vapor de ambos equipos, y despresurizar el horno.

Paso 7: Una vez que la presión en el horno sea cero, abrirlo y sacar los sombreros cocidos.

En el algoritmo anterior se estima un tiempo menor a 3 horas y con solo dos descargas de vapor generadas por el equipo solar. Sin embargo en la fase de pruebas se determinará el ajuste de las variables en el campo.

Cabe señalar que se hará un diseño de experimentos Taguchi para afinar estos factores de trabajo en el proceso

Capítulo 4

Implantación del nuevo sistema

4.0 Implementación del sistema

Una vez que se sabe como es el esquema de posicionamiento de los equipos, y además de haber hecho un croquis de colocación de los mismos, se procederá a la instalación de los equipos. En esta sección se documentará el proceso de instalación del horno en la que se realizará el proceso de cocción de los sombreros de palma, también se documentará la instalación final del equipo solar requerido para generar el vapor necesario

4.1 Instalación del horno propuesto

Para la instalación del horno en la que se llevará a cabo el proceso de cocción de los sombreros, una vez que se tiene el requerimiento de material (sección 3.1.8.2) se procedió a la manufactura de la misma, así como también al acoplamiento del sistema de gas, para llevara acabo el proceso completo de cocción de sombreros.

En seguida se muestra el trabajo de construcción del horno (figura 4.1) para la cual se mandó a rolar la lámina requerida de acuerdo al diámetro especificado, en el campo se tuvo que hacer el armado de las partes y las uniones, estas uniones se realizaron mediante soldadura de arco eléctrico, con electrodos E-6013, este proceso de soldadura fue llevado a cabo por un soldador calificado de la región (figura 4.2). Es importante señalar que dadas las situaciones de costo, y acceso a los recursos, el control de calidad de la soldadura se realizó mediante la inspección visual por parte de personal, relacionado con el área (figura 4.3), por lo que aunque no se utilizó un método específico la habilidad del evaluador, dada la experiencia en el área, da una evaluación suficiente para aprobar la unión de juntas



Figura 4.1: Preparación de partes para armado

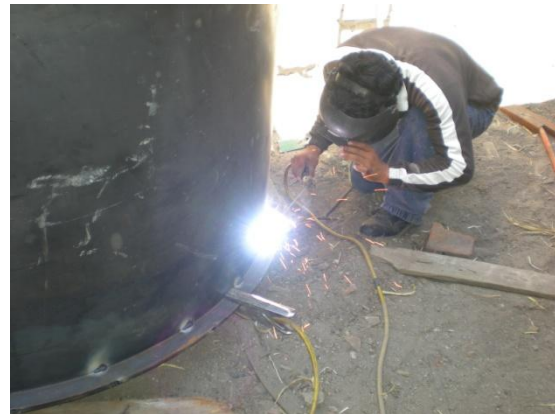


Figura 4.2: Proceso de soldadura

Fuente: Fotografías del tesista

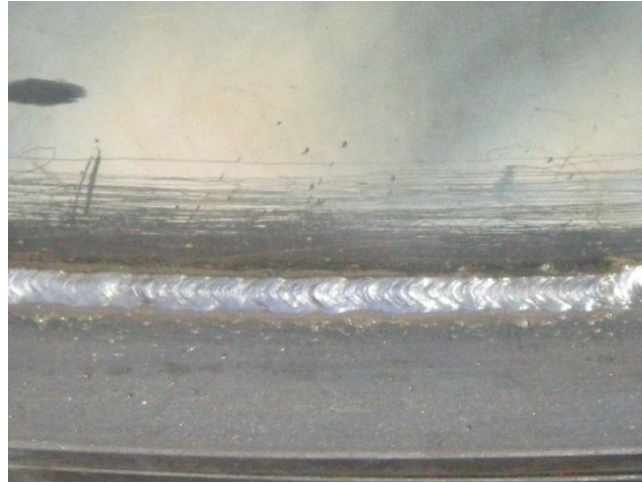


Figura 4.3: Inspección visual de la unión de juntas
Fuente: Fotografía del tesista

Una vez armado y soldado el cuerpo del horno (figura 4.4) ahora el problema fue su maniobrabilidad por lo que fue necesario el uso de un polipasto (figura 4.5) para lograr mover la carga, este polipasto se empotró ajustando la situación de acuerdo a como se necesitara.



Figura 4.4: Cuerpo del horno armado y soldado

Fuente: Fotografía del tesista



Figura 4.5: Polipasto para mover la carga en el campo

Una vez armado y soldado el cuerpo del horno, se procedió a la elaboración de la tapa, es importante mencionar que en base a costos, tiempo, y disponibilidad de los recursos, la tapa se abombó en el campo (figura 4.6), la misma fue unida y soldada (figura 4.7) para posteriormente ser ensamblada al cuerpo del horno (figura 4.8).



Figura 4.6: Abombado y armado de la tapa

Fuente: Fotografías del tesista



Figura 4.7: Soldadura de la tapa del horno



Figura 4.8: Ensamble de la tapa con el cuerpo del horno

Fuente: Fotografía del tesista

Posteriormente del ensamblado de la tapa fue necesario hacer un mecanismo seguro a la apertura del horno, esto se logró haciendo un contrapeso (figura 4.10) para facilitar la apertura, este contrapeso fue hecho fundiendo metal dentro de un contenedor del mismo, con un peso muerto de 70 kg, además se instaló una bisagra para soportar los ciclos de apertura y cierre, la cual tiene sujetos tanto el contrapeso como la tapa (figura 4.11). Para llevar a cabo esto se tuvo que maniobrar con el horno (figura 4.9).



Figura 4.9: Maniobra con el polipasto para mover la carga
Fuente: Fotografías del tesista



Figura 4.10: Ensamble de la tapa con el cuerpo del horno
Fuente: Fotografías del tesista

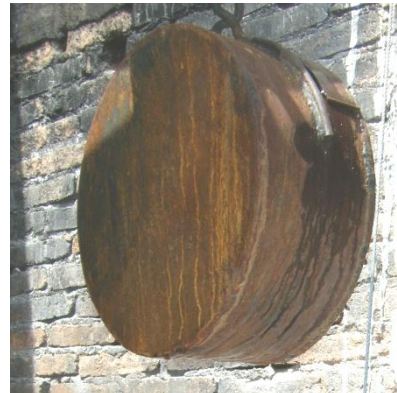


Figura 4.11: Contrapeso para la apertura

Una vez instalado este mecanismo de apertura se procedió a instalar el aislamiento térmico y el revestimiento final con lámina galvanizada C-22 (figura 4.12 y 4.13).



Figura 4.12: Instalación del aislamiento térmico
Fuente: Fotografías del tesista



Figura 4.13: Revestimiento con Lamina galvanizada C-22
Fuente: Fotografías del tesista

Para facilitar los ciclos de cierre y apertura del horno, se ha introducido un mecanismo de malacate para este fin, es decir, se instaló un “winch” de tracción para hacer la apertura de la tapa del horno, teniendo de respaldo el contrapeso para mayor apoyo (figura

4.14), es importante resaltar que este mecanismo tiene un sistema de tracción de dos pasos, es decir, que para esta aplicación tiene la capacidad de “jalar” la tapa e irla bajando suavemente cuando se cierra la misma, además se ha colocado una polea (figura 4.15), que será la que reciba el esfuerzo de tracción del mecanismo. Para la forma de cierre de la tapa habrá que hacer una descompensación de peso para que el centro de gravedad se recorra de acuerdo a los momentos conforme la tapa gira cierta cantidad de grados con respecto a la bisagra, la cual es eje para el mecanismo de cierre (figura 4.16).



Figura 4.14: Winch de tracción



Figura 4.15: Polea de tensión

Fuente: Fotografías del tesista



Figura 4.16: Mecanismo de cierre de la tapa del horno

Fuente: Fotografías del tesista

Para lograr que el horno esté hermético se necesita una buena unión entre la superficie de la tapa y la del horno, entre las cuales se localiza el sello que garantizará el sello hermético, la tapa fue bridada con 19 bñrlos de 1/2” para la sujeción de la tapa al cuerpo del horno (figura 4.17).

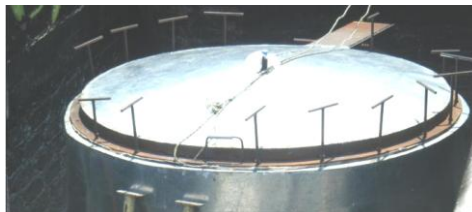


Figura 4.17: Bridado de la tapa al cuerpo del horno. Fuente: Fotografías del tesista

La tubería acoplada al horno, es la derivada del equipo solar para la descarga de vapor, y la del equipo de gas L.P., ambas líneas de vapor son conectadas a la entrada del horno (figura 4.18), el cual esta internamente acoplado al serpentín de descarga, el cual, se

localiza en el fondo del horno con el fin de asperjar el vapor para que éste suba y cubra a los sombreros, además de garantizar un envolvimiento total del vapor dado el factor presión, es importante mencionar que en el fondo, a fin de que los sombreros mas próximos al mismo, no sufran daño por el posible condensación del vapor al ser asperjado, se ha colocado una estructura metálica con la finalidad de mantener al sombrero lo suficientemente lejos del fondo como para que este no se moje (figura 4.19).



Figura 4.18: Conexión de red de vapor al horno



Figura 4.19: Estructura metálica que evitará que el sombrero se moje en el fondo del horno

Fuente: Fotografías del tesista.

Por ultimo se ha conectado la línea de dren en el fondo del horno a fin de que una vez acabado el ciclo, el líquido condensado, sea drenado del horno y reutilizado en corridas posteriores (figura 4.20).



Figura 4.20: Tubería de drenado, Fuente: Fotografías del tesista

Hasta este punto abarca la instalación del horno, listo para hacerle las primeras pruebas con respecto al ciclo de trabajo para el proceso de cocción

4.2 Instalación del concentrador solar y sistema de gas

Ahora toca documentar el proceso de instalación del equipo solar, el cual fue instalado por el fabricante del mismo, por ello, la documentación solo se centra en el estado final del equipo, de acuerdo a lo planeado en el “*layout*” (sección 3.1.6.2) y su acoplamiento con los evaporadores, los cuales también se conectaron entres si, con el fin de eficientar tanto el espacio como los recursos (tubería y conexiones). Por otra parte el sistema de gas se fabricó de acuerdo a los requerimientos mínimos de el desempeño térmico faltante del

sistema solar por cuestiones de espacio, sin embargo se sobre diseñó con el fin de hacer un sistema de generación de vapor, flexible, capaz de ofrecer al productor la posibilidad de utilizar el sistema en las ocasiones que el solar tendría problemas para operar, tal como las noches o en días totalmente nublados, sin la necesidad de usar leña, cumpliéndose el objetivo fijado en la sección 1.2.

Con respecto al uso simultaneo de ambos equipos, se pretende disminuir el uso del gas butano, puesto que el soporte brindado por el sistema de gas disminuye el uso de la carga de gas butano.

El equipo solar tuvo que ser instalado en la azotea de la empresa, ya que era el único lugar disponible (figura 4.21), nótese que los concentradores deben estar a cierta separación especificada por el fabricante, puesto que de acuerdo con el recorrido del sol la sombra generada por cada concentrador puede ocasionar que la eficiencia del equipo se disminuya por efecto que si dicha sombra es proyectada sobre el área de otro concentrador, el sistema pierde área de reflexión.



Figura 4.21 Instalación de los concentradores solares en la azotea de la empresa. Fuente: Fotografías del tesista

En la figura 4.21 se puede observar que el acomodo de los concentradores no es uniforme o paralelo a las paredes, puesto que se debe buscar la línea imaginaria del sur para efecto de mayor eficiencia del equipo. Cabe señalar que estos equipos cuentan con un mecanismo electrónico de seguimiento del sol automatizado (figura 4.22). Estos equipos solares como ya se mencionó en secciones pasadas, necesitan ser posicionados con respecto al movimiento aparente del sol, por ello, este movimiento los fabricantes de este tipo de equipos lo traducen a tracciones mecánicas por impulsos controlados utilizando motorreductores para hacer lo mas preciso posible el seguimiento solar.



Figura 4.22: Mecanismo automatizado de seguimiento del sol para los concentradores solares.
Fuente: Fotografías del tesista

Ya que los equipos solares han sido acoplados a los evaporadores, a estos se les ha acondicionado con indicadores de presión y temperatura, por lo cual, la medición de estas variables en el campo es imprescindible ya que de ello depende el desempeño del equipo, nótese que se incluyó una válvula de seguridad en el ultimo evaporador que es el encargado de sobrecalentar el vapor, por lo que es necesario el uso de estos dispositivos, con la finalidad de proteger tanto al usuario como al equipo mismo (figura 4.22).



Figura 4.23: Dispositivos de medición del equipo y seguridad del mismo. Fuente: Fotografías del tesista

Ahora con respecto al sistema de gas se tiene que, éste fue fabricado conforme a las especificaciones previstas en la sección 3.1.5.3.



Figura 4.24: Construcción del equipo a base de gas L.P. Fuente: Fotografías del tesista

Este equipo fue desarrollado no solo con la capacidad de mínima faltante, sino que fue diseñado con una capacidad suficiente para lograr una carga por si solo, previendo que el productor pueda utilizarlo en las ocasiones cuando el equipo solar pueda rendir menos de lo esperado, dichas ocasiones comprenden, las noches, en las cuales el equipo solar se encuentra totalmente inhabilitado, también comprenden los días completamente nublados, ya que en estas condiciones el sistema solar reduce considerablemente su rendimiento.

En la figura 4.25 se muestra el término del equipo generador de vapor a base de gas L.P., nótese que este equipo se aisló térmicamente con el fin de aumentar su eficiencia con respecto a pérdidas de calor. Por otra parte este equipo ha sido acoplado al sistema solar, con la finalidad de la operar simultáneamente ambos (figura 4.26).



Figura 4.25: Equipo de gas L.P., terminado



Figura 4.26: Equipo acoplado al horno en la línea de alimentación de vapor.

Fuente: Fotografías del tesista

Hasta esta parte se ha descrito el sistema mediante la documentación de la instalación del mismo.

4.3 Instalación de la tubería

En esta parte se hará referencia al tendido de la tubería tanto de alimentación del fluido de trabajo, así como también a la que conducirá el vapor del mismo, una vez que los concentradores solares hagan su función, para ello es necesario resaltar que el material utilizado para este fin es tubo de acero galvanizado de 1/2" puesto que es la opción más factible económicamente y funcionalmente hablando para este proyecto, ya que una vez instalado el horno es necesario hacer un nuevo levantamiento para la determinación real del material requerido para este fin. El tendido de tubería al ser configurado especialmente para este proyecto, requerirá de la fabricación de las cuerdas de acoplamiento para las conexiones en el campo, para ello es necesario utilizar una tarraja manual, puesto que el costo generado en cuanto a tiempo y transporte hasta un centro que pueda proveer el servicio, resulta difícil.

En la figura 4.21 se muestra el esquema del posicionamiento de los evaporadores, dada la colocación de los concentradores solares elípticos, para ello, al haber definido la cantidad de vapor necesario para la cocción de sombreros, esto refiere el dato sobre el dimensionamiento volumétrico de los evaporadores, tomando en cuenta el espacio para el vapor, llamado "*domo de vapor*". Por otra parte el foco de los concentradores está a cierta altura definida por el fabricante (1.20m), por lo que este es otro parámetro importante para la instalación de los evaporadores, es necesario mencionar que cada evaporador cuenta con una capacidad volumétrica de 9.62L, de lo cual el domo de vapor es de 3.85L, por lo que el volumen efectivo del fluido de trabajo es de 5.77L, véase la figura 35 para ilustrar detalladamente la capacidad de los evaporadores.

Un aspecto importante es el hecho de que para las descargas estimadas de vapor se, tendrá necesariamente una caída de presión y por tanto de temperatura por el hecho de que el recorrido del vapor en la tubería, interactúa con las paredes de la tubería, cediendo parte de su energía interna a la tubería y perdiendo presión en el trayecto. Para equilibrar este hecho se ha definido que, el uso del evaporador conectado a la tubería deberá contener el vapor generado por los otros tres con el fin de adicionar más energía al vapor y por lo tanto temperatura y presión (figura 4.23).

Capítulo 5

Pruebas finales al sistema

5.0 Pruebas finales, calibración y capacitación

Una vez que se ha instalado el sistema, se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento pertinentes, en lo que respecta a las pruebas de falla del sistema, tales como posibles fugas, o defectos en la soldadura de las uniones, posibles roturas en el sello de la tapa. Por otra parte también se desarrollará la calibración del sistema, en la cual se deberán hacer pruebas con el producto dentro, puesto que una vez que ya ha producido el vapor necesario, ahora se deberá saber el requerimiento del proceso, como tal, es decir hay que configurarlo de acuerdo a la implementación de un método de trabajo, por ello, las pruebas que se realicen deberán ser de lo mejor en cuanto a preparación del sistema y de los insumos necesarios.

En la parte de las pruebas finales con el producto, se deberá hacer un diseño experimental en base a lo que propone Taguchi, puesto que, los sombreros para la carga piloto, estarán representando una pérdida para el productor, por ello, no se debe, exigir un margen tan alto de experimentos puesto que las variables descriptivas del proceso en general son: el pH, el tiempo de cocción y la entalpia del fluido de trabajo, puesto que este ultimo factor esta directamente relacionado con la cantidad de calor, y por consecuencia con la temperatura y presión del fluido, tanto como líquido saturado, como vapor saturado.

A pesar de la concentración ácida, la cual esta directamente relacionada con el pH se había determinado en la sección 1.5.4.5 en las pruebas se iniciará haciendo el proceso tal y como fue diseñado, cabe señalar que, puesto que este proyecto es una innovación tecnológica, el proceso solo se puede inducir, teóricamente, sin embargo, el productor es quien finalmente sugerirá la forma en que se lleve a cabo el proceso en base a su experiencia.

Por otra parte es importante señalar, que el sistema, puesto que es solar, su eficiencia se centra únicamente en días en los que el cielo está despejado, como sucede en los primeros meses del año y a finales del mismo, dada esta situación y puesto que las pruebas se han desarrollado en un ambiente de nubosidad abundante y días nublados, se ha llegado a la conclusión de que será necesario un sistema auxiliar para estos casos, el cual funcione a base de gas butano, este sistema, solo será utilizado cuando el día esté lo suficientemente nublado como para disminuir significativamente la eficiencia del equipo solar. El sistema de gas se deberá utilizar solo en casos en los que el sistema solar, esté indispuerto para el correcto funcionamiento, dado lo anterior, el sistema final será un sistema hibrido

5.1 Pruebas de trabajo (Sin carga de producto)

Se realizaron pruebas de funcionamiento del equipo solar, haciendo descargas de vapor al horno pero sin carga de sombreros, esto con el fin de determinar si el sistema funciona de acuerdo a lo previsto, para ello, se hicieron pruebas de presión al horno con aire a fin de revisar posibles defectos en el sello y en las válvulas, teniendo resultados exitosos en estas pruebas.

Al sistema solar y al de gas se les cargó solo con agua para hacer pruebas de una correcta evaporación, por lo que

5.2 Calibración del sistema (Con carga de producto)

Como se mencionó anteriormente, y puesto que se han hecho las pruebas preliminares con el sistema a base de energía solar y gas L.P., en cuanto a pruebas de funcionamiento, se definirá un tiempo en el cual una carga de vapor estará lista para ser usada dentro del horno, por ello, mediante la técnica Taguchi, se realizó un diseño de experimentos, con la finalidad de encontrar una solución factible al problema de calibración del equipo, por ello el sistema tiene como variables descriptivas las siguientes:

Tabla 5.1: Tabla de rangos de operación para las variables descriptivas

| Variable | Rango de valor | Nivel 1 | Nivel2 |
|---------------|-----------------------|---------|--------|
| Tiempo | 1.5-3.0 [hrs] | 1.5 | 3.0 |
| Concentración | 0.09-0.17 [M] | 0.09 | 0.17 |
| Entalpía | 2715.5-2720.5 [kJ/kg] | 2715.5 | 2720.5 |

La variable tiempo se ha determinado en función del tiempo previsto para lograr la evaporación (sección 3.1.5.2) además de que, dado que el sistema solar se ha acoplado con el equipo de gas L.P., al trabajar juntos se estima no perder tiempo, y realizar el tiempo de cocción un el mínimo del intervalo.

La concentración variará desde el 0.09M hasta el 0.17M cantidad determinada de las pruebas, con esto se pretende determinar si se puede, o no, reducir aun mas la concentración de acidez, presente en la mezcla de vinagre y agua.

La entalpía corresponde a las presiones de trabajo con respecto a la carga térmica, por ello, está varía entre 2.5 y 3.0 kg/cm², se decidió tomar como parámetro la entalpía ya que es un parámetro genérico del sistema y da una idea de las demás variables, como presión, temperatura, y cantidad de energía.

Dado lo anterior y utilizando un diseño experimental Taguchi generado con la ayuda del software Minitab (figura 5.1).

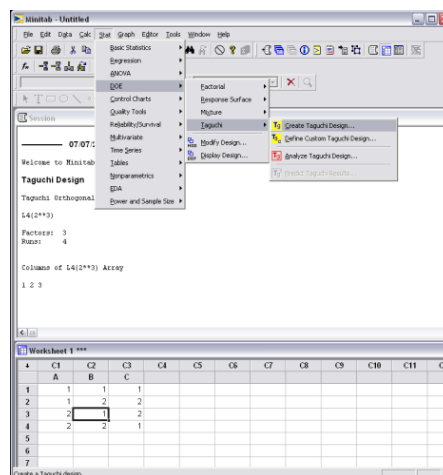


Figura 5.1: Software Minitab, herramienta de software para el diseño experimental. Fuente: Propia

Se ha elegido un diseño de 2 niveles, 3 factores, con un diseño L-4 para Taguchi, lo que implica que se realizarán 4 experimentos donde los factores y niveles queda como sigue:

El resultado de las experimentaciones se presenta en la siguiente tabla, según los datos de salida del software, nótese que el nivel 1 y 2 de cada variable, corresponde a los extremos del intervalo de operación de cada variable:

Tabla 5.2: Diseño experimental L-4 Taguchi. Fuente: Propia

| | Tiempo | Concentración | Entalpía |
|----------------------|--------|---------------|----------|
| Experimento 1 | 1 | 1 | 1 |
| Experimento 2 | 1 | 2 | 2 |
| Experimento 3 | 2 | 1 | 2 |
| Experimento 4 | 2 | 2 | 1 |

Entonces dado lo anterior el diseño experimental queda como sigue:

Tabla 5.3: Diseño experimental definiendo valores. Fuente: Propia

| | Tiempo [hrs] | Concentración [M] | Entalpía [kJ/kg] |
|--------------|--------------|-------------------|------------------|
| E - 1 | 1.5 | 0.09 | 2715.5 |
| E - 2 | 1.5 | 0.17 | 2720.5 |
| E - 3 | 3.0 | 0.09 | 2720.5 |
| E - 4 | 3.0 | 0.17 | 2715.5 |

Dado lo anterior al realizar los experimentos, y según lo evaluado por el productor y el operador (Anexo A, Cuestionarios) las evaluaciones al producto final fueron las siguientes:

Tabla 5.4: Evaluación del desarrollo experimental. Fuente: Propia

| | Tiempo [hrs] | Concentración [M] | Entalpía [kJ/Kg] | Ev-prod | Ev-op |
|--------------|--------------|-------------------|------------------|---------|-------|
| E - 1 | 1.5 | 0.09 | 2715.5 | 5 | 5 |
| E - 2 | 1.5 | 0.17 | 2720.5 | 4 | 5 |
| E - 3 | 3.0 | 0.09 | 2720.5 | 3 | 4 |
| E - 4 | 3.0 | 0.17 | 2715.5 | 3 | 3 |

Derivado de la tabla 5.4, y haciendo el análisis de datos con el software Minitab, se puede definir lo siguiente:

Para el factor A, que es el tiempo, el nivel 1 que corresponde a 1.5 horas del proceso, tiene un efecto de satisfacción mucho mayor que el nivel 2 (figura 5.2), para el factor B, referente a la concentración, el nivel 1 tiene mejor desempeño, sin embargo este desempeño no es tan significativo con respecto al nivel 2, sin embargo en la practica es mucho mejor utilizar el nivel 1 ya que implica el uso de menos cantidad de vinagre y un menor impacto, por el poco vapor que se llegara a escapar. Para el factor C, que es referente a la entalpía no importa que nivel se escoja, siempre tiene el mismo efecto para los valores que toma, note-se que esta variable hace referencia a la presión de descarga del equipo generador de vapor, ya sea el solar o el de gas (figura 5.2).

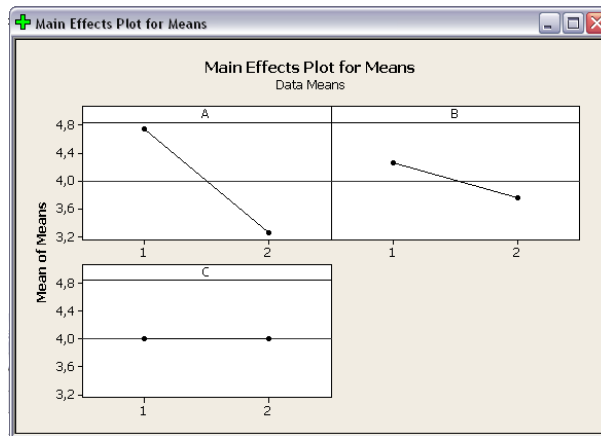


Figura 5.2: Análisis de medias para Taguchi L-4. Fuente: Propia

El siguiente análisis se refiere a la desviación estándar de los resultados obtenidos, por lo cual se puede concluir que para el factor A y B (tiempo y concentración) se tiene una desviación estándar cercana 0.4, sin embargo, al comparar ambos niveles, estos no son significativos sobre el desempeño, puede ser de elección cualquier nivel en A y B (figura 5.3).

Por otra parte, el desempeño del factor C (entalpía), muestra un muy buen desempeño el nivel 1 por ello, se concluye que se deberá, elegir bajo cualquier situación el nivel 1 para este factor (figura 5.3).

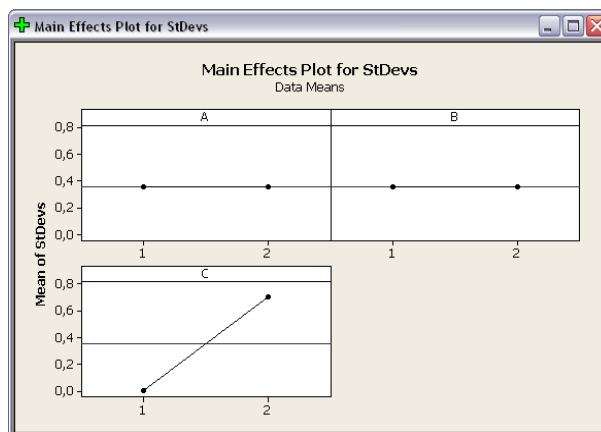


Figura 5.3: Análisis de desviaciones estándar para Taguchi L-4. Fuente: Propia

Dado lo anterior se concluye que el mejor parámetro para trabajar el sistema de cocción se define como: *“Para la cocción de sombreros los parámetros necesarios para llevar a cabo el proceso el tiempo de cocción de 1.5, sabiendo que el tiempo abarca desde el inicio de la descarga de presión hasta despresurizar el horno, por consiguiente, la concentración resulta mejor usar la de 0.09M lo que implica el 9% del total de solución como vinagre elevando el pH a 5.79, por otra parte la entalpía es la mejor, operarla en con un valor de 2715.5kJ/kg, este valor relacionado con la presión, implica una presión de descarga de 2.5kg/cm² y una temperatura promedio de 126°C para el vapor de descarga”*

De lo anterior, cabe señalar que, dadas las condiciones óptimas del sistema se procede a hacer unas pruebas más pero variando el número de sombreros, puesto que al experimentar se utilizó un número de pequeño de sombreros (1 gruesa para cada experimento), puesto que el producto representaría un costo elevado al generarse desperdicio si algo en la experimentación falla. Por último es importante decir que la cocción se llevó a una presión baja, es decir, ligeramente mayor a la atmosférica, lo cual quiere decir que no es necesario elevar más allá de $1\text{kg}/\text{cm}^2$ la presión dentro del horno (figura 5.3).



Figura 5.4: Manómetro de baja presión en el horno
Fuente: Fotografía del tesista

Por otra parte es importante señalar que el sombrero ya no se metió mojado antes del proceso puesto que el clima ayudó ya que fueron días húmedos los de las pruebas, además un aspecto importante de mencionar es que ya no es necesario hacer o distribuir por niveles los sombreros, esto quiere decir que cuando la presión dentro de la marmita rebasa el cero, entonces se garantiza que los sombreros están inmersos en el vapor, por lo que el acomodo final fue en pilas logrando una capacidad de cocción de hasta 1152 sombreros en una carga (8 gruesas), solo hay que cuidar el aspecto de que los sombreros sean cubiertos con un petate en la parte superior por el condensado de la tapa, para que no los manche, y posteriormente librar del contacto las paredes (figura 5.4).



Figura 5.5: Acomodo final del sombrero dentro del horno
Fuente: Fotografía del tesista

5.3 Capacitación del personal

En esta fase de capacitación del personal solo se puede definir que se les ha capacitado en el campo durante la realización de pruebas, además de haberles entregado una serie de manuales de operación por escrito en el cual se describe el funcionamiento, preparación y mantenimiento de rutina para cada equipo, es decir, se especifica, el funcionamiento del equipo solar, el de gas y del horno, haciendo referencia entre los sistemas para aclarar el proceso de cocción mediante la innovación tecnológica.

Refiérase al Anexo A; Manual de operación de equipo solar, Manual de operación de equipo a gas, Manual de operación horno de cocción de sombreros.

Capítulo 6

Conclusiones

6.0 Conclusiones

De este proyecto se puede concluir que los aspectos formalizados de la palma, y del proceso de cocción de sombreros tejidos con la misma tiene un impacto bastante grande en el ámbito industrial de este giro, puesto que los productores han visto el desempeño del nuevo sistema, además de percibir que el riesgo por inhalación de vapores tóxicos es nulo, también la parte de costo, ha sido afectada por este proyecto, el sistema de cocción con innovación tecnológica ha logrado cocer con éxito dichos sombreros (figura 6.1)



Figura 6.1: Evidencia de cocción de sombreros de palma en el nuevo sistema
Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestran los beneficios que han sido desarrollados mediante la implementación de un sistema de innovación tecnológica que tiene como finalidad enmarcar a la empresa usuaria en un contexto sustentable.

Cabe señalar que el costo fijo sobre la cocción, CFUSC ahora estará dado por el costo de vinagre y el costo de gas, por ello el vinagre estimando una producción diaria con 4 cargas de sombrero al día da como consecuencia un costo promedio de \$1800 mensuales, por la parte del gas será de \$2160 estimando un rendimiento de 7 cargas de sombrero por tanque de gas, que a julio de 2009 tiene un precio de \$189, el costo del energético solar no se toma en cuenta ya que no existe un costo directo, mas que el del mantenimiento de los equipos, sin embargo estos equipos tiene una vida media de 20 a 25 años, por ello el costo de mantenimiento a lo largo del tiempo es despreciable. Puesto que la capacidad de cocción se aumentó, entonces se tiene que al mes se producirían un total de 92160 sombreros. Por lo cual el CFUSC queda con un valor de \$0.04 con lo que el sistema tiene un rendimiento mucho superior al sistema anterior. Por lo anterior en la siguiente tabla se hace un concentrado de las mejoras y desempeño del sistema actual respecto al sistema anterior

Tabla 6.1: Análisis de mejoras con el sistema implementado

| | Sistema anterior | Sistema nuevo | Mejora |
|--------------------------------|------------------|----------------|--------|
| Uso de leña | 100% | 0% | 100% |
| Uso de agua | 360 L/turno | 60 L/turno | 83.3% |
| pH sustancia ácida | 1.2 | 5.79 | 20.73% |
| CFUSC | \$0.12 | \$0.04 | 66.7 |
| Capacidad de producción | 576 sombreros | 1152 sombreros | 100% |

También se puede concluir que el pH juega un papel muy importante en el proceso de cocción de sombreros de palma, ya que es determinante para la brillantez y flexibilidad de las fibras que componen dichos sombreros.

Es necesario definir las nuevas líneas de investigación que han sido encontradas a lo largo del desarrollo del proyecto, las cuales son:

- La caracterización exclusivamente de la palma, implicando reacciones a radiación, reacción a químicos ácidos y básicos etc. Es un tema que complementaría el conocimiento de la palma.
- El diseño experimental para refinar totalmente el proceso de cocción.
- El estudio del trabajo para este proceso, para formalizar la capacidad y productividad del sistema, incluyendo las demás aéreas de de la empresa

Por lo anterior se puede decir que este trabajo de tesis contribuye en una parte al conocimiento de la palma, así como el proceso de cocción de la misma, la cual es llevada a cabo bajo variables que en cierta parte resultan ser las desarrolladas en la gran mayoría de sistemas industriales.

La delimitación de los problemas de este tipo deben ser planeados e investigados con el mayor ahínco posible, puesto que a pesar de ser una innovación tecnológica, la finalidad es esquematizar y visualizar el sistema deseado para solo refinarlo en la fase de pruebas.

Este proyecto proporciona una solución tecnológica para el productor de sombreros de Santiago Cacaloxtepc Oaxaca, ya que incluso este sistema puede verse bajo una perspectiva de ventaja competitiva del productor para con su competencia, por otra parte este tipo de proyectos pueden cambiar los paradigmas de una región encaminando a la sociedad local a tener una visión diferente de su entorno, impulsando a dichos grupos hacia el crecimiento como comunidad, región y sociedad.

MESOGRAFÍA

1. **Joaquim Casal, Helena Montiel.** *Análisis del riesgo en instalaciones industriales.* Barcelona : Ediciones UPC, 1999.
2. **Illsley G., Catarina, y otros.** Contribuciones al conocimiento y manejo campesino de los palmares de Brahea dulcis (HBK) Mart. en la región de Chilapa, Guerrero. [aut. libro] B, et al. Rendón A. *Plantas, Cultura y Sociedad. Estudio de la relación entre seres humanos y plantas en los albores del Siglo XXI.* México : UAM, Iztapalapa, 2001, págs. 259-286.
3. *Las artesanas, sus quehaceres en la organización y en el trabajo.* **Zapata Martelo, Emma y Suárez San Román, Blanca.** 3, México : Universidad Autónoma Indígena de México, septiembre-diciembre de 2007, Ra Ximhai, Vol. III, págs. 591-620. ISSN 1665-0441.
4. **Asfahl, C. Ray.** *Seguridad Industrial y Salud.* Mexico : Prentice-Hall, 2000.
5. *Arboles tropicales comunes del area maya.* [En línea] [Citado el: 7 de Abril de 2009.] http://sanders5.ucr.edu/arboles_mainmenu.php?numero=426.
6. **Velasco Rodriguez, Griselle J.** *La artesanía de la palma en la mixteca oaxaqueña.* Oaxaca de Juarez : Lasser Plus - Artes Gráficas, 1994.
7. **Haynes, Jody L.** Virtual Palm Encyclopedia. [En línea] c/o Palm & Cycad Societies of Florida, 1998-2007. [Citado el: 18 de Febrero de 2009.] http://www.plantapalm.com/vpe/vpe_index.htm.
8. **Castro Pozos, Sonia.** *Evaluación económica de flores de palma en la comunidad de San Agustín Atenango, Silac. Oaxaca.* Huajuapán de León : s.n., 2005.
9. *Climaticoglobal. com.* [En línea] 27 de Enero de 2009. [Citado el: 18 de Abril de 2009.] <http://www.climaticoglobal.com/efecto-invernadero.html>.
10. **Darvill, Andy.** Energy resources. [En línea] www.darvill.clara.net . [Citado el: 16 de Abril de 2009.] <http://www.darvill.clara.net/altenerg/index.htm>.
11. **Central, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América.** *Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass.* San José Costa Rica : BUNCA, 2002. ISBN: 9968-904-02-3.
12. **Tonda, Juan.** *El oror solar y otras fuentes de energía.* México : Fondo de Cultura Económica, 1993. ISBN 968-16-4286-4.
13. **Ribot I Martin, Jaime.** *Curso de energía solar/Dossier de trabajo.* Barcelona, España : Imprimelx, S. Coop. Ltda., 1995. ISBN 84-7608-053-0.
14. *Ourcoolschool.org.* [En línea] 2006. [Citado el: 23 de Abril de 2009.] http://www.ourcoolschool.org/coolwr/_assets/main/lib90004/world_solar_insolation_data.gif.
15. *Nationl Renewable Energy Laboratory.* [En línea] 2008. [Citado el: 13 de Mayo de 2009.] http://www.nrel.gov/applying_technologies/images/map_southern_mexico_dni.jpg.
16. *Investigación y desarrollo: periodoismo de ciencia y tecnología.* [En línea] [invdes.com.mx](http://www.invdes.com.mx). [Citado el: 03 de Junio de 2009.] <http://www.invdes.com.mx/antiores/Marzo2000/htm/cna82.html>.
17. **Museum, San Diego Natural History.** San Diego Natural History Museum. Your Nature Connection. [En línea] <http://www.sdnhm.org/>. [Citado el: 18 de marzo de 2009.] <http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculums/agua/act1ante.html>.
18. **ALQUICIRA CASAS, DAVID y DIAZ FERNANDEZ, CESAR.** Lluvia ácida. [En línea] Química, lluvia ácida grupo 510. [Citado el:

11 de Enero de 2009.] <http://lluvia-acida-510.blogspot.com/>.

19. **Chang, Raymond.** *Química*. México : McGraw-Hill Interamericana, 2000.

20. *ISO 14000 ISO 9000*. **Rothery, Brian.** s.l. : Editorial Panorama.

21. **Raymond, Chang.** *Química*. México D.F. : McGraw Hill, 2002. ISBN 970-10-3894-0.

22. **Pope, J. Edward.** *SOLUCIONES PRATICAS PARA EL INGENIERO MECANICO: Manual de soluciones rapidas y exactas para los problemas cotidianos en la ingeniería mecánica*. Mexico : McGraw-Hill Interamericana, 2000.

23. **Riley, William Franklin y Sturges, Leroy D.** *Mecánica de materiales*. México : Limusa Wiley, 2001.

24. [En línea] [Citado el: 7 de Abril de 2009.] <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/municipios/20456a.htm>.

25. **Tonda, Juan.** *El oro solar y otras fuentes de energía*. México : FCE, 1993.

26. *Manejo campesino de recursos naturales de la Selva Baja Caducifolia, en particular Brahea dulcis, en la región de Chilapa Guerrero: Segunda fase (Artículo científico)*. [En línea] [Citado el: 3 de Abril de 2009.] <http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=J&Numero=95>.

27. **Mott, Robert L.** *Resistencia de Materiales Aplicada*. México : Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1996.

28. SIPaz. *Oaxaca en datos*. [En línea] Servicio Internacional para la Paz, agosto de 2007. [Citado el: 11 de Abril de 2009.] http://www.sipaz.org/data/oax_es_01.htm.

29. *La riqueza de los bosques mexicanos: más allá de la madera*. **López, Citlalli, Chanfón Küng, Susana y Segura Warnholtz, Gerardo.** Mexico D.F. : Servicios Aplicados de Impresión S.A. de C.V., 2005. ISBN: 968-817-714-8.

30. **Brinkworth, B.J.** *Energía solar para el hombre*. España : H.Blume, 1981. ISBN 84-7214-211-6.

31. Enciclopedia de los Municipios de México. [En línea] H. Ayuntamiento Santiago Cacaloxtepec Oaxaca. [Citado el: 20 de Enero de 2009.]

<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/municipios/20456a.htm>.

ANEXO A

Manuales de operación

Proceso de cocción de sombreros de palma
utilizando energía renovable
Santiago Cacaloxtepic Oaxaca
Julio de 2009

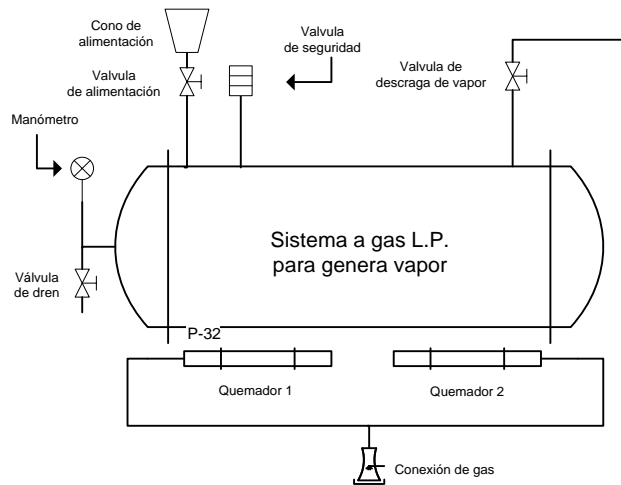
MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE EVAPORACIÓN A BASE DE GAS L.P.

C O N S E R V E E S T E M A N U A L

El sistema de generación de vapor a base gas L.P. funciona bajo condiciones y restricciones muy bajas, es decir solo se necesita que el sistema esté suministrado constantemente por el energético, siempre y cuando el equipo vaya a ser utilizado.

NOTAS

Diagrama General del Sistema



LEA MUY BIEN LAS INDICACIONES ANTES DE OPERAR.



POR NINGUNA CIRCUNSTANCIA AL OPERAR CUALQUIERA DE LAS VALVULAS EXISTENTES EN SU EQUIPO DE GENERACIÓN DE VAPOR A BASE DE GAS L.P, LO HAGA CON LA AGUJA DEL MANOMETRO POR ENCIMA DE CERO.



LE RECOMENDAMOS QUE SI VA A OPERAR EL SISTEMA LLEVE CONSIGO ROPA AJUSTADA A SU CUERPO Y EL CABELLO RECOGIDO PARA EL CASO DE LAS MUJERES QUE SE ENCUENTREN CERCA YA QUE UN ACERCAMIENTO IMPREVISTO HACIA LOS QUEMADORES, ACCIDENTALMENTE PUEDE OCASIONAR QUEMADURAS SEVERAS

NOTAS

Cuando el sistema sea operado por primera vez, verifique, que la presión marque cero en el manómetro, y en el horno, posteriormente una vez que se asegure de esto:

1. Posicione en apertura la válvula de alimentación del sistema,
2. Vierta la solución por el cono de alimentación la cantidad necesaria de sustancia ácida, la cual estará compuesta por 45L de solución de los cuales 4 litros son de vinagre y 41 de agua.
3. Cierre la válvula de alimentación y la válvula de suministro del horno para asegurar que el sistema se hermetice para la generación de vapor
4. Conecte un tanque de gas L.P. a la conexión de gas del sistema, abra la válvula del tanque, y encienda los quemadores.
5. Espere a que la presión sea mayor a cero y llegue a 2.5kg/cm² para que el sistema esté listo para la descarga de vapor al horno



Si el sistema presenta anomalía tales como fugas, u otro tipo de falla, contacte a personal técnico capacitado para revisar y/o reparar el percance lo más rápido posible, y su equipo siga operando correctamente



Si el equipo está operando con deficiencia, verifique el contenido de gas y el correcto acoplamiento del tanque de gas con su equipo de generación de vapor, así como el juego de válvulas acopladas a los quemadores, con la

finalidad de extraer el máximo de eficiencia del mismo (Refiérase a la sección de mantenimiento del sistema para saber como mantener el sistema)

Recuerde que por convención las válvulas estarán en posición abierta cuando el maneral sea girado en contra del sentido de las manecillas del reloj, mientras que será cerrada la válvula, cuando el maneral sea girado a favor de las manecillas del reloj.



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

PRECAUCION: Nunca opere el sistema estando inseguro de lo que hace, si es así acuda con un técnico o alguien que lo asesore, para evitar daños en el sistema y conservar su integridad física

PARA LA OPERACIÓN DE VALVULAS DUARANTE LA GENERACIÓN DE VAPOR

Una vez que el sistema ha sido cargado con la solución ácida, que ninguna válvula esté abierta y los quemadores estén operando correctamente proceda a hacer lo siguiente:

1. Verifique constantemente el marcador de la aguja de presión en el manómetro
2. Cuando el sistema haya llegado a la presión de 2.5kg/cm² aproximadamente de 13 a 15 min después de haber cargado el sistema, es hora de accionar la descarga hacia el horno.
3. Mantenga abierta la válvula de suministro del horno, para que la inyección de vapor sea constante.
4. Después de 1 hora a partir del paso 3 cierre la válvula de suministro del horno y apague los quemadores.
5. Verifique la caída de presión del manómetro, hasta que esta llegue a cero, abra la válvula de alimentación del sistema de gas
6. Proceda a drenar el sistema para su mejor funcionamiento (Véase la sección de mantenimiento del sistema)



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

PARA EL MANTENIMIENTO DE RUTINA

Para este tipo de equipos el mantenimiento con respecto a limpieza de los quemadores es importante, por ello, se recomienda que se mantengan limpios los quemadores o libres de toda impureza, es importante drenar el sistema después de usado, si el uso del sistema es diario, se recomienda que se drene por lo menos cada tercer día. Para el drenado siga los siguientes pasos:

1. Quite el tapón de dren de la parte baja del contenedor de sustancia ácida, para drenar el sistema después del ciclo de cocción.
2. Ponga en desnivel el tanque para que el drenado sea completo (Para realizar esta operación se debe desconectar el sistema de la línea de suministro del horno)
3. Una vez drenado el sistema vuélvalo a conectar y coloque nuevamente el tapón de dren.



ATENCION: NO deje cargado con liquido ácido el sistema por lapso de tiempo largos.

ACCIONES PREVIAS AL USO DEL EQUIPO A BASE DE GAS L.P.

Antes de utilizar el equipo a base de gas L.P. para generación de vapor, asegúrese de lo siguiente.

1. Que la válvula de alimentación de vapor del horno se encuentre cerrada.
2. Que la presión del sistema marque cero, para poder operar las válvulas que tienen salida atmosférica
3. Que el sistema no esté cargado previamente con la sustancia ácida, esto se refiere a checar la válvula de nivel debajo del manómetro el la cual cuando el sistema es llenado y se observa que sale agua quiere decir que el sistema ya está cargado.
4. Que el tanque de gas L.P. a conectar contenga lo suficiente para no tener problemas de bajo rendimiento

NOTA: *Este procedimiento deberá ser aplicado cuando y cuantas veces sea necesario.*

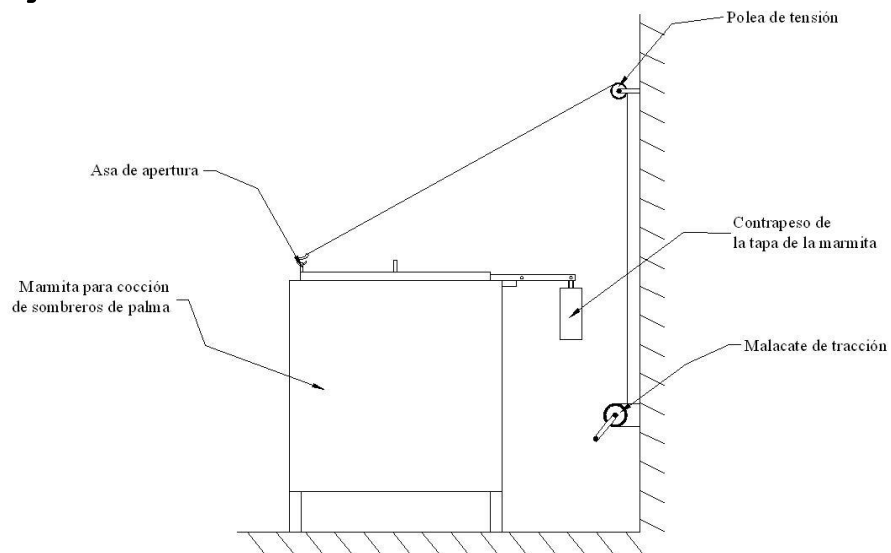
MANUAL DE OPERACIÓN DEL HORNO PARA LA COCCIÓN DE SOMBREROS DE PALMA

Proceso de cocción de sombreros de palma
utilizando energía renovable
Santiago Cacaloxtepc Oaxaca
Julio de 2009

C O N S E R V E E S T E M A N U A L

El sistema de generación de vapor a base gas L.P. funciona bajo condiciones y restricciones muy bajas, es decir solo se necesita que el sistema esté suministrado constantemente por el energético, siempre y cuando el equipo vaya a ser utilizado.

Diagrama General del Sistema



LEA MUY BIEN LAS INDICACIONES ANTES DE OPERAR.



POR NINGUNA CIRCUNSTANCIA AL OPERAR CUALQUIERA DE LAS VALVULAS EXISTENTES EN SU EQUIPO COCCIÓN DE SOMBREROS DE PALMA, LO HAGA CON LA AGUJA DEL MANOMETRO POR ENCIMA DEL CERO.

NOTAS

NOTAS

6. Posicione en posición cerrado las válvulas de alimentación del sistema.
7. Verifique que los 19 bñrlos de la tapa estñn fuera de su lugar, si no es así aflójelos y quítelos.
8. Una vez liberada la tapa, en la parte de atrás, posicione el winch o malacate de tracción en la forma de tracción o "jalar".
9. Tire del winch hasta levantar por completo la tapa.
10. Una vez levantada la tapa, proceda a cargar el sistema con los sombreros a cocer
11. Asegúrese de que los sombreros no estñn en contacto con las paredes del sistema, para evitar manchas al final del proceso.
12. Una vez puestos los sombreros en su lugar salga del horno, y tire de la tapa hasta que se vea con tensión el cable del winch, posteriormente posicione el winch en el modo de giro inverso para bajar la tapa suavemente girando la manivela del winch.
13. Una vez cargado el sistema y cerrado, habrá que colocar los bñrlos, estos se pondrán todos simultáneamente sin apretarlos.
14. Una vez posicionados en sus lugar "sin apretar", se procede a aplicar el apriete sobre cada uno de ellos, cuidando que con cualquiera que se inicie el proceso de apriete, el siguiente birlo a apretar será el del lado contrario de la tapa, con la finalidad de que el sello sea uniforme mientras se aprieta.
15. Una vez apretados los bñrlos, se procese a operar el sistema solar y 30 minutos después se pondrá en marcha el sistema a base de gas, con la finalidad de que cuando la descarga del sistema solar se efectúe, el sistema de gas esté listo, para darle continuidad a la carga de vapor. Y manejar la válvula de suministro como se especifica para cada sistema.
16. Espere a que la presión sea mayor a cero y llegue a 0.2kg/cm² o de 18.5 oz/in² para que el sistema esté listo para terminar el proceso de cocción e iniciar el proceso de despresurización.

Quando el sistema sea operado por primera vez en el día, verifique, que la presión marque cero en el manómetro, y que ningún sistema de generación de vapor esté conectado y funcionando, posteriormente una vez que se asegure de esto:

17. Al alcanzar esta presión indicará que el proceso ha terminado, y se procede a despresurizar el sistema accionando la válvula de seguridad de la parte superior del horno, por consiguiente el proceso de caída de presión hasta cero será en aproximadamente 15 minutos.
18. Transcurrido el tiempo ejecute del paso 9 al 1 en forma inversa par descargar el sistema.

PRECAUCION: Nunca opere el sistema estando inseguro de lo que hace, si es así acuda con un técnico o alguien que lo asesore, para evitar daños en el sistema y conservar su integridad física



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

PARA EL MANTENIMIENTO DE RUTINA

Para este tipo de equipos, el mantenimiento con respecto a la limpieza dentro del horno es importante, por ello, se recomienda que se mantengan limpias las paredes del sistema, es importante drenar el sistema después de usado, para el drenado siga los siguientes pasos:

4. Abra la válvula de dren que se encuentra en la parte debajo del horno y capture el agua obtenida ya que es agua que aun sirve para otros ciclos de cocción
5. Espere a que todo el liquido sea drenado POR COMPLETO
6. Una vez drenado el sistema vuélvalo a cerrar aunque no es necesario apretar los bñrlos solo manténgalos cerca para que no le hagan falta cuando opere nuevamente



ATENCION: NO deje cargado con liquido ácido el sistema por lapso de tiempo largos.

NOTA: Este procedimiento deberá ser aplicado cuando y cuantas veces sea necesario.

Si el sistema presenta anomalía tales como fugas, u otro tipo de falla, contacte a personal técnico capacitado para revisar y/o reparar el percance lo más rápido posible, y su equipo siga operando correctamente



Recuerde que por convención las válvulas estarán en posición abierta cuando el maneral sea girado en contra del sentido de las manecillas del reloj, mientras que será cerrada la válvula, cuando el maneral sea girado a favor de las manecillas del reloj.



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE EVAPORACIÓN A BASE DE ENERGÍA SOLAR

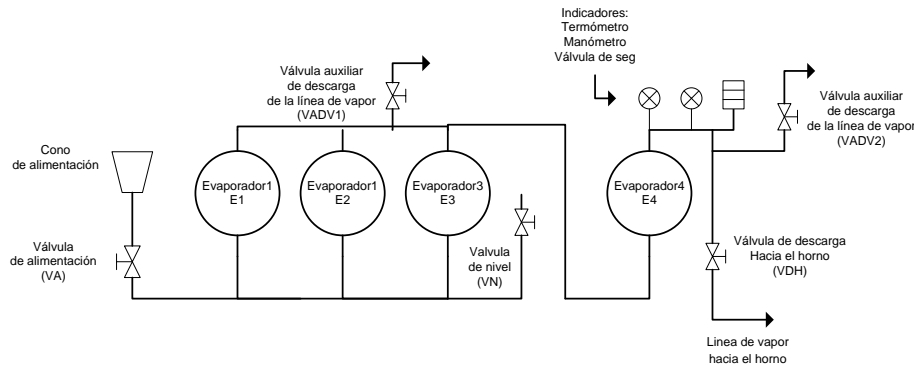
Proceso de cocción de sombreros de palma
utilizando energía renovable
Santiago Cacaloxtepic Oaxaca
Julio de 2009

C O N S E R V E E S T E M A N U A L

El sistema de generación de vapor a base concentradores solares de alta eficiencia, funciona bajo el supuesto de que se está operando en un día despejado, con lo cual se espera el mayor rendimiento de su equipo.

NOTAS

Diagrama General del Sistema



LEA MUY BIEN LAS INDICACIONES ANTES DE OPERAR.



POR NINGUNA CIRCUNSTANCIA AL OPERAR CUALQUIERA DE LAS VALVULAS EXISTENTES EN SU EQUIPO DE GENERACIÓN DE VAPOR A BASE DE ENERGÍA SOLAR, LO HAGA CON LA AGUJA DEL MANOMETRO POR ENCIMA DEL CERO.



LE RECOMENDAMOS QUE SI VA A OPERAR EL SISTEMA NO LLEVE CONSIGO LIQUIDOS HACIA DONDE ESTÁN LOS CONTROLES ELECTRONICOS DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO, YA QUE UN DERRAME ACCIDENTAL SOBRE LA PARTE ELECTRICA DEL SISTEMA PUEDE OCASIONAR DESCARGAS ELECTRICAS SOBRE LA PERSONA QUE OPERA EL SISTEMA, ASI COMO DAÑO AL SISTEMA EN GENERAL.

NOTAS

19. Posicione en apertura la válvula de alimentación al horno (**VDH**), (esto con la finalidad de que si existe algún tapón de aire o el sistema tiene presión extra y no se registra en el manómetro, esto sea descargado a hacia la tubería misma y/o al horno y no al exterior)
20. Posicione en apertura las demás válvulas (**VADV1, VADV2, VA, VN**)
21. Vierta por el cono de alimentación una solución de 12 litros, de los cuales 11 sean de agua y 1 de vinagre.
22. Cierre la válvula de alimentación (VA) y todas las demás para asegurar que el sistema se hermetice para la generación de vapor
23. Conecte a un contacto eléctrico el eliminador del control automático, (si es necesario, posicione los focos de concentración de energía en el centro de los evaporadores, ajustando los tensores de cada concentrador)

Si el sistema presenta anomalía tales como fugas, los motores de cada concentrador no se mueven u otro tipo de falla, contacte a personal técnico capacitado para revisar y/o reparar el percance lo más rápido posible, y sus equipo siga operando correctamente



Si el equipo está sucio en el área reflejante de los concentradores, este disminuirá su eficiencia, por lo que se recomienda que el equipo se conserve libre de polvo, la mayor parte de tiempo posible, con la finalidad de extraer el máximo de eficiencia del mismo (Refiérase a la sección de mantenimiento del sistema para saber la forma correcta de limpieza del mismo)



Recuerde que por convención las válvulas estarán en posición abierta cuando el maneral sea girado en contra del sentido de las manecillas del reloj, mientras que será cerrada la válvula, cuando el maneral sea girado a favor de las manecillas del reloj.



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

Cuando el sistema sea operado por primera vez en el turno, verifique, que la presión marque cero tanto en los evaporadores, como en el horno, posteriormente una vez que se asegure de esto:

PRECAUCION: Nunca opere el sistema estando inseguro de lo que hace, si es así acuda con un técnico o alguien que lo asesore, para evitar daños en el sistema y conservar su integridad física

PARA LA OPERACIÓN DE VALVULAS DURANTE LA GENERACIÓN DE VAPOR

Una vez que el sistema ha sido cargado con la solución ácida, que ninguna válvula esté abierta y que el sistema de seguimiento automático esté conectado al suministro eléctrico con un correcto enfoque de la energía proceda a hacer lo siguiente:

7. Verifique constantemente el posicionamiento del foco
8. Verifique constantemente la presión generada dentro del sistema
9. Cuando el sistema haya alcanzado una presión de 0.5kg/cm² abra y cierre la válvula VADV2 instantáneamente cuidando su integridad física y de quien se encuentre alrededor. (Esta operación es realizada con el fin de sacar de la línea el aire que haya quedado atrapado en el sistema, para aprovechar al máximo la capacidad del mismo)
10. Cuando el sistema haya llegado a la presión de 3.5kg/cm² aproximadamente 45 min después de haber cargado el sistema, es hora de accionar la descarga hacia la tubería (VDH), con la finalidad de precalentar y presurizar la tubería (véase acciones previas a utilizar el sistema solar).
11. Cierre la válvula VDH cuando la presión haya caído a 0.75kg/cm² y espere a que el sistema llegue a la presión de 2.5kg/cm² para hacer la descarga hasta el horno
12. Cuando el manómetro marque dicha presión (2.5kg/cm²), abra la válvula VDH.
13. Diríjase hacia el horno y abra la válvula de alimentación del mismo, para inyectar el vapor generado a la cámara de cocción.
14. Verifique la caída de presión del manómetro, hasta que esta llegue a cero, cierre la válvula VDH y la de alimentación del horno.

15. Regrese al paso 6 hasta completar el ciclo de uso del sistema de cocción (A lo mas serán 2 descargas de vapor)



PELIGRO: Todo movimiento realizado con las válvulas de salida atmosférica por mínimo que este sea deberá hacerse con una presión igual a cero.

PARA EL MANTENIMIENTO DE RUTINA

Para este tipo de equipos el mantenimiento con respecto a limpieza es imprescindible por ello, se recomienda que se mantenga limpia el área reflectante, por lo que para su limpieza siga los siguientes pasos

7. Con una franela húmeda limpie, deslizando suavemente la superficie que tenga manchas.
8. Aplique si es necesario un desengrasante, y frote con la franela el líquido hasta limpiar, NO TALLE EL AREA CON FIBRAS U OTRO MATERIAL QUE PUEDA GENERAR RAYAS PROFUNDAS EN LA LÁMINA REFLEJANTE.
9. Limpie con abundante agua y posteriormente seque perfectamente con otra franela a fin de que la superficie no quede con rasgos de gotas de agua, ya que esto genera posteriormente manchas mas difíciles de quitar.



ATENCIÓN: NO utilice fibras ni materiales ásperos para realizar la limpieza ya que causan daños al equipo.

ACCIONES PREVIAS AL USO DEL EQUIPO SOLAR

Antes de utilizar el equipo solar para generación de vapor, asegúrese de lo siguiente.

5. Que la válvula de alimentación de vapor del horno se encuentre cerrada.

6. Que la tubería haya sido drenada previamente para evitar que el agua que se encuentre en la misma, manche los sombreros dentro del horno.
7. Que la presión del sistema marque cero, para poder operar las válvulas que tienen salida atmosférica (VA, VADV1, VADV2 y VN)
8. Que el sistema no esté cargado previamente con la sustancia ácida, esto se refiere a checar la válvula VN abriéndola (siempre y cuando el sistema marque una presión de cero) y verificando el nivel que tiene, ya que es el que tiene el sistema como líquido dentro del mismo.
9. Que el día esté lo suficientemente soleado para el uso del equipo.
10. Que no haya nada que obstruya el libre movimiento de los concentradores

NOTA: *Este procedimiento deberá ser aplicado cuando y cuantas veces sea necesario.*

Cuestionarios

Cuestionario sobre la empresa productora de sombreros de palma en Santiago Cacaloxtepc Oaxaca

Datos personales

Nombre del productor: _____ Edad: _____

Domicilio: _____ Teléfono: _____

Datos de la empresa

Nombre de la empresa: _____ Teléfono de la empresa: _____

Dirección de la empresa: _____

Tiempo en la industria: _____ Mercado que cubre: _____

Estados de la república mexicana a los que su producto llega: _____

Clasificación de productos (por proceso o calidad): _____ Número de productos que maneja: _____

Nombre de los productos manejados: _____

Demanda aproximada mensual: _____

Numero de competidores: _____ Locales: _____ Foráneos: _____ Otros: _____

Implementación del sistema de innovación tecnológica:

1.- ¿Cree usted que le traería algún beneficio la modificación de su proceso de cocción?(Si/No/Porque):

2.- ¿Considera usted una ventaja competitiva la implantación de un sistema sustentable en su negocio?

3.- ¿Conoce usted los beneficios o perjuicios que un sistema sustentable tendría en las regulaciones legales con respecto al giro de su negocio?

Nombre y firma del productor

Nombre y firma del tesista

Evaluación del resultado de las pruebas hechas al sistema de cocción de sombreros de palma en Santiago Cacaloxtepic Oaxaca

Datos generales:

Nombre del productor: _____

Nombre de la empresa: _____ Teléfono: _____

En la siguientes tablas se muestra el número de prueba realizado en el sistema de cocción de sombreros, utilizando energías alternativas, por lo cual se le pide que evalúe, según su criterio sobre el resultado obtenido en los sombreros de palma, en una escala del 1 al 5 el desempeño del producto según las características requeridas, siendo el numero 1 la evaluación para el desempeño menos satisfactorio, y el numero 5 el desempeño mas satisfactorio o el mejor según las características evaluadas, tales como color, brillantez, textura, consistencia del sombrero, amarre de las fibras etc.

La siguiente tabla esta dirigida para que el productor, puesto que es quien esta al frente del negocio, debe exigir cierto nivel de calidad en su producto, por ello su evaluación es muy importante para verificar el desempeño del sistema.

| Número de prueba | DESEMPEÑO DEL PRODUCTO (Evaluación del productor) | | | | |
|------------------|---|------------|----------|--------------|--------------|
| | 1: Pobre | 2: Regular | 3: Bueno | 4: Muy bueno | 5: Excelente |
| Prueba #1 | | | | | |
| Prueba #2 | | | | | |
| Prueba #3 | | | | | |
| Prueba #4 | | | | | |

La siguiente tabla esta dirigida para que el operador, puesto que es quien esta en contacto con los sombreros cocidos constantemente, puede evaluar la consistencia de los mismos

| Número de prueba | DESEMPEÑO DEL PRODUCTO (Evaluación del operador) | | | | |
|------------------|--|------------|----------|--------------|--------------|
| | 1: Pobre | 2: Regular | 3: Bueno | 4: Muy bueno | 5: Excelente |
| Prueba #1 | | | | | |
| Prueba #2 | | | | | |
| Prueba #3 | | | | | |
| Prueba #4 | | | | | |

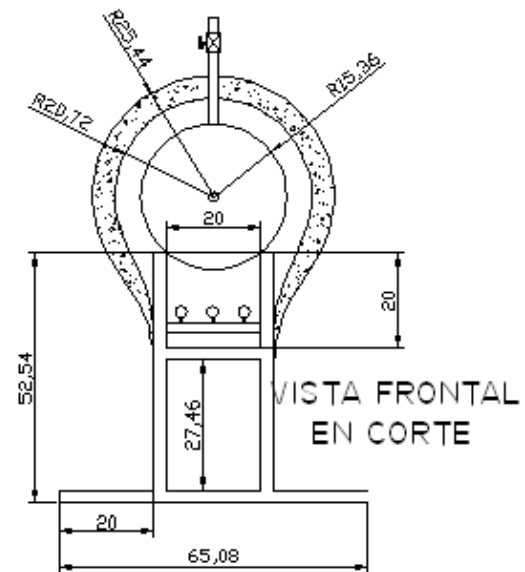
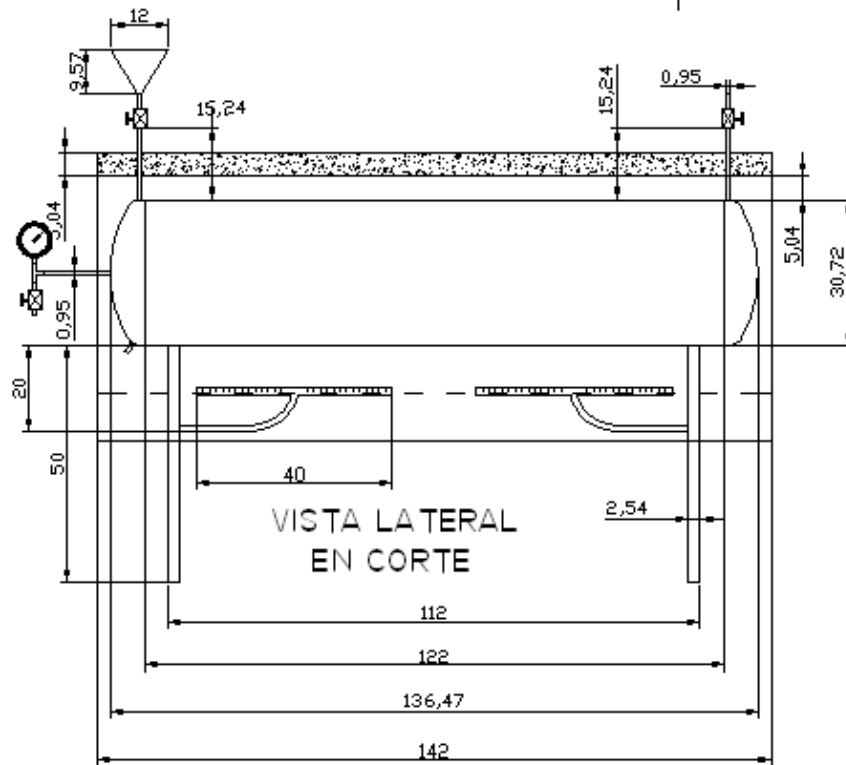
Estas métricas de desempeño sirven para determinar el resultado de la implementación del sistema puesto que al ser una innovación tecnológica, el desarrollo de las pruebas del diseño experimental, proveen una idea objetiva del resultado del sistema.

Nombre y firma del productor

Nombre y firma del tesista

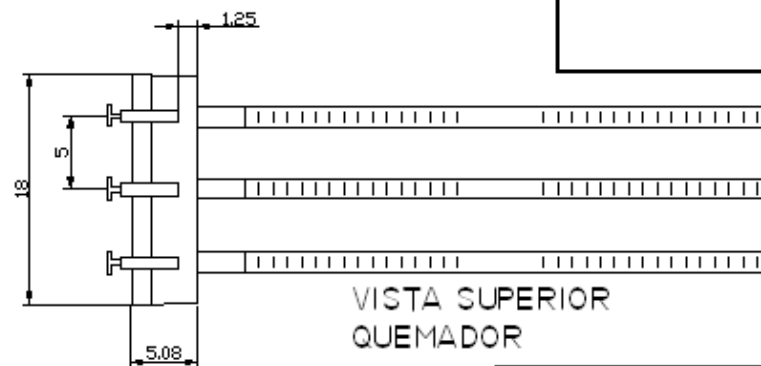
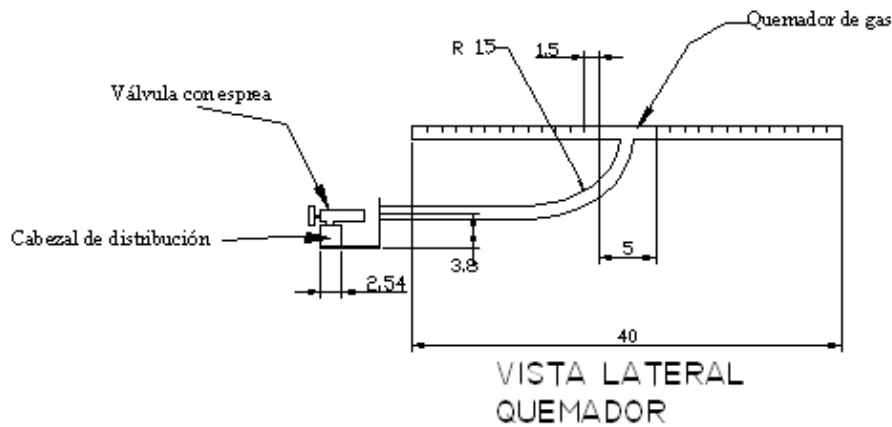
Huajuapán de León Oaxaca a ____ de julio de 2009

Planos de trabajo



ESPECIFICACIONES

SE USARÁ LÁMINA DE ACERO AISI 1010
DE CALIBRE 12 O 1/8",
ROLADA AL DIÁMETRO ESPECIFICADO



NOMBRE: SISTEMA DE EVAPORACIÓN
A BASE DE GAS L.P.

PROCESO DE COCCIÓN DE SOMBREROS DE PALMA
UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE

A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE OTRA COSA
LAS TOLERANCIAS SERÁN DE ± 0.05

MATERIAL: LÁMINA DE ACERO AISI 1010 C. 12 O 1/8"

DIBUJÓ: ALDERETE GÁTTICA VICTOR OZIEL

ESCALA: S/E UNIDADES: CENTÍMETROS PLANO: SGLP-CSPIN-A2

PIEZAS REQUERIDAS: 01

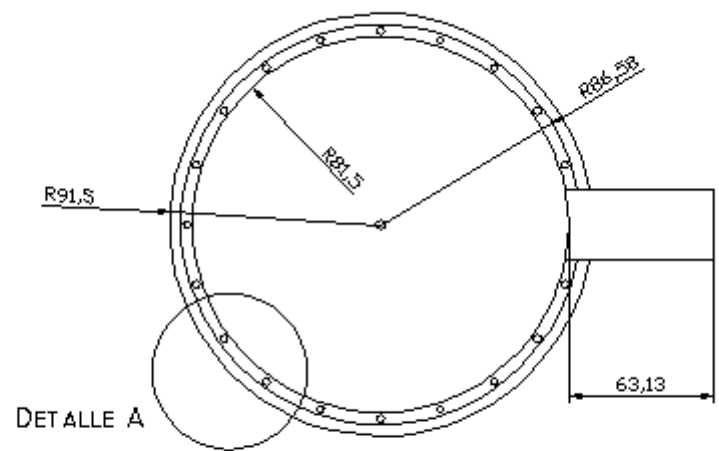
REVISÓ: ING. RODOLFO CARRO LÓPEZ

APROBÓ: ING. RODOLFO CARRO LÓPEZ

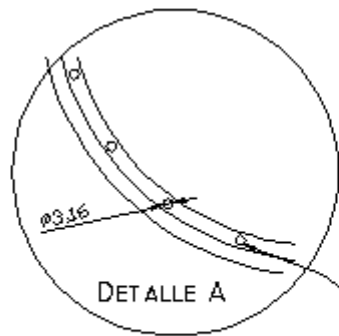
FECHA: 14 DE DICIEMBRE DEL 2008 NO DE PARTE: IN-A2

1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F



VISTA SUPERIOR



Placa de acero AISI 1010 de 1/8 in de espesor

Aislamiento térmico de 2 in de espesor (Fibra de vidrio)

Lámina de acero galvanizado C-22

Agrego de 20 alambres en 84.04 igualmente espaciados

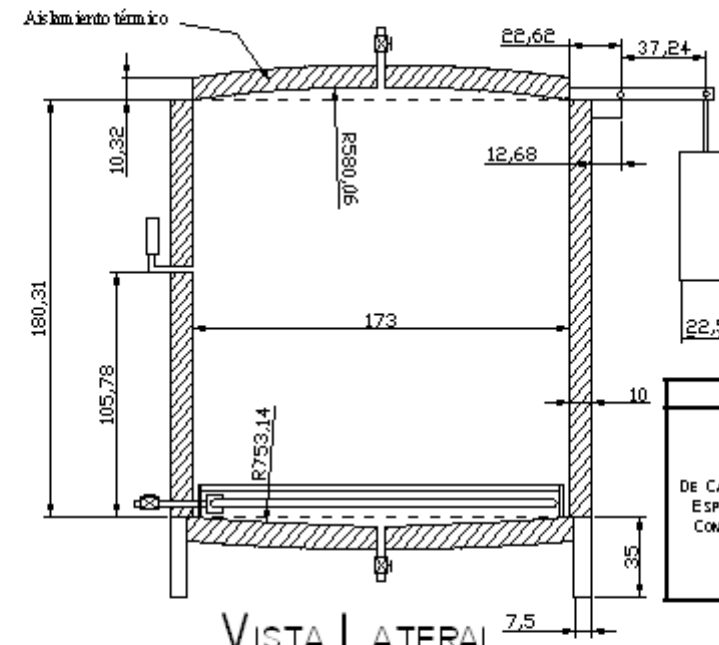
Válvula de seguridad

Manómetro de presión

Válvula de alimentación

Válvula de drenado

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL EN CORTE

| ESPECIFICACIONES | |
|---|--|
| ESPECIFICADO | |
| DE CALIBRE 12 O 1/8", ROLADA AL DIAMETRO ESPECIFICADO Y TRATANDO DE CUMPLIR CON LAS TOLERANCIAS REQUERIDAS. | |

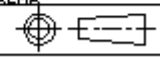
NOMBRE DE PIEZA: HORNO DE COCCIÓN PARA SOMBREROS DE PALMA

PROCESO DE COCCIÓN DE SOMBREROS DE PALMA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE

A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE OTRA COSA LAS TOLERANCIAS SERÁN DE ± 5.0 mm

MATERIAL: LÁMINA DE ACERO AISI 1010 C-12
PIEZAS REQUERIDAS: 01

DIBUJÓ: ALBERTO GATICA VICTOR OZIEL
REVISÓ: ING. RODOLFO CARRO LÓPEZ
APROBÓ: ING. RODOLFO CARRO LÓPEZ



ESCALA: S/E UNIDADES: CENTÍMETROS PLANO: HRN-CSPIN-A1
FECHA: 03 DE NOVIEMBRE DEL 2008 NO DE PARTE: IN-A1

1

2

3

6

7

8

Tablas de propiedades del agua

TABLA DE PROPIEDADES DEL AGUA (ENTALPÍA) RELACIÓN TEMPERATURA-PRESION

| Temp. C T | Press. kPa P | Enthalpy, kJ/kg | | | Entropy, kJ/kg K | | |
|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| | | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Evap. s_{fg} | Sat. Vapor s_g |
| 0.01 | 0.6113 | 0.00 | 2501.35 | 2501.35 | 0 | 9.1562 | 9.1562 |
| 5 | 0.8721 | 20.98 | 2489.57 | 2510.54 | 0.0761 | 8.9496 | 9.0257 |
| 10 | 1.2276 | 41.99 | 2477.75 | 2519.74 | 0.1510 | 8.7498 | 8.9007 |
| 15 | 1.705 | 62.98 | 2465.93 | 2528.91 | 0.2245 | 8.5569 | 8.7813 |
| 20 | 2.339 | 83.94 | 2454.12 | 2538.06 | 0.2966 | 8.3706 | 8.6671 |
| 25 | 3.169 | 104.87 | 2442.30 | 2547.17 | 0.3673 | 8.1905 | 8.5579 |
| 30 | 4.246 | 125.77 | 2430.48 | 2556.25 | 0.4369 | 8.0164 | 8.4533 |
| 35 | 5.628 | 146.66 | 2418.62 | 2565.28 | 0.5052 | 7.8478 | 8.3530 |
| 40 | 7.384 | 167.54 | 2406.72 | 2574.26 | 0.5724 | 7.6845 | 8.2569 |
| 45 | 9.593 | 188.42 | 2394.77 | 2583.19 | 0.6386 | 7.5261 | 8.1647 |
| 50 | 12.350 | 209.31 | 2382.75 | 2592.06 | 0.7037 | 7.3725 | 8.0762 |
| 55 | 15.758 | 230.20 | 2370.66 | 2600.86 | 0.7679 | 7.2234 | 7.9912 |
| 60 | 19.941 | 251.11 | 2358.48 | 2609.59 | 0.8311 | 7.0784 | 7.9095 |
| 65 | 25.03 | 272.03 | 2346.21 | 2618.24 | 0.8934 | 6.9375 | 7.8309 |
| 70 | 31.19 | 292.96 | 2333.85 | 2626.80 | 0.9548 | 6.8004 | 7.7552 |
| 75 | 38.58 | 313.91 | 2321.37 | 2635.28 | 1.0154 | 6.6670 | 7.6824 |
| 80 | 47.39 | 334.88 | 2308.77 | 2643.66 | 1.0752 | 6.5369 | 7.6121 |
| 85 | 57.83 | 355.88 | 2296.05 | 2651.93 | 1.1342 | 6.4102 | 7.5444 |
| 90 | 70.14 | 376.90 | 2283.19 | 2660.09 | 1.1924 | 6.2866 | 7.4790 |
| 95 | 84.55 | 397.94 | 2270.19 | 2668.13 | 1.2500 | 6.1659 | 7.4158 |
| 100 | 101.3 | 419.02 | 2257.03 | 2676.05 | 1.3068 | 6.0480 | 7.3548 |
| 105 | 120.8 | 440.13 | 2243.70 | 2683.83 | 1.3629 | 5.9328 | 7.2958 |
| 110 | 143.3 | 461.27 | 2230.20 | 2691.47 | 1.4184 | 5.8202 | 7.2386 |
| 115 | 169.1 | 482.46 | 2216.50 | 2698.96 | 1.4733 | 5.7100 | 7.1832 |
| 120 | 198.5 | 503.69 | 2202.61 | 2706.30 | 1.5275 | 5.6020 | 7.1295 |
| 125 | 232.1 | 524.96 | 2188.50 | 2713.46 | 1.5812 | 5.4962 | 7.0774 |
| 130 | 270.1 | 546.29 | 2174.16 | 2720.46 | 1.6343 | 5.3925 | 7.0269 |
| 135 | 313.0 | 567.67 | 2159.59 | 2727.26 | 1.6869 | 5.2907 | 6.9777 |
| 140 | 361.3 | 589.11 | 2144.75 | 2733.87 | 1.7390 | 5.1908 | 6.9298 |
| 145 | 415.4 | 610.61 | 2129.65 | 2740.26 | 1.7906 | 5.0926 | 6.8832 |
| 150 | 475.9 | 632.18 | 2114.26 | 2746.44 | 1.8417 | 4.9960 | 6.8378 |
| 155 | 543.1 | 653.82 | 2098.56 | 2752.39 | 1.8924 | 4.9010 | 6.7934 |
| 160 | 617.8 | 675.53 | 2082.55 | 2758.09 | 1.9426 | 4.8075 | 6.7501 |
| 165 | 700.5 | 697.32 | 2066.20 | 2763.53 | 1.9924 | 4.7153 | 6.7078 |
| 170 | 791.7 | 719.20 | 2049.50 | 2768.70 | 2.0418 | 4.6244 | 6.6663 |
| 175 | 892.0 | 741.16 | 2032.42 | 2773.58 | 2.0909 | 4.5347 | 6.6256 |
| 180 | 1002.2 | 763.21 | 2014.96 | 2778.16 | 2.1395 | 4.4461 | 6.5857 |
| 185 | 1122.7 | 785.36 | 1997.07 | 2782.43 | 2.1878 | 4.3586 | 6.5464 |
| 190 | 1254.4 | 807.61 | 1978.76 | 2786.37 | 2.2358 | 4.2720 | 6.5078 |