

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE HORNOS DE CURADO PARA LA PRODUCCIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS DE RESINA DURA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los Bachilleres:
Leal M. Freddy D.
Leinemann S, Else S
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE HORNOS DE CURADO PARA LA PRODUCCIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS DE RESINA DURA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Alfonso Bencomo.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Delgado.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por los Bachilleres:
Leal M. Freddy D.
Leinemann S, Else S
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

DEDICATORIA

A mi Madre y a mi Padre, que a pesar de mi carácter me supieron comprender en los momentos más difíciles y que además me brindaron siempre su apoyo económico cuando fue necesario, dedico todo el esfuerzo que he realizado para la culminación de mis estudios universitarios y la de este Trabajo Especial de Grado. A mis hermanos, que supieron comprender, a pesar de ser pequeños, la importancia de este trabajo. Y especialmente a María del Mar, quien con su cariño y ternura supo estar en los momentos más difíciles. En fin a los que ya nombré, les dedico todas las victorias que he cosechado, ya que sin ustedes no hubiese podido sembrar la semilla para conseguir estos frutos. Los amo, los quiero, los aprecio y los admiro.

A todos, muchas gracias
Freddy David Leal Moreno

A mi hijo Gabriel O., que apareció en mi vida dándome el incentivo y las ganas para continuar y vencer todas las dificultades y obstáculos. Para él, todo mi amor y mil disculpas por hacerle pagar mis tensiones, sinsabores y angustias durante los años de estudio, para lograr esta meta, que también la hago suya..

A mi padre y a mi madre por su constante dedicación, cariño y amor incondicional. Por ser los dos mejores ejemplos a imitar y siempre estar allí cuando más los he necesitado.

A mis hermanas, que de una u otra forma me han apoyando a emprender y finalizar una de las metas como persona.

A todos aquellos familiares, amigos y conocidos que a lo largo de mi carrera me han acompañado en las buenas y en las malas y me han dado la compañía y apoyo necesarios para lograr las metas propuestas.

A todos, muchas gracias.
Else Sofía Leinemann Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque nos ha dado la sabiduría, la vida y por poner en nuestros caminos a las personas que hicieron posible la realización de este Trabajo Especial de Grado.

A todo el personal de la empresa SOLA Venezuela, desde los gerentes hasta los horneros, por prestar su colaboración ante las necesidades presentes en la elaboración del estudio, en especial al Ing. Rigoberto España, Ing. José Delgado, al Tec. Gualberto Blanco, Tec. Carlos Mena, al Ing. José M. Fernández, a la Secretaría Irene Díaz, y a todos los mecánicos del área de Mantenimiento.

Al Prof. Alfonso Bencomo, que aceptó ser nuestro tutor y brindó su tiempo, paciencia y conocimientos en todo lo concerniente al área de estudio.

A la Prof. Miriam Sánchez por su dedicación, consejos, correcciones y tutoría prestada para la elaboración del Trabajo Especial de Grado.

Al Prof. Franklin Baduy, por darnos el apoyo en conocimientos de termodinámica para realizar los estudios incluidos en el Trabajo.

Al Prof. Rafael De Andrea, por darnos los conocimientos y la asesoría necesaria para realizar el estudio económico contenido en el Trabajo.

A todos, muchas gracias.

*Freddy David Leal Moreno
Else Sofía Leinemann Sánchez*

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE ANEXOS	X
RESUMEN	XI
INTRODUCCIÓN	XII

CAPITULO I. EL PROBLEMA.

1.1	Planteamiento del Problema	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Alcance y Limitaciones	3

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.0	Definición de Términos Básicos	6
2.1	Generalidades	7
2.1.1	La Organización	7
2.1.2	Estructura Organizativa de la Empresa	8
2.1.3	Áreas de la Empresa donde se desarrollo el Tema en Estudio	10
2.1.4	Proceso Productivo. Proceso de Manufactura	10
2.1.5	Lentes de SOLA Venezuela	13
2.1.5.1	Lentes Terminados	13
2.1.5.1.1	Moldes utilizados en Lentes Terminados	16
2.1.5.2	Lentes Semiterminados	17
2.1.5.2.1	Moldes utilizados en Lentes Semiterminados	17
2.1.6	Monómero	18
2.2	Bases Teóricas del Estudio	21
2.2.1	Hornos	21
2.2.1.1	Horno de Resistencia	21
2.2.3	Ventiladores	23
2.2.3.1	Clasificación de los Ventiladores	23
2.2.4	Controlador	25
2.2.4.1	Controlador PID	25
2.2.5	Válvulas de Control	27
2.2.5.1	Tipos de Válvulas	28
2.2.5.2	Válvula de Bola	28
2.2.5.3	Válvula de Solenoide	28
2.2.6	Circuitos de Corriente Alterna	29
2.2.6.1	Resistencia	29

2.2.6.2	Cargas Reactivas	30
2.2.6.3	Potencia Aparente activa y reactiva	30
2.2.6.3.1	Potencia Aparente	30
2.2.6.3.2	Potencia Activa	31
2.2.6.3.3	Potencia Reactiva	31
2.2.6.4	Triángulo de Potencias	31
2.2.6.5	Factor de Potencia	31

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.0	Marco Metodológico	32
3.1	Nivel de Investigación	32
3.2	Diseño de la Investigación	32
3.3	Población y Muestra	32
3.4	Instrumentos de Recolección de Datos	33
3.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	34
3.6	Procedimiento de la Investigación	34

CAPITULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.0	Funcionamiento del Horno	38
4.0.1	Motor Eléctrico	38
4.0.2	Controlador	40
4.0.3	Válvulas y Termocuplas	42
4.0.4	Resistencias Eléctricas	42
4.0.5	Enfriador	43
4.0.5.1	Evaluación Técnica en el Enfriador	45
4.0.5.2	Chiller de Agua Helada	51
4.0.6	Ventilador y Volutas	52
4.0.7	Carros y Bandejas	53
4.1	Investigación Documental	56
4.1.1	Reportes de Mantenimiento Preventivo	56
4.1.2	Prueba de 30 puntos	58
4.1.2.1	Importancia de la Prueba de 30 puntos	59
4.1.2.2	Procedimiento de la Prueba de 30 puntos	60
4.1.2.3	Prueba de 30 puntos	61
4.1.3	Causas que generan el mal curado en los Hornos	67
4.2	Desarrollo de la Investigación Experimental	70
4.2.1	Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de aire	70
4.2.2	Verificación del Diseño del Horno	71
4.2.3	Modificación del Sistema	72
4.2.3.1	Medición de Velocidad	73

4.2.3.2	Prueba de 30 puntos	74
4.2.3.3	Curva de Curado	78
4.2.4	Estudio experimental del Horno #3	81
4.2.4.1	Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de aire	81
4.2.4.2	Modificación del Sistema	82
4.2.4.2.1	Medición de Velocidad	82
4.2.4.2.2	Prueba de 30 puntos	83
4.2.4.2.3	Curva de Curado	85
4.2.4.5	Comparación de los Hornos #25 y #40	85
4.3	Estudio Técnico de Comparación Internacional	89
4.3.1	Ventilador	89
4.3.2	Enfriador	90
4.3.2.1	Instalación del equipo	92
4.3.2.2	Medición de velocidades	93
4.3.2.3	Curva de Curado	94
4.4	Generación de Agua Helada	96
4.4.1	Procedimiento para el Cálculo de la Carga Máxima dentro del Horno	97
4.4.1.1	Temperatura de entrada del agua	97
4.4.1.2	Temperatura de salida del agua	97
4.4.1.3	Caudal de agua	98
4.4.1.4	Cálculo de la Carga Máxima	99

CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.0	Análisis de Resultados	101
-----	------------------------	-----

CAPITULO VI. ANÁLISIS ECONÓMICO

6.0	Estudio Económico	106
6.1	Sistema actual	106
6.1.1	Opción A	111
6.1.2	Opción B	116

CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.0	Conclusiones	121
7.1	Recomendaciones	124

BIBLIOGRAFÍA	125
---------------------	------------

INDICE DE TABLAS

Tabla	DESCRIPCIÓN.	Pag.
4.0	Inventario de los motores de los hornos	39
4.1	Cálculo de Temperatura de la superficie interior de los tubos T_{s_i}	48
4.2	Cálculo de la Temperatura de la superficie exterior de los tubos T_{s_e}	49
4.3	Cálculo de la Temperatura del aire fuera de los tubos T_{∞}	50
4.4	Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #40.	56
4.5	Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #25	57
4.6	Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #3	57
4.7	Prueba de 30 Puntos a los Hornos, Mayo 2003	62
4.8	Diferencias máximas y mínimas del Horno #40 para el año 2000	64
4.9	Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de AIRE	71
4.10	Longitudes modificadas	72
4.11	Velocidades de aire registradas	73
4.12	Diferencias máximas y mínimas del Horno #40 (última modificación)	77
4.13	Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de AIRE	81
4.14	Modificación del Horno #3	82
4.15	Velocidades Iniciales	83
4.16	Velocidades luego de la modificación del Horno #3	83
4.17	Diferencias máximas y mínimas de Transmitancia del Horno #3	84
4.18	Velocidades de Aire del Horno #25 y Horno #40	86
4.19	Diferencias máximas y mínimas de Transmitancia del Horno #25	88
4.20	Diámetros del ventilador	89
4.21	Número de alabes	90
4.22	Altura del ventilador	90
4.23	Velocidad de giro	90
4.24	Comparación Técnica de los Enfriadores	92
4.25	Comparación de Velocidades para cada una de las modificaciones realizadas	93
4.26	Especificaciones del Intercambiador de Calor de los Hornos de Irlanda	96
4.27	Data de Temperatura de Salida del Agua	97
4.28	Data de Caudal	98
4.29	Comparación del Chiller	100
4.30	Comparación del sistema de Generación de Agua Helada	100
6.1	Consumo Eléctrico de las Resistencias	107
6.2	Consumo Eléctrico de los Motores	108
6.3	Tarifa eléctrica	109
6.4	Costos de los motores para el Sistema Actual	110
6.5	Costos Eléctricos de los Hornos	110
6.6	Costo de la Inversión de los motores de 2 hp	111
6.7	Consumo Eléctrico de los Motores para la opción A	112
6.8	Costos Eléctrico de los Motores de la Opción A	112
6.9	Consumo Eléctrico Total de los Hornos en un Año	113
6.10	Costos del Sistema Actual	114

6.11	Costos de la opción A	115
6.12	Comparación de costos	116
6.13	Costo de la Inversión del intercambiador	117
6.14	Costos eléctricos anuales de la opción B	117
6.15	Unidades diarias	118
6.16	Costo de los lentes por unidad	118
6.17	Costos de la opción B	119
6.18	Comparación de costos	120

INDICE DE FIGURAS

Fig.	DESCRIPCIÓN.	Pag.
2.1	Esquema de la instalación de caldeo eléctrico	23
2.2	Tipos de Ventiladores	25
2.3	Válvula de control Típica	27
2.4	Triángulo de Potencias	31
4.1	Motor Eléctrico (sobre el horno)	40
4.2	Motor Eléctrico (fuera de servicio)	40
4.3	Simbología en la pantalla del controlador	40
4.4	Válvula de Bola PVC	42
4.5	Resistencias eléctricas	43
4.6	Intercambiador de Calor	44
4.7	Esquema del Intercambiador sin aletas	46
4.8	Perfil de Temperatura	47
4.9	Vista transversal del tubo	48
4.10	Chiller #1	51
4.11	Chiller #1	51
4.12	Chiller #2	51
4.13	Bombas de entrada al tanque	51
4.14	Tanque de almacenamiento de agua	52
4.15	Bombas de salida de agua	52
4.15.1	Ventilador cara inferior	53
4.16	Ventilador cara superior	53
4.17	Voluta derecho	53
4.18	Carros y bandejas	54
4.19	Carros y bandejas	54
4.20	Bandejas de lentes semiterminados	54
4.21	Bandejas de lentes terminados	54
4.22	Colocación de lentes en la Prueba de 30 puntos	59
4.23	Gráfica de Transmitancia Real vs Patrón del Horno #40 para el año 2000	63
4.24	Diferencia de la T_{max} con la T_{min} en lado izquierdo para el año 2000	65
4.25	Diferencia con la transmitancia patrón en lado izquierdo para el año 2003	65
4.26	Diferencia con la transmitancia patrón en lado derecho para el año 2000	66
4.27	Diferencia con la transmitancia patrón en lado derecho para el año 2003	66
4.28	Corte del Horno vista superior	67
4.29	Corte del Horno (vista de frente)	68
4.30	Transmitancia Real vs. Patrón del Horno #40 sin las volutas.	74
4.31	Transmitancia Real vs. Patrón del Horno #40 (colocadas como en el plano)	75
4.32	Transmitancia Real vs. Patrón del Horno #40 (ultima modificación)	76
4.33	Curva de Curado Temperatura vs. Tiempo, sin las volutas	78
4.34	Curva de curado Temperatura vs. Tiempo, colocadas como en el plano	79
4.35	Curva de Curado Temperatura vs. Tiempo, última modificación	80
4.36	Transmitancia Real vs. Patrón del Horno #3 luego de la modificación	83

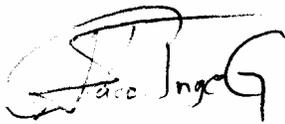
4.37	Curva de Curado Temperatura vs. Tiempo del Horno #3	85
4.38	Comparación de Transmitancia del Horno #40 con el Horno #25	87
4.39	Intercambiador de Calor (vista superior)	91
4.40	Intercambiador de Calor (vista lateral)	91
4.41	Curva de Curado con el Enfriador original	94
4.42	Curva de Curado con el Enfriador de Australia	95
4.43	Intercambiador de Calor Actual	99
6.1	Comparación del Costo Eléctrico Anual de los Motores de 3hp y 2 hp	113
6.2	Comparación de Costos Anuales del Sistema Actual con la Opción A	116

Caracas, Octubre del 2003.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres: Freddy D. Leal M. y Else S. Leinemann S., titulado:

“ESTUDIO DE HORNOS DE CURADO PARA LA PRODUCCIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS DE RESINA DURA“

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.



Prof. Francisco García
Jurado



Prof. Franklin Baduy
Jurado



Prof. Alfonso Bencomo
Tutor Académico

RESUMEN

Leal M. Freddy D.

Leinemann S, Else S

ESTUDIO DE HORNOS DE CURADO PARA LA PRODUCCIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS DE RESINA DURA

Tutor Académico: Prof. Alfonso Bencomo. Tutor Industrial: Ing. José Delgado.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Mecánica 2003. 128 págs.

Palabras claves: Hornos de Curado, Calidad, Transmitancia, Lentes Oftálmicos.

Este Trabajo Especial de Grado consiste en una investigación descriptiva de carácter técnico-experimental y económico de los hornos enfriados por agua de la empresa SOLA Venezuela. Partiendo de la observación directa de su operación, de consultas documentales y bibliográficas y de un conjunto de pruebas y mediciones, se determinaron los cambios que mejoran las propiedades y acabados de los lentes oftálmicos curados en los mismos, así como aquellos que generan costos y ahorros para la Empresa.

Para ello, fue necesario evaluar el funcionamiento de cada uno de los componentes de dichos hornos, someterlos a modificaciones de su condición actual y realizarles respectivas pruebas de curado, para constatar si determinados cambios de su estado operativo, de su ubicación o sustitución de algún elemento, indicaban mejoras en la propiedad de transmitancia de los lentes elaborados, sin modificar el calentamiento del horno, realizado de acuerdo a patrones establecidos.

A la luz de esos resultados, se proponen mejoras o cambios técnicos a los hornos, basados en la disminución de la desviación de la calidad de los lentes, en el rendimiento óptimo de cada elemento implicado en el proceso de curado, en el cumplimiento de los estándares y en los gastos y ahorros para la empresa que implican cada uno de los cambios propuestos en el proyecto.

INTRODUCCIÓN.

SOLA Venezuela es parte de una organización internacional fundada en 1960 en Australia, que posee en la actualidad 14 fábricas a nivel mundial y opera en más de 50 países.

En la Zona Industrial de Villa de Cura, Edo. Aragua, inicia sus operaciones en 1990 y hoy en día es la única industria en el país dedicada a la fabricación y distribución de lentes oftálmicos de resina dura. Además, sus políticas de ventas se extienden también al ámbito internacional.

Su posición significativa en el mercado la obliga a mantener la calidad del producto terminado, con los niveles de dureza y transmitancia establecidos en la fabricación de esos lentes. En la actualidad, la empresa aspira disminuir posibles fallas presentes en la fabricación, que pudiesen representar a largo plazo pérdidas económicas y de prestigio.

Por lo tanto, su directiva ha dado el visto bueno y apoyo a la realización de un estudio técnico especializado, que incluye la revisión de los problemas existentes y la formulación de posibles mejoras al proceso de curado, etapa de producción decisiva en las propiedades de dureza y transmitancia antes mencionadas. Tal proceso se realiza con hornos eléctricos enfriados por agua y sus accesorios, a partir de la mezcla (monómero + catalizador) constitutiva del lente.

El funcionamiento en conjunto de esos equipos es la razón del presente estudio técnico-experimental y económico, desarrollado en siete capítulos y sus respectivos anexos y apéndices.

Como Trabajo Especial de Grado, esta temática es pertinente a la carrera, ya que implica un conocimiento teórico-práctico de cada uno de los factores y componentes a estudiar y representa un caso ingenieril porque abarca un conjunto de análisis preliminares, para poder proponer soluciones a los requerimientos y estándares del proceso productivo.

Por otra parte, como el estudio se practica dentro de las instalaciones de la empresa y en plena operación, es posible adquirir además experiencia laboral y práctica y establecer relaciones con miras a una oportunidad de trabajo profesional en esa organización transnacional.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En todo sistema industrial debe vigilarse el cumplimiento de los métodos de elaboración de bienes y los estándares de calidad, en todas las etapas del proceso productivo, para garantizar la eficiencia y eficacia de la organización y cumplir con la demanda y exigencias del mercado. La empresa SOLA de Venezuela no escapa de esta condición.

En el presente Trabajo de Grado se pretende precisamente aportar posibles soluciones de carácter tecnológico a esta empresa, reconocida en el campo de la fabricación de lentes oftálmicos, la cual presenta ciertas deficiencias en la calidad de los productos terminados, detectadas por la gerencia. a través de las pruebas practicadas a los mismos.

Los lentes oftálmicos de resina dura elaborados por ella, están sujetos a varias etapas de producción, siendo la del curado del polímero donde se les proporcionan las propiedades y acabados deseados.

Debido a que dichos lentes, al ser inspeccionados bajo controles de calidad rutinarios presentan irregularidades en sus propiedades y acabado superficial y por otra parte, como los valores de transmitancia obtenidos en los lentes en las pruebas semestrales de 30 puntos practicadas a los hornos, evidencian desviaciones de calidad de 2 a 3 veces mayor a la establecida, la gerencia de la empresa decidió que se efectuara un diagnóstico del funcionamiento de los hornos en cuestión.

Esto se justifica, porque los hornos tienen la responsabilidad de transferir el calor necesario y constante a los lentes, según el cumplimiento de una curva de calentamiento característica del tipo de producto a elaborar.

Por lo tanto, como el horno es el equipo responsable del curado o endurecimiento de la mezcla (monómero + catalizador) en el molde, se plantea en este Trabajo Especial de Grado hacer una evaluación del funcionamiento de cada uno de los componentes internos y externos que conforman dicho equipo, así como de los implementos (moldes, bandejas y carros) y parámetros (temperatura, caudal, velocidad, etc.) que están relacionados con la transferencia de calor.

De esta forma, es posible concluir cuáles son las causas que producen dicho comportamiento en el curado de lentes y proponer los diferentes cambios o mejoras a

realizar para lograr una producción óptima. Todo ello, con el fin de obtener lentes que tengan la capacidad de transmitancia requerida y que el horno realice su proceso de calentamiento según lo establecido por los estándares de calidad y producción.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General:

Realizar un estudio de los hornos de curado de la empresa SOLA de Venezuela destinados a la producción de lentes oftálmicos de resina dura, con el propósito de diagnosticar posibles fallas en su funcionamiento que interfieran en la calidad del producto y proponer aquellos ajustes que permitan elevar la categorización de esta empresa en el área de curado de lentes.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Realizar la consulta de manuales de operación y bibliografía pertinente sobre cada uno de los equipos relacionados con el curado de lentes oftálmicos, para dominar los conocimientos teórico-prácticos de esta tecnología de fabricación.
- Estudiar las diferentes etapas del proceso de producción de los lentes terminados y semiterminados, específicamente el proceso de curado realizado por los hornos enfriados por agua., con el objeto de conocer la operación técnica de la empresa.
- Establecer las características de funcionamiento del horno y determinar su condición actual, para identificar el estado de los equipos que lo conforman (ventilador, enfriador, resistencias, entre otros componentes). y la operación de los mismos.
- Evaluar el estado de los implementos introducidos en el horno(carros y bandejas), con el fin de verificar su mayor o menor influencia en la calidad del producto.
- Practicar cambios en los parámetros y condiciones operativas de los hornos, a objeto de identificar las opciones que incidan en una mejor producción.
- Practicar a los hornos pruebas de calidad del curado, para diagnosticar la validez de los cambios efectuados a sus componentes.

- Comparar los estándares de funcionamiento de los hornos industriales de esta empresa transnacional en Australia e Irlanda, con los aplicados en su planta de Venezuela, y proponer así ajustes a la producción, con miras a un nivel de competitividad mundial.
- Elaborar un estudio técnico-económico de los cambios propuestos a los hornos, para fines de reducción de costos y planificación de las inversiones de la empresa.

1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente Trabajo Especial de Grado es un estudio técnico-experimental-económico de los hornos enfriados por agua de la empresa SOLA de Venezuela, a fin de determinar los cambios pertinentes que mejoren las propiedades y acabados de los lentes oftálmicos curados en dichos hornos.

Es de carácter técnico-experimental porque evalúa cada componente relacionado con el horno, a objeto de que cumpla efectivamente con sus funciones de operación y con la geometría, dimensiones, estructuras y ubicación, independientemente de las especificaciones de los planos de planta y equipos y de las normas de producción establecidas. Al mismo tiempo, porque se proponen cambios al sistema actual para constatar en qué grado varían las propiedades de los lentes y el curado, al modificar la ubicación de algún elemento o la condición operativa dentro del horno.

Como consecuencia de cada cambio realizado al horno en cuestión, en este estudio se ejecuta la prueba de 30 puntos, que es la que determina, según los valores obtenidos de transmitancia en los lentes, qué tan efectivo es el curado dentro del horno, sin llegar a realizarse estudios de transferencia de calor y balances termodinámicos dentro del horno, ni pretender analizar la composición de la mezcla en los moldes, que también la arroja la prueba de 30 puntos. Asimismo, conviene advertir que en las propuestas de cambios no se contempla modificar las curvas patrones de curado, porque se trata de estándares internacionales.

Por otra parte, en relación al análisis comparativo del funcionamiento de los equipos de esta empresa con los de Australia e Irlanda, es necesario tomar en cuenta que se realiza con base a datos proporcionados por auditorias y documentos de la misma transnacional.

Es también un estudio económico porque se calcula la conveniencia de sustituciones sugeridas en cuanto a elementos o componentes del horno, en términos de inversión, costos y ahorros para la empresa.

Entre las limitaciones y dificultades que se hicieron presentes durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, cabe resaltar las siguientes:

- El sistema de monitoreo de funcionamiento del horno no permite obtener datos gráficos de operación de todos sus componentes, como por ejemplo, cuándo y a qué temperatura la válvula solenoide es cerrada por el controlador y cuánto tiempo dura y se repite el proceso de abrirla y cerrarla durante el curado.
- La imprecisión al medirse las velocidades dentro del horno, debido a que se hace con un anemómetro que no es fijo en el horno, sino externo al mismo y condicionado a la estabilidad de quien lo sujeta.
- La disponibilidad de sólo una termocupla fijada en el centro del horno para obtener el valor de temperatura interna, sin que existan otras ubicadas a lo largo y ancho de su estructura y sin la posibilidad además de colocarlas por falta de espacio dentro del mismo para conocer los rangos térmicos que tiene el aire recirculado. Por ello, no se plantea desarrollar el análisis de la transferencia de calor interna en el horno.
- La permanente dificultad de tener que calcular ciertas variables importantes que definen el funcionamiento de los equipos en general, porque no son arrojados por el sistema.
- No fue posible establecer la potencia, rendimiento, velocidades del ventilador y las caídas de presión del aire succionado por el mismo, a pesar de los intentos por localizar en los archivos de la empresa información acerca de la curva característica del ventilador, la cual es indispensable para efectuar los cálculos respectivos.
- Contar con una sola herramienta de medición para diagnosticar el proceso de curado en los hornos, como es la prueba de 30 puntos, porque condiciona el análisis exclusivamente a la transmitancia de los lentes obtenidos, sin incursionar en el estudio de otras propiedades, lo cual es fijado por control de calidad de la empresa.
- Si bien es cierto que la Prueba de 30 puntos fue aplicada al Horno #40 cada vez que los cambios lo ameritaban, ello no fue posible hacerlo con el enfriador enviado desde

Australia, por razones de competencia exclusiva de la empresa, ajenas a la voluntad de los autores de este estudio.

- Debido a la presencia de partículas de monómero sobre las paredes y componentes del horno, lo que constituye un elemento de intoxicación dérmica y olfativa, aumentó la dificultad de practicar las mediciones previstas en este estudio.

CAPÍTULO II

2.0 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS

CONJUNTO LLENO: Ensamble de moldes con aro y mezcla de monómero.

CONJUNTO VACÍO: Es el ensamble de moldes con aro y mezcla de monómero.

CURA EN HORNO: Es el tiempo de cocción en que el monómero del conjunto lleno se endurece y forma el lente, a través de control de temperatura y acción química.

GANCHO: Es un clip de metal usado para sostener el conjunto vacío.

LENTE TERMINADO: Son aquellos lentes que no requieren modificación por parte del laboratorio. Este tipo de lente va directo a las ópticas y sólo se realizan cortes de acuerdo a la forma de la montura.

LENTE SEMITERMINADO: Son aquellos lentes con la cara anterior terminada y la cara posterior semiterminada. Estos requieren ser tallados y pulidos en el laboratorio hasta alcanzar el espesor adecuado y el poder de dioptría según la prescripción del optometrista u oftalmólogo.

TRANSMITANCIA (T): Es la fracción de luz incidente que sale de una muestra.

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 LA ORGANIZACIÓN

La empresa SOLA Venezuela, anteriormente denominada OPTISOLA, ubicada en la Zona Industrial Las Minas en Villa de Cura, Estado Aragua, inició sus operaciones el 22 de junio de 1990 con 17 trabajadores. Para esa fecha, su capital estaba formado por 50% de capital extranjero y un único accionista Venezolano con el restante 50%. Sus siglas corresponden a Scientific Ophthalmic Laboratories of Australia.

Esta empresa forma parte de una organización internacional de origen australiano que fue fundada en 1960, por iniciativa de nueve profesionales de diferentes áreas interesados en fabricar lentes oftálmicos de material orgánico. Hoy en día posee 14 fábricas a nivel mundial y opera en más de 50 países.

Esta organización se encarga de la fabricación de lentes ópticos terminados y semiterminados, resistentes a la acción de elementos químicos, al impacto y a los rayos ultravioletas.

Su participación en el mercado nacional es de 85% y con exportaciones para Europa y Latinoamérica. Actualmente cuenta con aproximadamente 300 empleados en la fábrica, distribuidos en el área de producción, distribución, administración y servicios generales.

En sus inicios, SOLA Venezuela era una pequeña planta de manufactura, que utilizaba para el proceso de curado de lentes, hornos enfriados por aire, construidos por una firma irlandesa. Como este sistema hacía depender el enfriamiento de las condiciones del aire ambiental, los hornos fueron modificados en el año 2000 por un sistema enfriado por agua, a fin de controlar mejor la curva de calentamiento y aumentar la producción de lentes de 1.000 a 20.000 unidades diarias.

2.1.2. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA EMPRESA

La operación de la empresa SOLA Venezuela atiende al principio de verticalidad de mando y se estructura en tres niveles jerárquicos. Según Melinkoff (1990), este tipo de estructura es una relación directa y ejecutiva que se establece entre un superior y su subalterno. (Ver Anexo I. Organigrama Estructural de la Empresa).

A continuación explicaremos los niveles donde se realizó el trabajo:

2do. Nivel. Gerencia de Manufactura:

G. de Manufactura. De acuerdo con los objetivos de la organización, es la que planifica, coordina y dirige las actividades de elaboración de lentes, fabricación de los elementos básicos como son los aros y moldes, y todo lo relacionado con el empaque de los mismos. Tiene a su cargo cuatro (4) unidades, a saber: Departamento de Preparación de Monómero y Planta SIP, Departamento de Producción y las Coordinaciones de Mantenimiento y de Adiestramiento de Planta.

3er. Nivel. Departamentos y Coordinaciones:

Dpto. Monómero y Planta SIP. Es el encargado de elaborar en todas sus partes la materia prima y de supervisar las concentraciones de monómero y del catalizador SIP, con el fin de preparar la mezcla establecida

Dpto. Producción. Departamento encargado de elabora los reportes diarios de producción de todos los elementos que se fabrican en la planta y de estudiar y supervisar la ejecución de las etapas de producción por parte del personal. Maneja los registros de productos elaborados, así como aumenta o disminuye la producción según sea la demanda del momento. Tiene a su cargo las unidades de Empaque, Terminado y Semiterminado.

Coordinación de Mantenimiento. Coordina, supervisa y es el responsable de velar por el mantenimiento general, tanto preventivo como por avería de todas las máquinas, equipos e instalaciones de planta. Sus funciones principales son: supervisar el personal bajo su cargo, coordinar y supervisar las actividades de mantenimiento de las instalaciones del edificio y revisar físicamente los equipos, organizar órdenes de trabajo revisando el cumplimiento de las mismas, supervisar y controlar el almacén de repuestos, adquisición de los materiales y

repuestos para contratar un stock adecuado y los registros actualizados, y elaborar requisiciones de materiales e informes de personal y equipos de mantenimiento.

Este departamento esta conformado por tres categorías de personal, el cual se divide según su género para alcanzar las soluciones correctas y eficientes a los problemas que se presentan.

El personal mecánico, realiza ajustes hidráulicos y neumáticos a las máquinas, reponen piezas de éstas (pistones, estoperas, sensores y otros), desmontan y ensamblan piezas mecánicas y neumáticas, remodelan piezas, efectúan el mantenimiento preventivo y por avería a bombas hidroneumáticas y le aplican el mantenimiento al compresor principal y a los hornos de curado de la línea de producción.

El personal eléctrico, realiza mantenimiento preventivo y por avería a los tableros, motores eléctricos, instrumentos de medición y se encargan del alumbrado de la planta.

El personal de servicios generales u operarios de limpieza, se encargan de mantener limpias las áreas internas y externas de la planta. Limpiar los sanitarios, mantener limpias las oficinas, sala de reuniones, pasillos, almacenes, áreas de laboratorio, áreas de producción, taller de mantenimiento y comedor.

También son los que efectúan reparaciones sanitarias, destapes de cañerías, riego de plantas y labores de siembra cuando se requiera.

Dpto. de Aseguramiento de la Calidad Desarrolla los estándares de calidad de los productos fabricados (lentes, moldes y aros) y las especificaciones para la materia prima. Para ello, realiza auditorias diarias para recoger información que puedan llevar a detectar irregularidades en el proceso. Desarrolla y actualiza procedimientos de inspección, analiza y verifica la calidad de las devoluciones. Procesa información técnica para suministrar a distintos departamentos datos relativos a la calidad del producto.

2.1.3. ÁREAS DE LA EMPRESA DONDE SE DESARROLLO EL TEMA EN ESTUDIO

Para llevar a cabo el estudio de los hornos de curado, se trabajó directamente en la Coordinación de Mantenimiento, con el apoyo técnico de la gerencia de Manufactura y el Departamento de Aseguramiento de la Calidad.

En el de Mantenimiento, porque reúne todos los expedientes de trabajos de mantenimiento realizados a los hornos y demás equipos del sistema productivo a lo largo de los años, además de contar con el personal y equipos de medición necesarios para realizar lo previsto en la metodología de este Trabajo Especial de Grado.

El de Manufactura, porque permitió trabajar e inspeccionar diferentes hornos según lo requerido, además de facilitar un horno en particular (Horno #40) por un lapso de dos meses y medio.

La colaboración prestada por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad fue determinante, ya que se encargó de ejecutar, según las exigencias metodológicas, la Prueba de 30 puntos (prueba de inspección del curado de los lentes) al horno en estudio, para constatar si los cambios realizados a dicho horno, mejoraban la calidad de los productos obtenidos. A la vez, facilitó los registros de pruebas de calidad realizadas a los 48 hornos que tienen destinados para el curado de lentes y toda la información necesaria vinculada con sus procesos de inspección y verificación de la calidad.

2.1.4. PROCESO PRODUCTIVO. PROCESO DE MANUFACTURA

La empresa SOLA de Venezuela se dedica a la fabricación de lentes terminados y semiterminados, y a la vez produce otros artículos: moldes, aros y mezcla de monómero, necesarios para la fabricación de los lentes, en las áreas de Producción de Moldes, Inyección y Planta SIP respectivamente. (Ver Anexos II. Diagrama de Flujo de Terminado, Diagrama de Flujo de Semi-Terminado, Fabricación de Moldes, Flujograma del Área de Inyección, Diagrama de Flujo del Proceso de Inyección y Diagrama de Flujo Planta SIP.

La fabricación de lentes orgánicos, se inicia llevando los moldes de cristal desde el Almacén hasta la operación de llenado, pasando luego a la operación de curado y después a la de lavado, donde se les quita los aros que son posteriormente transportados desde el Almacén hasta la operación de colocación de aros. Después pasan a la operación de abertura e inspección, quedando solamente el lente y los moldes se vuelven a llevar hasta la etapa de llenado. En la inspección, si éste es aprobado se lleva hasta la operación de post-cura, si no pasa, se inspecciona al 100%. En la inspección al 100%, si éste no pasa se rechaza y si pasa se lleva hasta la operación de post-cura.

Después que cada lente es aceptado pasa a la operación de empaque, y la de almacenamiento, para que a la final se venda y finalmente se distribuya.

En detalle, las etapas del proceso de elaboración de lentes son (Ver Anexo N° 8 Diagrama de Flujo del Proceso de Fabricación de Lentes Orgánicos)

Molde, Aros y Laboratorio Químico.

- El **Molde** es una pieza de cristal pulida a exactas especificaciones para reproducir lentes con su misma curvatura.

- El **Aro** es un cilindro de goma fabricado en la empresa mediante un proceso de inyección según especificaciones técnicas para cada tipo de lente, los cuales son usados para sostener los moldes frontales y posteriores acoplados a un tope.

- En el **laboratorio** se prepara la mezcla utilizada en la fabricación de lentes plásticos, que es una mezcla de monómero y SIP(catalizador).

Llenado de Conjuntos, Hornos y Lavado.

- El **Llenado de Conjuntos** es un proceso que permite la introducción de la mezcla en el conjunto previamente



ensamblado para iniciar la polimeración en la etapa del curado.

- **Hornos** es la etapa donde se realiza el proceso de curado del polímero, a través del cumplimiento de una curva de calentamiento característica de acuerdo al tipo de lente.
- El **Lavado** es un proceso importante para que el lente logre su calidad y una vez terminado el lente queda totalmente seco y sin residuos de mezcla o cualquier otro elemento.

Inyección, Fabricación de Moldes y Colocación de Aros.

- La **Inyección** es el proceso de fabricación de aros mediante la inyección de plástico para la elaboración de lentes a partir de aros reciclados y materia prima.

- La **Fabricación de Molde** se encarga de la fabricación de cristales con la forma geométrica y características del lente, mediante el correcto ensamblaje.



Para la **Colocación de Cristales** se detallan dos aspectos:

1. Línea de lentes terminados: Se posee un pulpo donde se colocan los aros ordenados de acuerdo al tipo de conjunto que le corresponda, de tal forma que cuando entren a la sala los conjuntos, sea más fácil ubicarlos.
2. Línea de lentes semiterminados: El operador de la máquina de lavado le indica al colocador de aros la base correspondiente a los conjuntos que va a introducir en la máquina.

Inspección, Empaque y Almacén General.

- En el **Proceso de Inspección** se inspeccionan los lentes y si se encuentra algún defecto se marca con un lápiz de cera color azul, se envía por la banda transportadora a la operadora que lo ensambló y se registra en la hoja de control de devoluciones. En



caso de no encontrarse ningún defecto se le coloca el gancho que le corresponda y se envía al área de llenado.

- En el **Proceso de Empaque** se catalogan los lentes. Se empaquetan en cajas de unidad y se coloca la etiqueta correspondiente a la dicción del lente, luego se ordenan en 10 cajitas (5 pares) en una más grande. Después se colocan en forma ordenada y se lleva un registro de los pares de lentes empacados. Cabe destacar que cada calidad es empacada por separado, donde la calidad burbuja está embalada en cajas con una línea negra en el exterior de la caja. Después de asegurarse de la calidad de los lentes, se realiza un muestreo de éstos que están empacados y se chequean para autorizar la salida de los lentes al almacén general. (Ver Anexo N° 9 Diagrama de Flujo Área de Empaque)

- El **Almacén General** recibe todos los lentes aprobados por aseguramiento de calidad, además de todos los insumos. Para proceder al despacho de mercancía a nuestros clientes se debe esperar por la lista de empaque con la cual procede a embalar, fletar y etiquetar las cajas para esperar la facturación y orden de salida.

2.1.5 LENTES DE SOLA VENEZUELA

La forma más usual de corregir los defectos visuales es con el uso de lentes espectrales, los cuales elabora SOLA Venezuela en dos unidades de manufactura, produciendo:

- Lentes Terminados
- Lentes Semiterminados

2.1.5.1 LENTES TERMINADOS

Es el lente que tiene ambas caras concluidas, la positiva y la negativa, o sea, donde las dos superficies posterior y frontal han sido moldeadas a las curvaturas requeridas, para darle precisión y ser ajustados o colocados a una montura por un oculista. Estos lentes

vienen en rango de aumento esférico y cyl y este aumento es medido en unidades de dioptrés.

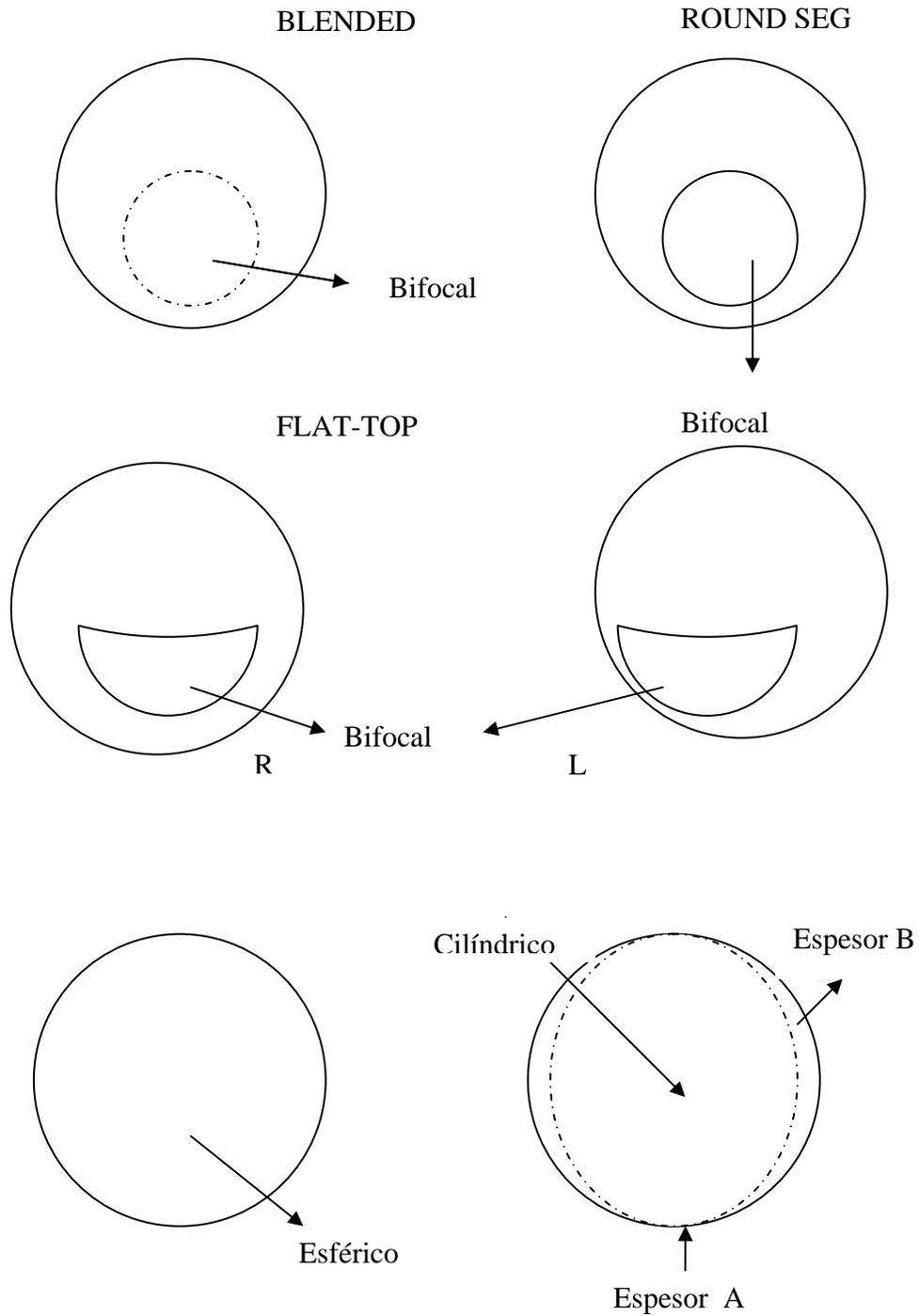
Estos lentes se clasifican en:

- Esféricos: Su poder óptico es igual en cualquier punto de superficie. A su vez se clasifican en positivo y negativos.
- Cilíndricos: posee un poder óptico horizontal y otro vertical. Se dividen en positivos y negativos.
- Bifocales: Estos lentes poseen 2 valores o poder óptico, uno en su oblea o bifocal y otro en su esfera o superficie.

Se clasifican a su vez en:

- Blended (BL) lentes con un bifocal poco visible.
- Round Seg: Con un bifocal bien visible.
- Flat-Top: Bifocal bien pronunciado en forma de media circunferencia y en dos tipos una derecha R (para un lente) y otra izquierda L (para el otro lente).

Representación Gráfica



2.1.5.1.1 MOLDES UTILIZADOS EN LENTES TERMINADOS

1. **Moldes Frontales (DT₁):** Es la cara anterior del molde o conjunto, caracterizados porque la identificación para la fabricación de un lente, se encuentra en el lado que tiene la curvatura hacia afuera.

Clasificación de los DT₁:

- **Esféricos Positivos:** Su identificación viene dada por: la fecha de fabricación del molde; signo positivo; poder esférico; barra y apareo con el DT₂ correspondiente.
- **Esféricos negativos:** Idéntico al anterior pero con signo negativo.
- **Bifocales:** Moldes con dos poderes ópticos, uno de la esfera y el otro del bifocal. Se clasifican en: Blended (BL); Flat-top (ft) Ly R; Round-Seg (RS) y su identificación viene presentada así: fecha de fabricación del lente; iniciales del lente (RS-FT-BL) poder esférico; barra; poder de oblea. En el caso de los Flat-top, se indica la posición del bifocal (R-L).

2. **Moldes Posteriores (DT₂):** Es la cara posterior del molde o conjunto. Su identificación se encuentra en la cara no utilizable, es decir, la cara que no tendrá contacto frontal o directo con el monómero.

Clasificación de los DT₂:

- **Esféricos positivos:** Solo presentan en su identificación el valor apareo con el DT₁ ...
- **Esféricos negativos:** Para diferenciar un Esférico positivo de uno negativo, debemos tener presente el valor DT₂, es decir, que para los positivos el rango va de 550 hasta 350. Para los negativos este rango está comprendido desde 575 hasta 800.
- **Cilíndricos positivos y negativos:** fecha de fabricación del molde; apareo con el DT₁ barra; poder cilíndrico y el rango para los positivos es de 550 hasta 350, y el rango para los negativos es de 575 hasta 800. Además que tienen como característica única una línea indicativa para la colocación del aro.

2.1.5.2. LENTES SEMITERMINADOS

Estos lentes son caracterizados porque sólo una de sus caras está totalmente concluida o moldeada a una curvatura específica (cara anterior) y su cara posterior está semiterminada para luego ser tallada a un aumento preciso en un laboratorio de rayos X. Por lo general poseen un espesor superior a los terminados. Su diámetro es de 68mm.

Estos lentes se clasifican en:

- **Visión Sencilla:** Es el lente donde su base o poder óptico es igual en cualquiera de sus puntos.
- **Bifocales:** Son los lentes que poseen dos valores o poder óptico, el valor de su esfera y el de bifocal u oblea. Se clasifican en:
 - .- **Blended:** Lente con su oblea en forma de círculo, poco visible.
 - .- **Round Seg :** Lente con su oblea en forma de círculo.
 - .- **Flat-top:** Lente clasificado según la posición de la oblea, izquierda L o derecha R. Su oblea presenta forma de semicircunferencia (media circunferencia).
 - .- **Ultex:** Lente con un bifocal en forma de media luna ubicada en la parte inferior del lente.

Para la obtención de los lentes semiterminados se utilizan dos tipos de moldes, los frontales y los posteriores o chapas.

2.1.5.2.1 MOLDES UTILIZADOS EN LENTES SEMITERMINADOS

1. Moldes Frontales:

- **Visión Sencilla:** Traen solo como identificación el valor óptico o base, además de su fecha de fabricación.
- **Bifocales:** Blended (BL); Flat-Top (Ft); Round-Seg (Rs); Ultex (ul).

2. Moldes posteriores o chapas:

CHAPAS	T3 (3)
	T (6)
	Codificadas: vienen con la identificación del lente

Para asegurar una chapa al molde frontal, se debe conocer la base o valor óptico del lente.

Se cuenta con las siguientes bases. Todos los bifocales usaran la chapa 6.

Base	Chapa/correspondiente
0.5 y 2.5	3
4.0 y 5.0	6
6 a 10.0	6

Para armar un molde o conjunto, se requiere de un aro plástico. Dicho aro tiene en su parte interna un tope que permite contar con un espacio entre el molde frontal y el posterior. Este espacio o separación se utiliza para vaciar el monómero requerido según la formulación del lente.

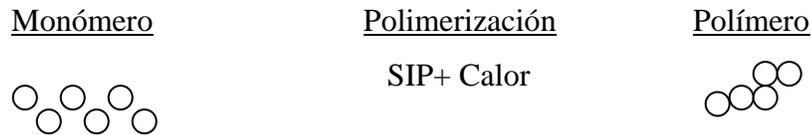
En el caso de los lentes terminados y semiterminados, el uso del aro indicado va a depender del poder esférico (para los lentes terminados) y de su base, como es el caso de los lentes semiterminados.

2.1.6. MÓNOMERO

Según la Química, monómero es la sustancia que parte de una molécula capaz de reaccionar con otras moléculas idénticas para dar polímeros. Constituye el componente principal de la mezcla o materia prima utilizada para elaborar elementos plásticos como

lentes, juguetes, tobos y en este caso, los lentes plásticos que fabrica la empresa SOLA Venezuela.

En el caso de lentes oftálmicos, el calor en los hornos en los cuales son curados y la acción conjunta con el SIP, actúan como un catalizador para iniciar la reacción prevista, tal como se aprecia en el siguiente diagrama



Existe una variedad de propiedades que el monómero debe poseer para adecuarse a la fabricación de lentes. Además, se tienen que realizar los estudios respectivos para verificar cuál de los diferentes tipos de monómeros disponibles es el mejor y se ajusta a las necesidades de la producción

Propiedades:

1. Debe de ser transparente (No se puede usar un monómero por el cual no sea posible ver a través.)
2. Debe de ser resistente a ralladuras (Un lente no sería útil para un paciente si se raya con facilidad.)
3. Debe de ser resistente al impacto. (Los lentes no deben de romperse o estrellarse fácilmente si es golpeado por algún objeto).

En este caso, la empresa Plate Glass Company (P.P.G.), en su sucursal de Colombia, encontró que Resin 39 tenía el mejor balance de las propiedades requeridas para fabricar lentes duros y por ello le dieron por nombre Monómero CR39 (Columbia Resin 39).

La PPG, patentó este Monómero y fue la única compañía en proveer de esta materia prima a los fabricantes de lentes por muchos años, dándose a conocer en su mayoría los lentes plásticos como lentes CR39.

Según información proporcionada por SOLA Venezuela, en una de las filiales SOLA ADC se han usado diferentes monómeros, los cuales han sido:

- RAV7 fabricado por ENICHEM
- NOURYSET 200 elaborado por AKZO CEIME.

En el presente, el monómero utilizado por SOLA ADC es una mezcla de CR39 y RAV7 y por esta razón, los lentes resultantes no reciben la denominación de CR39, sino que se les conoce como lentes de resina dura.

Este monómero es trabajado en laboratorio, bajo especificaciones estrictamente formuladas, para ser inyectado a un conjunto (moldes + aro), que pasará a un horno durante un tiempo determinado (20 horas para los lentes semiterminados y 21 horas para los terminados) y así finalmente obtener un lente según las especificaciones requeridas.

2.2 BASES TEÓRICAS DEL ESTUDIO

2.2.1 HORNOS

Es la instalación donde, mediante la aplicación de la energía térmica, tienen lugar las necesarias transformaciones físico-químicas de los materiales que dentro de él se caldean, o en otros casos, el horno es sólo una instalación intermedia que caldea el artículo recibido para comunicarle la temperatura y el estado necesarios para su futuro tratamiento.

En la zona de trabajo de los modernos hornos pueden tener lugar los siguientes procesos:

- tecnológico (transformaciones físico-químicas de materiales o semifabricados),
- mecánico (movimiento de materiales sólidos),
- energético (combustión de un elemento o la transformación de energía eléctrica en la térmica),
- hidroaeromecánico (movimiento de gases o líquidos),
- intercambio térmico (interior o exterior, en las fases sólida, líquida y gaseosa).

Los hornos industriales se pueden clasificar según el método de generación de calor, los cuales son:

- Combustión del combustible.
- Conversión de energía eléctrica en calor.

El tipo de horno de combustión se emplea mucho más que el de horno eléctrico; sin embargo, para muchas aplicaciones se prefiere el horno eléctrico porque ofrece ventajas que no pueden ser medidas por el costo del combustible.

2.2.1.1 HORNO DE RESISTENCIA

En la Fig. 2.1 esta representado el esquema de la instalación calefactora. Se suministra la corriente eléctrica alterna con frecuencia comercial 50 o 60 hz con 220-380 voltios.

Esquema de la instalación de caldeo eléctrico:

En el esquema de la instalación de caldeo eléctrico, se tiene que a través del contacto **1** la tensión llega al devanado primario del transformador de reducción **2**. La tensión pasa desde el devanado secundario a las piezas de contacto **3**, entre las cuales se colocan las piezas a caldearse **4**.

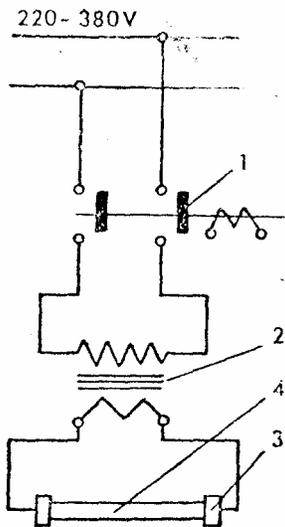


Fig.2.1.-Esquema de instalación eléctrica

La instalación de contactos es el detalle constructivo más complicado, debido a la poca resistencia del material que se caldea, con frecuencia baja (20 v) con una intensidad de corriente.

Un mal contacto produce cortos eléctricos, un sobrecalentamiento local y pronto deteriora la instalación. La estructura de los contactos depende de los objetos a caldearse y la densidad de contacto se asegura por la correspondiente presión sobre las superficies de contacto, efectuada por dispositivos hidráulicos o mecánicos.

Los hornos de resistencia pueden ser de tipo de caldeo directo e indirecto.

Caldeo indirecto:

Cuando el caldeo es indirecto, la corriente eléctrica se suministra a los elementos calefactores situados en el interior del horno. El calor desarrollado por ellos se transmite por radiación o por convección.

En los hornos de temperaturas bajas, para mejorar el intercambio térmico, se crea la circulación artificial de aire en el horno mediante los ventiladores; por ello se consigue también la distribución más uniforme de la temperatura en el horno.

Para mejorar la transmisión por radiación es necesario permitir a los calefactores que transmiten su calor libremente (sin pantallas). La cantidad de calor que se transmite crece al crecer la temperatura del calefactor. Según las condiciones de trabajo de los elementos calefactores, el material con que se fabrican debe de tener las siguientes características:

- Debe ser muy resistente al calor, sin deteriorarse, aguantando una temperatura que sea 50-200 °C superior a la del horno.
- Debe ser resistente respecto a la acción química de la atmósfera del horno.
- Debe tener la más alta posible resistencia eléctrica, que permita reducir el consumo de material para los elementos calefactores.
- El coeficiente de temperatura de la resistencia eléctrica debe ser el mínimo, para que la capacidad del horno no varíe sensiblemente durante el caldeo.
- Debe tratarse bien, para poder fabricar el elemento de forma más conveniente.
- Debe ser barato para reducir el costo de construcción.

Los materiales que se usan para la fabricación de elementos calefactores se dividen en metálicos y no-metálicos; tanto unos como otros aseguran la posibilidad de construir hornos para caldear y fundir metales a distintas temperaturas, desde las bajas de 100-150 °C (hornos quemadores) hasta las altas, arriba de 3000 °C (hornos para fundir metales).

Los hornos de resistencia de caldeo indirecto se emplean tanto en la metalurgia negra como en la de color, para las cargas de hasta 2 toneladas.

2.2.3 VENTILADORES

Los ventiladores son clasificados como turbomáquinas generadoras, ya que son de funcionamiento continuo, no alternativo, y su función es de transformar la energía utilizando un fluido de trabajo.

2.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES

Los ventiladores propiamente dichos pueden subdividirse en tres grupos:

1. Ventiladores de baja presión, hasta una presión efectiva de 0.02 Kg./cm² (200 a 800 mm H₂O).
2. Ventiladores de mediana presión, de 0.02 a 0.08 Kg./cm² (200 a 800 mm H₂O).
3. Ventiladores de alta presión, de 0.08 a 0.250 kg/cm² (800 a 2.500 mm H₂O).

Los ventiladores se construyen según dos concepciones bien caracterizadas y según tres tipos prácticos:

- a) De acción centrífuga.
- b) De acción helicocentrífugas.
- c) De acción axial.

Los ventiladores centrífugos funcionan según el esquema teórico de la figura 2.2a; son lo más indicado para presiones fuertes y caudales débiles. Estos ventiladores aspiran el fluido lateralmente, a través de una o varias aberturas y los expulsan a una voluta que juega el papel de difusor.

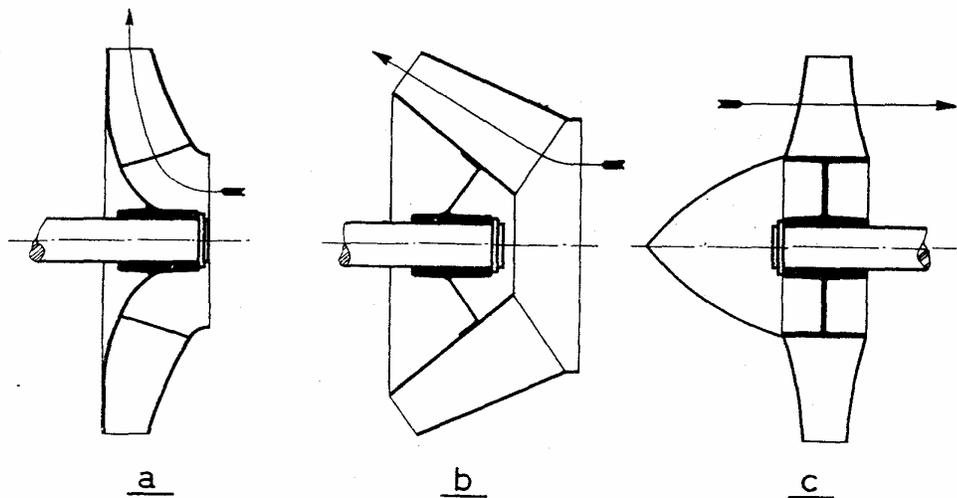


Fig 2.2.-Tipos de ventiladores

Los ventiladores axiales (figura 2.2c) son concebidos para las bajas presiones y grandes caudales, el eje de la rueda se confunden con el eje de canalización. Los ventiladores helicocentrífugos (figura 2.2b) corresponden a un grupo intermedio.

Los ventiladores de construcción normal están dotados de una envoltura que permite la canalización del fluido a la entrada y a la salida de rodete.

Los rendimientos máximos son:

Ventiladores centrífugos	-----0.6 a 0.7
Ventiladores axiales	-----0.9
Ventiladores helicocentrífugos	-----0.2 (aprox.)

En el momento de elegir un ventilador, después de haber determinado el caudal y la presión, deben consultarse las curvas características establecidas por constructor y anotar, para cada tipo de máquina, el rendimiento y la velocidad correspondientes al caudal y presión deseados. A partir de este momento se debe tener cuenta que: la economía de potencia conduce a elegir el rendimiento más elevado; las dimensiones y el precio de coste serán tanto más bajos cuanto mas sobrepase el caudal al correspondiente a un rendimiento máximo; el ruido aumenta con la presión y la velocidad (puede reducirse con un trazado adecuado de los alabes y de la voluta); generalmente, si el motor de impulsión ha de ser eléctrico, se habrá de elegir una velocidad en r.p.m. que corresponda a una de las velocidades sincrónicas de los motores eléctricos de corriente alterna trifásica.

2.2.4 CONTROLADOR

En los sistemas industriales se emplea uno o una combinación de los siguientes sistemas de control. La manera como el controlador genera la señal de control es lo que se llama **acción de control** y pueden clasificarse:

- a) De dos posiciones (todo-nada);
- b) Proporcional de tipo variable (anticipatoria);
- c) Flotante;
- d) Proporcional;
- e) Proporcional + integral;
- f) Proporcional + derivada;
- g) Proporcional + integral +derivada.

2.2.4.1. CONTROLADOR PID (CONTROL PROPORCIONAL + INTEGRAL + DERIVADO)

Pueden ser neumáticos y eléctricos, o electrónicos y digitales.

Un controlador PID neumático dispone de dos fuelles (proporcional de realimentación negativa e integral con realimentación positiva) y dos restricciones (integral y derivada). En el controlador PID simétrico existe interacción entre los ajustes de las

acciones PID, es decir, que un cambio en el ajuste de una acción influirá en las otras siendo, pues, relativamente laborioso conseguir un ajuste óptimo para que el controlador ante una perturbación lleve rápidamente y con el mínimo de oscilaciones la variable controlada a su punto de consigna. En electrónica si es posible construir un instrumento PID sin interacción entre las bandas.

Un instrumento electrónico proporcional + integral + derivativo (PID), es la unión en un circuito de los tres controladores, donde el circuito simplificado consiste en un módulo proporcional + integral, donde se fija la ganancia o banda proporcional, se amplifica la desviación entre la variable y el punto de consigna, se fija el valor del punto de consigna y se selecciona la acción directa o la inversa del controlador, y un módulo de acción derivada modificada donde se encuentra el potenciómetro de acción derivada.

En otros controladores, el potenciómetro de acción proporcional se encuentra en la salida del segundo amplificador operacional. Los controladores electrónicos suelen disponer además de un conmutador automático-manual con un reóstato para control manual y un circuito de memoria para que el cambio automático a manual se efectúe sin saltos.

Los controladores digitales pueden contener un microprocesador, lo que les ha permitido la incorporación de inteligencia para permitir, por ejemplo, el ajuste del punto de consigna y de las acciones PID sin extraer el instrumento de su base en el panel, el autoajuste del instrumento (fijación de los valores de las acciones proporcional, integral y derivada) para acomodarse a las variaciones del régimen de carga del proceso, y el autodiagnóstico del aparato.

Los controladores digitales permiten el ajuste de sus acciones de control ante las perturbaciones periódicas del proceso. Por este motivo pueden trabajar con varios algoritmos de control P+I+D. Controlan mediante microprocesadores las variables que están repartidas por la planta, conectados por un lado a las señales de los transmisores de las variables y, por el otro, a las válvulas de control. Los operadores pueden cambiar el punto de consigna, modificar los valores de las alarmas, los valores de las acciones de control PID, visualizar las curvas de tendencia de las variables, etc. Y, desde el punto de vista de mantenimiento, puede ser avisado por el sistema si se presenta algún fallo en los instrumentos o en el cable de comunicaciones, o examinar su buen funcionamiento cuando lo desee.

En resumen, las tres acciones combinadas PID actúan sobre el elemento final de control y sus características esenciales son:

1. La acción proporcional cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna.
2. La acción integral mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna.
3. La acción derivada corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

2.2.5. VÁLVULAS DE CONTROL.

Una válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación, ya que realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Una válvula de control es tan importante como el transmisor y como el controlador, y se compone básicamente del cuerpo y del servomotor.

En la figura 2.4 puede verse una válvula de control típica, donde el cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

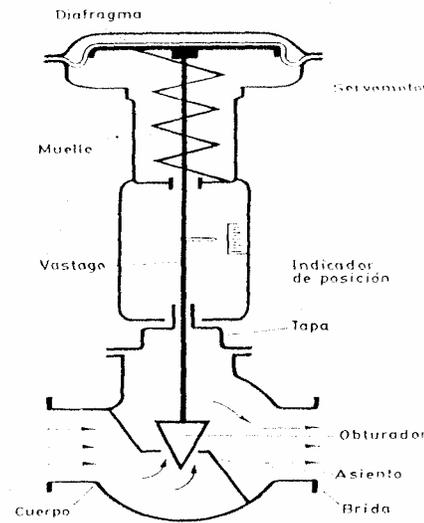


Fig. 2.3-.Válvula de control típica

2.2.5.1. TIPOS DE VÁLVULAS

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador.

2.2.5.2 VÁLVULA DE BOLA

El cuerpo de la válvula tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola. La bola tiene un corte adecuado, usualmente en V, que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón incorporado al cuerpo contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño a 75 % del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula de bola típica es la válvula de macho que consiste en un macho de forma cilíndrica o troncocónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta en el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en el control manual todo-nada de líquidos o gases.

2.2.5.3 VÁLVULA SOLENOIDE

Una válvula solenoide permite enclavar la válvula de control en una posición que suele ser la correspondiente a fallo de aire, donde la excitación de la válvula de solenoide comunica la vía de la cámara del servomotor con la vía conectada a la atmósfera con lo que la válvula de control pierde aire y pasa a la posición de sin aire abre o sin aire cierra (según su acción). La cámara puede también comunicarse con aire a presión pasando así la válvula a la posición inversa de con aire abre o con aire cierra. Asimismo, la válvula de solenoide puede estar conectada a un reductor; de este modo la válvula de control puede accionarse manualmente independientemente del controlador. Para una máxima seguridad intrínseca la válvula de solenoide está continuamente excitada; de este modo, si falla la corriente la válvula de control pasa a la posición de seguridad.

2.2.6 CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

2.2.6.1. Resistencia:

En el caso de “resistencias”, cuando mayor sea la tensión de la red, mayor será la corriente y más rápido se calentará la resistencia. Esto quiere decir que la potencia eléctrica será mayor. La potencia eléctrica absorbida de la red, en el caso de resistencia, es calculada multiplicando la tensión de la red por la corriente, si la resistencia “carga” fuera monofásica.

$$P = U \times I \quad [\text{Watt}] \quad \text{Ecu. 2.1.}$$

U: Tensión de la red.

I: Corriente consumida.

En el sistema trifásico la potencia en cada fase de carga será $P_f = U_f \times I_f$, como si fuese un sistema monofásico independiente. La potencia total será la suma de las potencias de las tres fases, o sea:

$$P = 3 \times P_f = 3 \times U_f \times I_f \quad \text{Ecu. 2.2}$$

Recordando que el sistema trifásico puede ser conectado en estrella o triángulo, se tienen las siguientes relaciones:

$$\text{Conexión Estrella: } U = \sqrt{3} \times U_f \quad \text{y} \quad I = I_f$$

$$\text{Conexión Triángulo: } U = U_f \quad \text{y} \quad I = \sqrt{3} \times I_f$$

Así, la potencia total para ambas conexiones será :

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \quad [\text{Watt}] \quad \text{Ecu. 2.3}$$

Obs: Esta expresión vale para la carga formada por resistencias, donde no hay desfase de corriente.

2.2.6.2 Cargas Reactivas:

Para las “cargas Reactivas”, o sea donde existe desfasaje, como es el caso de los motores de inducción, este desfasaje tiene que ser tenido en cuenta y la expresión es:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{Cos}\varphi \quad [\text{Watt}] \quad \text{Ecu. 2.4}$$

La unidad de medida usual para la potencia eléctrica es el Watt, correspondiente a 1 volt x 1 amperes, o su múltiplo, el kilowatt = 1000 Watt. Esta unidad también es usada para medir potencia mecánica.

2.2.6.3 POTENCIA APARENTE, ACTIVA Y REACTIVA

2.2.6.3.1 Potencia Aparente (S):

Es el resultado de multiplicar la tensión por la corriente ($S = U \times I$ para circuitos monofásicos y $S = (3)^{1/2} \times U \times I$ para circuitos trifásicos). Corresponde a la potencia real o “potencia activa” que existiría si no hubiese desfasaje de la corriente, o sea, si la carga fuese formada por resistencias.

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\varphi} \quad [\text{V} \times \text{A}] \quad \text{Ecu. 2.5}$$

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{Cos}\varphi \quad [\text{Watt}]$$

o,

$$P = S \times \text{Cos}\varphi \quad [\text{Watt}] \quad \text{Ecu. 2.6}$$

Evidentemente que para las cargas resistivas, $\text{Cos } \omega = 1$ y la potencia queda igual a la potencia aparente. La unidad de medida para la potencia aparente es el Volt-Ampere(VA) o su múltiplo el Kilo-Volt-Ampere (KVA).

2.2.6.3.2. Potencia Activa (P):

Es la porción de la potencia aparente que realiza trabajo, o sea, que es transformada en energía.

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{Sen}\varphi \quad [V \times A_r]$$

o,

$$P = S \times \text{Sen}\varphi \quad [V \times A_r]$$

Ecu. 2.7.

2.2.6.3.3 Potencia Reactiva (Q):

Es la porción de la potencia aparente que “no” realiza trabajo. Apenas es transferida y almacenada en los elementos reactivos (capacitores e inductancias) del circuito.

Todas están relacionadas de la siguiente manera:

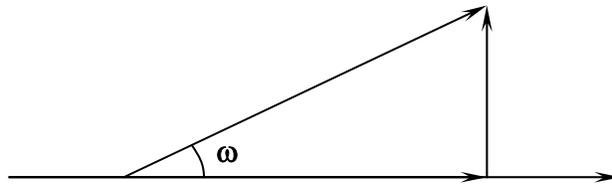
2.2.6.4 TRIÁNGULO DE POTENCIAS (CARGA INDUCTIVA)

Fig 2.4-. Triángulo de potencias

2.2.6.5. FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia, indicado por $\text{Cos } \omega$, donde ω es el ángulo de desfase de la tensión en relación a la corriente, es la relación entre la potencia real (activa) P y la potencia aparente S (Ver Triángulo de potencias).

$$\text{Cos}\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P[\text{Kw}] \times 1000}{\sqrt{3} \times U \times I} \quad \text{Ecu. 2.8}$$

CAPÍTULO III

3.0. MARCO METODOLÓGICO

3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente Trabajo Especial de Grado, como ya se especificó en el punto **Alcance y Limitaciones**, es un estudio técnico-experimental-económico, condición ésta que determina el nivel de investigación aspirado.

Corresponde más a una **investigación descriptiva**, que exploratoria o explicativa, porque se orienta a la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo, con el fin de establecer su estructura y/o comportamiento. En efecto, se estudia el funcionamiento, estructura, procesos y todo lo concerniente a los hornos de curado, para así caracterizarlos y proponer soluciones, con miras a mejorar su estado actual y la operación de curado de lentes que se realiza dentro de ellos.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado, definiendo y justificando el tipo de investigación según el diseño o estrategia por emplear. En este aspecto, el presente Trabajo Especial de Grado responde por su diseño a una **investigación experimental**, porque someter a un objeto o a determinadas condiciones o estímulos(variable independiente), para observar los efectos que se producen(variable dependiente), aunque para fines metodológicos se recurra a la consulta documental y bibliográfica.

En efecto, para llevar a cabo los objetivos planteados, fue necesario primero obtener y recopilar información real de los datos del sistema según manuales, reportes e inspecciones, con miras a modificar los elementos necesarios y someterlos a estudio y pruebas, que arrojaran parámetros e indicadores y crear así las bases de una **investigación descriptiva**.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA:

La población en estudio es el conjunto de 48 hornos que posee la empresa SOLA de Venezuela, destinados al curado de lentes, de los cuales dos están fuera de servicio.

En vista de que la fabricación es continua y voluminosa, para los fines del estudio fue asignado un solo equipo, el Horno #40, con la posibilidad de practicar a los otros sólo inspecciones de pocas horas que no interfirieran con la producción. Además, para hacer comparaciones con el referido horno, fue posible revisar y realizar pruebas con detalle al mejor y al peor de los 45 restantes, según los últimos registros de producción que se tienen, siendo éstos el Horno #25 y el Horno #3, respectivamente.

Por lo tanto, la muestra está representada de forma permanente en el Horno N° 40 asignado y de forma eventual en los hornos N° 25 y N° 3 mencionados y en el resto de los 43 que funcionan para el momento del presente estudio.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los medios que se emplearon para recoger y almacenar la información se dividen entre los que proporcionó la empresa y los que se diseñaron para los fines de este estudio.

Proporcionados por la Empresa.

- Plano General de la Planta
- Plano de Horno
- Plano del Enfriador
- Plano del Ventilador (Venezuela).
- Plano del Ventilador (Australia).
- Equipo enfriador utilizado en Australia.
- Base de datos del Chiller e Intercambiador de calor utilizados en Irlanda.
- Reportes de auditorias técnicas.
- Organigrama estructural de la Empresa.
- Flujogramas de las etapas del proceso de producción
- Registro de Mantenimiento Preventivo a Hornos
- Pruebas de 30 puntos a los Hornos
- Curvas de Curado
- Controlador de temperatura de los hornos(OMRON ESP100P).
- Sistema de monitoreo OMRON de temperatura y tiempo de curado de los

hornos

- Termocupla, Anemómetro, Vernier, Cronómetro, para realizar mediciones de temperatura, velocidad del aire, longitudes y tiempo, respectivamente.

- Aparato Hunter Lab para medir la transmitancia en los lentes.

Diseñados para los fines de este Estudio.

- Plano de la Sala de Hornos
- Plano de Red de Distribución de Agua Helada
- Plano de Carro
- Plano de la Voluta
- Planillas de Registro de Mantenimiento Preventivo de Hornos

3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Mientras se recolectaban los datos necesarios para la caracterización y descripción del sistema, se registraban los datos resultantes de los cambios y pruebas realizadas a los hornos en estudio, siendo éstos: valores de velocidad del aire, temperatura, tiempo, caudal, transmitancia, gráficas de curado, entre otros.

Cada una de estas variables se fueron clasificando, comparando y analizando a medida que se practicaban los cambios, para utilizarlas en la descripción y comportamiento del horno, con el objeto de generar, en función de los resultados obtenidos, un conjunto de soluciones, conclusiones, recomendaciones y mejoras relacionadas con el funcionamiento de los mismos.

Con la ayuda de los instrumentos de recolección de datos arriba detallados, la información resultante se vació en gráficos y tablas y se cuantificaron tales datos apelando a fórmulas matemáticas, termodinámicas y estadísticas.

3.6. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo y culminación del Trabajo, se proyectaron las siguientes actividades, que en conjunto y al realizarlas en el orden que a continuación se muestra, permitieron atender a los objetivos y alcance propuestos en el mismo.

A.- Elaborar un diagnóstico inicial, por medio de la inspección y revisión de cada componente que está relacionado con el proceso de curado del polímero, incluyendo el estudio de sus características generales. Para ello fue necesario lo siguiente:

- Conocer las etapas del proceso de producción de lentes terminados y semiterminados, haciendo visitas a cada una de las áreas.
- Revisión bibliográfica y de manuales de operación.
- Realizar observación visual del proceso de curado del monómero.
- Tomar los datos de la placa de cada equipo y compararlo con su respectiva ficha técnica.
- Verificar si existe alguna modificación realizada al proceso de curado no presente en los planos para tomar nota de ellas, y así constatar el grado de influencia en la calidad del producto final.

B.- Levantamiento y caracterización del funcionamiento del horno actual y sus componentes, a saber:

Motor Eléctrico:

- Determinar el estado y los parámetros de funcionamiento de los motores eléctricos de los hornos.
- Proponer cambios en los motores verificando las necesidades de funcionamiento del horno.

Ventilador de Recirculación de Aire:

- Determinar el estado y los parámetros de funcionamiento actual del ventilador.
- Proponer las distintas mejoras o cambios al ventilador.

Enfriador:

- Determinar el estado y los parámetros de funcionamiento actual del enfriador.
- Determinar el funcionamiento de la planta de generación de agua helada.
- Proponer las distintas mejoras o cambios al enfriador.

Resistencias Eléctricas:

- Determinar el estado y los parámetros de funcionamiento actual de las resistencias eléctricas.

- Proponer las distintas mejoras o cambios a las resistencias eléctricas.

Controlador:

- Determinar las funciones de monitoreo y los parámetros de funcionamiento actual de todo el sistema de control de temperatura dentro del horno.

- Proponer las distintas mejoras o cambios al sistema de control realizado por el controlador.

Válvulas y Termocupla:

- Determinar los tipos de válvulas presentes en el sistema de tuberías y control de pasos de agua, así como el estado de funcionamiento de las mismas.

- Determinar el estado y la efectividad de la medición de temperatura realizada por la termocupla dentro del horno.

- Proponer las distintas mejoras o cambios para el control de flujo de agua y el de temperatura.

Carros y Bandejas:

- Determinar las dimensiones, configuración y estado actual de los carros y las bandejas donde son colocados los moldes de lentes.

- Proponer las diferentes mejoras o cambios a los carros y bandejas.

Hornos de Curado:

- Estudio de las dimensiones y características actuales de los hornos.

- Determinar los parámetros de funcionamiento de dichos hornos (velocidad del aire, caudal, temperatura, tiempo de calentamiento, etc.).

- Realizar el levantamiento de los hornos.

- Realizar cambios experimentales a los componentes que conforman el horno.

- Ejecutar la prueba de 30 puntos a los hornos para verificar la validez de los cambios efectuados.

C.- Realizar un estudio de comparación técnica de las características y componentes de los hornos de curado implementados en países como Australia e Irlanda con los utilizados en la planta de Venezuela, manejando datos proporcionados por la empresa, tales como planos, reportes de auditorias e informes de evaluación de equipos.

E.- Realizar un estudio técnico-económico de los cambios propuestos a los hornos, mediante el manejo de conceptos económicos, tales como: Valor Presente(Costos de Inversión), Inflación Interanual, Demanda Máxima, Consumo Energético y Consumo por Demanda.

CAPÍTULO IV

4.0 FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

El área de curado del monómero para la fabricación de lentes oftálmicos de resina dura está compuesta por un total de 48 hornos enfriados por agua, de los cuales 46 hornos están en funcionamiento y dos se encuentran fuera de servicio.

Fueron fabricados por una empresa Irlandesa de marca KENT MANUFACTURING LTD, a pedido de la empresa SOLA Venezuela para realizar el curado del monómero.

Actualmente este modelo irlandés de horno también es usado en otras empresas SOLA en el mundo (Para ver detalles sobre los planos de los hornos y sala de hornos vease Apéndice I).

Las diferentes estructuras de los hornos están construidas de acero inoxidable e internamente entre las paredes tienen un material aislante (espuma silicosa).

Constan tanto en su parte interior como exterior para realizar la función de curado, de varios equipos y accesorios mecánicos y eléctricos, que principalmente son:

1. Motor Eléctrico
2. Controlador
3. Válvulas y Termocupla
4. Resistencias Eléctricas
5. Enfriador (Intercambiador de calor)
6. Ventilador y Volutas
7. Carros y Bandejas.

Las especificaciones y la calidad de cada uno de estos elementos y accesorios, determinan el funcionamiento requerido de dichos hornos, por lo que a continuación se describen cada uno de estos elementos, indicando tipo y funciones que realizan, entre otros parámetros.

4.0.1 MOTOR ELÉCTRICO

Cada horno usa un motor eléctrico (Ver fig. 4.1 y 4.2) a ciertas r.p.m. que se encuentra empotrado sobre el techo del mismo y se encarga de transmitir la potencia al ventilador, para así lograr la recirculación del aire. Se tienen motores del tipo trifásico de

220 VAC de diferentes marcas, de distintos modelos y con diferentes r.p.m., lo cual se puede observar en la tabla que a continuación se muestra.

Tipo de Motor	# de Horno	P (hp)	RPM	Tipo de Motor	# de Horno	P (hp)	RPM
FLMM	1	2	910	FLMM	25	2	910
ABB	2	2.4	960	FLMM	26	2	910
ABB	3	2.4	960	ABB	27	2.4	960
ABB	4	2.4	960	US	28	3	850
ABB	5	2.4	960	FLMM	29	2	910
ABB	6	2.4	960	FLMM	30	2	910
ABB	7	2.4	960	ABB	31	2.4	960
WEG	8	*	*	ABB	32	2.4	960
WEG	9	*	*	ABB	33	2.4	960
ABB	10	2.4	960	ABB	34	2.4	960
ABB	11	2.4	960	US	35	3	850
ABB	12	2.4	960	US	36	3	850
ABB	13	2.4	960	US	37	3	850
ABB	14	2.4	960	US	38	3	850
ABB	15	2.4	960	US	39	3	850
ABB	16	2.4	960	US	40	3	850
ABB	17	2.4	960	US	41	3	850
ABB	18	2.4	960	US	42	3	850
ABB	19	2.4	960	US	43	3	850
US	20	3	850	US	44	3	850
	21	**	**	US	45	3	850
ABB	22	2.4	960	US	46	3	850
ABB	23	2.4	960	US	47	3	850
ABB	24	2.4	960	US	48	3	850

(*) No se tiene las especificaciones del motor.(**) No es un horno de curado

Tabla 4.0.-Inventario de los motores de los Hornos.



Fig. 4.1.-Motor Eléctrico (sobre el horno)

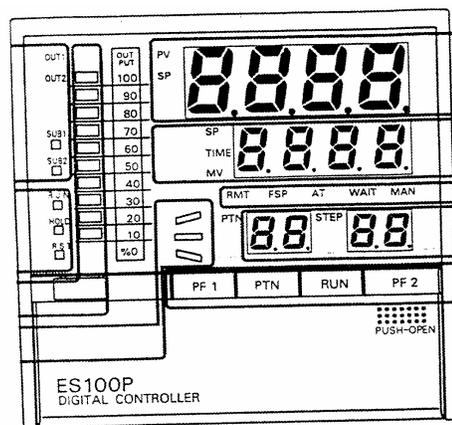


Fig. 4.2.-Motor Eléctrico (fuera de servicio)

Además el motor debe estar colocado debajo de su cojinete para evitar problemas de desbalanceo. A estos cojinetes se les realiza mantenimiento preventivo cada 6 meses.

4.0.2 CONTROLADOR:

Todo el proceso de curado que realiza cada horno es supervisado mediante un sistema de control automático-programable. Este controlador es del **tipo PID (control proporcional + integral + derivado)** de marca OMRON ES100P, cuya consola de programación está ubicada en los tableros de la sala de hornos de 60 A cada uno. Ver fig4.3.



DISPLAYS
 PV : Temperatura Real
 SP : Temperatura Deseada
 PTN : Numero de Curva
 STEP: Paso en el Proceso

INDICADORES
 OUT 1 : Indica el envío de corriente a las resistencia
 SUB 1 : Abanico Activado / Desactivado
 SUB 2 : Damper Activado / Desactivado
 RUN : Proceso Corriendo

BOTONES
 PF1 : Avance de Paso en la Curva
 PTN : Selección de la Curva
 RUN : Inicio de Proceso
 PF2 : Terminación de Proceso

Fig. 4.3.-Simbología en la Pantalla del Controlador

Tiene como ventajas el poder programarle una trayectoria preestablecida de temperatura en función del tiempo, poder modificarle el valor de las constantes de proporcionalidad, integración y derivación desde el teclado, mantener informado al operador del proceso que se está realizando, definir una programación del equipo y hasta paralizar automáticamente el proceso si se deteriora el transductor.

Este controlador monitorea la temperatura dentro del horno por medio de un sensor, específicamente una Termocupla del Tipo PT-100, la cual determina de acuerdo a valores preestablecidos (temperatura de referencia fijada por el operador), la cantidad de energía que el sistema requiere para las resistencias necesaria para que la temperatura del horno se aproxime lo más posible a la temperatura de referencia o a la temperatura deseada, es decir, si la temperatura es distinta al valor predeterminado el controlador determinará la cantidad de amperaje que se enviará o se dejará de enviar a las resistencias para alcanzar esta temperatura y a la vez determina cuándo se debe cerrar o abrir la válvula solenoide para controlar la temperatura dentro del horno.

Además, como el controlador está conectado a un computador, puede generar señales que son enviadas mediante presentación visual a éste, manteniendo informado al operador de la temperatura medida en el horno, de la temperatura de referencia, así como el porcentaje de amperaje de las resistencias.

En sí, el controlador consta de un grupo de relees de estado sólido que son los encargados de suministrar tensión al conjunto de resistencias. Son alimentados por tensión AC 110, que en nuestro caso controlan una señal de 110 VAC para activar o no la válvula Solenoide y además regulan una señal de 5 a 12 VAC, para controlar los relees de estado sólido.

El controlador de temperatura OMRON proporciona por lo tanto una doble función: monitorea la temperatura del horno y programa su temperatura de acuerdo a intervalos de tiempos para ejecutar las distintas curvas de curado necesarias para cada producto.

Durante el curado del lente en los hornos, la temperatura varía en intervalos llamados STEPS, donde cada STEP (paso) corresponde a un tiempo determinado a una temperatura determinada (ver Anexo III).

4.0.3. VÁLVULAS Y TERMOCUPLA:

Por encima de la estructura del horno, están conectadas las tuberías donde circula el agua que entra y sale del horno hacia el Chiller. Para regular este flujo de agua se encuentran dos válvulas de bola PVC, de 110 voltios de ½ pulg en la entrada y ½ pulg a la salida, de apertura y cierre manual (fig 4.4). Para regular el flujo de agua hacia el enfriador se encuentra una válvula solenoide que abre y cierra automáticamente, según lo determine el controlador para bajar la temperatura interna del horno.



Fig. 4.4.-Válvula de Bola PVC

En la parte interna de cada horno se encuentra una Termocupla tipo PT 100 que tiene un rango de $-199,9^{\circ}\text{C}$ a 600°C , la cual convierte la magnitud física de temperatura en una señal eléctrica que es recibida por el controlador, es decir, este sensor permite al controlador monitorear la temperatura interna del horno.

4.0.4. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS:

Es una instalación calefactora ubicada dentro del horno, que suministra corriente eléctrica alterna con frecuencia comercial de 60 hz con 220 VAC y un amperaje de 18A cada una, conectados en estrella para el menor consumo de las mismas. Esto lo hace por medio de dos paneles, uno ubicado en el lado derecho y el otro en el lado izquierdo de la solera del horno, situados de esta manera para que el aire recirculado esté en constante contacto.

La resistencia eléctrica es la oposición que presenta un cuerpo o dispositivo a la circulación de la corriente. El efecto de la resistencia es el de disipar energía en el cuerpo o conductor por el cual circula corriente, con lo cual se eleva la temperatura del mismo.

Cada uno de estos paneles, contiene 44 resistencias, las cuales tienen forma de resorte y están ubicadas en grupos de dos para asegurar el mayor contacto con el aire y así realizar la mejor transferencia de calor en el mismo (fig. 4.5).

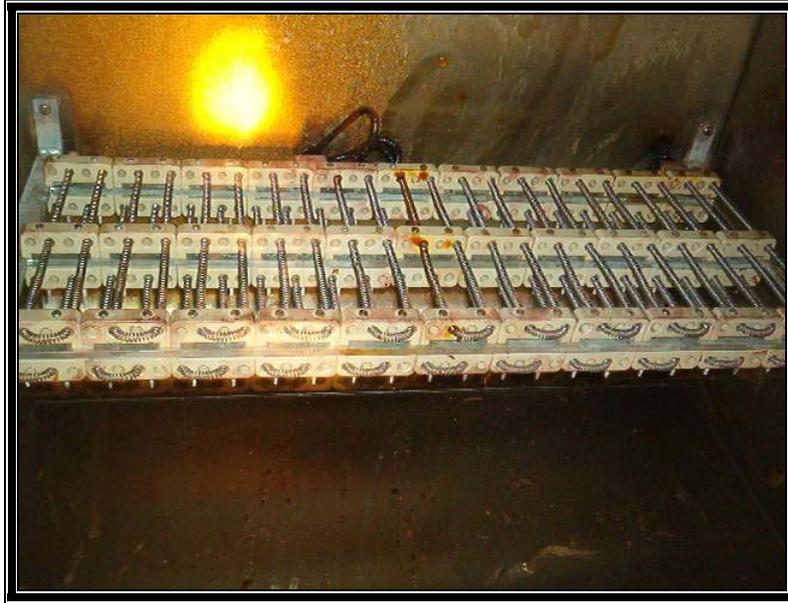


Fig. 4.5.- Resistencias eléctricas

4.0.5 ENFRIADOR

El sistema de enfriado consiste en un intercambiador de calor situado dentro del horno, justamente antes de la succión del ventilador, con el fin que el aire antes de ser recirculado tenga contacto con el intercambiador de calor. El paso de agua al enfriador es regulado por una válvula solenoide que en un principio del proceso está abierta, dejando fluir el agua del Chiller, que se encuentra ubicado en la azotea de SOLA 1 (galpón de sala de hornos). Es cerrada, según los requerimientos de calentamiento. Este proceso de abrir y cerrar la válvula solenoide es regulado por el controlador ajustándose a las necesidades de curado de cada horno (Planos del esquema de la Red de Agua Helada a la sala de hornos: Ver el APENDICE I).

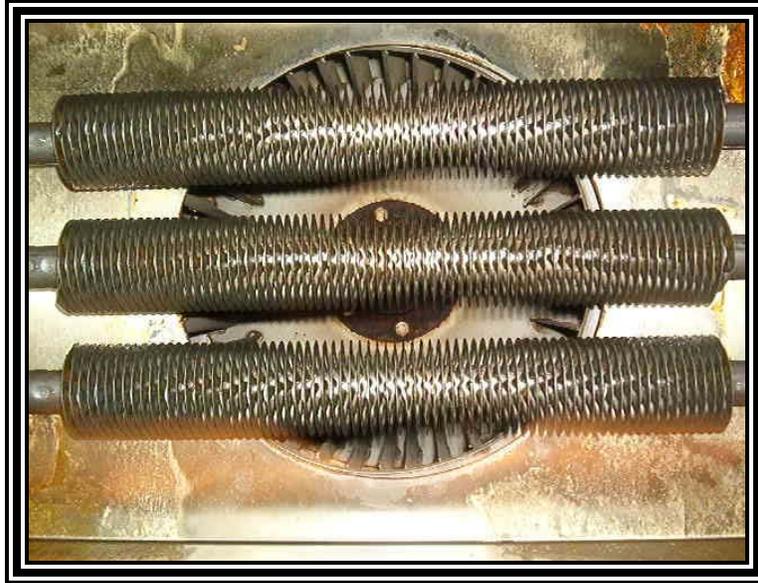


Fig. 4.6.-Intercambiador de Calor

Las ventajas de este sistema es que se puede obtener una temperatura controlada, y además resulta más eficiente que el enfriado por aire ya que se elimina el problema de presurizar el horno, que generaba grandes gastos de mantenimiento.

El intercambiador de calor consta de tres tuberías de aluminio que tienen aleta anular de aluminio a lo largo de toda la longitud (Ver fig. 4.6), por donde circula agua helada, que con el contacto con el aire caliente dentro del horno realizan la transferencia de calor (Planos del Intercambiador de Calor: Ver APENDICE I).

El rango de temperatura del agua a la entrada de cada intercambiador es de 6°C a 9°C, lo cual se obtuvo por medio de un Pirómetro Digital que se encuentra ubicado en la tubería principal de entrada a los intercambiadores. Y el rango de temperatura de salida de los intercambiadores es de 14 °C a 16°C, el cual se pudo obtener por medio de una data que se realizó, usando como instrumento de medición una Termocupla Digital en una toma de salida de la tubería, cuando el horno se encontraba en funcionamiento.

El flujo de agua que circula por el enfriador cuando la válvula esta abierta, no se obtiene directamente con un medidor de caudal, porque no se cuenta con un instrumento que indique este valor. La manera de obtener el valor de flujo fue realizando varias pruebas experimentales (10 mediciones) abriendo la válvula de bola para medir el caudal. Luego sacando un promedio y usando ecuaciones (Ver Capítulo 5, secc. 5.2.1.5), se pudo obtener que el valor de caudal es de $6,606 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ y el de flujo de agua es 0,6586 kg/s.

Únicamente el sistema posee un indicador de flujo , ubicado en la tubería de salida de agua del enfriador hacia el Chiller, donde es posible observar si el agua circula normalmente.

4.0.5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA EN EL ENFRIADOR

Considerando el enfriador sin aletas, se realizó un análisis de transferencia de calor, para hallar el coeficiente de transferencia de calor por convección.

Suposiciones:

- Condiciones de estado estable.
- Transferencia unidimensional en la dirección radial
- Propiedades constantes.
- Intercambio de Radiación insignificantes entre la superficie externa del tubo

y los alrededores.

Se conoce:

Radio interno y externo del tubo del enfriador, material de los tubos (Aluminio 2024-T6), longitud total de los tubos, temperatura de entrada y salida de agua del intercambiador.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m} = 0,6586 \text{ kg / s} \\ C_{p_{\text{agua}}} = 4,1868 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \\ T_1 = 8^\circ \text{C} \\ T_2 = 15^\circ \text{C} \\ T_b = \frac{(T_1 + T_2)}{2} \\ r_e = 0,0127 \text{ m} \\ r_i = 0,009525 \text{ m} \\ L = 1,655 \text{ m} \\ A_i = \pi D_i L_i \\ k = 177 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \text{ (Para } T = 300\text{K)} \end{array} \right.$$

Se propone encontrar:

h_e , y la T_∞

Esquema:

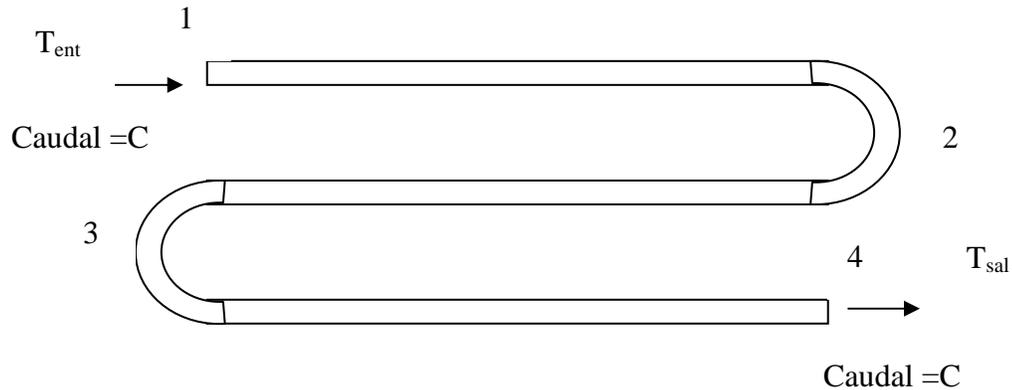


Fig 4.7-.Esquema del Intercambiador sin aletas

Análisis:

Debido a que sólo se conocen las temperaturas de entrada y salida del intercambiador, dividimos los tubos en tramos para un mayor análisis de los cambios de temperatura a lo largo de su longitud, siendo el tramo 1-2 desde la entrada hasta el primer codo, el 2-3 desde el primer codo al segundo codo y el 3-4 del segundo codo hasta la salida (como se muestra en la fig. 4.7).

Para conseguir la temperatura en cada uno de estos tramos y sabiendo la longitud total de la tubería, se supuso un perfil de temperatura lineal en función de la distancia recorrida por el fluido.

Si $L = 1,655m$ y la longitud la dividimos en tramos:

$$\begin{cases} 1-2 \Rightarrow L_{1-2} = 52,5cm = 0,525m \\ 2-3 \Rightarrow L_{2-3} = 60,5cm = 0,605m \\ 3-4 \Rightarrow L_{3-4} = 52,5cm = 0,525m \end{cases}$$

se consigue la ecuación de ese perfil lineal de Temperatura:

$$T(x) = T_i + \frac{7 \cdot X}{L}$$

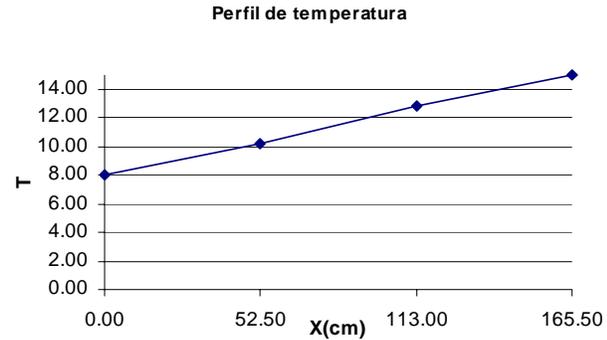


Fig 4.8-. Perfil de temperatura

Para flujo interno, se tiene las ecuaciones¹:

$$\begin{cases} q_{conv} = h_i \cdot A_{ip} \cdot (\tilde{T}_{si} - \tilde{T}_b) \\ q = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_2 - T_1) \end{cases}$$

y al igualarlas se tiene que : $q_{conv} = h_i \cdot A_{ip} \cdot (\tilde{T}_{si} - \tilde{T}_b) = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_2 - T_1)$

Si suponemos que la T_{si} = constante, despejamos y se tiene:

$$\Rightarrow \tilde{T}_{si} = \frac{\dot{m}Cp(T_2 - T_1)}{h_i A_i} + \tilde{T}_b$$

Con la ecuación de Dittus-Boelter², se tiene:

$$Nu_{Di} = \frac{h_i Di}{k_{f1}}$$

$$Nu_{Di} = 0,023 Re_{Di}^{4/5} Pr^n$$

donde $n=0,4$ cuando $T_s > T_b$.

ρ, ν, k_f, Pr son evaluados al valor de T_b en la Tabla A.6 del Incropera, ver Apéndice VI

¹ Ecu. 8.37, Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (1999) Capítulo 8. Flujo Interno, 432 pp. 4ta Edición.

² Ecu. 8.60, Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (1999) Capítulo 8. Correlaciones de Convección, 445 pp. 4ta Edición.

El número de Reynolds³ será:

$$Re_D = \frac{u_m \cdot Di}{\nu}$$

donde⁴:

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{u} &= \frac{\dot{m}}{\rho A_{it}} = \frac{\dot{m}}{\rho \left(\frac{\pi D_i^2}{4} \right)} \end{aligned} \right.$$

Usando la **Ecuación de Dittus-Boelter**, se despeja el coeficiente de convección:

$$h_i = \frac{0,023 Re^{4/5} Pr^{0,4} k_{f1}}{D_i}$$

y luego sustituyendo los valores obtenidos, se tiene el T_{si} para cada tramo.

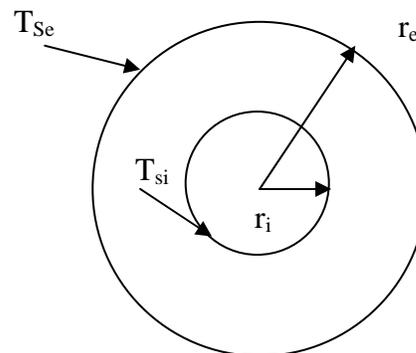
Estos cálculos se encuentran reflejados en la siguiente tabla, que a continuación se muestra:

Tramo	Ti	Ti+1	Tb(K)	$10 \cdot \nu \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right]$	Pr	$10 \cdot k \left[\frac{W \cdot m}{K} \right]$	$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	\bar{u}	Re	Nud	$h_i \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$	$C_p \left[\frac{KJ}{Kg \cdot K} \right]$	Ai [m ²]	T _{si} °C	T _{si} °K
8,00	10,2	9,11	282,3	1332	9,6	585,61	1000	2,31	33	0,93	28,69	4,19	0,031	30,57	303,722
10,22	12,8	11,5	284,7	1238	8,91	589,44	1000	2,31	35,6	0,96	29,71	4,18	0,036	29,45	302,605
12,77	15	13,9	287	1165	8,3	593,26	1000	2,31	37,7	0,98	30,51	4,19	0,031	34,02	307,18
T _{si} promedio														304,502	

Tabla 4.1.-Cálculo de Temperatura de la superficie interior de los tubos T_{si}

Analizando el flujo externo alrededor del tubo se tiene:

$$q_{cond} = \frac{T_{se} - T_{si}}{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)} 2\pi kL$$



³ Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia hidrodinámicas*, 421 pp. 4ta Edición.

⁴ Ecu. 8.5, Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (1999) Capítulo 8. Consideraciones hidrodinámicas. 421 pp. 4ta Edición.

Fig 4.9.-Vista Transversal del tubo

ya que $q_{cond} = q_{conv}$

Despejamos la T_{se} :

$$T_{se} = \frac{q_{conv} \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi kl} + T_{si}$$

Realizamos este procedimiento para cada tramo:

$k = 177 \frac{W}{m \cdot K}$	Tramo	q[Kw.]	Tse [°C]	Tse [K]
k a 300K para Aluminio Aleación 2024-T6 (estos valores se hallaron en la Tabla A.1 del Incropera, ver Apéndice VI)	1-2	19,335	34,374	307,521
	2-3	19,315	34,371	307,521
	3-4	19,302	34,369	307,519

Tabla 4.2.-Cálculo de la Temperatura de la superficie exterior de los tubos T_{se}

Luego \bar{T}_{se} [K] promedio es **307,52 K**

Ahora para calcular la temperatura del aire interno dentro del horno (T_{∞}) y el coeficiente de transferencia por convección al exterior del tubo h_e , se tiene que:

$$q_{conv} = h_e \pi D_e L (T_{\infty} - \bar{T}_{se})$$

$$h_e = \frac{q_{conv}}{\pi D_e L (T_{\infty} - \bar{T}_{se})}$$

$$T_f = \frac{T_{s_e} + T_{\infty}}{2}$$

de la correlación empírica debida a **Hilpert**⁵ se tiene que:

$$Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3} = \frac{h \cdot D}{k}$$

donde los valores de C y m para cilindro circular en flujo cruzado dependen del Reynolds⁶

(ρ, ν, k_f, Pr depende de las propiedades termofísicas del aire evaluado a la T_f , en la Tabla A.4 del Incropera, ver Apéndice VI)

⁵ Ecu. 7.55b, Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (1999) Capítulo 7. Flujo alrededor de un cilindro, 369 pp. 4ta Edición.

donde se tiene :

$$h_e = \frac{Nu_{De} k_f}{De}$$

y el número de Reynolds se obtiene :

$$Re_{De} = \frac{\bar{u}_m \cdot D_e}{\nu_f}$$

Para hallar el h_e y T_∞ , se supone primero un T_∞ para calcular el h_e y la temperatura de película (T_f), por otro lado se calcula h_e por la **Ecuación de Hilpert** evaluando las propiedades termofísicas a la temperatura de película (T_f). Cuando estos dos coeficientes sean iguales se termina la iteración, de lo contrario empieza nuevamente el algoritmo. Al conseguir el valor de h_e se sustituye y se consigue la T_∞ .

T (infinito)	Tf	he(10)	$10^6 \cdot k \left[\frac{W \cdot m}{K} \right]$	$10^6 \cdot \nu \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right]$	Re	Pr	Nud	he(11)
310.0000	308.7605	59.0039	26.9480	16.7700	7572.5900	0.7058	42.9030	45.5170
310.5000		49.1005						
310.4730	308.9900	49.5400						
310.6000		47.5000						
310.7000		46.0100						
310.7500		45.2990						
310.7450		45.3690						
310,74		45.4398						
310.7300	309.1280	45.5100	26.9750	16.8080	7572.5955	0.7057	42.9017	45.5610

Tabla 4.3.-Cálculo de la Temperatura del aire fuera de los tubos T_∞

En definitiva los valores obtenidos son:

$$h_e = 45,5610 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$T_\infty = 310,73 \text{ K}$$

⁶ Tabla 7.2, Incropera, F y David de UIT. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (1999) Capítulo 7. Flujo alrededor de un cilindro, 370 pp. 4ta Edición.

4.0.5.2 CHILLER DE AGUA HELADA

La planta generadora de agua helada consta de dos Chillers que datan del año 1995, donde uno se encuentra en servicio y el otro esta disponible para funcionar en caso de que el primero falle o éste en manteniendo. Son de marca COPELAND modelo 9R51-1505-THC-200 de 15 TR y funcionan con refrigerante F-22.

El principio de funcionamiento de este equipo es el de circular agua helada por medio de una motobomba por las tuberías, para que se lleve a cabo la transferencia de calor dentro del horno.

Principalmente existen dos tuberías que llevan agua: una lleva el agua helada que sale del Chiller y la otra lleva el agua que sale del enfriador del horno y va otra vez al Chiller a ser enfriada. Para realizar la labor de recircular el agua, el sistema cuenta con cuatro bombas de agua y un tanque de almacenamiento de agua (Ver detalles en el APENDICE I).

Primero se encuentran dos bombas a la entrada del tanque, de marca KSB de 10hp cada una, donde sólo trabaja una y la otra se encuentra en espera o disponible. Este tanque de almacenamiento de agua es de aproximadamente 400 galones y a su salida le siguen dos bombas marca MALMEDI de 5 hp cada una, donde sólo trabaja una y la otra se encuentra en espera o disponible.

La red de distribución de agua helada esta diseñada directamente para operar el caudal que manejarían cuatro bombas y se encuentra totalmente recubierto por un material aislante, poliuretano expandido (anime) con la finalidad de disminuir la transferencia de calor no deseada del ambiente al agua helada.



Fig. 4.10-.Chiller #1



Fig.4.11-.Chiller #1



Fig.12-. Chiller #2



Fig.4.13-.Bombas de entrada al tanque



Fig.4.14-.Tanque de almacenamiento de agua



Fig. 4.15-.Bombas de salida de agua

En las figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 4.15 se pueden observar cada uno de los componentes del chiller de agua.

4.0.6 VENTILADORES Y VOLUTAS

El ventilador fue diseñado por la empresa Irlandesa KENT MANUFACTURING LTD y esta hecho de acero inoxidable y acero AISI 1020. Este ventilador es de tipo

centrífugo ya que aspira el aire lateralmente y lo expulsa a través de dos Volutas que hacen el papel de difusor.

Cada horno posee un ventilador, localizado en el interior del mismo en su parte superior, que tiene como función succionar el aire de un punto de menor presión (por un área circular de $0,0615 \text{ m}^2$ ubicada en la región central del horno) a otro punto, aumentando su presión. En este caso el ventilador recircula el aire con la ayuda de dos volutas (difusores) que están colocados dentro del horno en la parte superior justo debajo de éste, que canalizan el flujo de aire en dos direcciones derecha e izquierda y están colocados en posición radial para tomar la velocidad absoluta del rotor y convertirla en mayor presión.

Este tipo de difusor es de velocidad variable ya que a la voluta se le da un incremento tal que la velocidad del fluido decrece progresivamente en ella misma.

El ventilador esta acoplado al motor eléctrico y tiene un diámetro exterior de 37,2 cm y un diámetro interior de 27,9 cm., el cual consta de 40 álabes que impulsan el aire cuando el ventilador está en movimiento (Planos del Ventilador: Ver APENDICE I).

En la figura 4.15.1, 4.16 y 4.17 se presentan fotos de la estructura del ventilador y volutas.



Fig. 4.15.1-Ventilador cara inferior



Fig. 4.16-Ventilador cara superior



Fig. 4.17-.Voluta derecha

4.0.7 CARROS Y BANDEJAS

Los carros hechos de Acero AISI 1020, son el medio necesario para transportar los lentes. Existen dos tipos de carros, los de lentes terminados y los de semiterminados, diferenciándose uno del otro, por el número de niveles que tienen y por el diseño apropiado para el tipo de bandeja. Sus dimensiones fueron hechas de tal forma que entren dos dentro del horno, uno a cada costado.

La función de los carros es la de transportar la producción de un sitio a otro, del área de llenado a la sala de hornos y luego al área de lavado.

Las bandejas son donde se colocan los lentes y éstas a la vez se colocan apoyadas del carro. Igual que los carros son diferentes para los lentes terminados y los semiterminados (fig.4.18, 4.19, 4.20 y 4.21) , ya que la de lentes terminados son planas y la de los lentes semiterminados tienen escalones con una cierta pendiente para que cuando los lentes sean colocados, las burbujas que queden se desplacen hacia abajo por gravedad. Por cada carro se utilizan 22 bandejas para terminados y 17 para semiterminados. Los lentes se colocan en las bandejas dependiendo de la producción (para ver mas detalle acerca de los planos de los carros léase APENDICE I).



Fig. 4.18-.Carros y bandejas



Fig.4.19-.Carros y bandejas



Fig. 4.20-.Bandejas de lentes semiterminados



Fig4.21-.Bandejas de lentes terminados

4.1 INVESTIGACION DOCUMENTAL

La investigación documental se desarrolló para conseguir cuáles elementos y componentes del horno pudiesen estar presentando fallas, basándonos en la revisión de una data proporcionada por la empresa SOLA Venezuela, específicamente del área de Mantenimiento y Aseguramiento de la Calidad en sus reportes de Mantenimiento Preventivo y reportes de Pruebas de 30 puntos. (Ver APENDICE I.1 y II respectivamente).

4.1.1 REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo a los hornos se realiza aproximadamente cada cuatro meses, pero los registros contienen sólo la información de los últimos tres años.

El mantenimiento consiste en revisar, calibrar y poner a prueba varios parámetros para verificar el buen funcionamiento del horno. Se corrigen fallas y sustituyen elementos en caso de ser necesario.

En el presente estudio, se tomaron de la Coordinación de Mantenimiento, los reportes de Mantenimiento Preventivo de los Hornos #40, #25 y #3 entre el año 2001 y 2003, para hacer las tablas que a continuación se muestran.

Nº del Horno: 40			FECHA:						
		Valores Estándar	25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	19/12/2002	26/05/2003
Revisión de Resistencia AMP	Variable en Amp	0-18 Amp	0-18	0-18	0-18	0-15	0-15	0-18	0-16
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(LI)	5 a 10 m/s	7	5,5	7,2	7,4	8,4	5,8	3,36
	Prom m/seg (LD)		7,2	6	6,9	7,9	9,3	9,2	4,12
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Termocupla	Buen Estado General		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Gral		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efectuo Limpieza General		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Cont. Se le efectuo Mantenimiento Interno		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Motor + Turbina	Se le efectuo Inspección y Mitto Gral (Consumo de motor)	3 - 6 AMP	(5,4) (5,2) 5,2	(5,8) (5,9) 6	(5,8) (5,6) 5,4	(4,1) (5,3) 5,9	(4,1) (5,3) 6	(3,5) (5,1) 6	(3,1) (4,5) 6
Limpieza Interna / Externa			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Temperatura Controlador (°C)			36	48	63	72	65	51	55
Temperatura Computador (°C)			36	48	63	72	65	51	55
Temperatura Patrón (°C)			36,3	48,2	63,1	72,5	65,8	51,8	55,3

Tabla 4.4.-Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #40.
Data proporcionada por Coordinación de Mantenimiento, SOLA Venezuela

Nº del Horno: 25			FECHA:						
			25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	18/12/2002	26/05/2003
Revisión de Resistencia AMP	Variable en Amp	Valores Estándar 0-18 Amp	0-17	0-15	0-17	0-15	0-16	0-18	0-18
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(L)	5 a 10 m/s	9,7	7,3	6,4	5,8	8,1	7,4	7,5
	Prom m/seg (LD)		7,9	5,8	6,8	6,3	5,3	8,1	5,8
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Termocupla	Buen Estado General		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Gral		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efectuo Limpieza General		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Cont. Se le efectuo Mantenimiento Interno		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Motor + Turbina	Se le efectuo Inspección y Mitto Gral (Consumo de motor)	3 - 6 AMP	3,8 4,9 5,6	no hay datos	3,8 6 5,4	4,4 5,3 5,8	3,4 4,4 5,5	3,1 4,1 5,6	4,3 5,8 5,9
Limpieza Interna / Externa			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Temperatura Controlador (°C)			33	46	63	51	58	51	48
Temperatura Computador (°C)			33	46	63	51	58	51	48
Temperatura Patrón (°C)			33,5	46,3	63,5	51,2	58,3	51,8	48,5

Tabla 4.5-. Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #25
Data proporcionada por Coordinación de Mantenimiento, SOLA Venezuela

Nº del Horno: 3			FECHA:						
			25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	12/12/2002	23/05/2003
Revisión de Resistencia AMP	Variable en Amp	Valores Estándar 0-18 Amp	0-16	0-16	0-17	0-15	0-15	0-18	0-17
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(L)	5 a 10 m/s	7,3	7,8	6,5	5,3	6,5	7,8	7,3
	Prom m/seg (LD)		6,4	8	6,8	9,9	6,8	8	6,4
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Termocupla	Buen Estado General		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Gral		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efectuo Limpieza General		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Cont. Se le efectuo Mantenimiento Interno		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Motor + Turbina	Se le efectuo Inspección y Mitto Gral (Consumo de motor)	3 - 6 AMP	(6,8) (6) (6)	(5,6) (5,8)(7,0)	(6) (6)(5,8)	(3) (4,2)(5,5)	(3,8) (5,3)(5,9)	(3,4) (3,8) (4,5)	(3,1) (4,3) (5,4)
Limpieza Interna / Externa			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Temperatura Controlador (°C)			40	38	50	53	38	48	41
Temperatura Computador (°C)			40	38	50	53	38	48	41
Temperatura Patrón (°C)			40,5	38,2	50,1	53,5	38,2	48,2	41,9

Tabla 4.6-. Reporte de Mantenimiento Preventivo del Horno #3
Data proporcionada por Coordinación de Mantenimiento, SOLA Venezuela

Entre las acciones de mantenimiento están las siguientes:

✓ Revisión del Flujo de Aire (m/s): Con un anemómetro se mide la velocidad del aire a la salida del ventilador en el lado izquierdo y derecho respectivamente del horno. Se realiza tomando tres lecturas en la región izquierda, media y derecha de cada costado y luego se calcula un promedio que es el parámetro a seguir en el reporte. Estos valores deben estar entre 5 a 10 m/s.

✓ Revisión de Resistencia (A): Con un galvanómetro se mide la intensidad de energía que se le envía a las resistencias. Se mide directamente del relé de estado sólido,

estando el valor continuamente variando porque las resistencias están perennemente siendo requeridas por el controlador. Estas variaciones oscilan de 0 a 18 A.

✓ Revisión del Flujo de Agua: Para realizar esta revisión el mecánico de turno abre la tubería flexible y verifica si el agua circula bajo operación del controlador a fin de asegurar un buen flujo de agua.

✓ Revisión de Termocupla: Se verifica sencillamente el estado de la Termocupla, para constatar si no se encuentra afectada por monómero. A la Termocupla también se le hace una calibración para que funcione correctamente.

✓ Revisión del tablero de control: El tablero donde se encuentran los relees, se les realiza mantenimiento porque está en contacto con componentes corrosivos que pudiesen dañarlo.

✓ Revisión de goma de las puertas: Se revisa el buen estado de éstas y que no exista fuga de aire por los alrededores de las puertas.

✓ Revisión de Válvula de Paso de Agua: Se verifica si la válvula solenoide abre y cierra según el controlador y se desarma para realizarle mantenimiento interno.

✓ Revisión de motor y ventilador: Con el amperímetro se mide el consumo del motor en Amperios, el cual debe estar en un intervalo de 3 a 6 A.

✓ Limpieza Interna y Externa: Cuando el horno está funcionando, éste tiene un continuo contacto con el monómero, recirculado por el ventilador. El monómero se pega a las paredes del horno, al ventilador y hasta al enfriador. Por esta razón se debe limpiar con el Hidrojet para eliminar el monómero que con el tiempo se adhiere más.

✓ Revisión de la Curva de Curado del Horno: Se pone en funcionamiento el horno y se verifica el comportamiento de la curva de calentamiento del horno.

4.1.2 PRUEBA DE TREINTA (30) PUNTOS

Manual "Lens position for the 30 point tint test", Sola Internacional, 1997.

La prueba de 30 puntos se ha utilizado en SOLA por varios años para evaluar la variación de tintabilidad dentro de los hornos de curado.

Ésta se realiza para comprobar la variación de curado dentro de un horno, que es probablemente causada por los puntos calientes y el bajo flujo de aire. Esta prueba no sustituye la Prueba de Tintado diario ni la Prueba de Dureza (Ver APENDICE III).

4.1.2.1 IMPORTANCIA DE LA PRUEBA DE 30 PUNTOS

Manual "Lens position for the 30 point tint test", Sola Internacional, 1997.

La prueba de 30 puntos es un indicador de la variación de curado dentro del horno a partir de un parámetro llamado transmitancia, el cual tiene un rango estándar que varía con el tipo de lente. Ayuda a identificar cuando el horno está realizando un curado apropiado que garantiza la buena calidad del lente. El valor máximo de transmitancia aceptado de +/-4.

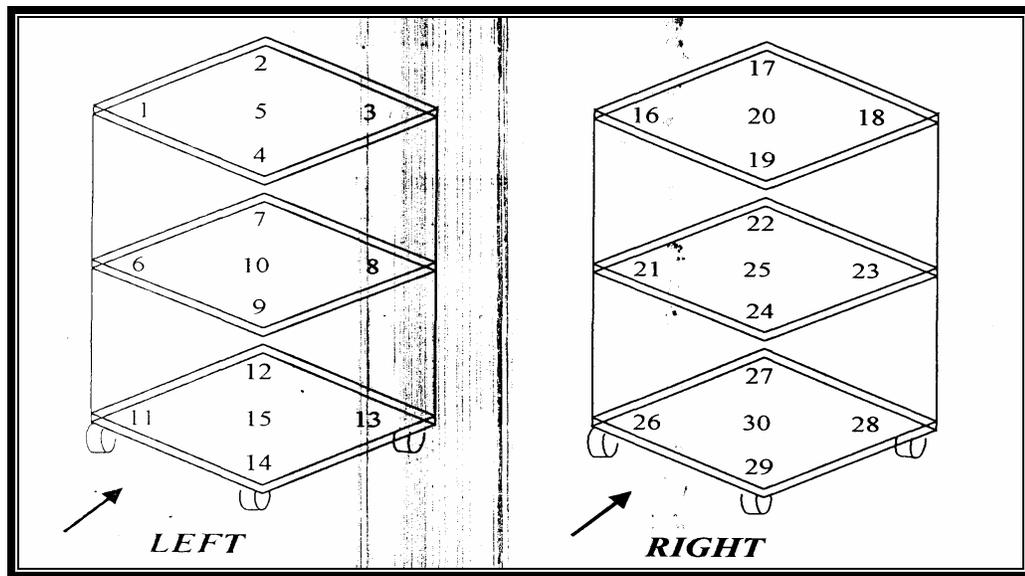


Fig.4.22.-Colocación de lentes en la Prueba de 30 puntos

En la fig.4.22 se puede ver que cada número corresponde a la ubicación específica de cada lente, repartidos los 30 lentes en: del 1-15 lado izquierdo y del 16-30 lado derecho.

La manera en que están situados los 30 lentes da información de puntos especiales dentro del horno y por otra parte, como esta Prueba se ha hecho en la empresa por muchos años, proporciona una data muy valiosa para demostrar el problema que presentan actualmente los hornos de curado de SOLA Venezuela.

4.1.2.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE 30 PUNTOS

Manual "Lens position for the 30 point tint test", Sola Internacional, 1997

1. Si es posible utilice bandejas gruesas de espesor 3,0 milímetros. Asegúrese de que los moldes y los aros estén limpios y produzcan los lentes de primera calidad. Usando la prueba de la pluma de agua enumere la superficie de los lentes del 1 al 30.

2. Llene las bandejas del monómero filtrado que no tenga ningún reclamo e igualmente ninguno otro componente (ortholeum etc). Para esto no es necesario usar el mismo monómero del producto del horno en particular, pero necesita ser compatible con el patrón del curado. Normalmente el monómero de los lentes semiterminados es el mejor.

3. Ponga las bandejas llenas en los carros de los hornos.

4. Si está disponible, se recomienda que los alambres de la Termocupla estén conectados con el data logger y estén colocados en las treinta posiciones para contar con un expediente de la variación de temperatura dentro del horno.

5. Terminado el curado, quite los treinta lentes del horno tan rápido como sea posible y abra los aros después de diez minutos.

6. Escriba en cada lente a 10 milímetros del borde, el número de bandeja, número del horno y el número de hornada. Disponga separado los lentes con los escapes grandes o burbujas. Si hay más de un lente rechazado en cualquiera de las bandejas la prueba debe ser repetida.

7. Limpie los lentes con acetona y luego postcura a 100 ° C por 2 horas.

8. Después de postcura, coloque los lentes en un ambiente entre 15 y 25°C para permitir que estabilicen su temperatura, preferiblemente durante la noche para estar listos a ser teñidos.

9. Antes de teñir asegúrese que el baño está en el nivel de agua estándar y temperatura de funcionamiento. Si no, llenar el baño y permita que alcance la temperatura correcta antes de usar.

10. Distribuya uniformemente los treinta lentes en el estante del tinte para permitir el flujo máximo del agua entre los lentes. Permita que el espacio adicional en los

extremos del estante evite cualquier área pobre de circulación alrededor del perímetro del baño de tinte.

11. Coloque el estante en el baño y tiñe los lentes a 50% T +/- 4%, asegurándose de que los treinta lentes estén teñidos por exactamente el mismo tiempo.

12. Cuando ha llegado a la densidad deseada, quite el estante del baño y limpie los lentes con agua. Luego limpie con acetona y tinta.

13. Compruebe los lentes para saber si hay uniformidad del tinte examinándolos de cerca en un ambiente luminoso.

14. Lea la transmitancia de los lentes en el HUNTER LAB (Para saber más detalles sobre este equipo léase Apéndice V. Los lentes se pueden también ver en una tabla iluminada, si están disponibles, para la referencia visual.

15. Los datos deben ser analizados y las diferencias de más de $\pm 2,0\%$ entre el más ligero y el más oscuro debe ser investigado. Si hay alguna duda sobre la validez de los datos, entonces debe ser repetido.

16. Después de cualquier acción correctiva que se haya tomado en una tentativa de mejorar la tintabilidad de un horno, la prueba de treinta puntos debe repetirse para comprobar el efecto de esa acción.

4.1.2.3 PRUEBA DE TREINTA PUNTOS

Información proporcionada por Aseguramiento de la Calidad. SOLA Venezuela

En SOLA Venezuela, sólo dos veces se han realizado jornadas de ejecución de Prueba de 30 puntos a todos los hornos, una en el año 2000, aunque no con la tecnología actual y otra en el año 2003.

A continuación se muestra una tabla resumen de los valores obtenidos de las Pruebas de 30 puntos realizadas a los hornos en mayo 2003(Data de Aseguramiento de la Calidad), cuyos resultados justificaron para que la empresa encomendara un estudio completo de los hornos de curado, propósito que cumple parcialmente este Trabajo Especial de Grado.

.A continuación se presenta la transmitancia del Horno #40 en la Prueba de 30 puntos para el año 2003. (Ver APENDICE II.)

HORNO	Desviación	Lado # 02			Lado # 01			HORNO	Desviación	Lado # 02			Lado # 01		
		Max	Min	Dif.	Max	Min	Dif.			Max	Min	Dif.	Max	Min	Dif.
1	4,3	61,2	57,3	3,9	59,5	57,0	2,5	25	2,7	64,0	61,3	2,7	64,0	61,8	2,1
2	2,5	65,9	63,4	2,5	66,0	63,8	2,1	26	4,6	64,6	60,6	3,9	65,2	60,8	4,4
3	13,2	60,3	55,7	4,6	64,2	51,0	13,2	27	3,1	60,5	57,5	3,0	60,3	57,4	2,9
4	5,1	64,6	60,4	4,2	63,7	59,5	4,2	28	3,9	64,1	60,6	3,5	63,4	60,3	3,1
5								29	6,3	64,2	60,1	4,1	66,4	61,4	4,9
6	6,3	63,7	59,7	4,0	66,0	60,4	5,6	30	6,6	60,6	57,2	3,5	61,6	55,0	6,6
7	4,0	63,3	59,4	4,0	63,1	60,3	2,8	31	6,3	51,8	45,5	6,3	51,3	45,5	5,8
8	5,1	64,6	60,4	4,2	63,7	59,5	4,2	32	6,0	62,0	56,0	6,0	60,3	56,5	3,8
9								33	2,3	84,3	82,5	1,8	84,8	82,8	2,0
10	6,8	65,4	62,0	3,4	63,5	58,6	4,9	34	5,5	64,0	58,5	5,5	63,9	59,5	4,4
11	4,2	65,1	62,1	3,0	64,5	60,9	3,5	35							
12	4,4	68,5	64,4	4,1	68,7	65,4	3,3	36	5,1	63,7	59,2	4,6	63,2	58,6	4,6
13	6,2	64,4	61,9	2,4	66,5	60,2	6,2	37							
14	5,1	62,6	57,6	5,1	61,7	57,7	4,0	38	5,8	63,5	57,7	5,8	61,0	57,7	3,3
15	12,7	51,4	46,2	5,2	50,7	38,7	12,1	39	5,4	66,0	62,4	3,6	67,8	64,0	3,8
16								40	4,2	58,0	54,3	3,7	58,5	55,7	2,8
17	6,0	64,1	59,0	5,1	61,7	58,0	3,7	41	5,5	63,6	60,3	3,3	63,5	58,1	5,4
18	4,7	64,6	59,9	4,7	64,5	60,6	3,9	42	3,5	61,2	57,7	3,5	60,7	57,9	2,8
19	2,9	60,4	57,7	2,7	60,3	57,5	2,7	43	6,3	65,1	60,5	4,6	62,8	58,7	4,0
20	4,4	63,1	58,7	4,4	63,0	59,0	4,0	44	3,8	63,8	60,3	3,5	63,3	59,9	3,4
21								45	4,6	64,4	59,9	4,5	62,8	59,8	3,0
22	7,2	64,1	58,2	5,9	64,0	56,9	7,1	46	2,5	65,9	63,4	2,5	66,0	63,8	2,1
23	4,6	64,1	59,5	4,58	63	60,6	2,38	47							
24	5,9	65,8	60,3	5,51	66,2	62,2	3,95	48							

Tabla 4.7.-Prueba de 30 Puntos a los Hornos, Mayo 2003.
Data proporcionada por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad, SOLA
Venezuela

El análisis de esta prueba se basa en el hecho de que los treinta lentes deben tener los mismos valores de transmitancia, a pesar de estar colocados a distintas alturas y

posiciones, para asegurar que existe una transferencia de calor uniforme dentro del horno o sea una uniformidad en el curado.

Además, se cuenta con otro indicador llamado Transmitancia Patrón que nos da un valor máximo al que pueden llegar los valores de transmitancia, resaltando que un valor mayor indicaría que el lente no está bajo las especificaciones exigidas

A continuación se presenta la transmitancia del Horno #40 de la Prueba de 30 puntos para el año 2000. Para ver más detalles de la data de este año, ver APENDICE II.

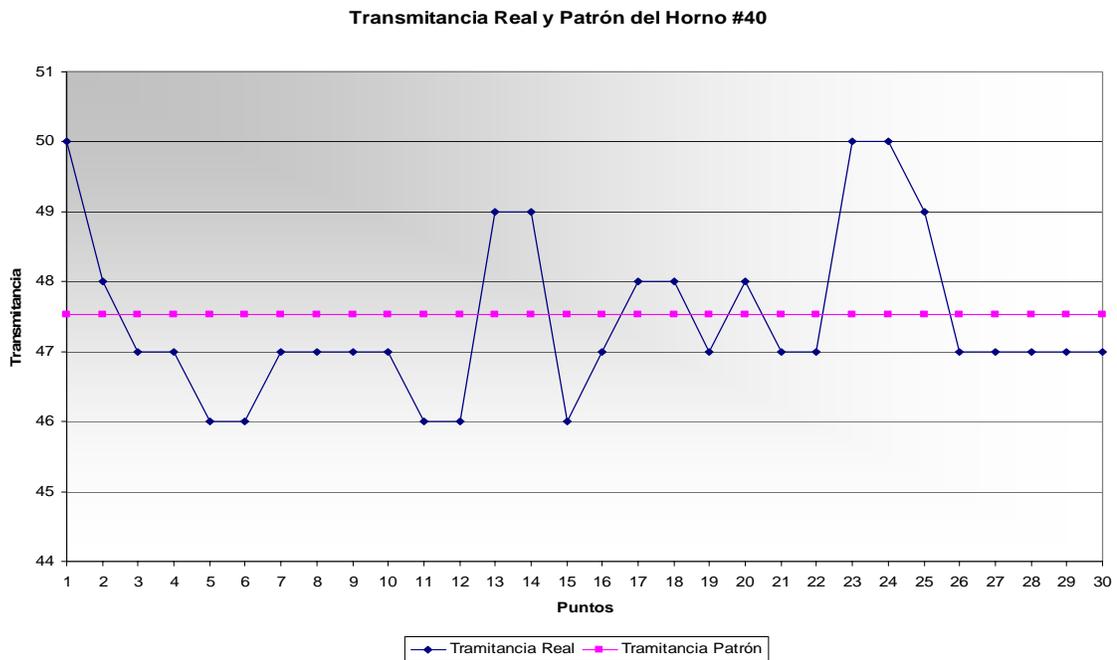


Fig. 4.23- Gráfica de Transmitancia Real vs Patrón del Horno #40 para el año 2000. Data proporcionada por Aseguramiento de la Calidad

En la tabla 4.8 se pueden observar los datos de origen de la figura 4.23 y además se realizan unos cálculos por medio del programa Excel. Se presenta un conjunto de datos sobre cuánto es la diferencia entre el máximo y el mínimo valor de transmitancia de cada lado del horno (Lado#1: Lado izquierdo del horno, Lado#2: Lado derecho del horno), considerando que tiene que estar en un intervalo de 0 a 4% para aceptar el curado.

Horno	40							
lentes	%T	Patrón	FACTOR	dif con la patron				
1	50	47.53	3.53	2.47				
2	48	47.53	3.53	0.47				
3	47	47.53	3.53	0.53				
4	47	47.53	3.53	0.53	Lado # 02			
5	46	47.53	3.53	1.53	Max	Min	Dif.	
6	46	47.53	3.53	1.53	50	47	3	
7	47	47.53	3.53	0.53	Lado # 01			
8	47	47.53	3.53	0.53	Max	Min	Dif.	
9	47	47.53	3.53	0.53	50	46	4	
10	47	47.53	3.53	0.53				
11	46	47.53	3.53	1.53				
12	46	47.53	3.53	1.53				
13	49	47.53	3.53	1.47				
14	49	47.53	3.53	1.47				
15	46	47.53	3.53	1.53				
16	47	47.53	3.53	0.53				
17	48	47.53	3.53	0.47				
18	48	47.53	3.53	0.47				
19	47	47.53	3.53	0.53				
20	48	47.53	3.53	0.47				
21	47	47.53	3.53	0.53				
22	47	47.53	3.53	0.53				
23	50	47.53	3.53	2.47				
24	50	47.53	3.53	2.47				
25	49	47.53	3.53	1.47				
26	47	47.53	3.53	0.53	Desv			
27	47	47.53	3.53	0.53	max	min	Dev	
28	47	47.53	3.53	0.53	50	46	4	
29	47	47.53	3.53	0.53				
30	47	47.53	3.53	0.53				

Tabla 4.8-. Diferencias máximas y mínimas del Horno #40 para el año 2000

A continuación se presentan en las figuras 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27 las diferencias de la Transmitancia máxima real con la Transmitancia mínima real de los Hornos en el año 2000 y 2003, respectivamente.

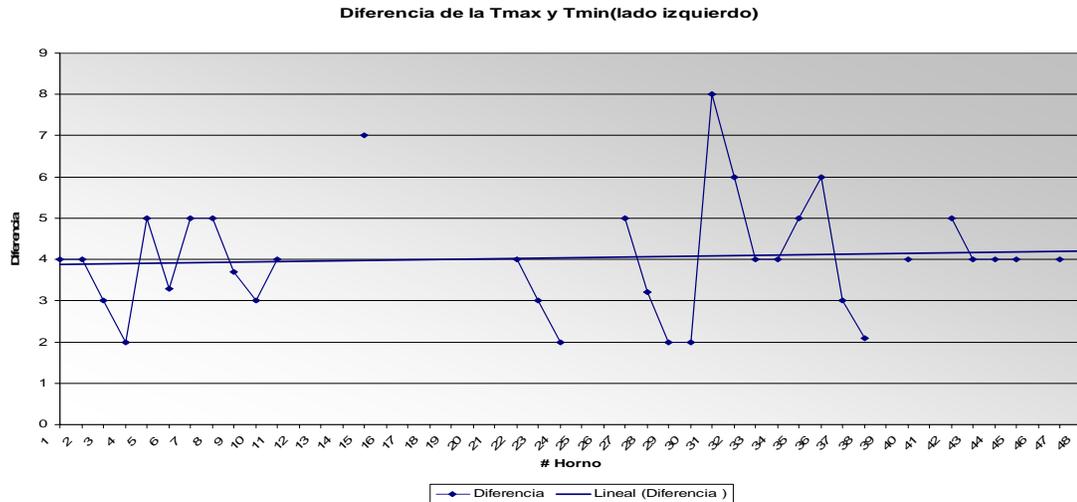


Fig. 4.24- Diferencia de la T_{max} con la T_{min} en el lado izquierdo para el año 2000. Data proporcionada por Aseguramiento de la Calidad, SOLA Venezuela

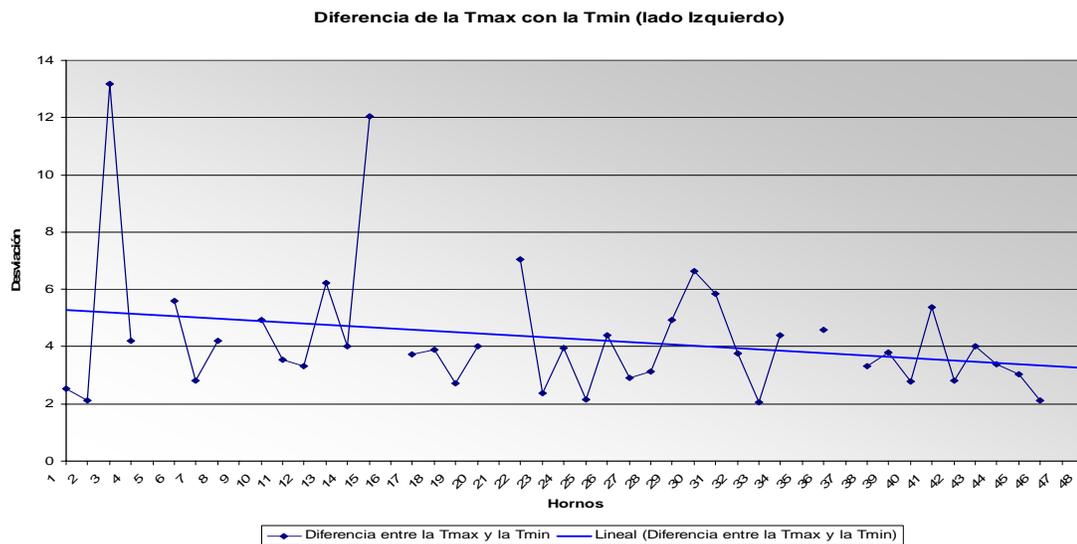


Fig. 4.25- Diferencia de la T_{max} con la T_{min} en el lado izquierdo para el año 2003. Data proporcionada por Aseguramiento de la Calidad, SOLA Venezuela. Mayo 2003

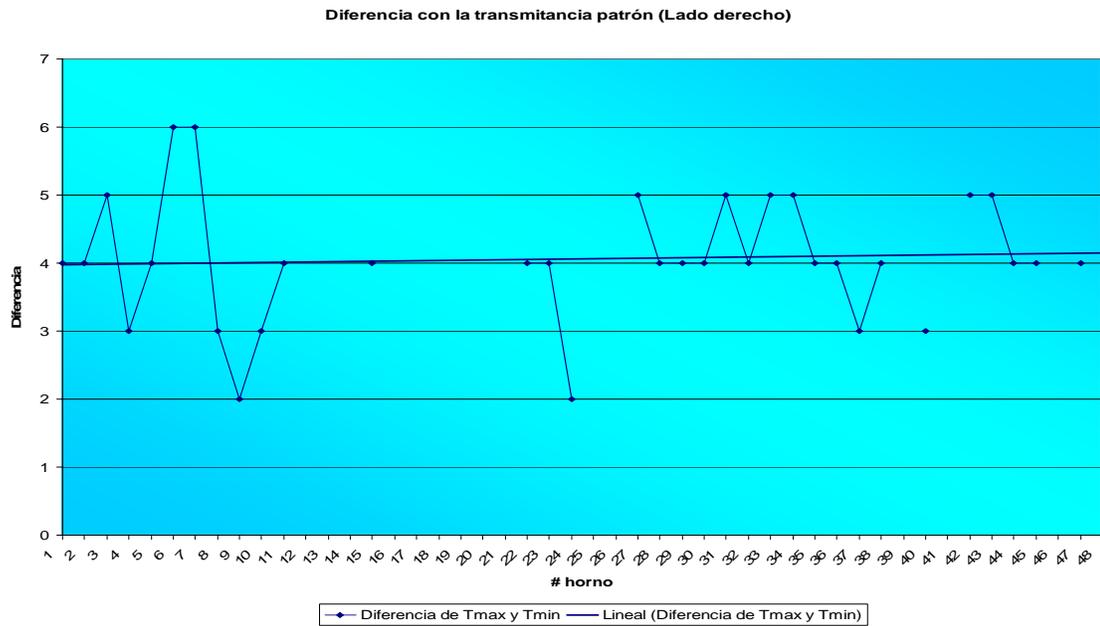


Fig. 4.26-. Diferencia con la transmitancia patrón en el lado derecho para el año 2000. Data proporcionada por Aseguramiento de la Calidad, SOLA Venezuela.

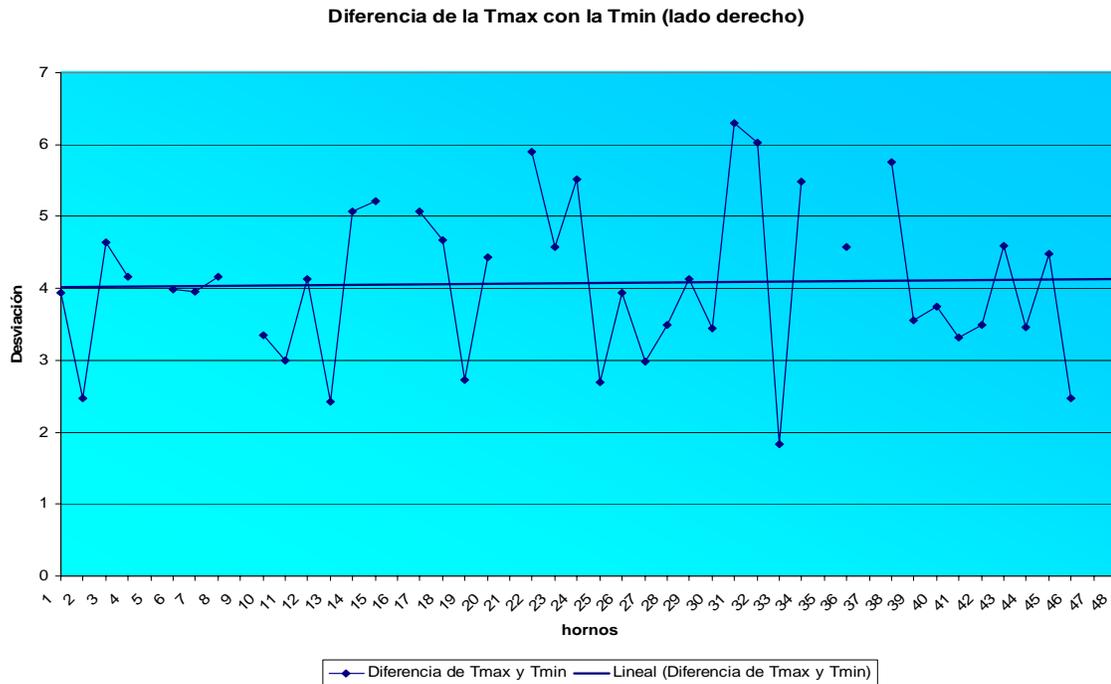


Fig. 4.27-. Diferencia con la transmitancia patrón en el lado derecho para el año 2003. Data proporcionada por Aseguramiento de la Calidad, Mayo 2003

4.1.3 CAUSAS QUE GENERAN EL MAL CURADO EN LOS HORNOS

Manual "Lens position for the 30 point tint test", Sola Internacional, 1997

Para saber realmente qué puede estar sucediendo con el equipo se propone revisar una serie de eventos que podrían estar sucediendo:

1. Mal colocado de las volutas dentro del compartimiento del ventilador, o el ventilador no es centrado con las volutas, véase figura 4.28. Es crítico que las dimensiones "A" y "B" estén iguales en ambos lados del ventilador para asegurar flujo de aire equilibrado en ambos lados del horno.

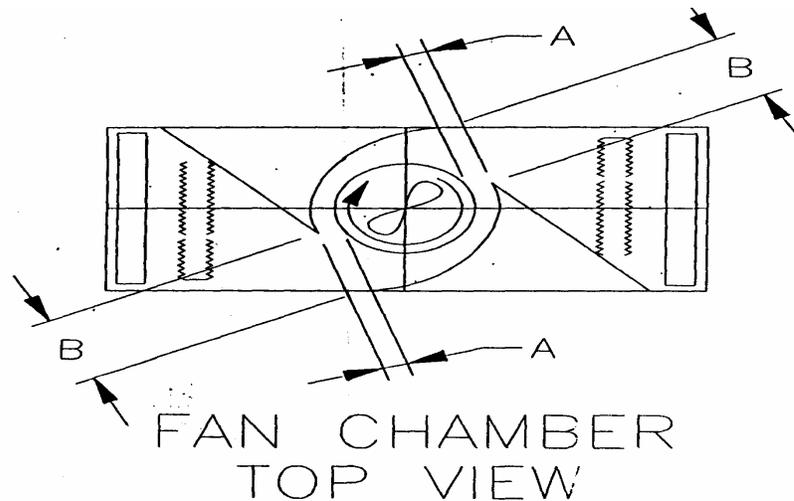


Fig. 4.28.-Corte del horno vista superior

2. Volutas dañadas o perdidas.
3. Ventilador que funciona en la velocidad incorrecta. Esto podría ser cuando el ventilador se desliza en el eje impulsor o el motor del ventilador fue instalado con una velocidad que no es la apropiada (Los ventiladores del horno de SOLA funcionan típicamente entre 910 a 950 RPM).
4. Instalación del ventilador al revés, que ocasiona que el funcionamiento sea en la dirección incorrecta.

5. El ventilador no es centrado sobre la abertura de la tapa del compartimiento que cura 4.28.

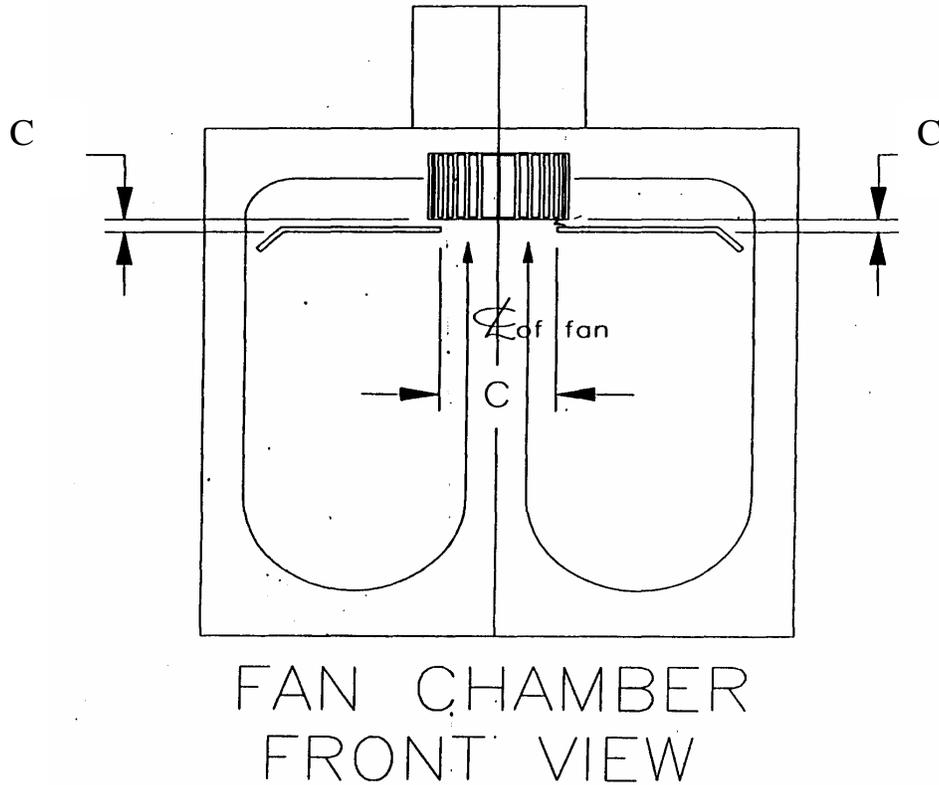


Fig. 4.29-. Corte del horno (vista de frente)

6. La variación de la altura entre fondo del ventilador y la abertura en el panel superior. El fondo del ventilador debe ser paralelo a las placas superiores y las dimensiones " B " en la figura 4.23 deben estar iguales en ambos lados.

7. Acumulación dentro de polímero y/o desperdicios que restringen el flujo de aire al compartimiento del ventilador o el horno.

8. Respiraderos mal colocados de la entrada y/o de salida de aire en el horno. Los valores típicos de SOLA son de 500 a 700 metros por minuto, sin más que la extensión es de 10% entre el valor más alto y más bajo. El flujo de aire se mide con un anemómetro.

9. El controlador está fuera de calibración.

10. Desigual carga en el horno. Se debe distribuir uniformemente entre los dos carros.

11. El flujo de aire alrededor del enfriador se podría restringir por el polímero curado y/o los desperdicios.

12. Los sellos de las puertas dañados, permitiendo el paso y el contacto de aire del ambiente con el producto interno que es calentado.

.

.

4.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En esta parte del Trabajo, denominada Investigación Experimental, se evalúa cada componente relacionado con el Horno # 40, a objeto de que cumpla efectivamente con sus funciones de operación y con la geometría, dimensiones, estructuras y ubicación, independientemente de las especificaciones de los planos de planta y equipos y de las normas de producción establecidas, tal como se explicó en el punto **Alcance y Limitaciones**. Al mismo tiempo, se efectuaron cambios al sistema actual, modificando la ubicación de algún elemento o la condición operativa dentro del horno, para constatar por medio de la Prueba de 30 puntos y mediciones de velocidades, en qué grado varían las propiedades de los lentes y el curado, resultados éstos que se verificaron por extensión en el Horno #3, el de curado más deficiente y en el Horno #25, el de mejor curado (Ver Tabla 4.7 del punto **Investigación Documental**).

4.2.1 VERIFICACIÓN DE LAS SITUACIONES QUE PODRÍAN CAUSAR LAS VARIACIONES DE AIRE EN EL HORNO 40.

Como se explicó en el **Marco Metodológico**, la verificación de estas causas se realizan según el manual SOLA Internacional sección 4.1.3 se realizó en el Horno #40 asignado, mientras el resto realizaba las actividades diarias de producción. Dicha verificación se puede observar en la tabla 4.9.

Situación	Procedimiento	Observaciones
✓ Mal colocado de las volutas	Se verifica que las distancias A y B sean iguales.	Se observó que las distancias A y B eran distintas en cada lado.
✓ Volutas dañadas o perdidas.	Se verifica si no existe monómero adherido a las paredes de la voluta.	Se encontró monómero en las paredes de las volutas.
✓ Velocidad incorrecta	Se verifica que el ventilador funcione a la velocidad especificada (910 a 950 rpm).	El motor de este horno trabaja a 850 rpm, y no según lo establece el fabricante del horno.
✓ El ventilador funciona a la dirección incorrecta.	Se verifica si el ventilador funciona en la dirección correcta.	El ventilador funciona en la dirección correcta.
✓ El ventilador no está centrado.	Se verifica si el ventilador se encuentra centrado a la abertura por donde es succionado el aire.	El mismo se encontraba centrado y no presenta desbalanceo.
✓ Altura incorrecta entre el fondo del ventilador y la abertura.	Se verifica que la altura B de cada lado sea la misma	La altura B era la misma en ambos lados.
✓ Acumulación de monómero dentro del horno.	Se verifica que el monómero no esté incrustado en el ventilador, enfriador, paredes del horno etc.	Se encontró monómero en las paredes del ventilador y en las paredes del horno.
✓ Respiraderos mal colocados de la entrada y/o de salida de aire.	Se verifica que estos estén bien colocados.	Se encuentran bien colocados.

Tabla 4.9.- Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de AIRE

4.2.2 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL HORNO.

Las medidas de los planos proporcionados por SOLA Venezuela diseñados por el fabricante de los hornos, KENT MANUFACTURING LTD, fueron corroboradas con un vernier y un metro, para verificar si cada uno de los componentes del horno cumple con los requerimientos mínimos para los cuales fue diseñado (Ver Plano del Horno APENDICE I).

4.2.3 MODIFICACIÓN DEL SISTEMA.

Hecha la verificación, la modificación del sistema consistió en alterar la ubicación de las volutas para mejorar la recirculación del aire, mediante tres (3) cambios, que permitieran un aumento equilibrado de caudal y presión de aire.

En el primero, ante la sugerencia del auditor australiano de que tales volutas obstruían el paso de aire y disminuían la velocidad de éste, se desmontaron del horno para observar el comportamiento del flujo de aire.

En el segundo, antes de ser colocadas las volutas, se procedió a cubrir las aberturas laterales y seguidamente a ubicarlas sobre el horno, según la posición indicada en los planos.

En el tercero, dado que no se obtuvieron los resultados esperados con las dos acciones anteriores, se colocaron las volutas disminuyendo de forma gradual el ducto de salida de aire, para ganar caudal y presión

Dichas modificaciones de la ubicación y estructura de las volutas se realizaron a partir de las especificaciones A y B (Ver figura 4.28 en **Investigación Documental**).

Con respecto al motor del Horno #40, tal como se detectó en la etapa de verificación, éste no cumple con las especificaciones del fabricante y la opción de sustituirlo no fue posible, dado que no había en existencia otro motor.

Las longitudes modificadas se pueden apreciar en la tabla 4.10.

Horno #40	Medida Original (cm)		Medida Modificada #1 (cm)	Medida Modificada #2 (cm)
Distancia A, L. derecho	4.5	Sin las Volutas	0	3,247
Distancia A, L. izquierdo	3.8		0	3,263
Distancia B, L. izquierdo	25		30	29
Distancia B, L. derecho	26		30	29

Tabla 4.10.-Longitudes modificadas

4.2.3.1 MEDICIÓN DE VELOCIDAD

Ante cada modificación de las volutas, es conveniente medir el parámetro de velocidad de la succión y el de salida del ventilador, dado que ambos pueden variar según la ubicación de éstas y por el recirculamiento del aire. Para esta medición se utilizó un anemómetro digital marca EXTECH INSTRUMENTS que registra la velocidad del aire en m/seg.

El procedimiento para la medición es el siguiente:

1. Debido a la longitud del ducto de salida del aire, tanto en el lado derecho, como en el izquierdo del horno, las mediciones se realizaron por secciones.
2. En cada sección, el anemómetro se debe colocar perpendicular a la salida del aire para obtener mejores resultados.
3. Este proceso se realizó 3 veces, para calcular el promedio de la velocidad en cada lado del horno.
4. Finalmente, se midió la velocidad del aire a la succión del ventilador.

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

		LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO											
VOLUTAS EN POSICIÓN ORIGINAL																
HORNO 40	A	B	C	A	B	C	PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO (L)M/seg	PROMEDIO (Ld)M/seg	DIFERENCIA	PROMEDIO (L)M/MIN	PROMEDIO (L)M/MIN		
1era lectura	3.2	3.1	3.7	4.9	3.9	3.8	3.33	4.20		3.37	4.20	0.8333333333	202	252		
2da lectura	3.1	3.2	4.2	4.8	3.8	3.5	3.50	4.03								
3era lectura	3.2	3.1	3.5	4.1	4.2	4.1	3.27	4.13								
SIN LAS VOLUTAS																
1era lectura	2.3	0.6	3.9	3.6	2.4	2	2.27	2.67	2.7	2.45	2.85	0.3933333333	147.2	170.8		
2da lectura	2.6	0.9	3.9	4	3.1	2.2	2.47	3.10	2.6							
3era lectura	2.6	1.6	4	3.3	2.2	2	2.73	2.50	2.8							
4ta lectura	2.8	1.4	3.6	3.7	2.1	3.2	2.60	3.00	2.5							
5ta lectura	1.8	1	3.8	4	2	2.9	2.20	2.97	2.8							
CON LAS VOLUTAS AD = AI = 0; BD =30cm BI =30cm																
1era lectura	7.3	5.5	2.5	4.7	4.2	5.4	5.10	4.77		4.13	4.96	0.8222222222	248	297.33333333		
2da lectura	3.2	2.7	3.6	4.3	5.7	5.5	3.17	5.17								
3era lectura	6.1	3.4	2.9	2.3	6	6.5	4.13	4.93								
CON LAS VOLUTAS AD = 3.247cm; AI = 3.263cm; BD = BI =29cm																
1era lectura	6	5	5	4.6	6	6.6	5.33	5.73	5.5	5.00	5.43	0.4333333333	300	326		
2da lectura	5	5.2	4.6	5.6	5	4.5	4.93	5.03	5.1							
3era lectura	4	6	4.2	4.8	4.8	7	4.73	5.53	6.8							

Tabla 4.11-. Velocidades de aire registradas.

4.2.3.2 PRUEBAS DE 30 PUNTOS.

Cada vez que se efectuaban cambios en las volutas, era necesario aplicar la Prueba de 30 puntos, porque ella evalúa la calidad del curado de lentes en el horno y por lo tanto señala si el cambio favorece al proceso. El procedimiento de aplicación de esta prueba está descrito en el punto 4.1 **Investigación Documental**. Los resultados de las pruebas efectuadas al Horno #40 se encuentran en el Apéndice II.

Los resultados de la Prueba de 30 puntos al Horno #40 sin las volutas, se pueden apreciar en la fig.4.30.

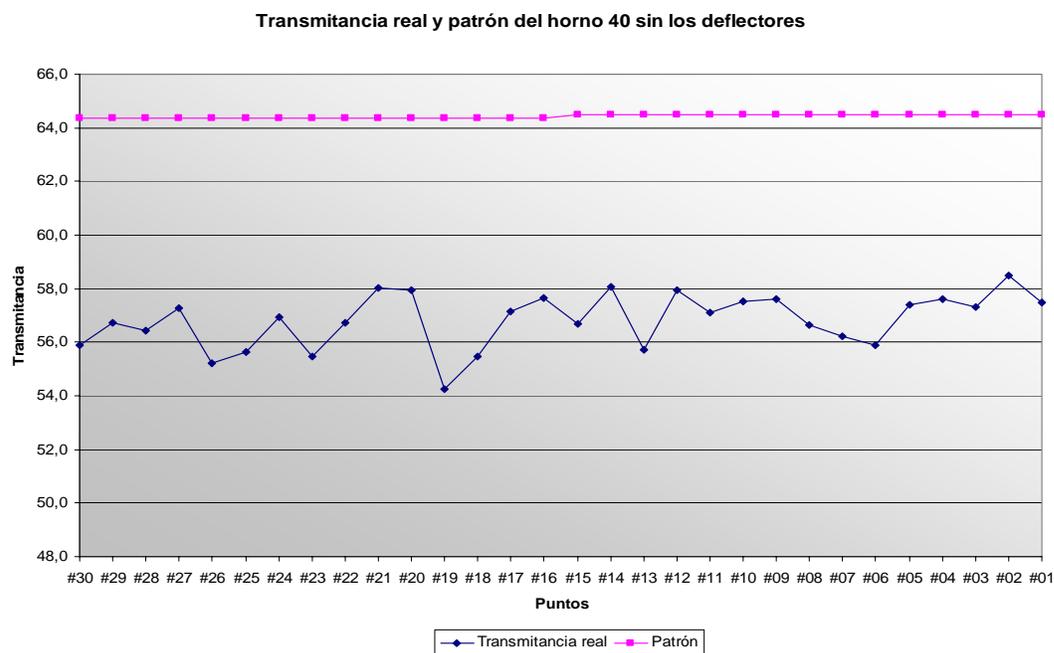
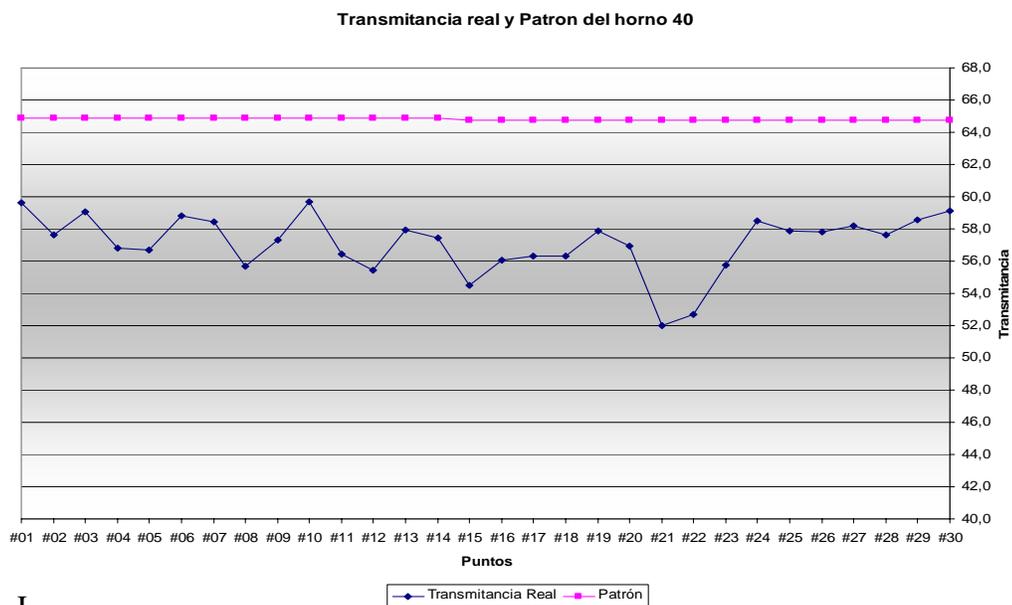


Fig.4.30-Transmitancia real vs. Patrón del horno 40 sin las volutas.

Luego de estos resultados se colocaron nuevamente las volutas, pero con una modificación en el sistema actual, de tal forma que coincidiera con las medidas del plano del horno. Seguidamente se realizó la Prueba de 30 puntos para determinar la calidad de curado, bajo esta condición. En la siguiente figura se aprecian los resultados de esta prueba.



L

Fig. 4.31. Transmitancia Real vs. Patrón del horno 40 (colocados como en el plano).

En vista de que estos resultados no fueron los esperados, de nuevo se modificó la ubicación de las volutas, pero colocadas de tal forma que exista mayor presión y menor caudal; para ello se disminuyó el área por donde pasa el fluido (aire), respetando que las medidas A y B fueran iguales en ambas volutas. Estos resultados se observan en la fig. 4.33

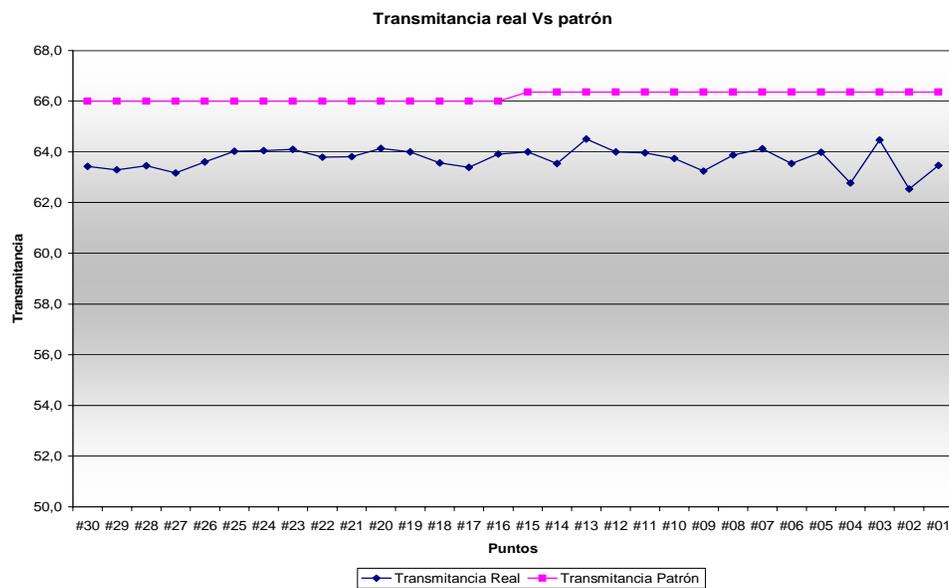


Fig.4.32-.Transmitancia Real vs. Patrón del horno 40 (última modificación).

A continuación se presentan en la tabla 4.10 los resultados de origen de esta grafica y además las diferencias entre el valor máximo y el mínimo de Transmitancia de cada lado.

TINT 30 PUNTOS		Tiempo: 34Seg			
ID	Transmitta	L*	a*	b*	YI D1925(2/C)
PATRON2	66.0	85	-1.48	-2.27	-6.23
PATRON1	66.4	85.18	-1.41	-2.02	-5.6
#30	63.4	83.67	-1.49	-2.37	-6.53
#29	63.3	83.6	-1.48	-2.36	-6.52
#28	63.5	83.68	-1.47	-2.34	-6.44
#27	63.2	83.53	-1.49	-2.34	-6.48
#26	63.6	83.76	-1.47	-2.34	-6.44
#25	64.0	83.98	-1.45	-2.29	-6.3
#24	64.0	83.99	-1.43	-2.26	-6.23
#23	64.1	84.02	-1.43	-2.28	-6.26
#22	63.8	83.86	-1.46	-2.31	-6.36
#21	63.8	83.87	-1.46	-2.31	-6.36
#20	64.1	84.04	-1.43	-2.28	-6.27
#19	64.0	83.97	-1.45	-2.29	-6.32
#18	63.6	83.74	-1.46	-2.36	-6.5
#17	63.4	83.65	-1.47	-2.43	-6.67
#16	63.9	83.92	-1.46	-2.41	-6.58
#15	64.0	83.97	-1.45	-2.4	-6.56
#14	63.5	83.73	-1.48	-2.38	-6.54
#13	64.5	84.23	-1.42	-2.17	-6.01
#12	64.0	83.97	-1.48	-2.17	-6.06
#11	64.0	83.95	-1.45	-2.28	-6.28
#10	63.7	83.83	-1.46	-2.37	-6.51
#09	63.2	83.57	-1.47	-2.41	-6.61
#08	63.9	83.9	-1.44	-2.36	-6.47
#07	64.1	84.03	-1.53	-2.32	-6.45
#06	63.5	83.73	-1.56	-2.32	-6.5
#05	64.0	83.96	-1.45	-2.31	-6.35
#04	62.8	83.32	-1.42	-2.17	-5.98
#03	64.5	84.21	-1.43	-2.23	-6.13
#02	62.5	83.2	-1.45	-2.45	-6.65
#01	63.5	83.69	-1.42	-2.33	-6.32
Max	64.5				
Min	62.5				
Average	63.7				
Diferencia:	2.0				

Lado # 02		
Max	Min	Dif.
64.1	63.2	1.0

Lado # 01		
Max	Min	Dif.
64.5	62.5	2.0

Tabla 4.12-. Diferencias máximas y mínimas del horno 40 (última modificación)

4.2.3.3 CURVAS DE CURADO.

Durante las varias aplicaciones de la Prueba de 30 puntos al Horno # 40, el controlador registra el calentamiento del equipo, mostrando la data de temperatura y tiempo a través de los STEPS (pasos de tiempo) preestablecidos; además, el controlador proporciona de forma gráfica el porcentaje de la energía suministrada a las resistencias del horno.

La curva de curado es importante ya que indica cómo la temperatura real se adapta a la temperatura patrón o SET POINT.

La curva de curado correspondiente a la Prueba de 30 puntos del Horno #40 sin las volutas, se puede observar en la fig. 4.33.

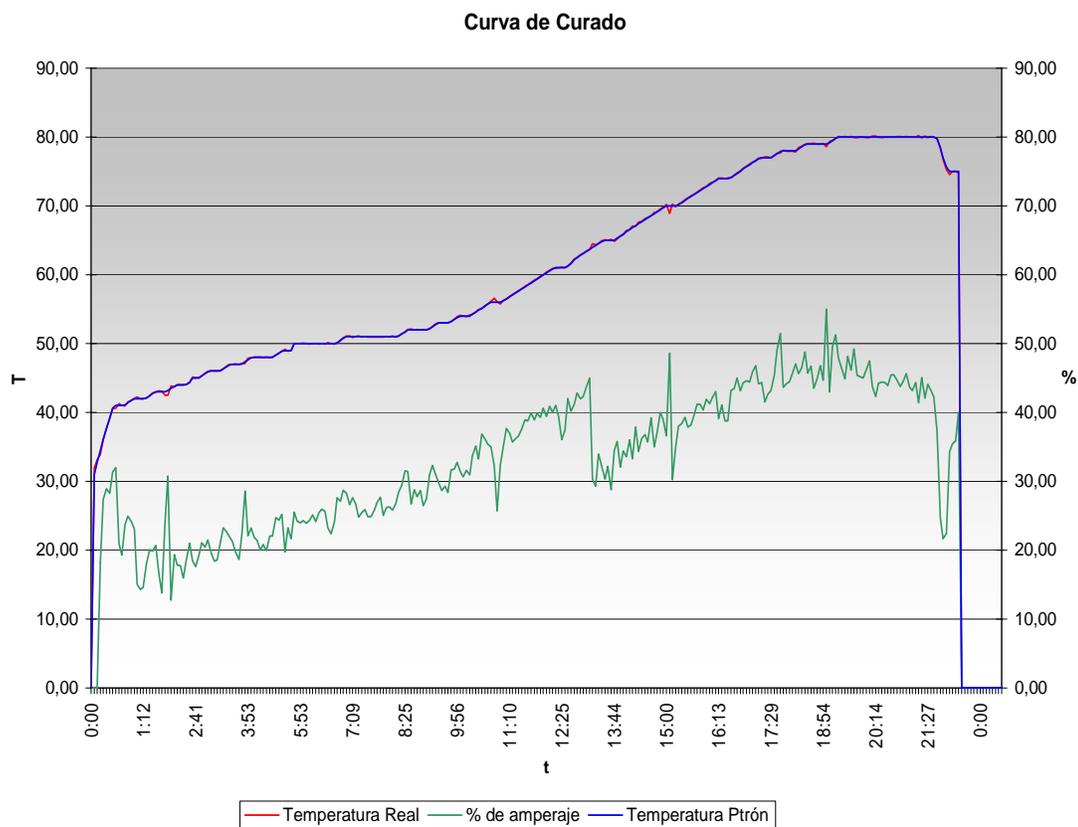


Fig. 4.33-. Curva de curado Temperatura vs. Tiempo (sin las Volutas)

La curva verde representa el porcentaje de la energía suministrada a las resistencias del horno por medio del controlador; la curva roja representa la temperatura programada (Set Point) y la curva azul representa la temperatura interna del horno.

Al aplicar la Prueba de 30 puntos con las volutas, colocados en la forma como están en el plano, la curva de curado se comportó como se aprecia en la fig. 4.34.

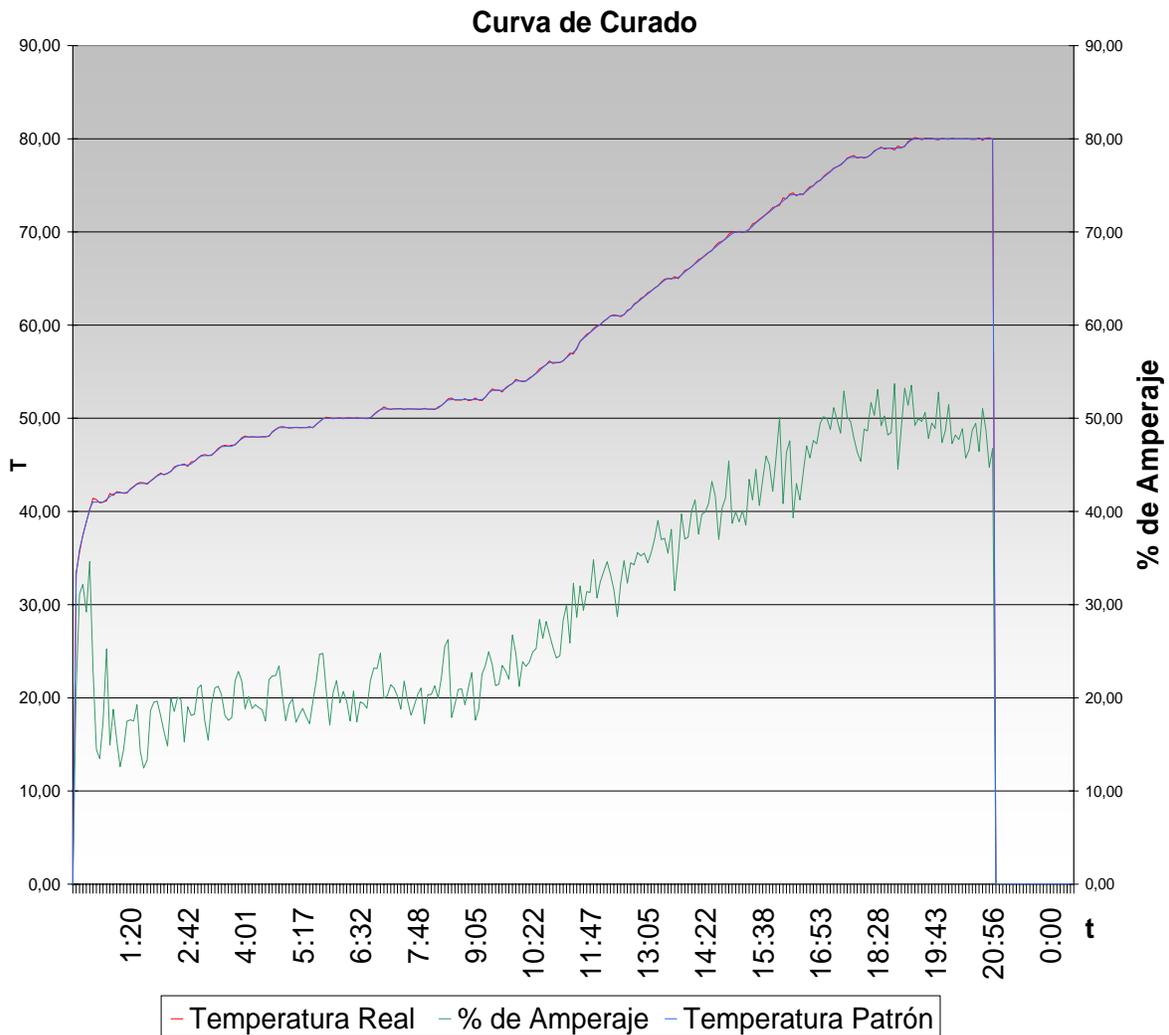


Fig. 4.34.-Curva de curado Temperatura vs. t ,y %A vs. Tiempo con volutas

AI=AD=0; BI=BD=30cm

En cambio, la curva de curado correspondiente a la Prueba de 30 puntos con las volutas colocadas con $A = 3.27\text{cm}$ y $B = 29\text{cm}$, se comporto como muestra la fig. 4.35.

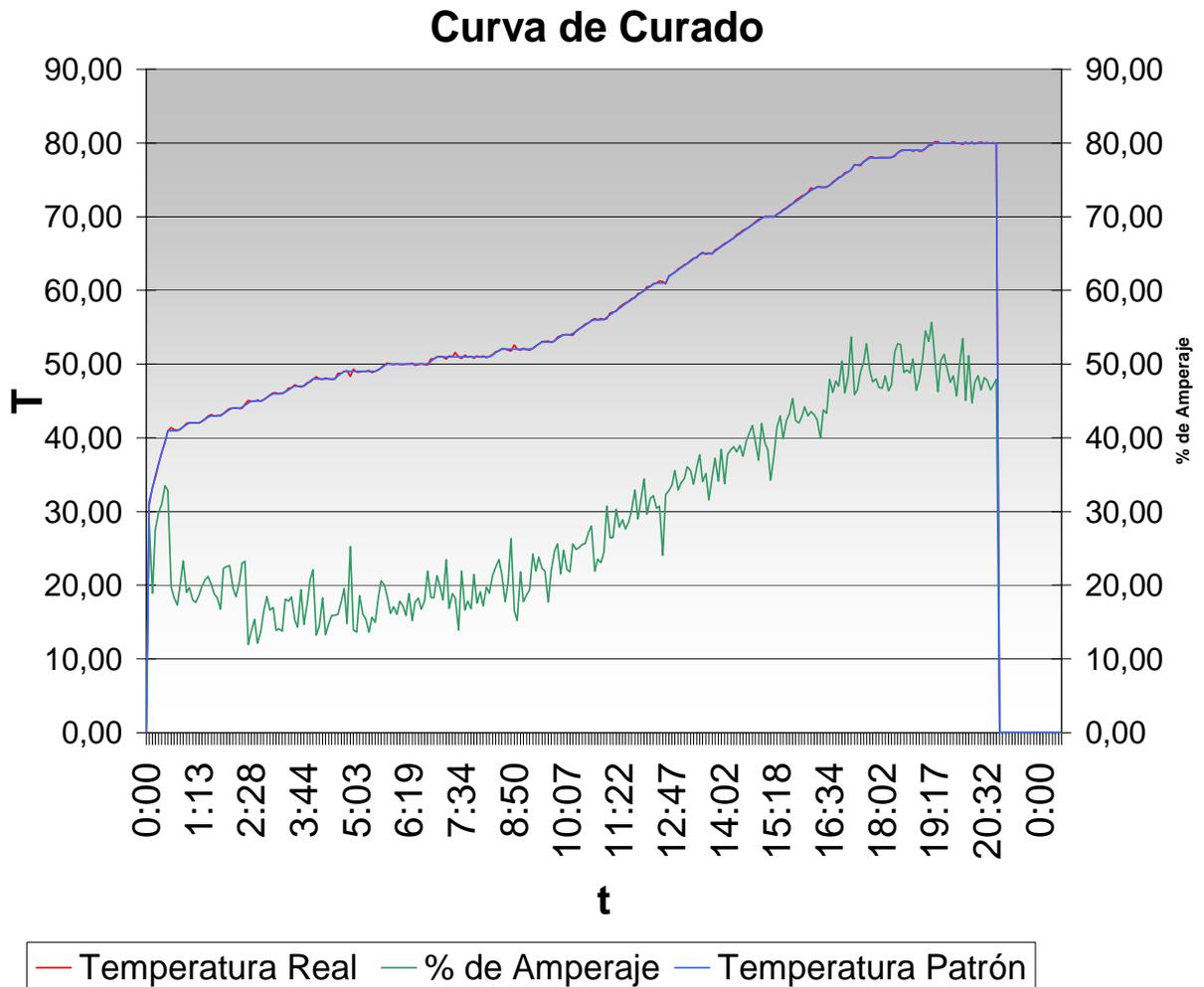


Fig. 4.35- Curva de curado Temperatura vs. Tiempo con las volutas $AD=3,247\text{cm}$ $AI=3,263\text{cm}$; $BD=BI=29\text{cm}$

4.2.4 ESTUDIO EXPERIMENTAL AL HORNO #3

4.2.4.1 VERIFICACIÓN DE LAS SITUACIONES QUE PODRÍAN CAUSAR LAS VARIACIONES DE AIRE.

Antes de realizar la verificación de las causas que podrían causar variaciones del aire dentro del horno (Ver sección 4.1.3) se llevo a cabo la revisión de los reportes de mantenimiento. .

Situación	Procedimiento	Observaciones
✓ Mal colocado de las volutas	Se verifica que las distancias A y B sean iguales.	Se observo que las distancias A y B eran distintas en cada lado.
✓ Volutas dañadas o perdidas.	Se verifica si no existe monómero adherido a las paredes de la voluta.	Se encontró monómero en las paredes de las volutas.
✓ Velocidad incorrecta	Se verifica que el ventilador funcione la velocidad correcta (910 a 950 rpm).	El motor de este horno trabaja a 960 rpm.
✓ El ventilador funciona a la dirección incorrecta.	Se verifica si el ventilador funciona en la dirección correcta.	El ventilador funciona en la dirección correcta.
✓ El ventilador no esta centrado.	Se verifica si el ventilador se encuentra centrado a la abertura por donde es succionado el aire.	El mismo se encontraba centrado y no presenta desbalanceo.
✓ Altura incorrecta entre el fondo del ventilador y la abertura.	Se verifica que la altura B de cada lado sea la misma	La altura B era la misma en ambos lados.
✓ Acumulación de monómero dentro del horno.	Se verifica que el monómero no este incrustado en el ventilador, enfriador, paredes del horno etc.	Se encontró monómero en las paredes del ventilador y en las paredes del horno.
✓ Respiraderos mal colocados de la entrada y/o de salida de aire.	Se verifica que estos estén bien colocados.	No se encontraban bien colocados había fuga de aire.

Tabla 4.13-.Verificación de las situaciones que podrían causar las variaciones de AIRE

4.2.4.2 MODIFICACIÓN DEL SISTEMA.

La modificación del sistema se basa en la modificación de la voluta, debido al interés de comprobar los resultados obtenidos en el Horno #40 con el Horno #3, que resulta ser, por lo visto en la tabla 4.7 del punto **Investigación Documental**, uno de los hornos que presenta mayor desviación de transmitancia en los lentes.

Las modificaciones practicadas se pueden observar en la siguiente tabla.

Horno 3	Medida Actual (cm)	Medida Modificada (cm)
Distancia A, lado Izquierdo	3.37	3.58
Distancia A, Lado derecho	1.104	3.60
Distancia B, Lado derecho	28.3	28
Distancia B, Lado Izquierdo	28	28

Tabla 4.14-.Modificación del Horno #3

4.2.4.2.1 MEDICIÓN DE VELOCIDAD.

La medición de velocidad interna del aire en el horno fue realizada para constatar las diferencias entre su estado actual y las arrojadas cuando se hizo la respectiva modificación. Estas diferencias se pueden apreciar en las tablas que a continuación se muestra:

VOLUTAS Con Ad=3.5,8 Ad=3.6 y Bd=Bi=28	PROMEDIO	PROMEDIO	DIFERENCIA
	(LI)M/seg	(LD)M/seg	
	5.2	6.8	1.6

Tabla 4.15.-Velocidades Iniciales

		LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO								
		VOLUTAS Con Ad=3.5,8 Ad=3.6 y Bd=Bi=28											
HORNO 40		A	B	C	A	B	C	PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO	PROMEDIO	DIFERENCIA
											(LI)M/seg	(LD)M/seg	
1era lectura		4.8	1.1	2.8	3.5	1.8	5.4	2.9	3.566666667	6.2	2.73	3.09	0.36
2da lectura		4.8	1.1	1.3	3.1	1.1	5.7	2.4	3.3	5.6			
3era lectura		4.9	2.9	1.4	3.7	2.4	5.4	2.9	2.4	7.3			

Tabla 4.16.-Velocidades luego de la modificación Horno #3

4.2.4.2.2 PRUEBA DE 30 PUNTOS

Después de realizados los cambios respectivos, se aplicó la Prueba de 30 puntos al referido Horno #3, con los resultados siguientes:

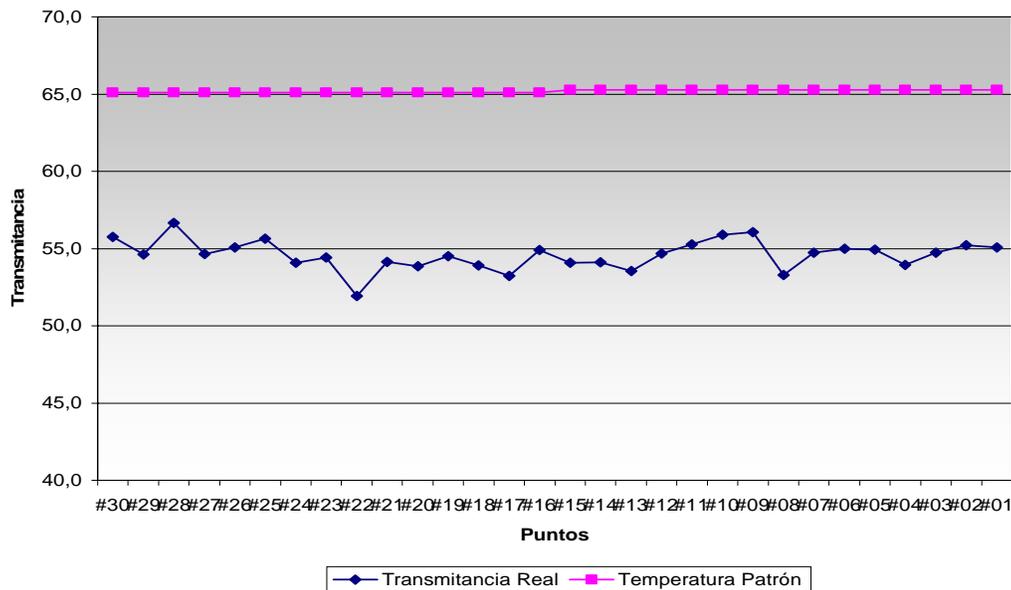


Fig. 4.36. Transmittancia Real vs. Patrón del Horno #3 luego de la modificación.

TINT 30 PUNTOS		Tiempo: 34Seg			
ID	Transmitta	L*	a*	b*	YI D1925(2/C)
PATRON2	65,3	84,62	-0,03	-3,47	-7,69
PATRON1	65,1	84,54	-0,03	-3,6	-8,02
#30	55,7	79,47	-0,01	-4,51	-10,57
#29	54,6	78,82	0,05	-4,75	-11,16
#28	56,7	79,99	0	-4,22	-9,82
#27	54,6	78,83	-0,01	-4,64	-10,96
#26	55,1	79,09	0,06	-4,71	-11,04
#25	55,6	79,4	0,06	-4,67	-10,9
#24	54,1	78,5	0,01	-4,96	-11,77
#23	54,4	78,71	0,03	-4,88	-11,52
#22	51,9	77,23	-0,02	-5,17	-12,46
#21	54,1	78,54	0	-4,77	-11,3
#20	53,8	78,37	0,01	-4,85	-11,52
#19	54,5	78,76	0,02	-4,75	-11,2
#18	53,9	78,41	0,03	-4,83	-11,43
#17	53,2	78,01	0,01	-4,88	-11,63
#16	54,9	78,99	0	-4,64	-10,92
#15	54,1	78,5	0,04	-4,89	-11,57
#14	54,1	78,52	0,03	-4,94	-11,68
#13	53,6	78,2	0,03	-4,97	-11,79
#12	54,7	78,86	0	-4,79	-11,31
#11	55,3	79,19	-0,02	-4,73	-11,14
#10	55,9	79,55	0	-4,5	-10,52
#09	56,1	79,65	-0,01	-4,45	-10,39
#08	53,3	78,05	0,03	-4,94	-11,76
#07	54,7	78,89	0	-4,69	-11,07
#06	55,0	79,03	0,01	-4,63	-10,89
#05	54,9	79	0,04	-4,69	-11,01
#04	53,9	78,43	0,03	-4,93	-11,68
#03	54,7	78,89	0,02	-4,82	-11,36
#02	55,2	79,16	0	-4,71	-11,07
#01	55,1	79,09	0	-4,78	-11,25
		Lado # 02			
		Max	Min	Dif.	
		56,7	51,9	4,7	
		Lado # 01			
		Max	Min	Dif.	
		56,1	53,3	2,8	
Max	56,7				
Min	51,9				
Average	54,6				
Diferencia:	4,7				

Tabla 4.17-. Diferencias máximas y mínimas de Transmitancia del Horno #3

4.2.4.2.3 CURVA DE CURADO

La curva de curado de la Prueba de 30 puntos, correspondiente al Horno #3:

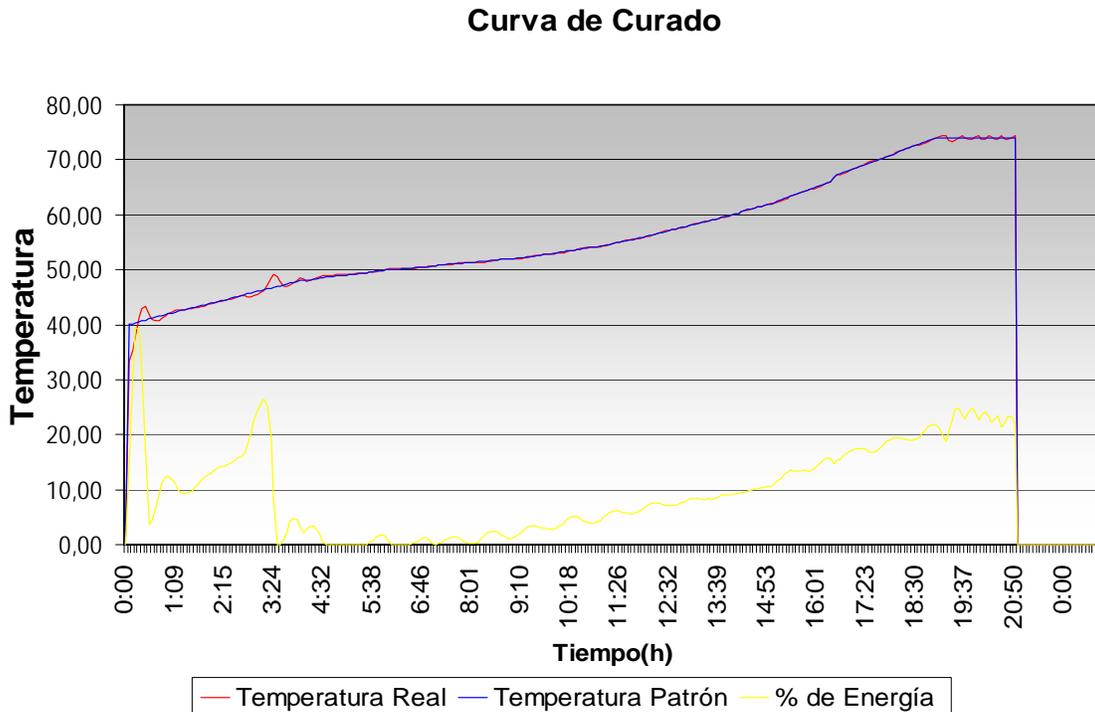


Fig.4.37-. Curva de curado Temperatura vs. Tiempo del Horno # 3

4.2.5 COMPARACION DE LOS HORNOS # 25 Y HORNO # 40

El Horno #25, según Prueba de 30 puntos-Mayo 2003, es el que mejor curado de lentes realiza. Esta comparación de hornos está basada en los últimos resultados de Pruebas de 30 puntos y en los valores de velocidades de aire obtenidas, así como en la verificación de los reportes de mantenimiento y en la observación directa de su operación.

En la siguiente tabla se pueden ver las velocidades de aire dentro de cada horno.

Tabla 4.18. Velocidades del Aire del Horno #25 y Horno #40

HORNO 25	LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO			PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	(LI)/M/MIN	(LD)/M/MIN	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO (LI)/M/MIN	PROMEDIO (LI)/M/MIN
	A	B	C	A	B	C							
1era lectura	7.3	4.8	5.7	7.7	7.8	10	5.933333333	8.5	356	510	9.7	341.333333	443.333333
2da lectura	6.8	4	5.6	6.4	8.3	9.3	5.466666667	8	328	480	13.1		
3era lectura	7.5	4.4	5.1	7.5	4.4	5.1	5.666666667	5.666666667	340	340	11.8		

Horno #25. Distancias AI=3,6 , AD=3,4 , B=30cm

Horno#40

HORNO 40	LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO			PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	(LI)/M/MIN	(LD)/M/MIN	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO (LI)/M/MIN	PROMEDIO (LI)/M/MIN
	A	B	C	A	B	C							
1era lectura	3.2	3.1	3.7	4.9	3.9	3.8	3.33	4.20	200	252		202	247.333333
2da lectura	3.1	3.2	4.2	4.8	3.8	3.5	3.50	4.03	210	242			
3era lectura	3.2	3.1	3.5	4.1	4.2	4.1	3.27	4.13	196	248			

Datos suministrados por SOLA Venezuela de fecha Abril 2003

La comparación en cuanto a los valores obtenidos en la Prueba de 30 puntos, se pueden ver en la fig. 4.39

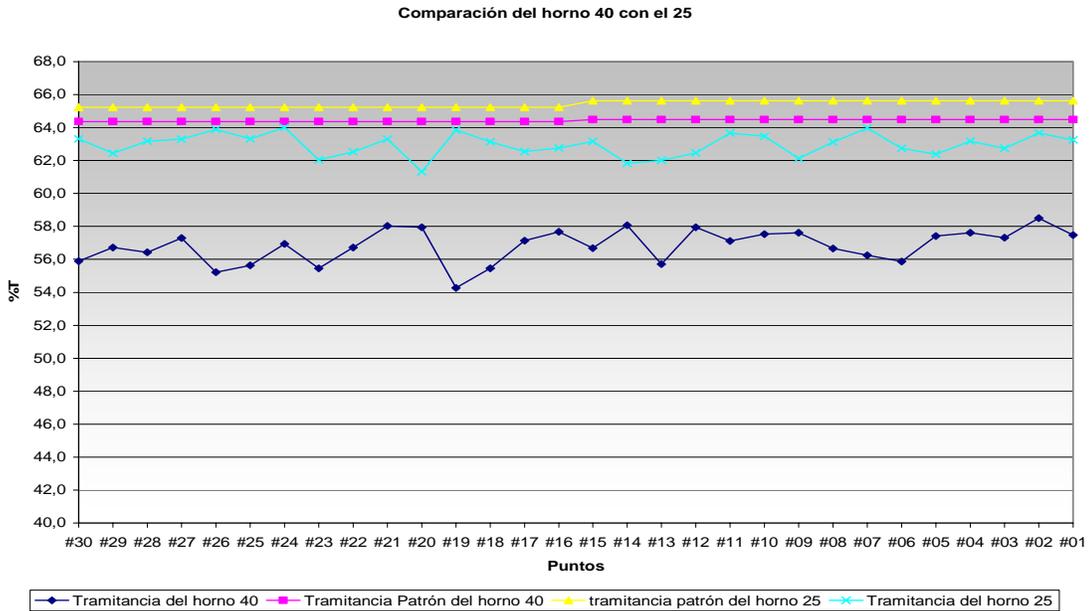


Fig. 4.38-.Comparación de Transmitancia del Horno #40 con el Horno #25

En la tabla se puede observar las diferencias máximas y mínimas en el lado izquierdo y derecho del horno, y el promedio del porcentaje de Transmitancia para el Horno #25.

TINT 30 PUNTOS		Tiempo: 34Seg				
ID	Transmittanc	L*	a*	b*	YI D1925(2/C)	
PATRON2	65.2	84.6	0.42	-4.87	-10.46	
PATRON1	65.6	84.81	0.43	-4.83	-10.35	
#30	63.3	83.61	0.55	-5.39	-11.67	
#29	62.4	83.15	0.55	-5.66	-12.34	
#28	63.2	83.53	0.57	-5.46	-11.82	
#27	63.3	83.6	0.57	-5.4	-11.67	
#26	63.9	83.91	0.5	-4.87	-10.47	
#25	63.3	83.61	0.57	-5.38	-11.62	
#24	64.0	83.97	0.51	-5.22	-11.27	
#23	62.0	82.94	0.52	-5.68	-12.45	
#22	62.5	83.19	0.56	-5.27	-11.41	
#21	63.3	83.6	0.55	-5.35	-11.58	
#20	61.3	82.55	0.56	-5.94	-13.07	
#19	63.8	83.88	0.54	-5.33	-11.51	
#18	63.1	83.51	0.52	-5.45	-11.84	
#17	62.5	83.2	0.55	-5.5	-11.97	
#16	62.7	83.31	0.56	-5.58	-12.14	
#15	63.1	83.52	0.53	-5.45	-11.82	
#14	61.8	82.82	0.57	-5.74	-12.58	
#13	62.0	82.92	0.54	-5.74	-12.58	
#12	62.5	83.16	0.52	-5.47	-11.93	
#11	63.7	83.79	0.49	-5.14	-11.11	
#10	63.5	83.69	0.54	-5.28	-11.4	
#09	62.1	82.98	0.51	-5.31	-11.6	
#08	63.1	83.5	0.46	-4.9	-10.61	
#07	64.0	83.95	0.5	-5.04	-10.86	
#06	62.7	83.3	0.5	-5.34	-11.62	
#05	62.4	83.12	0.51	-5.29	-11.52	
#04	63.2	83.53	0.54	-5.36	-11.6	
#03	62.7	83.3	0.54	-5.36	-11.64	
#02	63.7	83.79	0.56	-5.31	-11.44	
#01	63.2	83.57	0.56	-5.36	-11.58	
Max	64.0					
Min	61.3					
Averaje	63.0					
Diferencia:	2.7					

Lado # 02		
Max	Min	Dif.
64.0	61.3	2.7

Lado # 01		
Max	Min	Dif.
64.0	61.8	2.1

Tabla 4.19. Diferencias máximas y mínimas de Transmitancia del Horno #25

4.3. ESTUDIO TÉCNICO DE COMPARACIÓN INTERNACIONAL

El siguiente estudio compara el diseño y configuración actual de los hornos de SOLA Venezuela con hornos de la misma empresa en otros países, específicamente con hornos de la casa matriz SOLA Australia, que realizan basados en pruebas y registros obtenidos por auditorias, el mejor curado de lentes.

Aparte, también se hace la comparación del sistema de generación de agua helada de los hornos de Irlanda con el sistema actual de SOLA de Venezuela.

La realización de este estudio técnico fue alimentada y basada por observaciones e información dada por una auditoria de la casa matriz que aconteció durante el desarrollo del trabajo en Julio del 2003. Entre las observaciones dadas de los hornos de SOLA de Venezuela y los hornos de Australia, fueron las siguientes:

1. En la parte interna de los hornos de Australia, no hay deflectores y simplemente se usa el ventilador para recircular el aire.
2. El ventilador presenta un diseño distinto.
3. El enfriador de agua presenta otro diseño y configuración.
4. Las velocidades de salida de aire son muy bajas comparadas con las de los hornos de Australia.

4.3.1. VENTILADOR

El ventilador de recirculación de aire de los hornos de curado presenta ciertas diferencias con el de SOLA Venezuela, las cuales son y se pueden observar en la tabla 4.20.;

1. El diámetro externo e interno es mayor.
2. Las paletas del ventilador no son curvas, como es nuestro caso, sino del tipo rectas.

VENTILADOR	DIÁMETRO EXTERNO (cm)	DIÁMETRO INTERNO (cm)
Venezuela	37,2	27,9
Australia	41	34,8

Tabla 4.20-. Diámetros del Ventilador

Además el ventilador presenta mayor número de alabes y mayor ángulo de salida, como se ve en la tabla 4.21 a continuación.

VENTILADOR	NÚMERO DE ALABES
Venezuela	40
Australia	46

Tabla 4.21. Número de Alabes

La altura del ventilador también es distinta y mayor como se ve en la tabla 4.22 a continuación.

VENTILADOR	ALTURA (cm)
Venezuela	22.4
Australia	24

Tabla 4.22. Altura del Ventilador

La dirección de giro es la misma en ambos ventiladores, pero la velocidad de giro es distinta, ya que hay hornos aquí en Venezuela que giran a menor o mayor r.p.m. Si comparamos con la del horno 40, este cambio se puede observar en la tabla 4.23.

VENTILADOR	VELOCIDAD DE GIRO (rpm)
Venezuela	850
Australia	920

Tabla 4.23. Velocidad de Giro

4.3.2. ENFRIADOR

El intercambiador de calor de los hornos de esta empresa en Australia, es también del tipo enfriado por agua y tiene la misma función, que es la de bajar la temperatura dentro del horno enfriando el aire interno que recircula, en el momento que es requerido por el controlador. La temperatura de entrada del agua en el intercambiador es también de 8 °C ,

pero todo lo relacionado con sus componentes: número de tubos, pasos y aletas, es completamente diferente al que usa en los hornos de SOLA de Venezuela.

Debido a que con este tipo de intercambiador de agua ellos han obtenido buenos resultados en el enfriamiento, fue solicitado y recibido uno de estos intercambiadores, para ponerlo a funcionar y comprobar en que tanto diferían las variables relacionadas con el enfriamiento y realizar una comparación detallada tanto de tamaño, configuración y funcionamiento del mismo.

En las figuras 4.39 y 4.40 se muestran vistas del intercambiador consignado desde Australia para realizarle las diferentes pruebas.



Fig.4.39.-Intercambiador de calor (vista superior)



Fig.4.40.-Intercambiador de calor (vista lateral)

Este intercambiador presenta varias diferencias técnicas con respecto al otro intercambiador, entre ellas están las siguientes:

CARACTERÍSTICAS	ENFRIADOR DE AUSTRALIA	ENFRIADOR DE VENEZUELA
# TUBOS	16	3
DIAMETRO EXTERNO	1/2 in	1 in
MATERIAL DE LA TUBERÍA	Cobre	Aluminio
MATERIAL DE LA ALETA	Aluminio	Aluminio
# ALETAS POR TUBO	72	75
TIPO DE ALETA	Pared Plana	Circular
LONGITUD DE LOS TUBOS	34,5	44,5

Tabla 4.24-.Comparación técnica de los Enfriadores

Para poder analizar y comparar este intercambiador con el anterior, se llevo a cabo primero la desinstalación del original, luego la instalación del éste en el Horno 40 y posteriormente la realización de pruebas de velocidad, y se puso a funcionar para obtener la curva de curado y control de temperatura.

La finalidad de realizar estas pruebas fue la de observar el comportamiento ante esta modificación y hacer la respectiva comparación con el enfriador actual de la empresa.

4.3.2.1 INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Primeramente se removió el equipo enfriador original del Horno #40 para luego proceder a instalar el de Australia. Para instalarlo fue necesario usar dos tuberías de cobre de 50 cm de longitud y ½ pulgada de diámetro, para unir las conexiones de entrada y salida de éste con las tuberías que transportan el agua del chiller.

El equipo fue montado en el mismo espacio donde se encontraba el otro, sin necesidad de hacer ningún corte de la estructura del horno. Fue centrado con respecto al orificio por donde es succionado el aire y se sostuvo colocándole una base de refuerzo de aluminio a lo largo de su estructura.

Adicionalmente, para asegurar que la transferencia de calor por conducción sea menor y de esta manera evitar en lo que se pueda pérdidas de calor, fue colocado a las tuberías que se encuentran dentro del horno, que son las tuberías de entrada y salida de

agua para el enfriador, un aislante de Ultraleno a lo largo de su longitud. Luego de esto y asegurando todas las conexiones, se abrieron las válvulas de paso de agua para constatar que estuviera funcionando adecuadamente y que no se presentara bote o goteo de agua entre las uniones de tuberías.

4.3.2.2 MEDICION DE VELOCIDADES

A continuación se presenta en la tabla la comparación de las velocidades de salida y succión de aire, para cuando se encontraba el enfriador original y el enfriador de Australia.

LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO					VELOCIDADES para el sistema original						
HORNO 40	A	B	C	A	B	C	PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO (Li)/M/seg	PROMEDIO (Ld)/M/seg	DIFERENCIA	PROMEDIO (LI)/M/MIN	PROMEDIO (LI)/M/MIN
1era lectura	3.2	3.1	3.7	4.9	3.9	3.8	3.333333333	4.2		3.366666667	4.2	0.833333333	202	252
2da lectura	3.1	3.2	4.2	4.8	3.8	3.5	3.5	4.033333333						
3era lectura	3.2	3.1	3.5	4.1	4.2	4.1	3.266666667	4.133333333						
SIN LAS VOLUTAS														
1era lectura	2.3	0.6	3.9	3.6	2.4	2	2.266666667	2.666666667	2.7	2.453333333	2.846666667	0.393333333	147.2	170.8
2da lectura	2.6	0.9	3.9	4	3.1	2.2	2.466666667	3.1	2.6					
3era lectura	2.6	1.6	4	3.3	2.2	2	2.733333333	2.5	2.8					
4ta lectura	2.8	1.4	3.6	3.7	2.1	3.2	2.6	3	2.5					
5ta lectura	1.8	1	3.8	4	2	2.9	2.2	2.966666667	2.8					
CON LAS VOLUTAS AD = AI = 0; BD =30 BI =30														
1era lectura	7.3	5.5	2.5	4.7	4.2	5.4	5.1	4.766666667		4.133333333	4.955555556	0.822222222	248	297.333333
2da lectura	3.2	2.7	3.6	4.3	5.7	5.5	3.166666667	5.166666667						
3era lectura	6.1	3.4	2.9	2.3	6	6.5	4.133333333	4.933333333						
CON LAS VOLUTAS AD = 3.247cm; AI = 3.263; BD = BI =29														
1era lectura	6	5	5	4.6	6	6.6	5.333333333	5.733333333	5.5	5	5.433333333	0.433333333	300	326
2da lectura	5	5.2	4.6	5.6	5	4.5	4.933333333	5.033333333	5.1					
3era lectura	4	6	4.2	4.8	4.8	7	4.733333333	5.533333333	6.8					
VELOCIDADES CON EL ENFRIADOR DE AUSTRALIA														
HORNO 40	A	B	C	A	B	C	PROMEDIO DEL LADO IZQUIERDO	PROMEDIO DEL LADO DERECHO	VELOCIDAD SUCCION	PROMEDIO (Li)/M/seg	PROMEDIO (Ld)/M/seg	DIFERENCIA	PROMEDIO (LI)/M/MIN	PROMEDIO (LI)/M/MIN
1era lectura	4.4	1	2.2	1.6	1	2.8	2.533333333	1.8	4.5	2.6	1.8	0.8	156	108
2da lectura	4	1.2	2.5	1.5	0.8	3.3	2.566666667	1.866666667	4.6					
3era lectura	3.1	1.5	3.5	4.1	1	3.8	2.7	2.966666667	3.5					

Tabla 4.25-.Comparación de velocidades para cada una de las modificaciones realizadas.

4.3.2.3 CURVA DE CURADO

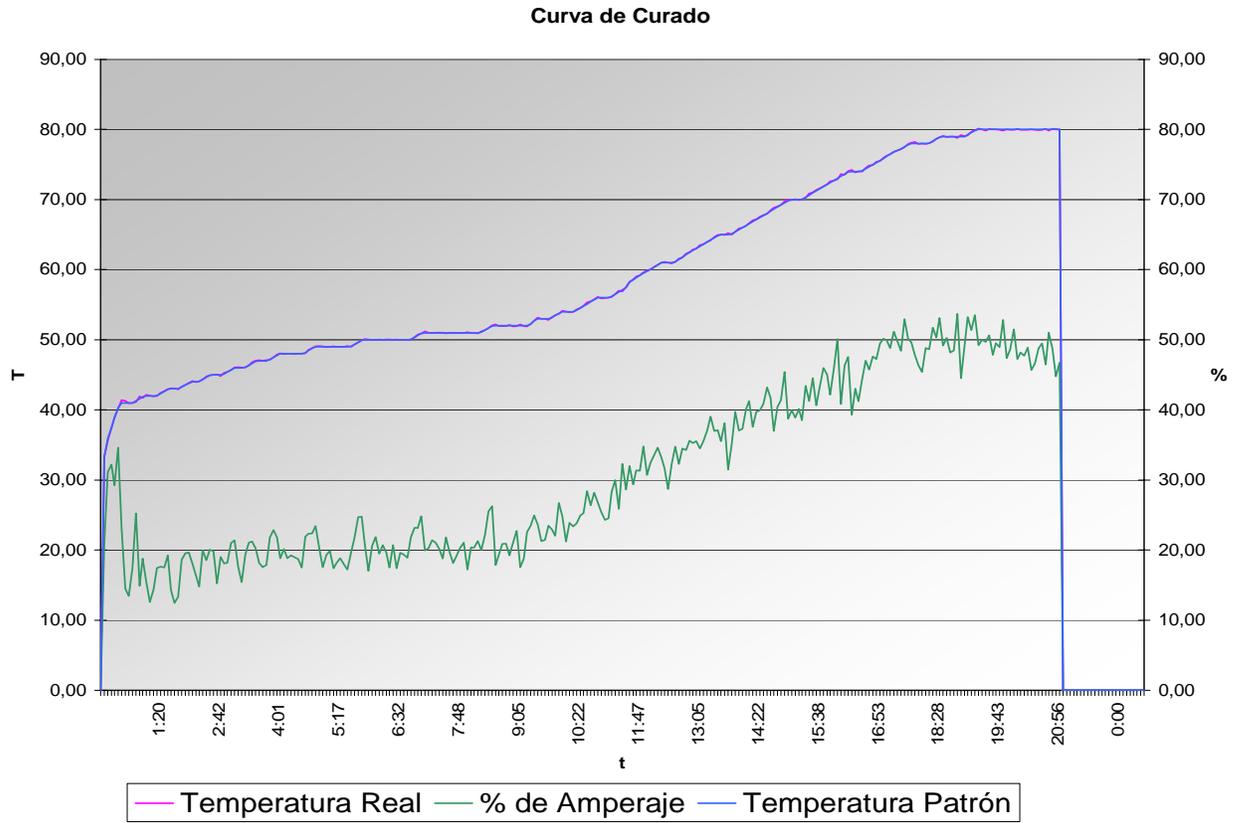


Fig 4.41-.Curva de Curado con el enfriador original

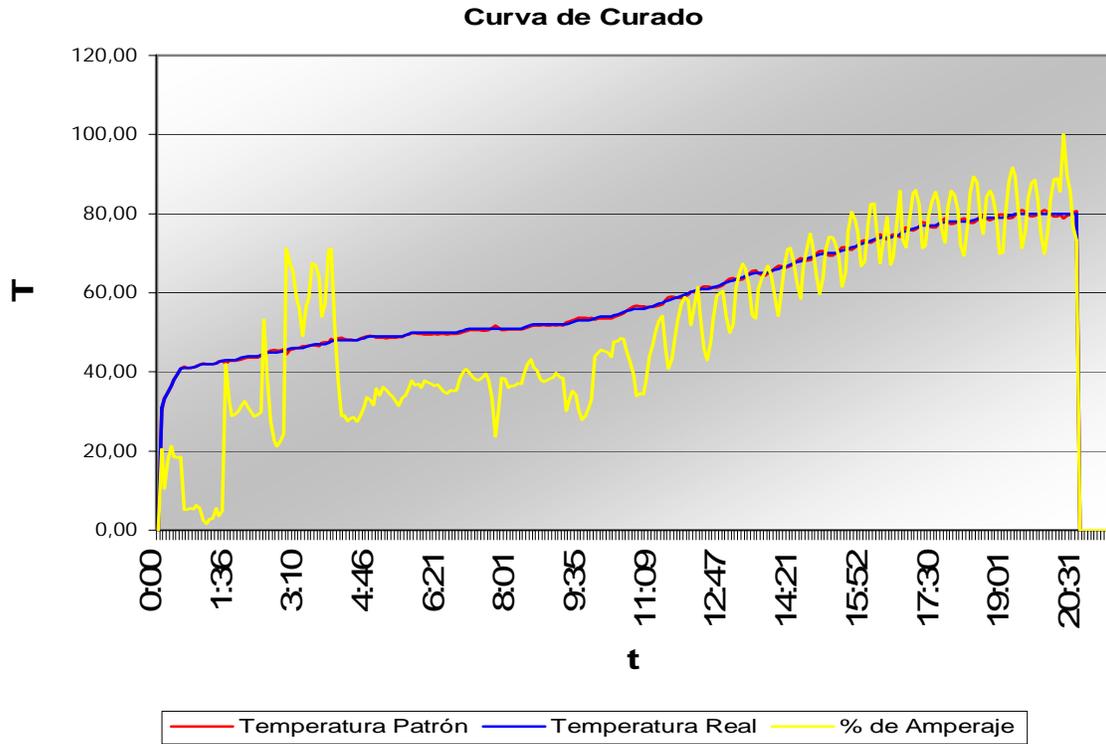


Fig 4.42-.Curva de Curado con el enfriador de Australia

4.4 GENERACIÓN DE AGUA HELADA

La comparación de generación de agua helada del sistema de SOLA de Venezuela se hizo con el sistema utilizado en los hornos en Irlanda, el cual funciona con las siguientes especificaciones(Ver tabla 5.7).

CHILLER	
MARCA	TRANE
MODELO	OGAB O17P
CAPACIDAD	27,4 KW
INTERCAMBIADOR DE CALOR	
CARGA MÁXIMA DENTRO DEL HORNO	18 KW
CAUDAL	36,3 lt/min
TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA	15°C
TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA	22°C

Tabla 4.26. Especificaciones del Chiller e Intercambiador de Calor del Horno en Irlanda

Para obtener estas mismas especificaciones y ser comparadas con este sistema, fue necesario calcular el flujo de agua mediante una data y luego aplicar primera ley de la termodinámica para de esta manera conseguir la máxima carga dentro del horno.

4.4.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA MÁXIMA DENTRO DEL HORNO:

Para conocer la carga máxima dentro del horno fue indispensable obtener primero algunos datos experimentales que eran desconocidos.

4.4.1.1 Temperatura de entrada del agua

La temperatura de entrada se obtuvo del tablero de control de temperatura que se encuentra a la entrada de la sala de hornos. Esta temperatura varía entre 7 y 9 °C, pero para fines de nuestros cálculos tomamos una temperatura promedio de 8 °C.

4.4.1.2 Temperatura de salida del agua

Para conseguir la temperatura de salida del agua, dado que no se contaba de un tablero que registrara esta data, se procedió a tomar la temperatura del agua con una Termocupla digital de una salida de agua que es controlada por una válvula de bola. Las pérdidas que puedan existir debido a que la salida está muy cerca del intercambiador de calor y que la tubería se encuentra aislada, no fueron consideradas.

Esta experiencia fue realizada estando el horno encendido y usándose el sistema de enfriamiento, repitiendo 10 veces las mediciones para conseguir un promedio de los valores de temperatura obtenidos.

lectura	Tsal
1	15
2	15
3	15
4	14.5
5	15
6	15
7	17
8	15
9	16
10	15.5
11	14.5
12	14.5
Promedio	15.1666667

Tabla 4.27. Data de la Temperatura de Salida del Agua

Redondeando el promedio de temperatura, la temperatura de salida del agua es de 15°C, tomando en cuenta que esto es un valor aproximado debido al error que proporciona el instrumento, las dificultades de medición y pérdidas no consideradas.

4.4.1.3 Caudal de agua

El caudal de agua que circula por el intercambiador no era un valor dado por el sistema, y ante la ausencia de un instrumento que midiera caudal, se decidió hacerlo de manera manual, usando un recipiente graduado de cuatro litros y un cronómetro de alta precisión.

Para realizar el experimento de medición de caudal, se cerró la válvula de bola que está ubicada antes de la válvula solenoide y se desconectó la manguera de conexión con la tubería para colocar justo allí el recipiente graduado cuando se abra de nuevo la válvula.

Para obtener cada valor de caudal, se abría la válvula de bola y se media el tiempo en el que el recipiente se llenaba entre uno a tres litros e inmediatamente se cerraba la válvula. Este procedimiento fue realizado varias veces para obtener una data aproximada de caudal que a continuación se presenta y que fue organizada a través de Microsoft Excel.

MEDIDA	L	Seg	Lt /seg
1	2.5	3.78	0.66137566
2	2.5	3.75	0.66666667
3	2	3.03	0.66006601
4	2	3.1	0.64516129
5	1.75	2.56	0.68359375
6	1.5	2.25	0.66666667
7	1.7	2.5	0.68
8	1.5	2.35	0.63829787
9	1.5	2.34	0.64102564
10	1.6	2.41	0.66390041
		PROMEDIO	0.6606754

Tabla 4.28. Data de Caudal

En definitiva se obtuvo que el caudal es de 0,6606 lt/s, el cual es por conversión $C=6,606 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$.

4.4.1.4. Cálculo de la Carga Máxima

Al realizar un balance de energía (Primera Ley de la Termodinámica) entre dos puntos, se pudo conocer la carga máxima dentro del horno. En la fig. 4.51, se detalla un esquema del intercambiador.



Fig. 4.43.-Intercambiador de calor actual (vista superior).

Al simplificar la ecuación de la Primera Ley (**Ecu. 2.0**), se obtiene:

$$Q_{\text{int}} = \dot{m} \times C_p \times (T_{\text{sal}} - T_{\text{ent}})$$

Si C_p (agua) = 4,1868 (kJ/kg.K)

y sabiendo que la densidad del agua es:

$$\rho_{\text{agua}} = 997 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ y el } C = 6,606 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = C \cdot \rho_{\text{agua}} = 6,606 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 997 \text{ kg} / \text{m}^3 = 0,6586 \text{ kg/s}$$

la carga máxima dentro del horno es :

$$Q_{\text{int}} = 0,6586 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (15^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{int}} = 19,3 \text{ kW}$$

Con esto, se pueden ver las tablas 5.8 y 5.9. los valores comparativos entre el sistema generador de agua helada de SOLA Venezuela, con el que tienen los hornos en Irlanda.

CHILLER	VENEZUELA	IRLANDA
MARCA	COPELAND	TRANE
MODELO	9R51-1505-THC-200	OGAB O17P
CAPACIDAD	52,75KW	27,4 KW

Tabla 4.29. Comparación del Chiller.

GENERACIÓN DE AGUA HELADA	VENEZUELA	IRLANDA
CARGA MÁXIMA DENTRO DEL HORNO	19,3 KW	18 KW
CAUDAL	39,636 l/min	36,3 l/min
TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA	8 °C	15 °C
TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA	15 °C	22 °C

Tabla 4.30. Comparación del sistema de Generación de Agua Helada.

CAPÍTULO V

5.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al comparar las especificaciones del plano del horno sobre los motores eléctricos, que deben tener una velocidad de 940 rpm y una potencia de 2 hp, con las de los que están instalados en los 46 hornos de SOLA Venezuela (Ver Tabla 4.0), se tiene que 24 funcionan a mayor potencia y velocidad, 21 exhiben menor velocidad y mayor potencia y los restantes no estaban identificados. Particularmente, el Horno #40 tiene un motor de 850 rpm y 3hp, que obviamente no cumple con las exigencias del fabricante.

El sistema controlador de temperatura interna, las resistencias eléctricas, el enfriador y el ventilador del Horno #40, cumplen tanto con las especificaciones y requerimientos del sistema, como con las indicaciones de los planos, excepto que el ventilador gira a una menor velocidad, ya que tiene un motor eléctrico acoplado que funciona a una velocidad menor y potencia mayor a la señalada por el fabricante.

Además, con el análisis de transferencia de calor por convección del enfriador sin aletas, se pudieron conocer, haciendo varias suposiciones, los valores aproximados del coeficiente de convección y de la temperatura de la superficie del fluido (Ver **Cap.IV. Funcionamiento del Horno**), para saber si el descontrol de la temperatura interna, que amerita abrir las puertas del horno en estado crítico a fin de bajar la temperatura, es por ineficiencia de este intercambiador.

Analizando los Reportes de Mantenimiento del Horno #40 entre el año 2001 y el 2003, se observa que las velocidades del aire se mantienen constantes a la salida de cada lado del horno (Lado Izquierdo y Lado Derecho), pero con diferencias cada vez más altas, si se comparan los valores de velocidad entre ambos lados. Además, se puede observar a lo largo de esos años, que los componentes del horno funcionan según los valores estándar.

Al verificar los carros y bandejas, se señala que deben ser limpiados con mayor frecuencia para eliminar residuos de monómero y ser descartados para posibles reparaciones los que presenten irregularidades en su diseño.

Observando los valores de Transmitancia de las Pruebas de 30 puntos realizadas a 40 hornos de curado por el Departamento Aseguramiento de la Calidad, SOLA Venezuela en Mayo 2003 (Ver Tabla 4.4), se tiene que sólo nueve están entre el rango de desviación de Transmitancia establecido por SOLA Internacional que es de +/- 4, incluyendo el #25, es

decir, que en apenas esos pocos casos hay la uniformidad de curado de los lentes. Los restantes 31, oscilan entre 4 y 13.2 % y a 6 no se le encontró la data.

En este último grupo está incluido el Horno #40 asignado para este estudio, por lo que fue necesario recurrir a la evaluación de curado correspondiente al año 2000, como punto de referencia. Para ese momento los valores de transmitancia obtenidos estaban dentro del rango, pero por encima del lente patrón, es decir, tuvieron un paso de luz superior al deseado.

Si se comparan los resultados de las Pruebas de 30 puntos practicadas a los hornos en los años 2000 y 2003, se observa la tendencia a una baja de calidad del curado, porque la desviación de transmitancia estándar se cumple cada vez menos, en particular en aquellos lentes curados en el lado izquierdo del horno.

Al verificarse las posibles situaciones causantes de variaciones de aire dentro del Horno #40, se detectó que:

- La colocación de las volutas no cumplía con las especificaciones A y B del Manual de SOLA Internacional, mencionado en la **Investigación Documental**, en el aparte 4.1.3.
- Residuos de monómero están presentes en la superficie de las volutas, en las paredes del horno, en el ventilador y en el enfriador.
- El motor eléctrico no cumple con las especificaciones del fabricante, como ya se dijo.

Además, tal como se verificó en la parte experimental, las volutas exhibían una abertura en una de sus caras laterales, ocasionando fuga de aire.

Al aplicarse la Prueba de 30 puntos al Horno #40, con la intención de constatar si los cambios realizados a las volutas para equilibrar el caudal y presión del aire, mejorarían la calidad del curado de lentes, se obtuvo:

- Sin las volutas:

La transmitancia de los lentes del lado izquierdo fue de 2,58% (Lado #1) y la de los del lado derecho (Lado #2) fue de 3,7%, siendo la desviación general de 4, 2%. Los valores de velocidad promedio obtenidos sin las volutas fueron de 2,45 m/s en el lado izquierdo y 2,84 m/s en el derecho.

- Con las volutas AD=AI= 0, BD=BI= 30cm:

La transmitancia de los lentes del lado izquierdo fue de 5,2 % (Lado #1) y la de los del lado derecho (Lado #2) fue de 7,1 %, siendo la desviación general de 7,7 %. Los valores de velocidad promedio obtenidos con las volutas fueron de 4,13 m/s en el lado izquierdo y 4,96 m/s en el derecho y la velocidad a la succión entre 2,5 y 2,8 m/s.

- Con las volutas AD= 3,247, AI= 3,263 cm, BD=BI= 29 cm:

La transmitancia de los lentes del lado izquierdo fue de 2 % (Lado #1) y la de los del lado derecho (Lado #2) fue de 1 %, siendo la desviación general de 2 %. Los valores de velocidad promedio obtenidos con las volutas fueron de 5 m/s en el lado izquierdo y 5,43 m/s en el derecho y la velocidad a la succión entre 5,1 y 6,8 m/s.

Al analizarse las curvas de curado correspondientes a las Pruebas de 30 puntos antes mencionadas, frente a los cambios efectuados se tiene:

- Sin las volutas:

La curva de calentamiento del horno se comportó tal cual lo establecido, sin irregularidad alguna en su trayectoria y el porcentaje de energía suministrado a las resistencias para cumplir con dicho calentamiento osciló entre 15 % y 55%, con alzas y bajas dentro de este rango.

- Con las volutas AD=AI= 0, BD=BI= 30cm:

La curva de calentamiento del horno se comportó también según la curva patrón establecida y el porcentaje de energía suministrado a las resistencias para cumplir con dicho calentamiento, osciló entre 15 % y 52%, con alzas y bajas dentro de este rango, especialmente a partir de las 13 horas de curado.

- Con las volutas AD= 3,247 cm, AI= 3,263 cm, BD= BI= 29 cm

La curva de calentamiento del horno se comportó sin irregularidad alguna en su trayectoria, tal como la curva patrón, donde el porcentaje de energía suministrado a las resistencias para cumplir con dicho calentamiento osciló entre 12 % y 55%, con un alza a partir de las 11 horas.

Para corroborar en el Horno #3 (el de peor condición de curado, registrada en la Tabla 4.4) la validez de los cambios efectuados en el Horno #40, se verificaron primero las situaciones que podrían causar variaciones de aire, con el resultado de que las distancias A y B eran distintas en cada lado de las volutas, los respiraderos presentaban fugas de aire

por colocación inadecuada y residuos de monómero estaban adheridos a la superficie del ventilador, enfriador, volutas y a las paredes del horno. Por lo tanto, se decidió instalar las volutas a las medidas $AD=3,58$ cm, $AI= 3,6$ cm, $BD=BI=28$ cm, previa limpieza con equipo Hidrojet y realizar la Prueba de 30 puntos, cuyo resultado fue:

La transmitancia de los lentes del lado izquierdo dio 2,8 % (Lado #1) y la de los del lado derecho (Lado #2) fue de 4,7 %, siendo la desviación general de 4,7 %. Los valores de velocidad promedio obtenidos sin las volutas fueron de 2,73 m/s en el lado izquierdo y 3,09 m/s en el derecho y la velocidad a la succión entre 6,2 y 7,3 m/s.

La curva de calentamiento del horno se comportó sin irregularidad alguna en su trayectoria tal como la curva patrón. El porcentaje de energía suministrado a las resistencias para cumplir con dicho calentamiento osciló entre 0% y 27% con oscilaciones graduales y un alza del 40% al inicio de dicho calentamiento, lo que sugiere que el enfriador no está adecuadamente funcionando, aparte de no guardar similitud con gráficas de consumo de resistencias de otros hornos.

Al comparar los resultados de transmitancia de la Prueba de 30 puntos aplicada al Horno #3 en Mayo 2003(Tabla 4.4) con la obtenida después de realizarse las modificaciones ya explicadas, se constató una mejoría en el curado porque disminuyó la desviación de transmitancia general de los lentes de 13,2% a 4,7%, variando la del Lado #1 (lado izquierdo) de 13,2% a 2,8 % y la del derecho se mantuvo.

La inspección al Horno #25 (horno con el mejor curado, Ver Tabla 4.44) obedeció a la necesidad de constatar las ventajas de éste respecto a los otros, en particular al Horno #40, dando los resultados de velocidad promedio de 341,333 m/min en el lado izquierdo y 443.333 m/min en el derecho y de velocidad a la succión entre 9,7 y 11,8 m/s, cuyas medidas entre volutas eran $Ad=3,4$ cm, $Ai= 3,6$ cm, $Bd=Bi=30$ cm. Comparando esta información, es relevante que el valor de la velocidad sea un 75 % mayor a la que tenía el horno asignado para el estudio.

Por otra parte, los ventiladores de los hornos de Australia ofrecen velocidades de salida superior a la registrada en el ventilador del Horno #40, debido a que tienen acoplado un motor de mayor rpm que produce una velocidad de giro también mayor y además presentan diferencias en diámetros, número y forma de álabes, entre otros.

A pesar que la carga máxima dentro del horno del intercambiador de Irlanda es de 18 KW y la de SOLA de Venezuela es de 19,3 KW, se puede decir que la carga exigida para ambos enfriadores es igual, a pesar de que las temperaturas y el flujo son distintos en ambos casos.

Con respecto a la eficiencia del funcionamiento del enfriador de SOLA Australia en el Horno #40, se puede afirmar que el horno cumplió con la curva de curado establecida, pero el consumo de las resistencias aumentó progresivamente hasta llegar a 100%, a diferencia del consumo registrado en el curado del Horno #40 con el enfriador de diseño, que presenta más bien un comportamiento ascendente con valores fluctuantes de 12% y 52% (Ver fig.4.43). Aparte, las velocidades internas obtenidas reflejaron valores que oscilan entre 1,5 y 3 m/s y la de la succión, entre 3,5 y 4,6 m/s.

Todos estos planteamientos se derivaron de la decisión metodológica de contrastar los contenidos de la investigación documental con los resultados de la experimental, para sentar las bases de la relación entre resultados y objetivos del Trabajo, complementada con el **Análisis Económico**, en el capítulo denominado **Conclusiones y Recomendaciones**.

CAPÍTULO VI

6.0. ESTUDIO ECONÓMICO

Las mejoras a proponer en este estudio tienen factibilidad técnica, como se demuestra en el punto Análisis de Resultados y la demostración de su viabilidad económica de las mismas se hará por separado comparándolas con el sistema actual. Primero, se totalizan por año los costos de cada opción y este total se lleva al valor actual (Método del Valor Presente) que representaría el flujo de fondos; seguidamente, se suman estos flujos año tras año y el costo total de cada opción se compara con el sistema actual. De presentarse un costo menor en un tiempo estimado, correspondiente a la vida media del equipo, se consideraría económicamente factible, como en efecto se pretende probar.

Cada opción genera un costo anual, que depende específicamente de los costos de operación, ganancia e inversión, en caso de ser necesario.

Los costos de operación están basados principalmente en el costo eléctrico que trae a la empresa mantener este equipo funcionando. Para calcular este costo se hizo una excepción, ya que se supone que los costos de la máxima carga eléctrica que puede haber en un mes, es cuando los 46 hornos se encuentran en continuo funcionamiento en el mismo momento.

Por último, los costos de la inversión realizada en cualquiera de las dos opciones, fue facilitada por la unidad de costos de la empresa.

6.1 SISTEMA ACTUAL.

El sistema actual presenta un total de 48 hornos, de los cuales 46 están en funcionamiento y dos (2) están esperando mantenimiento correctivo. Estos hornos son regulados por medio de un controlador, cuyo programa que distribuye el porcentaje de consumo de amperaje de cada horno. Este porcentaje es utilizado para elaborar una data en Excel y así determinar el consumo total de las resistencias en Kwh y la máxima demanda para un horno en un día (Ver Apéndice IV).

CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS RESISTENCIAS

Se obtiene de la información del porcentaje de amperaje, el valor de amperaje máximo (16 A), el voltaje que usa la empresa para las resistencias (220 V) y el factor de potencia (0.96).

Luego de la Ecu. 2.4 se tiene que:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ [Watts]}$$

Obtenemos la potencia para cada instante de tiempo en que son activadas las resistencias. luego multiplicamos la Potencia hallada por ese tiempo y obtenemos los Kwh para ese momento.

Por último la suma de todos los Kwh registrados será nuestro consumo eléctrico. Como estos cálculos son largos y repetitivos se colocaron en el Apéndice IV).

El resultado del consumo eléctrico de las resistencias fue de 31.39 Kwh.

CONSUMO ELÉCTRICO POR DEMANDA DE LAS RESISTENCIAS

Para hallar el consumo por demanda, de la data, se halló cual era la potencia máxima generada (P) por el horno.

Luego de la Ecu 2.5 se tiene que:

$$P_{\max} = 2726.19 \text{ Kw}$$

$$S = \frac{P_{\max}}{\cos \varphi} \quad [\text{V} \times \text{A}] \quad \text{Ecu. 2.5}$$

$$S = \frac{2617.15}{0.96} = 2726.19 [\text{V} \times \text{A}] = 2.7 \text{ KVA}$$

Ahora bien, los resultados de consumo son:

Consumo Eléctrico	
Consumo [Kwh]/dia	31,39
Demanda [Kva]/día	2,73

Tabla 6.1 Consumo eléctrico de las resistencias

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS MOTORES

Además del consumo eléctrico de las resistencias, se evaluarán el consumo de los motores utilizados en la empresa.

Para calcular el consumo de energía, se harán los cálculos aproximados ya que no se conoce como fluctúa la potencia del mismo.

Suponiendo una eficiencia de: $\eta_{motor} = 0.8$ se tiene que

$$P = P(Hp) \cdot \eta_{motor} \cdot 0.7456 = [Kw.]$$

$$P_1 = 2Hp \cdot 0.8 \cdot 0.7456 \frac{Kw}{Hp} = 143.55Kw$$

$$P_2 = 2.4Hp \cdot 0.8 \cdot 0.7456 \frac{Kw}{Hp} = 1116.60Kw$$

$$P_3 = 3Hp \cdot 0.8 \cdot 0.7456 \frac{Kw}{Hp} = 7873.51Kw$$

Luego esto se multiplica por la cantidad de motores, el tiempo y los días para obtener los Kwh.

CONSUMO ELÉCTRICO POR DEMANDA

Para evaluar el consumo de demanda de la ecuación:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad [KVA]$$

Donde $\cos \varphi = 0.96$

En la siguiente tabla se muestra los resultados aproximados de consumo de los motores.

Equipo	Potencia (Hp)	Cantidad	Tiempo (H)	Días	Consumo de energía (Kwh)	Consumo Demanda (KVA)
Motores de los hornos	2	4	22	30	3.149,41	5,972
	2.4	26	22	30	24.565,43	46,5816
	3	16	22	30	18.896,49	35,832

Tabla 6.2.-Consumo eléctrico de los motores

COSTOS DE OPERACIÓN***TARIFA ELÉCTRICA***

La tarifa cobrada a la planta es del tipo T8 que aplica a usuarios con demanda asignada de mayor a 1000 Kva, según la Gaceta Oficial N° 37.415 de fecha 01 de Abril del año 2002 (Ver Anexo IV) .Esta indica: Cargo por Demanda 4.582,65 Bs/Kva y Cargo por Energía 35,15 Bs/Kwh.

Tarifa Eléctrica	
Cargo por Demanda	4.582,65 Bs/Kva
Cargo por Energía	35,15 Bs/Kwh

Tabla 6.3 Tarifa eléctrica

COSTOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS RESISTENCIAS

Con los valores de consumo, demanda y las tarifas eléctricas se consigue el costo que se debe tener en las resistencias para el día en que se presentaron los consumos.

$$\text{Costos por Energía} = 46\text{hornos} \times 31.39\text{Kwh} \times 35.15 \frac{\text{Bs}}{\text{Kwh}} = 50.754,94\text{Bs}$$

$$\text{Costos por Demanda} = 46\text{hornos} \times 2.73\text{Kva} \times 4,582.65 \frac{\text{Bs}}{\text{Kva}} = 575.489,187 \text{ Bs}$$

$$\text{Total a Facturar 1 día} = 626.243,678\text{Bs} / \text{día}$$

Este monto fue lo consumido en electricidad correspondiente a 1 día por 46 hornos, con una linealización a 30 días. Para el costo energético, se calcula el costo estimado en un mes, el cual es 1.522.648,2 Bs. A este se le suma el costo por demanda de 575.489,187 Bs. y se obtiene el total estimado a facturar en un mes.

Costo de un Mes: 2.098.137,38 Bs/mes

Suponiendo este consumo para todos los meses del año, el costo anual sería de:

Costo de un Año: 25.177.648,644 Bs/año

Además de conocer los costos de las resistencias, también nos interesa saber el costo eléctrico que implica utilizar los motores eléctricos, que mueven los ventiladores de los hornos, léase tabla 7.4.

Costos Eléctricos de los Motores		
Motores del Ventilador de 2 Hp (Por consumo de Energía)	3.149,41Kw	110.701,92 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2 Hp (Por consumo de Demanda)	5,972KVA	27.367,59 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2.4 Hp (Por consumo de energía)	24.565,43Kw	863.474,95 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2.4 Hp (Por consumo de Demanda)	46,5816KVa	213.467,17 Bs/mes
Motores del Ventilador de 3 Hp(Por consumo de Energía)	18.896,49Kw	664.211,50 Bs/mes
Motores del Ventilador de 3 Hp(Por consumo de Energía)	35,832KVA	164.205,51 Bs/mes
Total		2.043.428,64 Bs/mes

Tabla 6.4-. Costos de los motores para el sistema actual

Costo de un Mes: 2.043.428,64 Bs/mes

Suponiendo este consumo para todos los meses del año, el costo anual sería de:

Costo de un Año: 24. 452.143,68 Bs/año

Luego se suman los costos anuales hallados:

Costos Eléctricos de los hornos	
Resistencias	25.177.648,644 Bs/año
Motores	24. 452.143,68 Bs/año
Total	49.629.792,32 Bs/año

Tabla 6.5-.Costos eléctricos de los hornos

6.1.1. OPCIÓN A

La opción A se debe a la intención de cambiar algunos motores que se encuentran a una potencia mayor a la adecuada. Para ello se indagó sobre los precios aproximados de estos motores en el mercado.

COSTO DE LA INVERSIÓN.

Cantidad	Equipo	Bs.
16	Costo de Motor Eléctrico	160000
	Total inversión	2.560.000
	IVA(16 %)	409.600
	Total Inversión Neta	2.969.600

Tabla 6.6-. Costo de la inversión de los motores de 2Hp

COSTOS DE OPERACIÓN***COSTOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS RESISTENCIAS***

Para el caso de la opción A, la modificación de los motores no cambiará el costo de las resistencias.

Costo de un Mes: 2.098.137,38 Bs.

Costo de un Año: 25.177.648,644 Bs.

CONSUMO ELÉCTRICO DE ENERGÍA Y DEMANDA DE LOS MOTORES

Estos cálculos se efectuaron de la misma forma como en el sistema actual, sustituyendo los motores de 2.4 hp. A continuación se presenta la siguiente tabla.

Equipo	Potencia (Hp)	Cantidad	Tiempo (H)	Días	Consumo de energía (Kwh)	Consumo Demanda (KVA)
Motores de los hornos	2	20	22	30	15747.07	29.86
	2.4	26	22	30	24565.43	46.58

TABLA 6.7.-Consumo eléctricos de los motores para la opción A

COSTOS ELÉCTRICO DE LOS MOTORES

Estos cálculos se realizaron de la misma forma como en el sistema actual, sustituyendo los motores de 3 hp por motores de 2 hp, para lo cual se presenta la siguiente tabla:

Costos Eléctricos de los Motores		
Motores del Ventilador de 2 Hp (Por consumo de Energía)	15747,07 KW	553509,58 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2 Hp (Por consumo de Demanda)	29,86 KVA	136837,93 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2.4 Hp (Por consumo de energía)	24.565,43KW	863.474,95 Bs/mes
Motores del Ventilador de 2.4 Hp (Por consumo de Demanda)	46,5816KVa	213.467,17 Bs/mes
Total		1.767.289,3 Bs/mes

TABLA 6.8. Costo eléctrico de los motores de la opción A

Costo de un Mes: 1767.289,3 Bs.

Suponiendo este consumo para todos los meses del año, el costo anual sería de:

Costo de un Año: 21.207.475,5 Bs

Un resumen de lo calculado anteriormente se puede observar en la tabla 6.9.

Costos Eléctricos de los hornos	
Resistencias	25.177.648,644 Bs/año
Motores	21.207.475,5 Bs/año
Total	46.385123 Bs/año

Tabla 6.9.-Consumo eléctrico Total de los hornos en un año

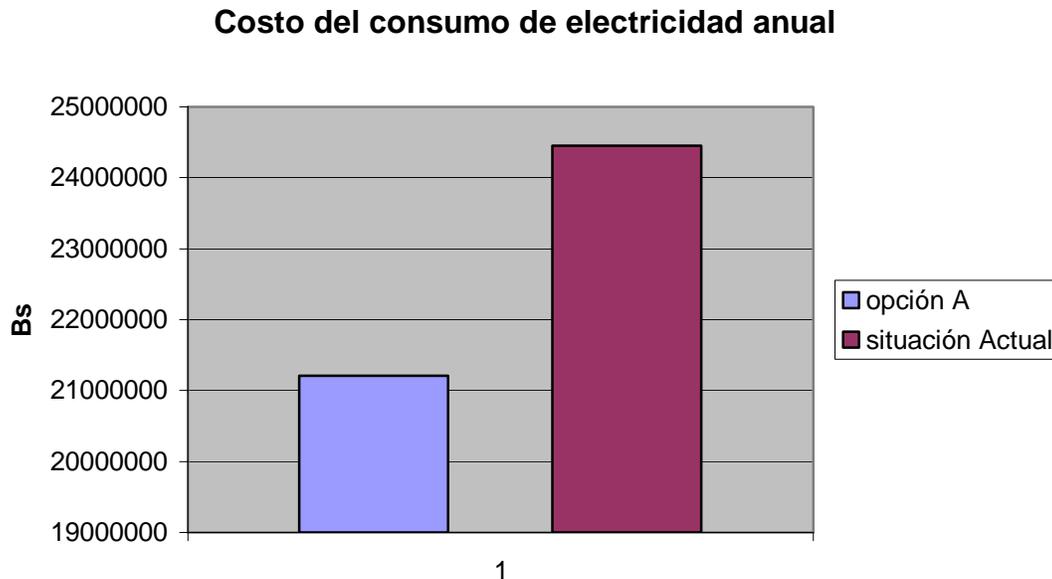


Fig 6.1.-Comparación del costo eléctrico anual de los motores de 3 y 2 Hp

ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se presenta una tabla, en la cual se suman los costos descritos anteriormente en dólares, para un tiempo de vida media del Motor de 14 años, y considerando una inflación interanual del 25%.

SISTEMA ACTUAL

Año	Inversión	Inflacion Interanual	25%
		costos eléctricos de los hornos /anual	flujo de fondos
0	0	Bs 46,629,792	Bs 46,629,792
1		Bs 58,287,240	Bs 58,287,240
2		Bs 72,859,050	Bs 72,859,050
3		Bs 91,073,813	Bs 91,073,813
4		Bs 113,842,266	Bs 113,842,266
5		Bs 142,302,832	Bs 142,302,832
6		Bs 177,878,540	Bs 177,878,540
7		Bs 222,348,175	Bs 222,348,175
8		Bs 277,935,219	Bs 277,935,219
9		Bs 347,419,024	Bs 347,419,024
10		Bs 434,273,779	Bs 434,273,779
11		Bs 542,842,224	Bs 542,842,224
12		Bs 678,552,780	Bs 678,552,780
13		Bs 848,190,975	Bs 848,190,975
14		Bs 1,060,238,719	Bs 1,060,238,719
Para un total de 14 años que es el tiempo de vida media del equipo tenemos un costo de 5.114.674.428 Bs		Total	Bs 5,114,674,428

Tabla 6.10-. Costos del sistema actual

OPCIÓN A

		Inflacion Interanual	
		25%	
Año	Inversión	Costos eléctricos del horno/año	Flujo de Fondos
0	Bs 2,969,600.00	Bs 46,385,124	Bs 49,354,724
1		Bs 57,981,404	Bs 57,981,404
2		Bs 72,476,755	Bs 72,476,755
3		Bs 90,595,944	Bs 90,595,944
4		Bs 113,244,930	Bs 113,244,930
5		Bs 141,556,163	Bs 141,556,163
6		Bs 176,945,204	Bs 176,945,204
7		Bs 221,181,505	Bs 221,181,505
8		Bs 276,476,881	Bs 276,476,881
9		Bs 345,596,101	Bs 345,596,101
10		Bs 431,995,126	Bs 431,995,126
11		Bs 539,993,908	Bs 539,993,908
12		Bs 674,992,385	Bs 674,992,385
13		Bs 843,740,481	Bs 843,740,481
14		Bs 1,054,675,602	Bs 1,054,675,602
Para un total de 14 años que es el tiempo de vida media del equipo tenemos un costo de 5090 miles de millones Bs		Total inversión mas	\$5,090,807,114

TABLA 6.11-. Costos de la opción A

Analizando los costos desde el punto de vista económico, se elige la opción que, en igualdad de condiciones, genere para la empresa el menor costo.

En este caso, se puede apreciar que la opción A presenta costos menores en comparación a la situación actual, y este hecho se puede observar mejor en la figura 6.2. Esto indica que esta opción es factible desde el punto de vista económico.

<i>OPCIONES</i>	<i>COSTO TOTAL(Miles de millones de Bs)</i>
<i>SITUACIÓN ACTUAL</i>	<i>5.114</i>
<i>OPCIÓN A</i>	<i>5.090</i>

TABLA 6.12-. Comparación de costos

Costos en 14 años

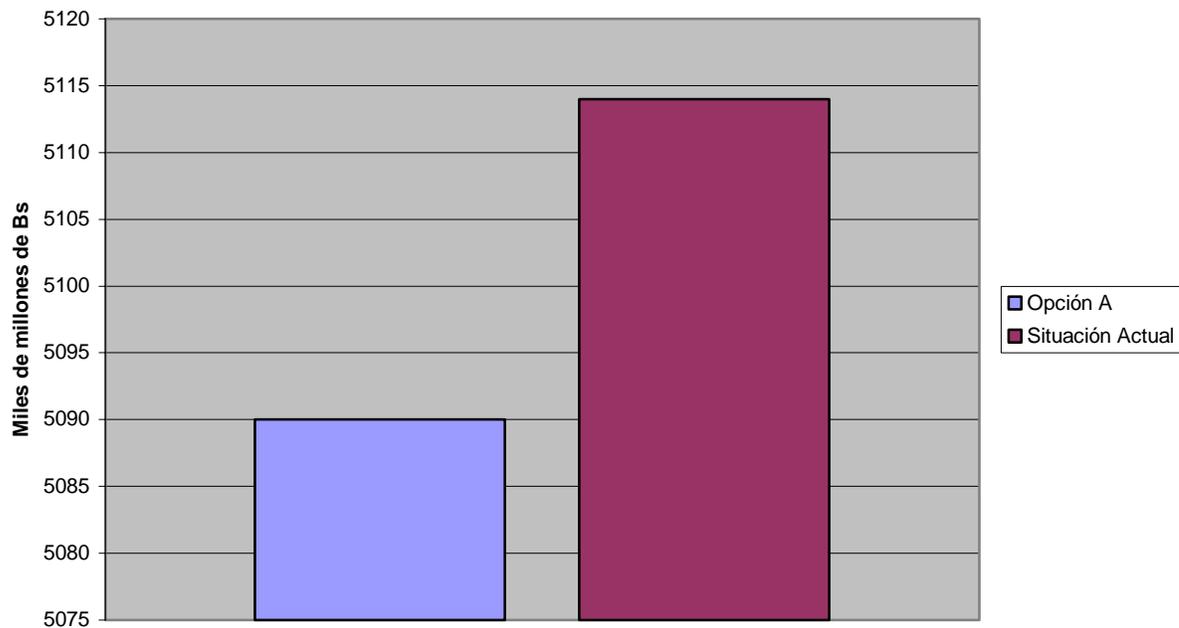


Fig. 6.2-.Comparación de costos anuales del sistema actual con la opción A

6.1.2 OPCION B

Ya que la opción B consiste en adquirir el intercambiador de calor ofrecido por la empresa SOLA Australia, el valor de la inversión se tendría que hacer por horno. Cabe advertir para los fines de cálculo de costos, que el precio del intercambiador se multiplicaría por 47 hornos y no 46, como se indica en el **Marco Metodológico**, porque de los dos hornos fuera de servicio, uno espera mantenimiento correctivo, previendo que sea puesto en marcha en breve plazo.

COSTO DE LA INVERSIÓN.

Estos costos son basados al presupuesto ofrecido por la empresa de Australia, Este documento se encuentra en el Anexo V.

Cantidad	Equipo	BS
47	Intercambiador de calor	400000
	Total inversión	18800000
	IVA(16 %)	3008000
	Total Inversión Neta	21808000

Tabla 6.13-. Costo de la inversión del intercambiador

CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS RESISTENCIAS

Para hallar este cálculo el horno se puso en funcionamiento y de esta forma se pudo obtener los porcentajes de amperaje de las resistencias. Igualmente que en la situación actual se halla los costos eléctricos que trae poner estos hornos en funcionamiento por un mes y en un año (Para mayor detalle veáse Apéndice IV) . Los costos calculados son:

Costo de un Mes: 3.262.876,08 Bs.

Costo de un Año: 39.154.512,93 Bs.

Costos Eléctricos de los hornos	
Resistencias	39.154.512,93 Bs/año
Motores	21.207.475,5 Bs/año
Total	60.361.988 Bs/año

Tabla 6.14-.Costos Eléctricos anuales de la opción B

GANANCIA

La estimación de esta ganancia, se basa en el supuesto de que el intercambiador de calor resuelve el problema de rechazo de lotes por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad. De este modo, se evitaría una pérdida monetaria para la empresa.

Para la estimación de este costo, se recogió información aproximada del mencionado Departamento y de la unidad de Costos (Ver Anexo V).

Primero se consiguió la producción diaria:

Días	Unidades por día
Días de semana (5 días)	27000 unidades/diaria
Fin de semana (2 días)	10000 unidades/diaria

Tabla 6.15-Unidades Diarias.

De aquí se tiene :

Unidades mensuales en los días de semana:

$$\text{Unid. /mes} = 27000 \text{unidades/diaria} \times 5 \text{días} \times 3 \text{semanas} = 405000 \text{Unidades / mes}$$

Unidades mensuales en los fines de semana:

$$\text{Unid. /mes} = 10000 \text{unidades/diaria} \times 2 \text{días} \times 3 \text{semanas} = 162000 \text{Unidades / mes}$$

Unidades mensuales totales:

$$\text{Unid/mes (total)} = 405000 \text{ Unid/mes} + 162000 \text{ Unid/mes} = 567000 \text{Unidades/mes}$$

Unidades anuales:

$$\text{Unid/anual (total)} = 567000 \text{Unidades/mes} * 12 \text{meses/año} = 6.804.000 \text{ Unidades/anual}$$

Luego del Anexo V, en la fila que indica el Direct Cost para Venezuela (Costo que le cuesta a la empresa producir una unidad) y entendiéndose que existen 2 tipos de lentes Terminados y semiterminados, se tiene:

Tipo de lente	\$/unidad
Lentes terminados	0.3875
Lentes semiterminados	0.4860

Tabla 7.16-.Costos de los lentes por unidad

Si el 80% de la producción son lentes terminados y además el porcentaje anual de rechazo por información certificada por calidad es del 2% anual, entonces se tiene:

Dólares /mes =

$$= \left\{ \frac{\left(\frac{6.804.000 \text{ unid} / \text{año} \cdot 0,3875 \$ / \text{unidad}}{100} \cdot 80\% \right) 2\%}{100} \right\} + \left\{ \frac{\left(\frac{6.804.000 \text{ unid} / \text{año} \cdot 0,4860 \$ / \text{unidad}}{100} \cdot 20\% \right) 2\%}{100} \right\}$$

=55.411,77 \$/año

Este costo al cambio actual para 1600 Bs/\$ es de 88.658.832 Bs/año

ANÁLISIS ECONÓMICO

OPCIÓN B

Año	Inversión	Costos de Operación Costos Eléctricos	Inflacion Interanual 25%	
			Ganancia	Flujo de Fondos
0	Bs 21,808,000.00	Bs 60,361,988.00	Bs 88,658,833	Bs 6,488,845
1		Bs 75,452,485.00	Bs 110,823,541	Bs 35,371,056
2		Bs 94,315,606.25	Bs 138,529,426	Bs 44,213,820
3		Bs 117,894,507.81	Bs 173,161,783	Bs 55,267,275
4		Bs 147,368,134.77	Bs 216,452,229	Bs 69,084,094
5		Bs 184,210,168.46	Bs 270,565,286	Bs 86,355,117
6		Bs 230,262,710.57	Bs 338,206,607	Bs 107,943,897
7		Bs 287,828,388.21	Bs 422,758,259	Bs 134,929,871
8		Bs 359,785,485.27	Bs 528,447,824	Bs 168,662,338
9		Bs 449,731,856.58	Bs 660,559,780	Bs 210,827,923
10		Bs 562,164,820.73	Bs 825,699,725	Bs 263,534,904
11		Bs 702,706,025.91	Bs 1,032,124,656	Bs 329,418,630
12		Bs 878,382,532.39	Bs 1,290,155,820	Bs 411,773,287
13		Bs 1,097,978,165.49	Bs 1,612,694,774	Bs 514,716,609
14		Bs 1,372,472,706.86	Bs 2,015,868,468	Bs 643,395,761
Para un total de 14 años que es el tiempo de vida media del equipo tenemos una ganancia de 3 Billones de Bs			Total Inversión mas	Bs 3,081,983,426.90

Tabla 7.17-.Costos de la opción B

En este caso se puede observar que la opción B representa ganancia para la empresa y este hecho se puede observar mejor en la tabla 6.18. Esto indica que esta opción es factible desde el punto de vista económico, en caso de que solucione el problema técnico.

<i>OPCIONES</i>	<i>COSTO TOTAL(Billones de Bs)</i>
<i>SITUACIÓN ACTUAL</i>	<i>5</i>
<i>OPCIÓN B</i>	<i>3(GANANCIA)</i>

Tabla-.6.18-. Comparación de costos

CAPÍTULO VII

7.0 CONCLUSIONES

Contrastar los **Objetivos del Trabajo** con los resultados de la consulta documental a la data disponible, con lo obtenido de las pruebas a que se sometieron los Hornos en estudio y con el análisis de costos de la sustitución de equipos sugerida, permite validar el procedimiento metodológico seguido en el presente estudio y por ende, concluir y recomendar sobre una base coherente y pertinente.

Partiendo de esta estrategia se tiene que :

1. En cuanto al estado y la operación de los equipos pertenecientes al Horno #40 y los otros incluidos en la muestra, responsables del proceso de curado de los lentes oftálmicos de SOLA Venezuela, se caracterizan en su mayoría por satisfacer los requerimientos técnicos del fabricante y cumplir con la curva de calentamiento, pero no así los estándares de curado y tintado de los lentes producidos, debido a errores de instalación y/o fallas en el diseño original de las volutas, soluciones sobre la marcha, deficiente mantenimiento y esporádicas pruebas de evaluación del curado.

2. El buen estado de los implementos utilizados para la colocación dentro del horno de los lentes a fabricar (carros y bandejas) depende de la frecuencia con que reciben mantenimiento. En tal sentido, se pudo constatar que por razones de continuidad y volumen de producción, tal mantenimiento se practica en plena operación, al igual que la limpieza de los hornos y sus componentes, afectados por residuos de monómeros. La presencia de estos residuos afecta el funcionamiento del horno, al punto de ser un factor que puede modificar la velocidad del aire.

3. Es posible afirmar que el descontrol de la temperatura interna del horno en situación crítica, manifiesta en un alza inesperada que sobrepasa a la temperatura de referencia, es motivado a la poca capacidad del intercambiador de realizar la función de enfriar el aire y no del sistema de monitoreo, porque éste apaga las resistencias y deja abierta la válvula solenoide para el paso de agua hacia el enfriador.

4. En cuanto a costos que acarrea el ajuste de la operación de los motores de los Hornos, a las especificaciones del fabricante original, cabe destacar que la modificación sugerida en el **Análisis Económico**, consistente en sustituir de los 48 motores eléctricos de

los Hornos sólo 16 que funcionan a 3 hp por motores de 2 hp, representa un ahorro mensual del consumo eléctrico por el orden de 13,5 %.

5. Considerando los fines de este estudio y las circunstancias particulares de la empresa SOLA Venezuela, la causa principal que genera una cura apropiada en el horno es la uniformidad de las propiedades de temperatura y velocidad del aire, por efecto de la apropiada colocación de las volutas, ya que ellas determinan el caudal y la presión de salida del aire que es succionado y recirculado por el ventilador. Por eso, las distancias entre sí deben ser equidistantes e iguales entre ambas, de forma que el área de salida del aire sea la apropiada, para ganar caudal y presión de manera equilibrada y además tener en la salida de aire de los ductos, iguales valores de velocidad.

Así se garantiza que la transferencia de calor a cada lado del horno sea uniforme y apropiada para que la mezcla (monómero + catalizador) del conjunto lleno, se endurezca adquiriendo las propiedades requeridas de transmitancia.

La colocación de las volutas, según la configuración de los Hornos de curado de SOLA Venezuela debe ser: $AI = AD = 3,2$ cm y $BI = BD = 29$ cm, donde las velocidades a ambos lados del horno sean constantes sin importar en que rango estén y que la velocidad a la succión sea alta por encima de 5,5 m/s.

6. La opción propuesta por la empresa de sustituir los actuales enfriadores (47 de los 48 hornos) por los de tecnología australiana, bajo el supuesto de que esta opción es técnicamente factible y resuelve el rechazo de lentes por mal curado, representaría al cabo del tiempo de vida media del equipo (14 años), una ganancia de 3 Billones de Bolívares para la empresa, es decir, que no existiría el 2 % de lentes rechazados, equivalente a una pérdida anual de aproximadamente Bs 90.000.000 (Ver **Análisis Económico**).

7. A pesar de que los cálculos de los parámetros de funcionamiento de los ventiladores de los hornos de Australia y de Venezuela no fueron realizados, por no contarse con la Curva Característica de los mismos, se podría inferir que el primero de éstos, al presentar una velocidad de giro mayor, ofrece velocidad de salida y succión también mayor que los ventiladores de hornos que utiliza SOLA Venezuela.

8. El funcionamiento del horno con el enfriador australiano, instalado en el Horno #40, cumple con la curva de calentamiento establecida, pero a costa de aumentar el consumo de energía de las resistencias en su máxima capacidad, motivo por el cual se puede afirmar que ese enfriador por su eficiencia está por encima de las necesidades del sistema. Además, por su configuración de aletas de pared planas y número de tubos, exige mantenimiento continuo, puesto que el monómero se adhiere a este equipo más fácilmente y por otra parte, obstruye el aire que es succionado por el ventilador, ocasionando valores de velocidad interna baja. Cabe advertir que esta conclusión no se basa ni guarda relación alguna con los resultados que pudiese arrojar la Prueba de 30 puntos sobre la calidad del curado de los lentes.

9. Aunque no fue posible probar el intercambiador de Irlanda en un horno de SOLA Venezuela, se puede concluir que la carga máxima exigida para ambos es similar, a pesar que las condiciones de temperatura y de flujos son distintas en cada caso.

7.1 RECOMENDACIONES

A la luz de lo reflejado en los capítulos anteriores, en particular el **Análisis de Resultados y Conclusiones**, los autores del presente Trabajo desean hacer recomendaciones prácticas y viables, más aun si se considera que este estudio fue encomendado y apoyado por SOLA Venezuela ante deficiencias detectadas por la misma empresa en el proceso de curado de sus lentes oftálmicos terminados y semiterminados.

1. Realizar una reprogramación del cronograma y estructura del mantenimiento preventivo a los Hornos, que asegure registrar valores fundamentados y precisos de las mediciones, sustituciones de piezas y revisión de componentes, así como disminuir el lapso de tiempo entre limpiezas.

2. Realizar la Prueba de 30 puntos a los Hornos con mayor continuidad para tener una data actualizada del comportamiento del curado de lentes en los mismos, que sirva como apoyo para generar posteriores cambios estructurales y de funcionamiento del sistema.

3. Adquirir un conjunto de equipos e instrumentos que permitan obtener información del sistema, como por ejemplo, un Data Logger para saber valores de temperatura en varios puntos del horno, así como aquellos que permitan saber el flujo de agua, la temperatura a la salida del Enfriador, entre otros.

4. Se sugiere la aplicación de la Prueba de 30 puntos al Horno #40 con el enfriador de Australia, para verificar el curado de lentes y constatar la factibilidad de realizar el cambio de enfriadores en todos los hornos.

5. Se sugiere reconfirmar si la compra de los Motores Eléctricos de 2 hp, es conveniente y genera ahorros para la empresa a lo largo de los años que justifiquen la inversión inicial .

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS.

Avallone, Eugene. (1995). *Manual del Ingeniero Mecánico*. (9^o Edición). México, McGraw-Hill. Volumen I y Volumen II.

Cosme Pérez, C. (1981). *Diccionario General de Sinónimos y Antónimos* (16^a Edición). Caracas, Editorial:Lareense.

Edward G., Pita. (1997). *Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas*. México, Editorial:Continental.

Fidias G., A. (1999). *El proyecto de Investigación* (3^a Edición). Caracas, Editorial:Episteme.

George Taylor, A. (1975). *Ingeniería Económica, Toma de Decisiones Económicas*. México, Editorial:Limusa.

Incropera, Frank y David De UIT. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4^a edición). México, Editorial:Prentice Hall.

Masana,J.(1966). *Ventiladores y Compresores*. (1^a Edición).España, Editorial:Macombo.

Potter, M.C. y Wiggert. (1998). *Mecánica de Fluídos*. (2^aEdición). México, Editorial:Prentice Hall.

Trinks, W y Mawhinney, M.H.(1971). *Hornos Industriales*. Volumen I. España., Editorial:Urmo.

Van Wylen, G.J. y Sonntag, C.E. (1999). *Fundamentos de Termodinámica*. (4ª Edición). México, Editorial: Limusa.

Waganoff, Nicolás P. (1963). *Hornos Industriales*. Editorial Lq Librería Mitre. Buenos Aires.

Weg Motores LTDA. *Manual de Motores Eléctricos*. Brasil, Editorial: WEG.

Creus S., Antonio. (1982). *Instrumentos Industriales, su ajuste y calibración*. Editores Marcombo Boixareu. España.

TESIS.

Calderón., Cesar y Mejías A., Héctor L (2000). Programa para la Ingeniería al detalle de hornos industriales tipo cabina y cilíndrico. Tesis de Pregrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Domínguez, Guillermo J.(1988). Controlador Programable PID para Hornos Eléctricos. Tesis de PreGrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Caracas.

García., Luis (1974) Planificación y control de la modificación de hornos Siemens Martín para pasar de 250 TM por colada a 300 TM por colada. Tesis de Pregrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Perica T., Ana (1997) Proyecto de modificación del sistema de alimentación de aire comburente de los hornos de largueros móviles de SIDOR. Tesis de Pregrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Mecánica. Caracas.

Romero ., Víctor y Malpica ., Cesar (1971) Consideraciones sobre el diseño de hornos industriales. Tesis de Pregrado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Mecánica. Caracas.

PÁGINAS WEB.

Buscadores: www.Google.com, www.altavista.com, www.yahoo.com. Todas las páginas relacionadas con temas de refrigeración y aire acondicionado.

www.elecentro.com.ve/Html/tarifas.htm Tarifas eléctricas en Elecentro.

www.kentstainless.com

Kent Manufacturing LTD

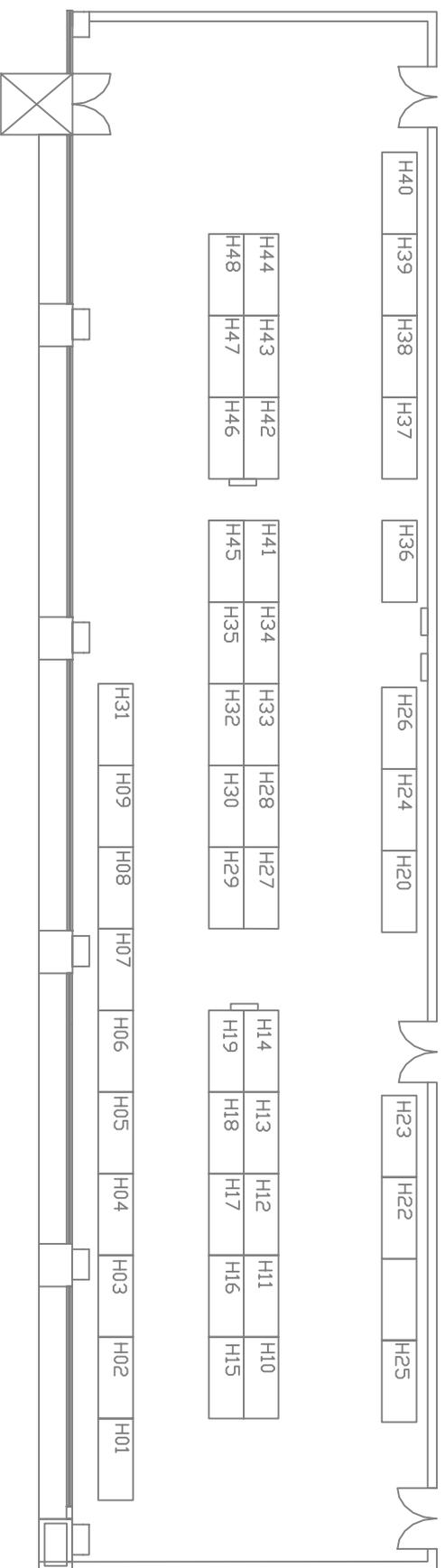
www.solaven.com

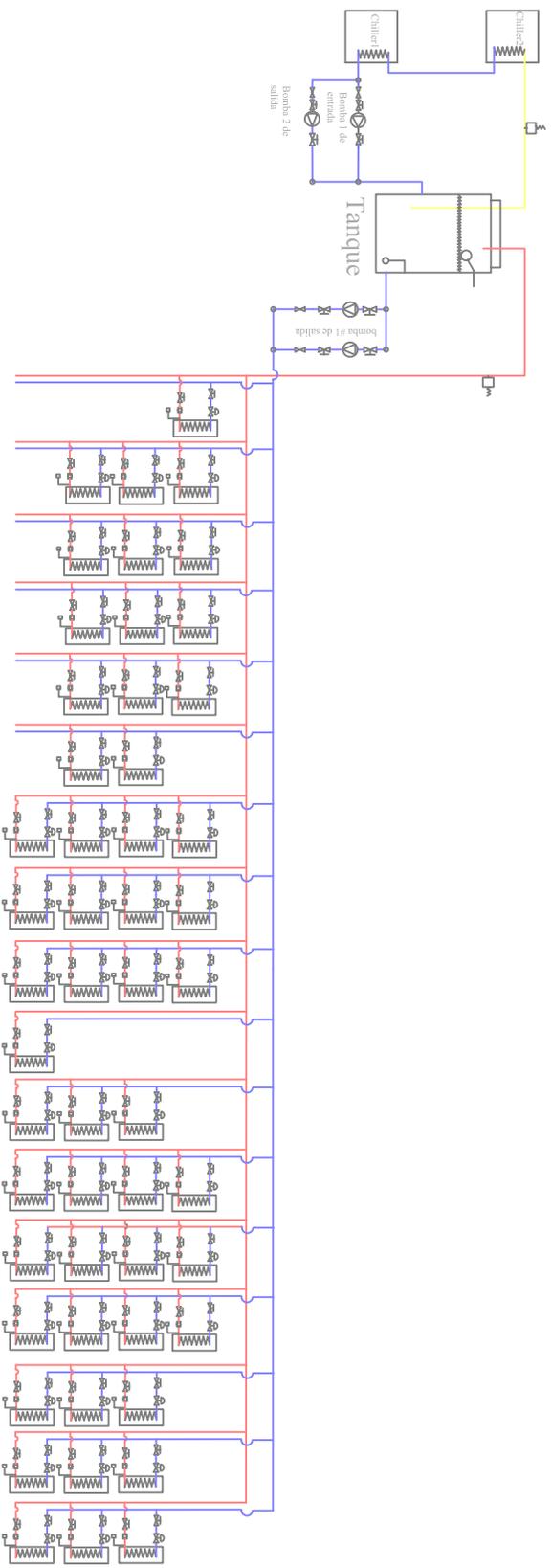
SOLA de Venezuela.

ANEXO I

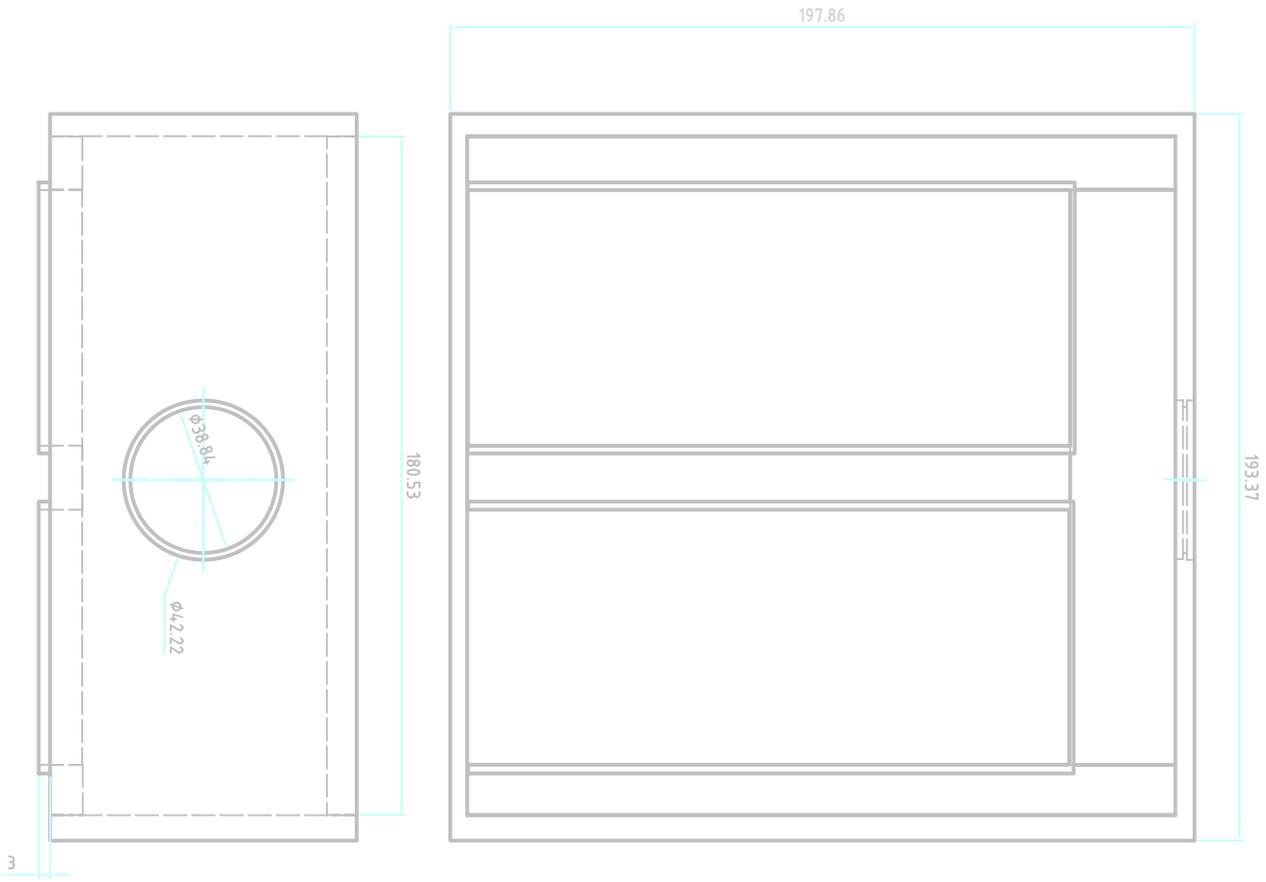
APÉNDICE I

SALA DE HORNOS DE SOLA VENEZUELA





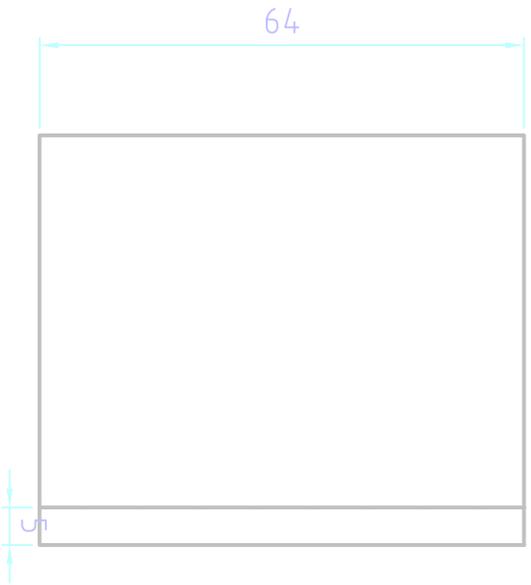
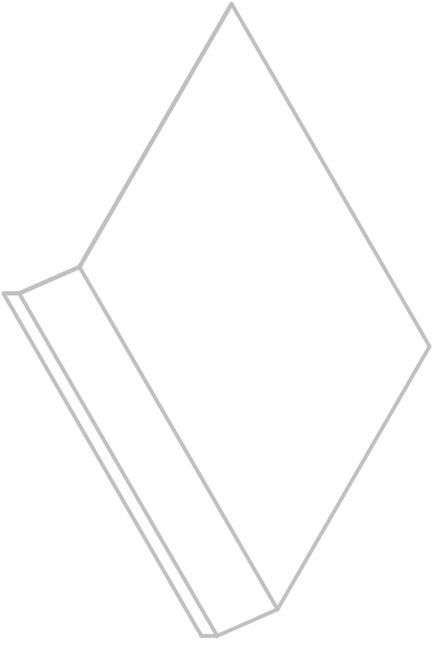
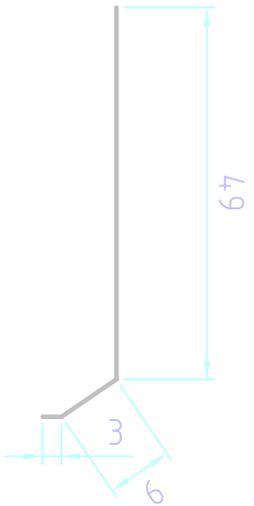
Freddy Leal y Sofia Leineman
SOLA de Venezuela
Dual Chiller and dual Pumps



SOLA DE VENEZUELA

LEAL FREDDY, LEINEMANN ELSE

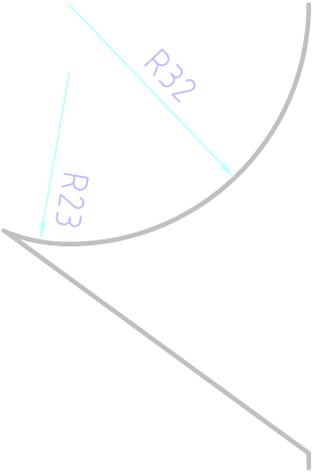
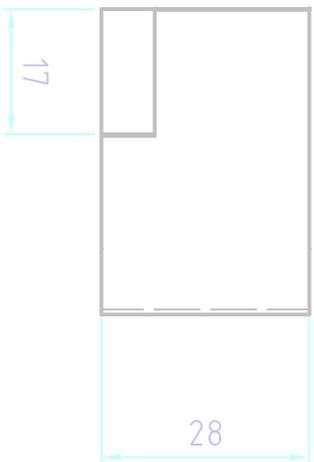
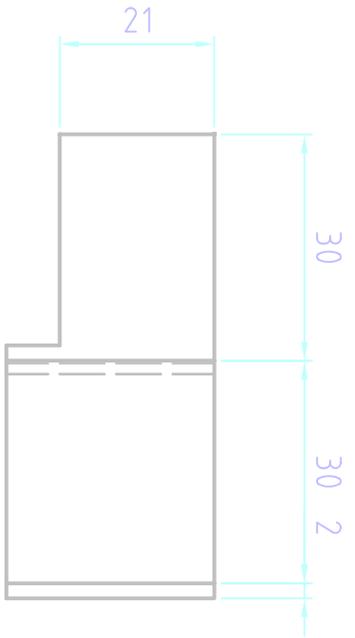
CARCAZA DEL HORNO



SOLA DE VENEZUELA

LEINEMANN ELSE, LEAL M FREDDY

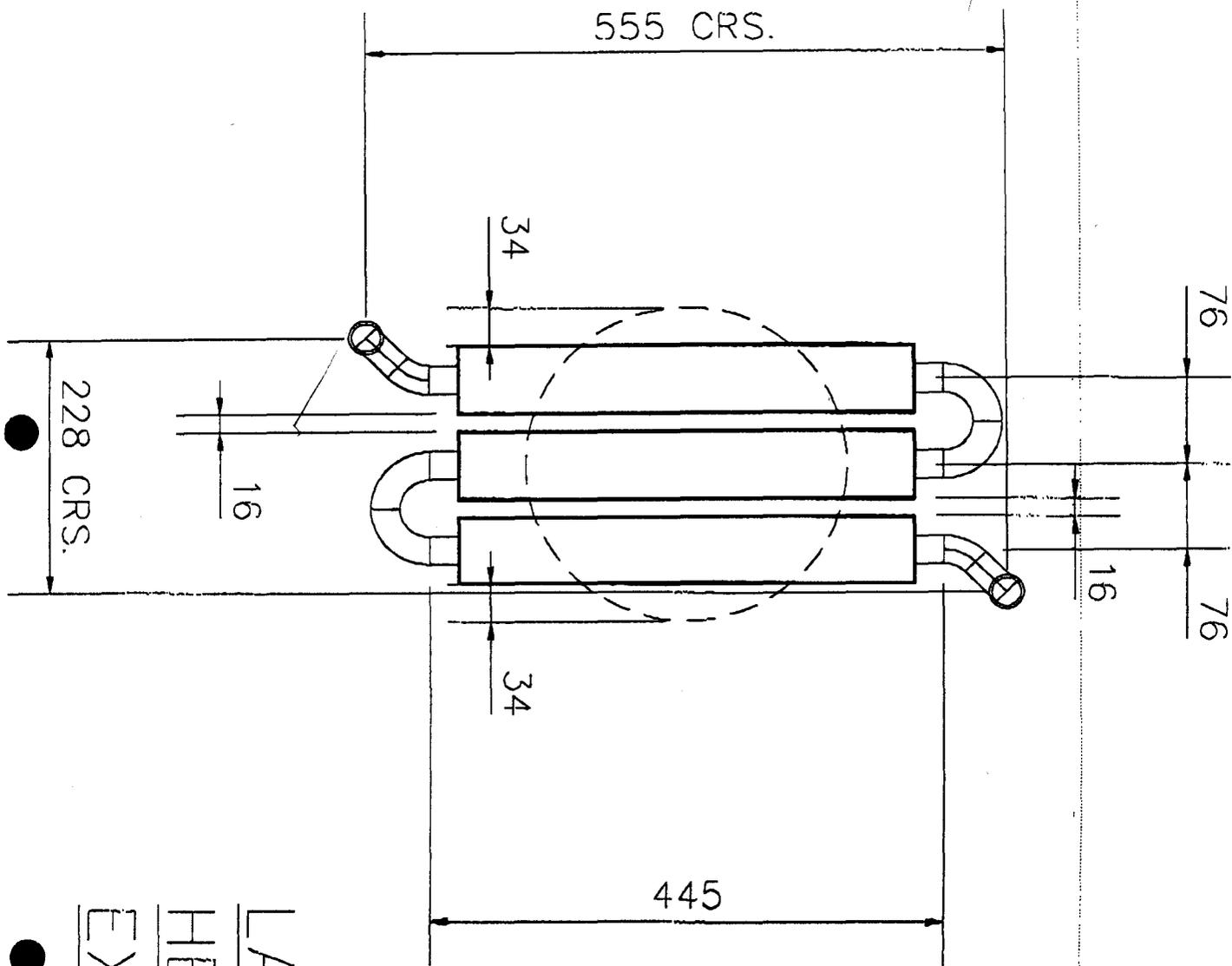
TAPA DEL HORNO (DEFLECTORES)



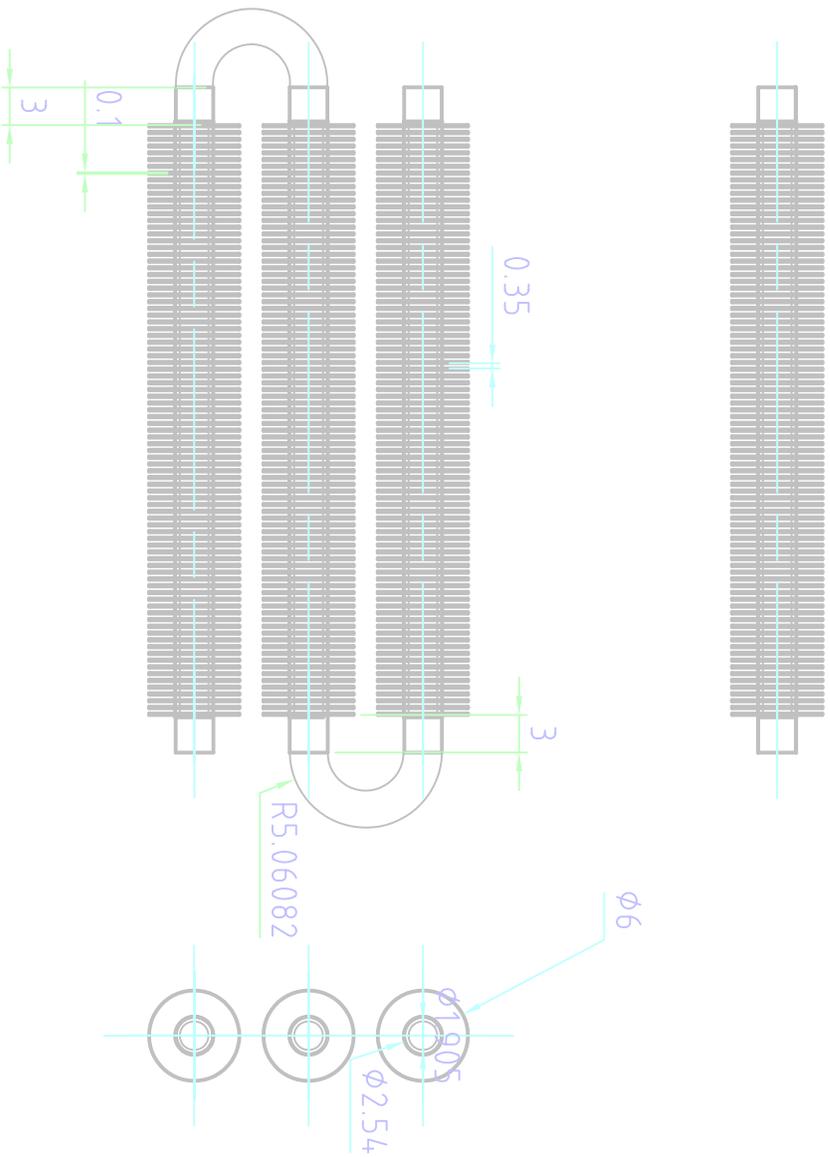
SOLA DE VENEZUELA

LEHMANN ELSE, LEAL FREDDY

VOLUTA (LADO DERECHO)



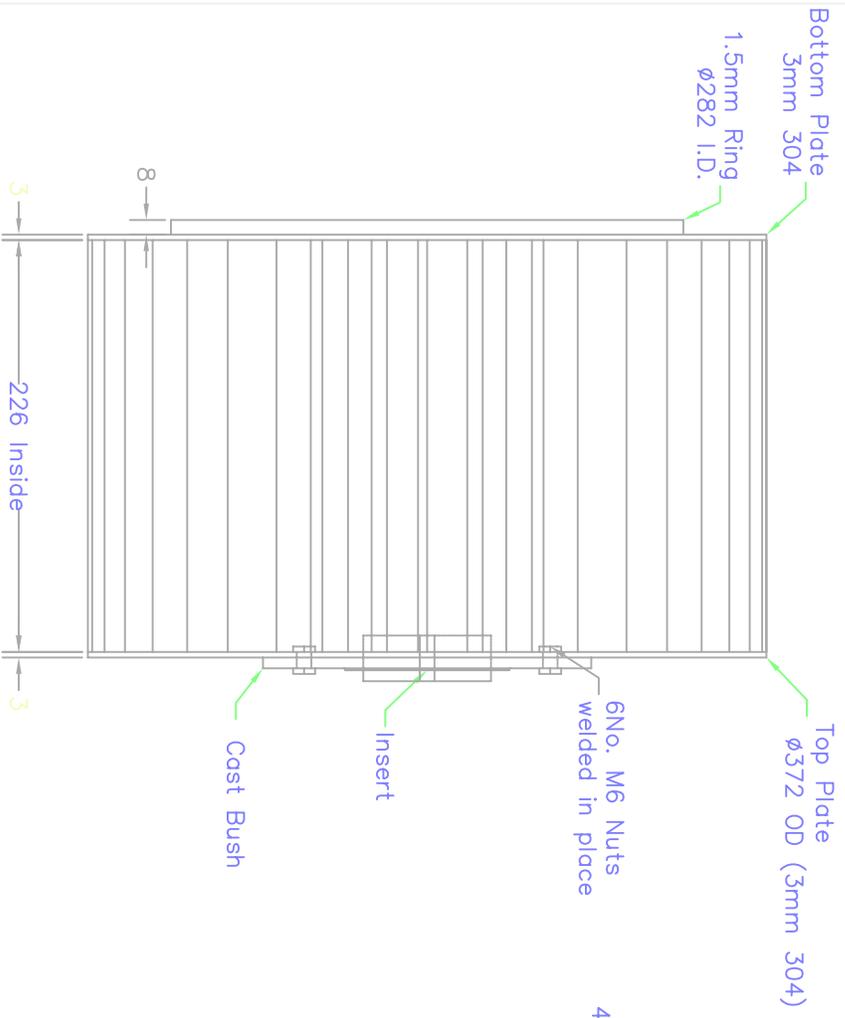
LAYOUT OF
HEAT
EXCHANGER



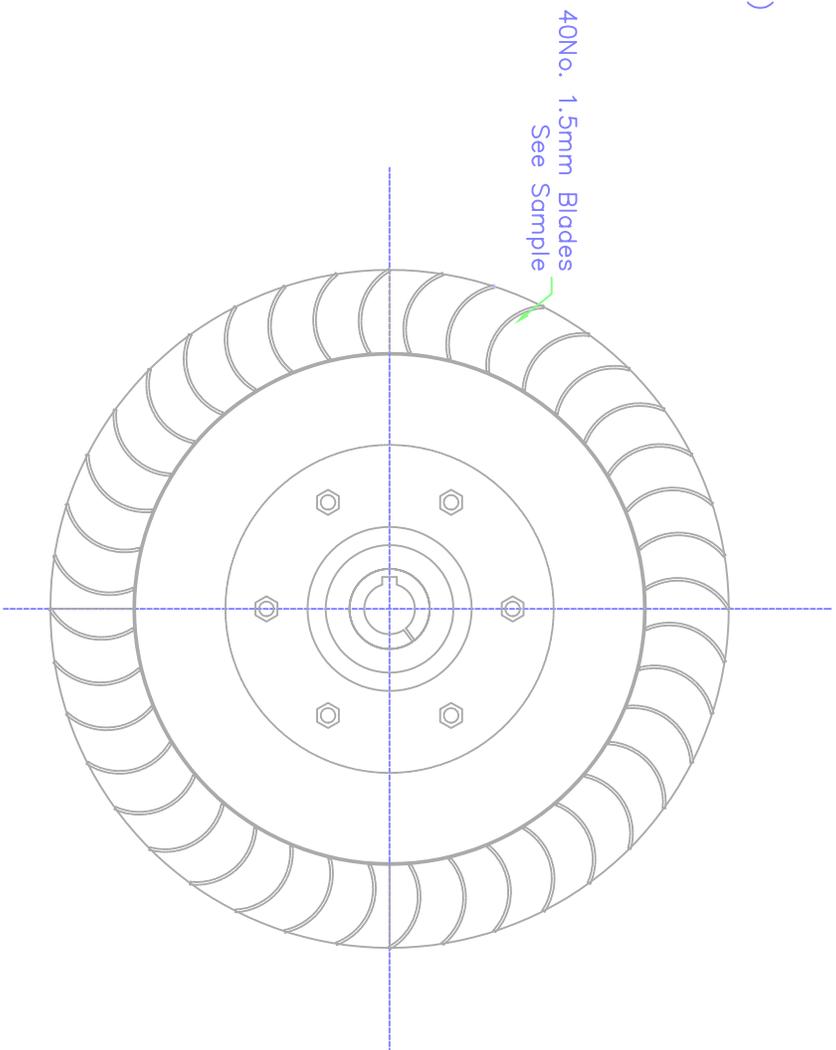
SOLA DE VENEZUELA

LEINEMANN ELSE, LEAL FREDDY

ENFRIADOR DE AGUA



End Elevation



Plan

Untoleranced Dims	QUALITY CRITERIA
0-50 ± 1.00	⊕ CRITICAL
50-100 ± 1.00	⊖ MAJOR
100-500 ± 1.00	○ MINOR
Above 500 ± 1.00	

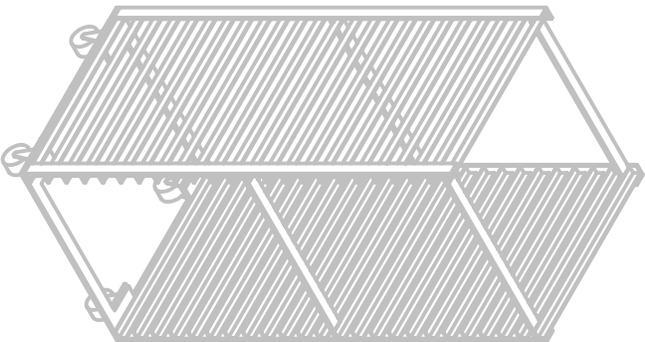
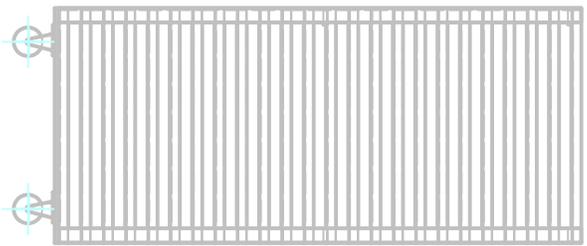
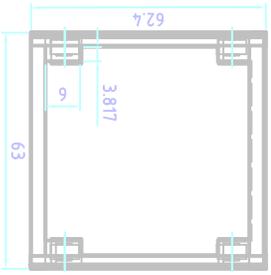
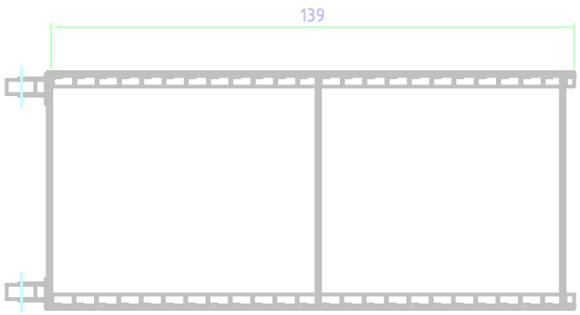
REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	BY	APP

TITLE	SCALE	DRAWN BY	APPROVED BY	DRAWING NO
Impellar	nts	P.Lowlor		Impellar D
CLIENT	DIMENSIONS	DATE	DATE	
Sola	mm	3/4/00		




KENT MANUFACTURING LTD.
 ARDVAAN WORKS, WELFORD
 TEL: 053-43216 (7 lines)
 FAX: 053-41802
 E-MAIL: design@kent-mfg.ie

001

SOLA DE VENEZUELA

LEINEMANN ELSE, FREDDY LEAL

CARROS DE BANDEJAS

APÉNDICE I.1⁺

⁺ Se muestran las Hojas de Calculo del plan de mantenimiento preventivo realizado a los hornos, aquí solo se presenta 3 de los 46 hornos que funcionan actualmente.

Nº del Horno:	3	FECHA:									
		25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	12/12/2002	23/05/2003			
Revisión de Resistencia AMF	Variable en Amp	Valores Estándar									
	0-18 Amp	0-16	0-16	0-17	0-15	0-15	0-18	0-17			
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(L) Prom m/seg (LD)	7.3 6.4	7.8 8	6.5 6.8	5.3 9.9	6.5 6.8	7.8 8	7.3 6.4			
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			
Revisión de Termocupla	Buen Estado General	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Graal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efectuo Limpieza General	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Comt. Se le efectuo Mantenimiento Interno	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			
Revisión de Motor + Turbina	Se le efectuo Inspección y Mto Graal (Consumo de motor)	3 - 6 AMP	(6,8) (6) (6)	(5,6) (5,8)(7,0)	(6) (6)(5,8)	(3) (4,2)(5,5)	(3,8) (5,3)(5,9 3,4)	(3,8) (4,5)3,1) (4,3) (5,4)			
Limpieza Interna / Externa		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
Temperatura Controlador (°C)		40	38	50	53		38	48			
Temperatura Computador (°C)		40	38	50	53		38	48			
Temperatura Patrón (°C)		40.5	38.2	50.1	53.5		38.2	48.2			

No del Horno:	40	FECHA:									
		25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	19/12/2002	26/05/2003			
Revisión de Resistencia AMF	Variable en Amp	Valores Estándar									
	0-18 Amp	0-18	0-18	0-18	0-15	0-15	0-18				
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(L) Prom m/seg (LD)	7 7.2	5.5 6	7.2 6.9	7.4 7.9	8.4 9.3	5.8 9.2	7.2 8.4			
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Termocupla	Buen Estado General	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Gral	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efectuo Limpieza General	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Cont. Se le efectuo Mantenimiento Interno	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Motor + Turbina	Se le efectuo Inspección y Mtro Gral (Consumo de motor)	(5,4) (5,2) 5,2	(5,8) (5,9) 6	(5,8) (5,6) 5,4	(4,1) (5,3) 5,9	(4,1) (5,3) 6	(3,5) (5,1) 6	(3,1) (4,5) 6			
Limpieza Interna / Externa		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Temperatura Controlador (°C)		36	48	63	72	65	51	55			
Temperatura Computador (°C)		36	48	63	72	65	51	55			
Temperatura Patrón (°C)		36.3	48.2	63.1	72.5	65.8	51.8	55.3			

No del Horno:	25	FECHA:										
		25/05/2001	25/09/2001	25/01/2002	24/05/2002	11/10/2002	18/12/2002	28/05/2003				
Revisión de Resistencia AMF	Variable en Amp	Valores Estándar 0-18 Amp		0-17	0-15	0-17	0-15	0-16	0-18	0-18		
Revisión Flujo de Aire M/S	Prom m/seg(L) Prom m/seg (LD)	5 a 10 m/s	9.7 7.9	7.3 5.8	6.4 6.8	5.8 6.3	8.1 5.3	7.4 8.1	7.5 5.8			
Revisión de Flujo de Agua	Circula Bajo Oper. Del Control		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Termocupla	Buen Estado General		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Revisión de Tablero de Control	Se Efectuo Matto y Chequeo Gral		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Goma Puertas	Se encuentran en buen estado. Se le efecto Limpieza General		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Válvula Paso Agua	Abre y cierra según Cont. Se le efecto Mantenimiento Interno		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Revisión de Motor + Turbina	Se le efecto Inspección y Matto Gral (Consumo de motor)	3 - 6 AMP	3,8 4,9 5,6	no hay datos	3,8 6 5,4	4,4 5,3 5,8	3,4 4,4 5,5	3,1 4,1 5,6	4,3 5,8 5,9			
Limpieza Interna / Externa			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Temperatura Controlador (°C)			33	46	63	51	58	51	48			
Temperatura Computador (°C)			33	46	63	51	58	51	48			
Temperatura Patrón (°C)			33.5	46.3	63.5	51.2	58.3	51.8	48.5			

APÉNDICE II⁺

⁺ Se presenta un cuadro Resumen de las 2 prueba de 30 puntos, además los resultados de las pruebas experimentales realizadas al horno 40, si se desea saber más detalladamente sobre cada prueba dirigirse al CD de la tesis "Prueba de 30 puntos 2000 y 2003".

APÉNDICE III

PRUEBA DE TINTADO PARA EVALUAR DUREZA

Es un procedimiento que es usado para monitorear la dureza y consistencia del producto fabricado, con las especificaciones globales.

El producto terminado y semi-terminado VS debe alcanzar un valor de 60%T +/- 4%T , medido contra un STD SOLA Full Cure tintado a 65%T.

Las bases semi-terminadas bifocales así como el producto bifocal terminado no cubierto deben alcanzar un valor de 50%T +/- 4%T, medido contra un Standard Full Cure tintado a 65%T.

1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA:

1.1. Prueba de dureza en lentes del “Casting”:

El producto de los hornos individuales no debe mezclarse, así como los lentes no deben empacarse, ni recubrirse hasta que ellos hayan pasado la prueba de tintabilidad.

1. Dos (2) Ensamblajes especiales de prueba los cuales produzcan un lente de poder 0.00 y espesor central 2.0 mm , deben ser colocados en cada horno de producto terminado.

2. Dos (2) Ensamblajes especiales los cuales produzcan una base semi-terminada VS 6.00 con un espesor de borde de 8.00 a 10mm y 2 ensamblajes que produzcan un lente con poder 0.00 y un espesor central de 2.0m, deben ser colocados en cada horno semi-terminado.

Los ensamblajes deben llenarse con el mismo monómero con el cual se llenaron la mayoría de los productos que ocupan el horno, colocando un ensamblaje especial en cada lado del horno, en el frente de la bandeja central.

Ensamblajes planos son requeridos para minimizar las variaciones debido al poder y a los espesores y también son usados para medir índice de amarillamiento y “Haze” antes del tintado.

1.2. Preparación del baño de tinta:

- El baño de tinta debe limpiarse profundamente una vez a la semana.
- Un nuevo baño debe ser preparado siguiendo el procedimiento GOP001/1.
- El baño debe estar a una temperatura entre 91 y 95°C antes de comenzar el tintado.
- La temperatura real del baño debe ser confirmada con un termómetro, diariamente antes del tintado.
- La tapa debe permanecer sobre el baño durante el tintado y aun cuando el baño no esté en uso. Esto ayudará a minimizar la evaporación y la adición continua de agua desmineralizada.
- El agua desmineralizada sólo debe ser añadida al baño cuando se requiera mantener el nivel correcto y debe permitírsele al baño alcanzar la temperatura apropiada (91-95°C) antes del tintado.
- Un recipiente de agua limpia y tibia (puede usarse agua de grifo) debe ser usado para enjuagar los lentes inmediatamente después del tintado. Esta agua de enjuague debe ser cambiada diariamente o más si fuese necesario.
- Cada vez que sea usado un baño de tinta por primera vez debe teñirse un STD de Full Cure hasta 65% T. Registre el tiempo que tiene el STD de Full Cure en alcanzar el 65%T. Esto debe ser usado como una guía aproximada para el tintado.

1.3. Calibración y mantenimiento del Hunter Lab:

- El instrumento para medir transmitancia “Hunter Lab” debe ser limpiado y mantenido regularmente.
- También debe ser calibrado según STP/011/-

1.4. STD Full Cure:

- Los STDS de Full Cure son usados por todas las empresas SOLAS para controlar la dureza de sus productos. Estos STDS son manufacturados bajo estrictas condiciones de fabricación en SIHRC y SOA y sólo se suplen a los sitios que así lo requieren. Estos STDS están referidos a lotes de STDS Full Cure previos.
- Cuando la provisión de STDS de Full Cure alcanza un mínimo de 50 unidades, una nueva orden debe ser colocada a el SIHRC.
- Cada lote de STDS de Full Cure tiene un código de identificación, el factor de ajuste y el nivel de confianza deben ser añadidos a la hoja de Excel.

1.5. Recolección de Lentes:

Dos (2) ensambles especiales de cada horno deben ser colectados en cada horno, uno de cada lado del horno, tan pronto como se comience a procesar la primera bandeja de un horno nuevo.

Cuando el horno se deja para procesar al día siguiente, cinco (5) lentes adicionales de cada lado del horno deben ser colectados. Estos deben ser de bajo poder (si es posible) para lentes terminados y para el producto semiterminado base 6.00.

Estos ensambles deben ser abiertos inmediatamente tan pronto finalice el proceso de curado.

PASOS:

- Los lentes deben ser identificados con el N° de lote, N° de horno y el lado del horno al cual corresponden (D o I) aproximadamente en los 5mm del borde.
- Se deben colocar los lentes en un rack de abertura, etiquetado “PARA CONTROL DE CALIDAD EN ESPERA DE PRUEBA DE TINTADO”.
- Lentes de prueba deben ser llevados a la oficina de Control de Calidad después de la postura a 100° C durante 2 horas y según el procedimiento para lentes terminados.

2. TINTADO DE LENTES:

- El operador de control de calidad debe colocar los lentes de prueba y dos STDS de full Cure en cada rack de tintado.
- Colocar luego el rack en agua limpia y tibia por 15 minutos para asegurar que los lentes de prueba y los STDS estén aproximadamente a la misma temperatura antes del tintado, para asegurar que el coeficiente de tintado es el mismo para cada lente. Permita que los lentes se enfríen a temperatura ambiente por un mínimo de 15 minutos antes del tintado.
- Colocar a continuación el rack en el baño de tinta (con la tapa puesta) y tinte hasta que los STDS de Full Cure hayan alcanzado 65%T(+/-1%T). No se debe olvidar ajustar el STD de Full Cure tomando en cuenta el factor de corrección.
- El tiempo que tome el STD de Full Cure cuando el baño de tinta sea preparado por primera vez puede ser usado como una guía. Se recomienda tintar en intervalos de 30 segundos o menos.

- Cuando se verifique la transmitancia de un STD de Full Cure, todos los lentes deben ser removidos del baño y colocados en el agua de enjuague.
- Si el % de T (porcentaje de Transmitancia) para el STD de Full Cure es tan alto como 65%T, debe ser retornado al rack con el resto de los lentes y tinte por un tiempo más largo.
- Cuando se haya alcanzado el valor correcto de transmitancia en el STD, los lentes deben ser enjuagados y limpiados con papel humedecido en acetona.
- Todos los lentes deben ser medidos en un instrumento calibrado, las medidas deben ser repetidas hasta que todos los lentes se hayan medido tres veces.

3. REGISTRO DE DATOS Y GRÁFICOS:

- El % de transmitancia para cada lente y el STD de full Cure debe ser ingresados a la hoja de Excel.

Lentes Terminados:

- El promedio y rango de todos los productos negativos de un 1er. turno, todos los productos negativos de un 2do. turno, todo el producto positivo de un 1er. turno, todo el producto positivo de un 2do. Turno y todo el producto terminado, deben ser graficados en una carta control X/R.
- El promedio y rango de cada horno debe ser monitoreado para asegurar que todos los hornos estén dentro de la dureza requerida. Es recomendable que cada horno sea graficado en una carta control.

Lentes Semiterminados:

- El promedio y rango de todos los productos VS (Visión sencilla), Semiterminados y Bifocales deben ser graficados individualmente en gráficos X/R.
- El promedio y rango de cada horno debe ser monitoreado para asegurar que todos los hornos estén dentro de los requerimientos de dureza. Es recomendable que cada horno sea graficado en una carta SPC.
- Un nuevo lote de STDS Full Cure, un cambio en el lote de SIP, cambios en el nivel de SIP y curas de fin de semana, deben ser anotados en los gráficos de lentes Terminados y Semiterminados.
- El resultado de los hornos que no pasen la especificación no debe ser añadido a estos gráficos.
- Todos los gráficos deben ser completados diariamente y los cambios reportados a la Gerencia de Manufactura. Los gráficos completos deben almacenarse por 12 meses.
- Los lentes de prueba y los STDS de Full Cure deben ser guardados por 1 semana, estos lentes serán usados para cruzarlos como referencia y solventar los problemas.

4. ACCIONES:

4.1. Pasa:

El producto de los hornos que hayan pasado al estándar global de calidad debe ser etiquetado como PASA y debe ser transferido a empaque.

4.2. Falla:

El producto de los hornos que se haya desviado del estándar global de calidad deberá tener una etiqueta colocada en el carro que indique en ESPERA. Una muestra de diez(10) lentes de bajo poder o producto semiterminado base 6.00 seleccionado al azar,

será tintado con STDS Full Cure, repitiendo el procedimiento de la sección 1. Esta acción deberá ser reportada a las Gerencia de Manufactura y Aseguramiento de la Calidad.

4.3. Repitiendo la prueba:

El producto que falla las pruebas de tintado por segunda vez debe ser reportado inmediatamente a las Gerencias de Manufactura y Aseguramiento de la Calidad. Una etiqueta en ESPERA debe ser colocada en el carro esperando por la decisión de la Gerencia General.

Una muestra de diez lentes que fallaron esta prueba debe ser sometida a la prueba de resistencia al impacto.

Registro de los hornos X y R deben ser llevados.

5. SEGURIDAD:

Se deben usar ropa protectora y lentes de seguridad. Todas las precauciones de seguridad así como los requerimientos de salud ocupacional cuando se manejen líquidos calientes.

APÉNDICE IV⁺

⁺ aquí se presenta la data de consumo eléctrico de La resistencia de los hornos de curado el mismo se presenta en una hoja de calculo EXCEL.

APENDICE IV

Max. Corriente.	16	Voltage	220.00	Factor de Potencia	0.96	Valor Kwh [Bs/Kwh] GACETA	35.15	Valor KVA [Bs/KVA] GACETA
Resistencia								
Pto	Fecha	% de Corriente	Corriente[A]	Potencia[Watts]	Bolivares GACETA [Bs]	Fecha	Consumo [Kwh]	
1	0:08	0.00	0.00	0.00		0:08	RESISTENCIAS	
2	0:14	20.86	3.34	1,016.64	3.57052	0:14	Costo Bolivares GACETA	
3	0:19	31.12	4.98	1,516.68	4.43891	0:19		
4	0:23	32.18	5.15	1,568.34	3.67208	0:23	1,103.63	
5	0:27	29.21	4.67	1,423.59	3.33317	0:27	PROMEDIO DE CONSUMO DE LAS RESISTENCIAS (Watts)	
6	0:32	34.62	5.54	1,687.26	4.93814	0:32		
7	0:36	23.03	3.68	1,122.40	2.62797	0:36		
8	0:40	14.47	2.32	705.22	1.65118	0:40		
9	0:45	13.47	2.16	656.48	1.92134	0:45	1,504.07	
10	0:49	17.45	2.79	850.45	1.99123	0:49	DEMANDA (Kva)	
11	0:53	25.24	4.04	1,230.11	2.88015	0:53		
12	0:58	14.92	2.39	727.15	2.12816	0:58	2.73	
13	1:01	18.77	3.00	914.78	1.60639	1:01	MAXIMA DEMANDA	
14	1:07	15.42	2.47	751.52	2.63938	1:07		
15	1:11	12.61	2.02	614.57	1.43894	1:11	2,617.15	
16	1:14	14.34	2.29	698.88	1.22726	1:14	COSTO Bs GACETA	
17	1:20	17.48	2.80	851.91	2.99198	1:20		
18	1:24	17.63	2.82	859.22	2.01177	1:24	12,493.21	
19	1:27	17.52	2.80	853.86	1.49941	1:27	Total Consumo Bolivares	
20	1:33	19.25	3.08	938.18	3.29495	1:33		
21	1:37	14.24	2.28	694.01	1.62494	1:37	Tarifa Gaceta	
22	1:41	12.47	2.00	607.74	1.42296	1:41	13,596.84	
23	1:48	13.31	2.13	648.68	2.65792	1:48	TOTAL CONSUMO DE LOS 46 HORNOS EN UN AÑO	
24	1:53	18.64	2.98	908.45	2.65878	1:53		
25	1:57	19.54	3.13	952.31	2.22972	1:57	25,172,295.33	
26	2:00	19.64	3.14	957.18	1.68085	2:00		
27	2:10	18.05	2.89	879.69	5.14924	2:10		
28	2:15	16.35	2.62	796.84	2.33214	2:15		
29	2:20	14.81	2.37	721.79	2.11247	2:20		
30	2:24	19.96	3.19	972.78	2.27765	2:24		
31	2:28	18.55	2.97	904.06	2.11675	2:28		
32	2:32	20.08	3.21	978.63	2.29134	2:32		
33	2:36	19.82	3.17	965.96	2.26167	2:36		
34	2:42	15.27	2.44	744.21	2.61371	2:42		
35	2:46	19.04	3.05	927.94	2.17267	2:46		
36	2:50	18.12	2.90	883.11	2.06769	2:50		
37	2:54	18.23	2.92	888.47	2.08024	2:54		
38	2:58	21.02	3.36	1,024.44	2.39861	2:58		
39	3:02	21.37	3.42	1,041.50	2.43855	3:02		
40	3:10	17.60	2.82	857.76	4.01670	3:10		
41	3:16	15.45	2.47	752.98	2.64452	3:16		
42	3:20	19.35	3.10	943.05	2.20804	3:20		
43	3:24	21.05	3.37	1,025.90	2.40203	3:24		
44	3:28	21.24	3.40	1,035.16	2.42371	3:28		
45	3:32	20.31	3.25	989.84	2.31759	3:32		
46	3:36	18.13	2.90	883.59	2.06883	3:36		
47	3:43	17.59	2.81	857.27	3.51261	3:43		
48	3:48	17.87	2.86	870.92	2.54895	3:48		
49	3:52	21.83	3.49	1,063.92	2.49104	3:52		
50	3:56	22.85	3.66	1,113.63	2.60743	3:56		
51	4:01	21.80	3.49	1,062.46	3.10952	4:01		
52	4:05	18.83	3.01	917.71	2.14870	4:05		
53	4:09	20.15	3.22	982.04	2.29933	4:09		
54	4:13	18.85	3.02	918.68	2.15099	4:13		
55	4:17	19.25	3.08	938.18	2.19663	4:17		
56	4:21	18.95	3.03	923.56	2.16240	4:21		
57	4:26	18.72	3.00	912.35	2.67019	4:26		
58	4:32	17.53	2.80	854.35	3.00054	4:32		
59	4:36	21.93	3.51	1,068.79	2.50245	4:36		

APENDICE IV

60	4:40	22.35	3.58	1,089.26	2.55037	4:40	
61	4:44	22.38	3.58	1,090.72	2.55380	4:44	
62	4:50	23.45	3.75	1,142.87	4.01384	4:50	
63	4:53	20.30	3.25	989.35	1.73734	4:53	
64	5:00	17.55	2.81	855.33	3.50462	5:00	
65	5:03	19.29	3.09	940.13	1.65090	5:03	
66	5:07	19.88	3.18	968.88	2.26852	5:07	
67	5:13	17.39	2.78	847.53	2.97658	5:13	
68	5:17	18.20	2.91	887.00	2.07681	5:17	
69	5:21	18.87	3.02	919.66	2.15327	5:21	
70	5:26	17.99	2.88	876.77	2.56606	5:26	
71	5:30	17.22	2.76	839.24	1.96499	5:30	
72	5:34	19.64	3.14	957.18	2.24113	5:34	
73	5:40	21.82	3.49	1,063.43	3.73484	5:40	
74	5:44	24.70	3.95	1,203.79	2.81853	5:44	
75	5:48	24.76	3.96	1,206.72	2.82538	5:48	
76	5:53	20.68	3.31	1,007.87	2.94976	5:53	
77	5:57	17.07	2.73	831.93	1.94787	5:57	
78	6:01	20.56	3.29	1,002.02	2.34612	6:01	
79	6:05	21.85	3.50	1,064.89	2.49332	6:05	
80	6:09	19.47	3.12	948.90	2.22174	6:09	
81	6:13	20.68	3.31	1,007.87	2.35981	6:13	
82	6:19	19.62	3.14	956.21	3.35828	6:19	
83	6:23	17.52	2.80	853.86	1.99922	6:23	
84	6:26	20.72	3.32	1,009.82	1.77328	6:26	
85	6:32	17.42	2.79	848.99	2.98171	6:32	
86	6:36	19.58	3.13	954.26	2.23429	6:36	
87	6:40	19.39	3.10	945.00	2.21261	6:40	
88	6:44	18.88	3.02	920.15	2.15441	6:44	
89	6:50	21.84	3.49	1,064.41	3.73827	6:50	
90	6:53	23.18	3.71	1,129.71	1.98381	6:53	
91	6:59	23.14	3.70	1,127.76	3.96078	6:59	
92	7:03	24.81	3.97	1,209.15	2.83109	7:03	
93	7:07	19.94	3.19	971.81	2.27537	7:07	
94	7:11	20.22	3.24	985.45	2.30732	7:11	
95	7:15	21.41	3.43	1,043.45	2.44311	7:15	
96	7:19	21.04	3.37	1,025.42	2.40089	7:19	
97	7:25	20.18	3.23	983.50	3.45413	7:25	
98	7:28	18.80	3.01	916.25	1.60896	7:28	
99	7:34	21.79	3.49	1,061.97	3.72971	7:34	
100	7:38	19.75	3.16	962.55	2.25369	7:38	
101	7:44	18.14	2.90	884.08	3.10495	7:44	
102	7:48	19.20	3.07	935.74	2.19093	7:48	
103	7:52	20.34	3.25	991.30	2.32101	7:52	
104	7:57	21.05	3.37	1,025.90	3.00254	7:57	
105	8:01	17.22	2.76	839.24	1.96499	8:01	
106	8:06	20.33	3.25	990.81	2.89984	8:06	
107	8:10	20.38	3.26	993.25	2.32558	8:10	
108	8:15	21.29	3.41	1,037.60	3.03677	8:15	
109	8:19	19.98	3.20	973.76	2.27993	8:19	
110	8:25	22.17	3.55	1,080.49	3.79475	8:25	
111	8:28	25.53	4.08	1,244.24	2.18493	8:28	
112	8:38	17.88	2.86	871.41	5.10075	8:38	
113	8:42	19.30	3.09	940.61	2.20234	8:42	
114	8:47	20.90	3.34	1,018.59	2.98114	8:47	
115	8:52	20.96	3.35	1,021.52	2.98970	8:52	
116	8:56	19.25	3.08	938.18	2.19663	8:56	
117	9:01	21.13	3.38	1,029.80	3.01395	9:01	
118	9:05	22.72	3.64	1,107.29	2.59259	9:05	
119	9:10	17.59	2.81	857.27	2.50901	9:10	
120	9:14	18.76	3.00	914.30	2.14072	9:14	
121	9:18	22.54	3.61	1,098.52	2.57205	9:18	
122	9:25	23.48	3.76	1,144.33	4.68881	9:25	
123	9:30	24.94	3.99	1,215.49	3.55740	9:30	
124	9:34	23.59	3.77	1,149.69	2.69187	9:34	

APENDICE IV

125	9:39	21.30	3.41	1,038.09	3.03820	9:39	
126	9:43	21.47	3.44	1,046.37	2.44996	9:43	
127	9:47	23.48	3.76	1,144.33	2.67932	9:47	
128	9:52	22.89	3.66	1,115.58	3.26499	9:52	
129	9:56	22.02	3.52	1,073.18	2.51272	9:56	
130	10:00	26.74	4.28	1,303.21	3.05132	10:00	
131	10:05	24.84	3.97	1,210.61	3.54314	10:05	
132	10:09	21.24	3.40	1,035.16	2.42371	10:09	
133	10:14	23.89	3.82	1,164.31	3.40763	10:14	
134	10:18	23.37	3.74	1,138.97	2.66677	10:18	
135	10:22	23.83	3.81	1,161.39	2.71926	10:22	
136	10:27	24.93	3.99	1,215.00	3.55597	10:27	
137	10:31	25.30	4.05	1,233.03	2.88700	10:31	
138	10:35	28.42	4.55	1,385.09	3.24303	10:35	
139	10:40	26.39	4.22	1,286.16	3.76423	10:40	
140	10:44	28.20	4.51	1,374.37	3.21792	10:44	
141	10:50	26.80	4.29	1,306.14	4.58725	10:50	
142	10:53	25.39	4.06	1,237.42	2.17295	10:53	
143	10:57	24.29	3.89	1,183.81	2.77175	10:57	
144	11:02	24.52	3.92	1,195.02	3.49749	11:02	
145	11:06	28.34	4.53	1,381.19	3.23390	11:06	
146	11:11	29.98	4.80	1,461.12	4.27630	11:11	
147	11:15	25.88	4.14	1,261.30	2.95318	11:15	
148	11:21	32.31	5.17	1,574.68	5.53037	11:21	
149	11:32	28.65	4.58	1,396.30	8.99050	11:32	
150	11:38	32.01	5.12	1,560.06	5.47902	11:38	
151	11:43	29.40	4.70	1,432.85	4.19357	11:43	
152	11:47	31.39	5.02	1,529.84	3.58193	11:47	
153	11:52	31.32	5.01	1,526.43	4.46743	11:52	
154	11:56	34.81	5.57	1,696.52	3.97219	11:56	
155	12:01	30.71	4.91	1,496.70	4.38042	12:01	
156	12:05	32.47	5.20	1,582.47	3.70517	12:05	
157	12:10	33.58	5.37	1,636.57	4.78980	12:10	
158	12:14	34.61	5.54	1,686.77	3.94937	12:14	
159	12:18	33.23	5.32	1,619.51	3.79190	12:18	
160	12:22	31.64	5.06	1,542.02	3.61046	12:22	
161	12:27	28.70	4.59	1,398.74	4.09372	12:27	
162	12:31	32.29	5.17	1,573.70	3.68463	12:31	
163	12:36	34.72	5.56	1,692.13	4.95240	12:36	
164	12:40	32.30	5.17	1,574.19	3.68578	12:40	
165	12:47	34.50	5.52	1,681.41	6.88943	12:47	
166	12:52	34.28	5.48	1,670.69	4.88964	12:52	
167	12:56	35.58	5.69	1,734.04	4.06006	12:56	
168	13:00	35.24	5.64	1,717.47	4.02126	13:00	
169	13:05	35.53	5.68	1,731.61	5.06794	13:05	
170	13:09	34.49	5.52	1,680.92	3.93568	13:09	
171	13:14	35.55	5.69	1,732.58	5.07079	13:14	
172	13:18	36.99	5.92	1,802.76	4.22095	13:18	
173	13:22	39.05	6.25	1,903.16	4.45602	13:22	
174	13:27	36.99	5.92	1,802.76	5.27619	13:27	
175	13:31	37.12	5.94	1,809.10	4.23579	13:31	
176	13:36	35.52	5.68	1,731.12	5.06651	13:36	
177	13:42	38.09	6.09	1,856.37	6.51971	13:42	
178	13:46	31.50	5.04	1,535.20	3.59449	13:46	
179	13:51	35.15	5.62	1,713.09	5.01374	13:51	
180	13:55	39.73	6.36	1,936.30	4.53362	13:55	
181	13:59	37.04	5.93	1,805.20	4.22666	13:59	
182	14:03	37.26	5.96	1,815.92	4.25176	14:03	
183	14:07	40.11	6.42	1,954.82	4.57698	14:07	
184	14:13	41.22	6.60	2,008.92	7.05546	14:13	
185	14:17	37.58	6.01	1,831.52	4.28828	14:17	
186	14:22	39.71	6.35	1,935.33	5.66417	14:22	
187	14:26	39.94	6.39	1,946.54	4.55758	14:26	
188	14:30	40.86	6.54	1,991.37	4.66256	14:30	
189	14:35	43.23	6.92	2,106.88	6.16626	14:35	

APENDICE IV

190	14:39	41.69	6.67	2,031.82	4.75727	14:39
191	14:43	37.00	5.92	1,803.25	4.22210	14:43
192	14:47	40.39	6.46	1,968.47	4.60893	14:47
193	14:52	41.42	6.63	2,018.67	5.90808	14:52
194	14:56	45.42	7.27	2,213.61	5.18291	14:56
195	15:01	38.72	6.20	1,887.08	5.52296	15:01
196	15:06	39.95	6.39	1,947.02	5.69840	15:06
197	15:10	38.89	6.22	1,895.36	4.43776	15:10
198	15:14	40.11	6.42	1,954.82	4.57698	15:14
199	15:18	38.51	6.16	1,876.84	4.39440	15:18
200	15:23	43.44	6.95	2,117.11	6.19621	15:23
201	15:28	41.26	6.60	2,010.87	5.88526	15:28
202	15:34	44.51	7.12	2,169.26	7.61860	15:34
203	15:38	40.64	6.50	1,980.65	4.63746	15:38
204	15:42	43.42	6.95	2,116.14	4.95469	15:42
205	15:47	45.96	7.35	2,239.93	6.55566	15:47
206	15:51	45.03	7.20	2,194.60	5.13840	15:51
207	15:56	42.17	6.75	2,055.22	6.01506	15:56
208	16:00	45.83	7.33	2,233.59	5.22969	16:00
209	16:04	50.12	8.02	2,442.67	5.71923	16:04
210	16:09	40.85	6.54	1,990.89	5.82678	16:09
211	16:12	46.36	7.42	2,259.42	3.96763	16:12
212	16:18	47.57	7.61	2,318.40	8.14237	16:18
213	16:21	39.32	6.29	1,916.32	3.36512	16:21
214	16:27	43.01	6.88	2,096.16	7.36185	16:27
215	16:30	41.23	6.60	2,009.41	3.52859	16:30
216	16:35	44.22	7.08	2,155.13	6.30747	16:35
217	16:39	47.05	7.53	2,293.05	5.36891	16:39
218	16:44	45.75	7.32	2,229.69	6.52570	16:44
219	16:48	47.63	7.62	2,321.32	5.43509	16:48
220	16:53	47.26	7.56	2,303.29	6.74109	16:53
221	16:57	49.47	7.92	2,410.99	5.64506	16:57
222	17:02	50.18	8.03	2,445.60	7.15759	17:02
223	17:05	49.95	7.99	2,434.39	4.27487	17:05
224	17:11	48.81	7.81	2,378.83	8.35461	17:11
225	17:28	51.14	8.18	2,492.38	24.80139	17:28
226	17:32	49.83	7.97	2,428.54	5.68614	17:32
227	17:42	52.94	8.47	2,580.11	15.10255	17:42
228	17:45	50.11	8.02	2,442.19	4.28856	17:45
229	17:56	49.66	7.95	2,420.25	15.58353	17:56
230	18:02	47.86	7.66	2,332.53	8.19201	18:02
231	18:05	46.34	7.41	2,258.45	3.96592	18:05
232	18:11	45.39	7.26	2,212.15	7.76923	18:11
233	18:14	48.83	7.81	2,379.80	4.17902	18:14
234	18:19	48.65	7.78	2,371.03	6.93936	18:19
235	18:23	51.71	8.27	2,520.16	5.90066	18:23
236	18:28	50.32	8.05	2,452.42	7.17756	18:28
237	18:32	53.10	8.50	2,587.91	6.05928	18:32
238	18:37	49.20	7.87	2,397.84	7.01781	18:37
239	18:40	50.25	8.04	2,449.01	4.30055	18:40
240	18:45	48.21	7.71	2,349.59	6.87660	18:45
241	18:50	48.48	7.76	2,362.75	6.91511	18:50
242	18:54	53.70	8.59	2,617.15	6.12774	18:54
243	18:59	44.51	7.12	2,169.26	6.34883	18:59
244	19:04	49.11	7.86	2,393.45	7.00497	19:04
245	19:07	53.24	8.52	2,594.73	4.55644	19:07
246	19:12	51.39	8.22	2,504.57	7.33019	19:12
247	19:17	53.55	8.57	2,609.84	7.63828	19:17
248	19:20	49.25	7.88	2,400.27	4.21496	19:20
249	19:26	49.96	7.99	2,434.88	8.55145	19:26
250	19:29	49.68	7.95	2,421.23	4.25176	19:29
251	19:34	50.62	8.10	2,467.04	7.22035	19:34
252	19:38	47.85	7.66	2,332.04	5.46020	19:38
253	19:43	49.50	7.92	2,412.46	7.06060	19:43
254	19:46	48.92	7.83	2,384.19	4.18672	19:46

APENDICE IV.1

Max. Corriente.	16	Voltage	220.00	Factor de Potencia	0.96	Valor Kwh [Bs/Kwh] GACETA	35.15	Valor KVA [Bs/KVA] GACETA	4,582.65	
Resistencia										
Pto	Fecha	% de Corriente	Corriente[A]	Potencia[Watts]	Bolivares GACETA [Bs]	Fecha	Consumo [Kwh]	MES		
1	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0:00	RESISTENCIAS			
2	0:02	20.36	3.26	992.28	1.16165	0:02	Costo Bolivares GACETA			
3	0:07	10.57	1.69	515.14	1.50769	0:07	1,653.74	2,282,161.38		
4	0:12	17.52	2.80	853.86	2.49902	0:12				
5	0:16	21.25	3.40	1,035.65	2.42485	0:16				
6	0:21	18.43	2.95	898.21	2.62882	0:21	PROMEDIO DE CONSUMO DE LAS RESISTENCIAS (Watts)			
7	0:25	18.38	2.94	895.78	2.09735	0:25	2,411.60			
8	0:29	18.44	2.95	898.70	2.10420	0:29				
9	0:34	5.13	0.82	250.02	0.73173	0:34				
10	0:38	5.21	0.83	253.92	0.59452	0:38				
11	0:42	5.44	0.87	265.13	0.62076	0:42	DEMANDA (Kva)			
12	0:47	5.28	0.84	257.33	0.75313	0:47				
13	0:51	6.35	1.02	309.48	0.72460	0:51	4.65			
14	0:56	5.55	0.89	270.49	0.79164	0:56				
15	1:00	2.49	0.40	121.35	0.28414	1:00				
16	1:04	1.68	0.27	81.88	0.19171	1:04	MAXIMA DEMANDA			
17	1:10	2.76	0.44	134.51	0.47242	1:10	4,466.21			
18	1:13	2.88	0.46	140.36	0.24648	1:13				
19	1:17	5.49	0.88	267.56	0.62647	1:17				
20	1:23	3.54	0.57	172.53	0.60593	1:23	COSTO Bs GACETA			
21	1:26	4.81	0.77	234.42	0.41165	1:26	21,319.88	980,714.70		
22	1:30	41.92	6.71	2,043.03	4.78352	1:30				
23	1:36	32.60	5.22	1,588.81	5.58001	1:36	Total Consumo Bolivares	Total consumo mensual		
24	1:39	28.82	4.61	1,404.59	2.46650	1:39	Tarifa Gaceta	3,262,876.08		
25	1:44	29.33	4.69	1,429.44	4.18358	1:44				
26	1:49	30.13	4.82	1,468.43	4.29769	1:49				
27	1:53	31.45	5.03	1,532.76	3.58878	1:53	22,973.62			
28	1:57	32.54	5.21	1,585.89	3.71316	1:57				
29	2:01	30.90	4.94	1,505.96	3.52602	2:01				
30	2:05	29.71	4.75	1,447.96	3.39023	2:05	TOTAL CONSUMO DE LOS 46 HORNOS EN UN AÑO			
31	2:09	28.74	4.60	1,400.69	3.27954	2:09				
32	2:15	29.19	4.67	1,422.62	4.99634	2:15				
33	2:19	29.85	4.78	1,454.78	3.40620	2:19				
34	2:23	53.22	8.52	2,593.76	6.07297	2:23	39,154,512.93			
35	2:27	38.86	6.22	1,893.90	4.43434	2:27				
36	2:31	27.49	4.40	1,339.77	3.13690	2:31				
37	2:35	22.71	3.63	1,106.81	2.59145	2:35				
38	2:41	21.29	3.41	1,037.60	3.64412	2:41				
39	2:45	22.41	3.59	1,092.18	2.55722	2:45				
40	2:49	24.36	3.90	1,187.22	2.77974	2:49				
41	2:53	71.20	11.39	3,470.04	8.12468	2:53				
42	2:57	67.68	10.83	3,298.49	7.72301	2:57				
43	3:01	65.19	10.43	3,177.13	7.43888	3:01				
44	3:05	58.58	9.37	2,854.98	6.68460	3:05				
45	3:10	56.20	8.99	2,738.99	8.01628	3:10				
46	3:15	49.11	7.86	2,393.45	7.00497	3:15				
47	3:19	56.52	9.04	2,754.59	6.44954	3:19				
48	3:24	58.60	9.38	2,855.96	8.35861	3:24				
49	3:27	67.52	10.80	3,290.69	5.77857	3:27				
50	3:31	66.92	10.71	3,261.45	7.63629	3:31				
51	3:36	64.00	10.24	3,119.14	9.12886	3:36				
52	3:41	54.04	8.65	2,633.72	7.70818	3:41				
53	3:45	57.19	9.15	2,787.24	6.52599	3:45				
54	3:49	70.74	11.32	3,447.62	8.07219	3:49				
55	3:53	71.27	11.40	3,473.45	8.13267	3:53				
56	3:58	51.73	8.28	2,521.14	7.37868	3:58				
57	4:03	37.65	6.02	1,834.93	5.37033	4:03				
58	4:07	28.90	4.62	1,408.48	3.29780	4:07				
59	4:11	29.07	4.65	1,416.77	3.31720	4:11				
60	4:15	27.60	4.42	1,345.13	3.14945	4:15				
61	4:19	28.32	4.53	1,380.22	3.23161	4:19				
62	4:25	28.48	4.56	1,388.02	4.87481	4:25				
63	4:28	27.41	4.39	1,335.87	2.34583	4:28				
64	4:32	29.09	4.65	1,417.74	3.31948	4:32				
65	4:38	31.07	4.97	1,514.24	5.31813	4:38				
66	4:42	33.64	5.38	1,639.50	3.83868	4:42				
67	4:46	32.89	5.26	1,602.94	3.75310	4:46				
68	4:50	31.68	5.07	1,543.97	3.61503	4:50				
69	4:55	35.76	5.72	1,742.82	5.10075	4:55				
70	5:00	34.08	5.45	1,660.94	4.86112	5:00				

APENDICE IV.1

71	5:03	36.15	5.78	1,761.82	3.09383	5:03
72	5:09	35.40	5.66	1,725.27	6.05928	5:09
73	5:13	34.57	5.53	1,684.82	3.94481	5:13
74	5:17	33.76	5.40	1,645.34	3.85238	5:17
75	5:21	32.45	5.19	1,581.50	3.70289	5:21
76	5:26	31.40	5.02	1,530.33	4.47884	5:26
77	5:30	33.47	5.36	1,631.21	3.81928	5:30
78	5:34	34.10	5.46	1,661.91	3.89117	5:34
79	5:38	35.95	5.75	1,752.08	4.10228	5:38
80	5:42	37.74	6.04	1,839.32	4.30654	5:42
81	5:46	36.70	5.87	1,788.63	4.18786	5:46
82	5:52	36.95	5.91	1,800.81	6.32458	5:52
83	5:55	35.95	5.75	1,752.08	3.07671	5:55
84	6:00	37.72	6.04	1,838.34	5.38032	6:00
85	6:05	37.37	5.98	1,821.28	5.33040	6:05
86	6:09	36.92	5.91	1,799.35	4.21297	6:09
87	6:13	36.49	5.84	1,778.39	4.16390	6:13
88	6:17	36.74	5.88	1,790.58	4.19243	6:17
89	6:21	35.79	5.73	1,744.28	4.08402	6:21
90	6:26	35.10	5.62	1,710.65	5.00661	6:26
91	6:30	34.62	5.54	1,687.26	3.95051	6:30
92	6:34	35.28	5.64	1,719.42	4.02583	6:34
93	6:40	35.23	5.64	1,716.99	6.03018	6:40
94	6:44	35.36	5.66	1,723.32	4.03495	6:44
95	6:48	38.51	6.16	1,876.84	4.39440	6:48
96	6:52	40.07	6.41	1,952.87	4.57242	6:52
97	6:57	40.67	6.51	1,982.11	5.80110	6:57
98	7:01	39.78	6.36	1,938.74	4.53932	7:01
99	7:05	38.55	6.17	1,878.79	4.39897	7:05
100	7:09	37.99	6.08	1,851.50	4.33507	7:09
101	7:13	37.93	6.07	1,848.58	4.32822	7:13
102	7:17	38.66	6.19	1,884.15	4.41152	7:17
103	7:21	39.64	6.34	1,931.91	4.52335	7:21
104	7:26	37.94	6.07	1,849.06	5.41170	7:26
105	7:32	33.46	5.35	1,630.72	5.72722	7:32
106	7:36	23.70	3.79	1,155.05	2.70442	7:36
107	7:42	31.53	5.04	1,536.66	5.39686	7:42
108	7:48	38.48	6.16	1,875.38	6.58647	7:48
109	7:52	38.25	6.12	1,864.17	4.36473	7:52
110	7:57	36.00	5.76	1,754.51	5.13498	7:57
111	8:01	36.56	5.85	1,781.81	4.17189	8:01
112	8:05	36.55	5.85	1,781.32	4.17075	8:05
113	8:10	37.16	5.95	1,811.05	5.30044	8:10
114	8:14	36.91	5.91	1,798.86	4.21183	8:14
115	8:18	39.41	6.31	1,920.71	4.49710	8:18
116	8:22	41.92	6.71	2,043.03	4.78352	8:22
117	8:27	43.20	6.91	2,105.42	6.16198	8:27
118	8:31	41.25	6.60	2,010.38	4.70707	8:31
119	8:35	40.43	6.47	1,970.42	4.61350	8:35
120	8:39	38.14	6.10	1,858.81	4.35218	8:39
121	8:43	37.54	6.01	1,829.57	4.28372	8:43
122	8:47	37.75	6.04	1,839.80	4.30768	8:47
123	8:52	38.28	6.12	1,865.63	5.46020	8:52
124	8:56	38.56	6.17	1,879.28	4.40011	8:56
125	9:01	39.81	6.37	1,940.20	5.67843	9:01
126	9:05	38.79	6.21	1,890.49	4.42635	9:05
127	9:09	38.42	6.15	1,872.46	4.38413	9:09
128	9:14	30.22	4.84	1,472.82	4.31053	9:14
129	9:18	32.80	5.25	1,598.56	3.74283	9:18
130	9:22	35.18	5.63	1,714.55	4.01441	9:22
131	9:27	34.15	5.46	1,664.35	4.87110	9:27
132	9:31	30.71	4.91	1,496.70	3.50434	9:31
133	9:35	27.97	4.48	1,363.16	3.19168	9:35
134	9:39	28.82	4.61	1,404.59	3.28867	9:39
135	9:43	31.03	4.96	1,512.29	3.54085	9:43
136	9:47	33.16	5.31	1,616.10	3.78391	9:47
137	9:52	43.92	7.03	2,140.51	6.26468	9:52
138	9:56	44.97	7.20	2,191.68	5.13156	9:56
139	10:02	45.61	7.30	2,222.87	7.80688	10:02
140	10:06	45.25	7.24	2,205.33	5.16351	10:06
141	10:10	44.87	7.18	2,186.81	5.12015	10:10
142	10:14	43.76	7.00	2,132.71	4.99348	10:14
143	10:18	47.60	7.62	2,319.86	5.43167	10:18
144	10:22	47.70	7.63	2,324.73	5.44308	10:22
145	10:27	48.56	7.77	2,366.64	6.92652	10:27
146	10:31	48.33	7.73	2,355.43	5.51497	10:31

APENDICE IV.1

147	10:35	45.14	7.22	2,199.97	5.15096	10:35			
148	10:39	42.30	6.77	2,061.55	4.82688	10:39			
149	10:43	39.07	6.25	1,904.13	4.45830	10:43			
150	10:47	33.97	5.44	1,655.58	3.87634	10:47			
151	10:52	34.48	5.52	1,680.43	4.91817	10:52			
152	10:56	34.30	5.49	1,671.66	3.91400	10:56			
153	11:01	37.61	6.02	1,832.98	5.36463	11:01			
154	11:05	43.98	7.04	2,143.43	5.01859	11:05			
155	11:09	46.92	7.51	2,286.72	5.35407	11:09			
156	11:13	50.03	8.00	2,438.29	5.70896	11:13			
157	11:17	52.79	8.45	2,572.80	6.02390	11:17			
158	11:22	54.12	8.66	2,637.62	7.71959	11:22			
159	11:27	45.41	7.27	2,213.12	6.47721	11:27			
160	11:31	40.93	6.55	1,994.78	4.67055	11:31			
161	11:35	43.18	6.91	2,104.44	4.92730	11:35			
162	11:39	49.10	7.86	2,392.96	5.60283	11:39			
163	11:43	53.35	8.54	2,600.09	6.08781	11:43			
164	11:47	57.03	9.12	2,779.44	6.50773	11:47			
165	11:52	58.88	9.42	2,869.60	8.39855	11:52			
166	11:56	58.05	9.29	2,829.15	6.62413	11:56			
167	12:02	51.83	8.29	2,526.01	8.87154	12:02			
168	12:06	56.62	9.06	2,759.46	6.46095	12:06			
169	12:10	61.54	9.85	2,999.24	7.02237	12:10			
170	12:14	53.88	8.62	2,625.92	6.14828	12:14			
171	12:19	46.03	7.36	2,243.34	6.56564	12:19			
172	12:27	42.90	6.86	2,090.80	9.79070	12:27			
173	12:31	47.45	7.59	2,312.55	5.41455	12:31			
174	12:35	53.47	8.56	2,605.94	6.10150	12:35			
175	12:39	59.24	9.48	2,887.15	6.75992	12:39			
176	12:43	60.01	9.60	2,924.68	6.84778	12:43			
177	12:47	60.48	9.68	2,947.58	6.90141	12:47			
178	12:52	53.90	8.62	2,626.90	7.68821	12:52			
179	12:56	49.91	7.99	2,432.44	5.69526	12:56			
180	13:01	51.99	8.32	2,533.81	7.41577	13:01			
181	13:06	61.14	9.78	2,979.75	8.72091	13:06			
182	13:10	64.82	10.37	3,159.10	7.39665	13:10			
183	13:14	67.34	10.77	3,281.92	7.68421	13:14			
184	13:18	66.10	10.58	3,221.48	7.54272	13:18			
185	13:22	62.12	9.94	3,027.51	7.08856	13:22			
186	13:27	54.27	8.68	2,644.93	7.74098	13:27			
187	13:31	53.44	8.55	2,604.48	6.09808	13:31			
188	13:35	60.91	9.75	2,968.54	6.95048	13:35			
189	13:39	63.62	10.18	3,100.62	7.25972	13:39			
190	13:43	65.35	10.46	3,184.93	7.45713	13:43			
191	13:47	66.73	10.68	3,252.19	7.61461	13:47			
192	13:52	64.41	10.31	3,139.12	9.18734	13:52			
193	13:56	59.22	9.48	2,886.18	6.75763	13:56			
194	14:00	54.19	8.67	2,641.03	6.18366	14:00			
195	14:05	59.07	9.45	2,878.86	8.42565	14:05			
196	14:09	66.57	10.65	3,244.39	7.59635	14:09			
197	14:13	70.96	11.35	3,458.34	8.09729	14:13			
198	14:17	71.41	11.43	3,480.27	8.14864	14:17			
199	14:21	67.79	10.85	3,303.85	7.73556	14:21			
200	14:26	62.28	9.96	3,035.31	8.88352	14:26			
201	14:30	58.54	9.37	2,853.03	6.68004	14:30			
202	14:34	66.47	10.64	3,239.51	7.58494	14:34			
203	14:38	71.09	11.37	3,464.68	8.11213	14:38			
204	14:42	74.95	11.99	3,652.80	8.55260	14:42			
205	14:47	71.70	11.47	3,494.41	10.22717	14:47			
206	14:51	64.61	10.34	3,148.87	7.37269	14:51			
207	14:55	59.68	9.55	2,908.59	6.81013	14:55			
208	14:59	63.94	10.23	3,116.21	7.29624	14:59			
209	15:02	70.90	11.34	3,455.42	6.06784	15:02			
210	15:06	74.12	11.86	3,612.35	8.45788	15:06			
211	15:11	73.92	11.83	3,602.60	10.54383	15:11			
212	15:15	72.49	11.60	3,532.91	8.27188	15:15			
213	15:19	69.24	11.08	3,374.52	7.90102	15:19			
214	15:23	61.64	9.86	3,004.12	7.03378	15:23			
215	15:27	65.25	10.44	3,180.06	7.44572	15:27			
216	15:31	75.80	12.13	3,694.23	8.64959	15:31			
217	15:36	80.51	12.88	3,923.78	11.48381	15:36			
218	15:40	78.52	12.56	3,826.79	8.95997	15:40			
219	15:44	75.63	12.10	3,685.94	8.63019	15:44			
220	15:48	66.76	10.68	3,253.65	7.61803	15:48			
221	15:52	67.81	10.85	3,304.82	7.73785	15:52			
222	15:56	77.40	12.38	3,772.20	8.83217	15:56			

APÉNDICE V

ECUACIONES COLORIMÉTRICAS

Este anexo explica las distintas escalas de color y de diferencias de color, índices y procedimientos disponibles, tal como son calculadas y mostrada en pantalla por el Software Universal Hunter Lab. Donde sea requerido, se dan también instrucciones especializadas para la medición.

Los valores de color medidos usando el Software Universal están referidos a los valores absolutos de un difusor blanco perfecto bajo las mismas condiciones geométricas, de acuerdo con la recomendación de la CIE, Comisión Internacional de Iluminación, de fecha 1° enero de 1969. Estos valores son trazables a mediciones hechas en el NIST, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología.

ESCALAS DE COLOR Y DE DIFERENCIA DE COLOR RELACIONADAS

ESCALA TRIESTIMULOS CIE XYZ

El Software Universal ejecuta la integración de los valores de reflectancia/transmisión a lo largo del espectro visible para llegar a los valores triestímulos X, Y, Z. Estos espectros simulan la función de respuesta de comparación de colores del observador humano, como se ha definido en el observador Estándar de 2° de 1931 o del Observador Estándar CIE de 10° de 1964. Pueden seleccionarse las integraciones Triestímulos basadas en cualquiera o en todas las iluminantes.

Los valores de diferencia de color relacionados se define como:

$$dX = DX = X_{\text{Muestra}} - X_{\text{Patrón}} \quad dY = Y_{\text{Muestra}} - Y_{\text{Patrón}} \quad dZ = DZ = Z_{\text{Muestra}} - Z_{\text{Patrón}}$$

COORDENADAS DE CROMATICIDAD CIE, Yxy

La relación entre los valores CIE XYZ y las coordenadas de cromaticidad x, y es como sigue

$$Y = \text{Triestímulo CIE Y} \quad x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Los valores de diferencia de color relacionados se definen como:

$$dY = DY = Y_{\text{Muestra}} - Y_{\text{Patrón}} \quad dx = Dx = X_{\text{Muestra}} - X_{\text{Patrón}} \quad dy = Dy = Y_{\text{Muestra}} - Y_{\text{Patrón}}$$

ESCALAS DE COLORES OPONENTES

(Hunter Lab, CIE 1976 L* a* b*, CIECh y CIE TC 1-29)

Las escalas de colores oponentes dan mediciones de color en unidades de uniformidad visual aproximada en todo el sólido de color. Así, en la **escala de Hunter**, L mide la luminosidad y varía para 100 para blanco perfecto y 0 para negro, aproximadamente como lo evaluaría el ojo. Las dimensiones de cromaticidad (a y b) dan designaciones comprensibles del color como sigue:

a- mide rojo cuando es positivo, gris cuando es 0 y verde cuando es negativo.

b- mide amarillo cuando es positivo, gris cuando es 0 y azul cuando es negativo.

La relación entre el Hunter Lab y la escala CIE XYZ para los observadores Estándares CIE 1931 2° y 1964 10° es como sigue:

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_n}}$$
$$a = K_a \frac{\frac{X}{X_n} - \frac{Y}{Y_n}}{\sqrt{\frac{Y}{Y_n}}}$$
$$b = K_b \frac{\frac{Y}{Y_n} - \frac{Z}{Z_n}}{\sqrt{\frac{Y}{Y_n}}}$$

Donde X,Y,Z son los valores triestímulos CIE

X_n, Y_n, Z_n son los valores triestímulos de la iluminante estándar, según se especifica en ASTM E-308, con Y_n siempre igual a 100 (normalizada).

K_a y K_b son los coeficientes de cromaticidad para la iluminante usada.

La iluminante A representa luz incandescente con una temperatura de color 2854K. La iluminante C representa la luz de un cielo nublado con una temperatura de color correlacionada de 6770K, aproximadamente. Las iluminantes D65, D50, D60 y D75 representan luz del día con temperatura de color correlacionadas de aproximadamente 6500K, 5000K, 6000K y 7500K, respectivamente. La iluminante Fcw representa luz de una fuente Fluorescente blanca fría .TL84 y Ultralume son fluorescentes especiales. Las

iluminantes rotuladas “ASTM” siguen estrictamente las tablas ASTM. Las que no llevan este rótulo, son optimizadas por Hunter Lab para cada instrumento.

Como se muestra más abajo para una placa verde. Sin embargo, estas diferencias pueden amplificarse para índices de un solo número.

Lectura sencilla de una placa Verde en un UltraScan XE, modo LAV, Observador 10°						
Iluminante	X	Y	Z	L*	A*	B*
D65	20,20	26,03	21,42	58.07	-20,61	10.81
D65(ASTM)	20,21	26,02	21,44	58.06	-20.52	10.77

La **Escala CIE L*a*b* 1976** es recomendada por la comisión internacional de Iluminación, CIE. Es una versión simplificada de raíz cúbica del espacio de Adams-Nickerson, producido graficando las cantidades L* a* b* en coordenadas ortogonales.

La relación entre la Escala CIE L* a*b* y la Escala CIE XYZ para los observadores Estándares CIE 1931 2° y 1964 10° es como sigue

Si todos los valores de X/X_n , Y/Y_n y $Z/Z_n > 0.008856$, se usa la siguiente:

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n} - 16}$$

$$a^* = 500 \left(\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right)$$

Donde

L* = Luminosidad psicrométrica CIE 1976

a* = Eje Rojo (+) – verde (-)

b* = Eje Amarillo (+) - Azul (-)

INDICE DE AMARILLEZ

Visualmente, la amarillez se asocia con chamuscado, ensuciado y, en general la degradación de un material causada por la exposición a la luz o a productos químicos o durante el procesamiento. Los índices de amarillez se usan principalmente para medir estos tipos de degradación.

El índice de amarillez ASTM E313-98 se calcula como sigue:

$$YI_{E313-98} = \left(\frac{C_x X - C_z Z}{Y} \right)$$

Donde X, Y, Z son los valores triestímulos y los coeficientes dependen del observador, como se muestra en la tabla más abajo. El índice de Amarillez sólo puede calcularse para las iluminantes D65 y C. Si se usa otra Iluminante, la celda aparece vacía.

Coeficiente	C/2°	D ₆₅ /2°	C/10°	D ₆₅ /10°
C _x	1,2769	1,2985	1,2871	1,3013
C _y	1,0592	1,1335	1,0781	1,1498

El índice de amarillez YI ASTM D1925 es calculado por el Software Universal como sigue:

$$YI_{D1925} = \frac{100(1,274641506X - 1,057434092Z)}{Y} \quad \text{bajo condiciones C/2°}$$

La formula para el índice de amarillez YI aparece en ASTM D1925 como:

$$YI_{D1925} = \frac{100(1,28X_{CIE} - 1,06Z_{CIE})}{Y_{CIE}} \quad \text{bajo condiciones C/2°}$$

Los valores triestímulos del aire (para estimulantes CIE C y observador estándar de 2° 1931) son X=98.041 Y=100 Z=118,103. Usando estos valores, la fórmula ASTM da para el aire un índice YI= 0,303, debido a que los factores han sido truncados a 3 cifras significativas. Para llevar el índice de Amarillez del aire a 0, se han expandido ligeramente los multiplicadores constantes de Z_{CIE}.

Este método ASTM D1925 fue retirado en 1995, pero esta formula todavía proporciona información útil. Este índice siempre se calcula para C/2°, independientemente de la iluminante y del observador escogidos.

APÉNDICE VI

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K										Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500						
Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218											
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146											
						65	163	186	186												
Aleación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042												
Armero (99.75% puro)	7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4									
					215	384	490	574	680	975	609	654									
Berilio	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7									
Bismuto	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04													
					112	120	127														
Boro	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85										
					128	600	1463	1892	2160	2338											
Cadmio	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7													
Cinc	693	7140	389	116	41.8	117	118	111	103												
					297	367	402	436													
Circonio	2125	6570	278	22.7	12.4	33.2	25.2	21.6	20.7	21.6	23.7	26.0	28.8	33.0							
					205	264	300	322	342	362	344	344	344								
Cromo	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4							
					192	384	484	542	581	616	682	779	937								
Cobalto	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5								
					236	379	450	503	550	628	733	674									
Cobre puro	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339									
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	42	52	417	433	451	480										
					785	460	545														

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

$L/D^2 = A$

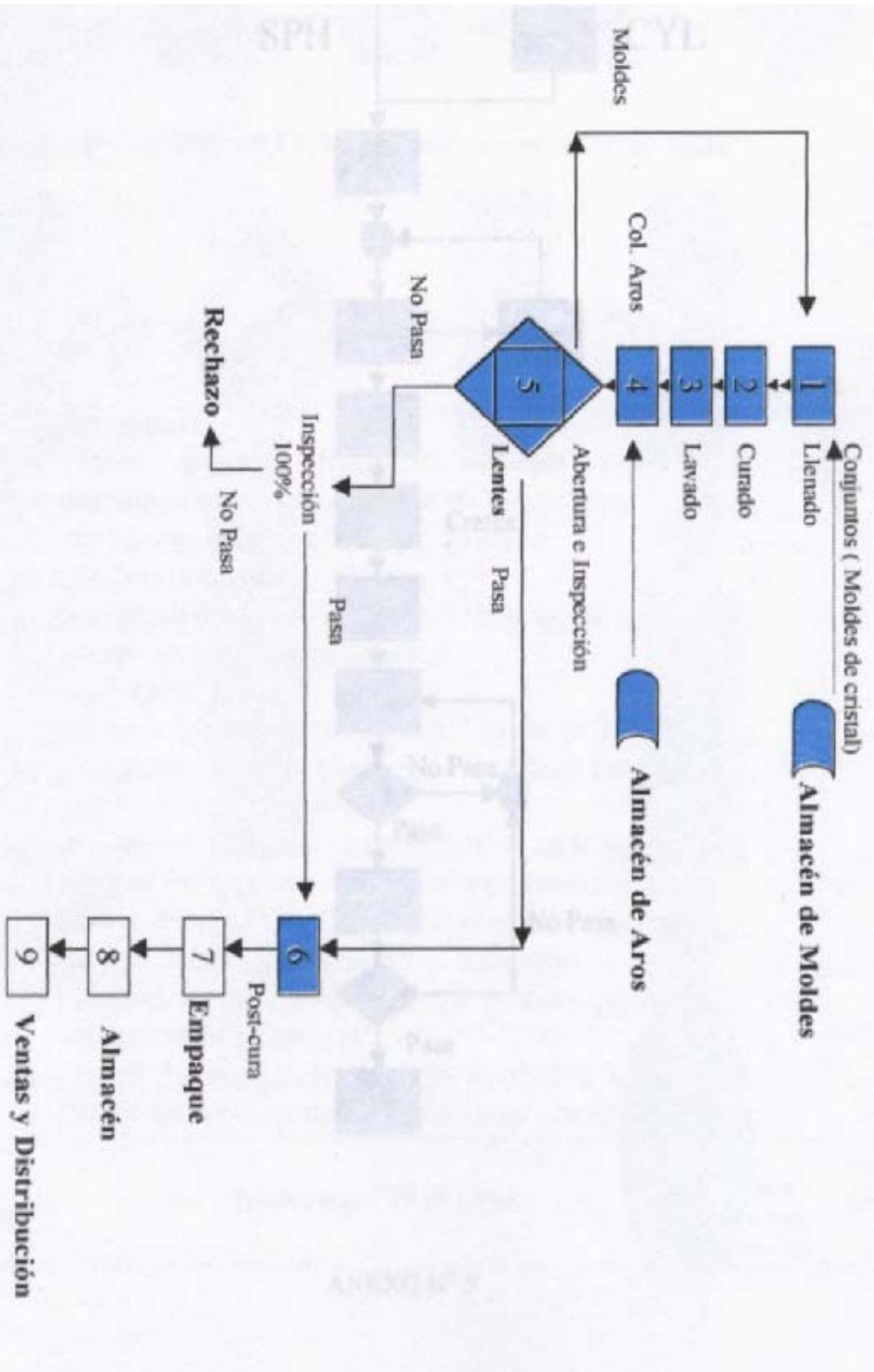
T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Amoniaco (NH₃)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

6 Propiedades termofísicas de agua saturada^a

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vaporización h_g (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad $\mu_f \cdot 10^6$ $\mu_g \cdot 10^6$ (N · s/m ²)	Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)	
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$		$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g				
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

ANEXO II

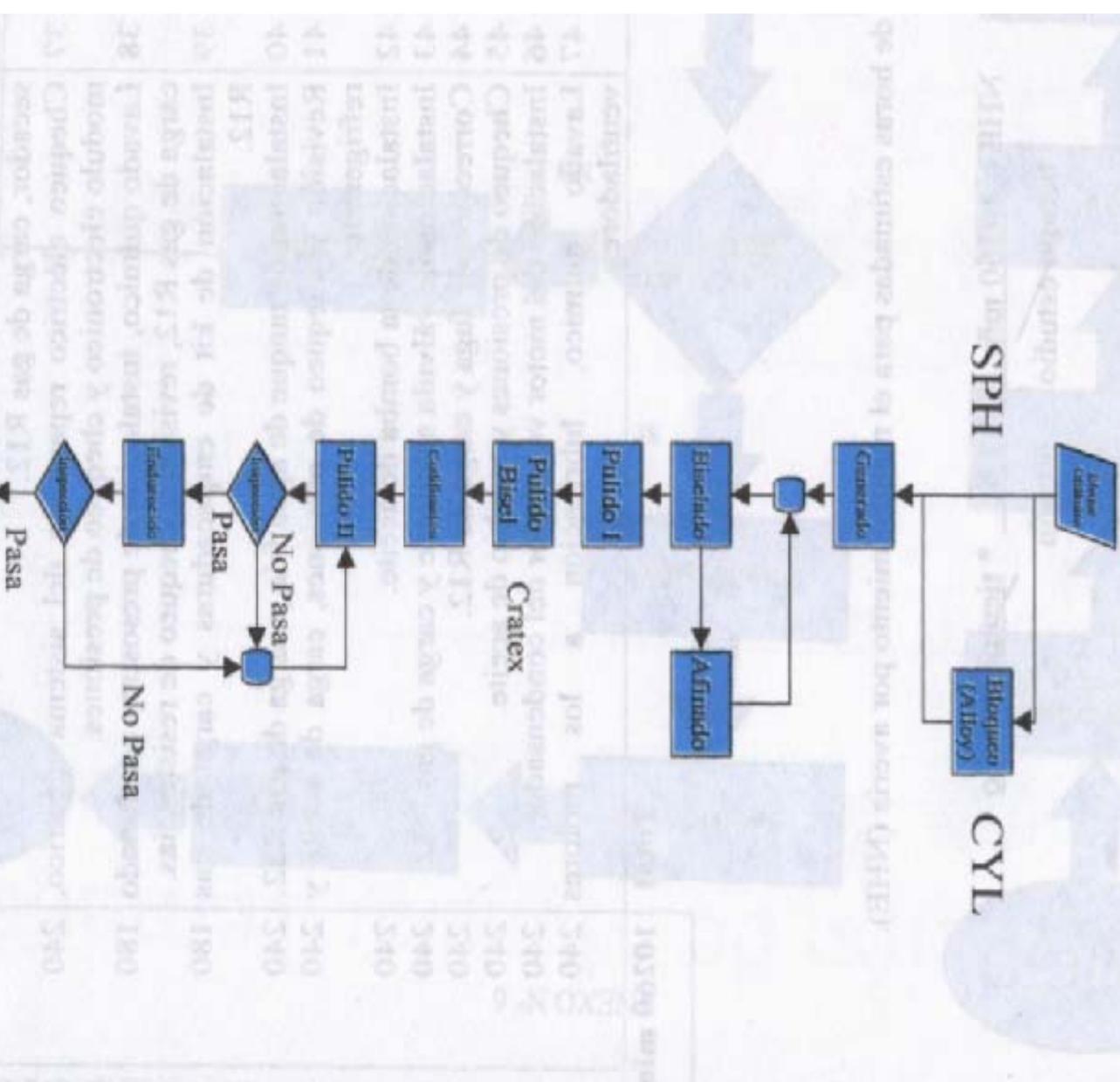
Diagrama de Flujo del proceso de fabricación de lentes orgánicos



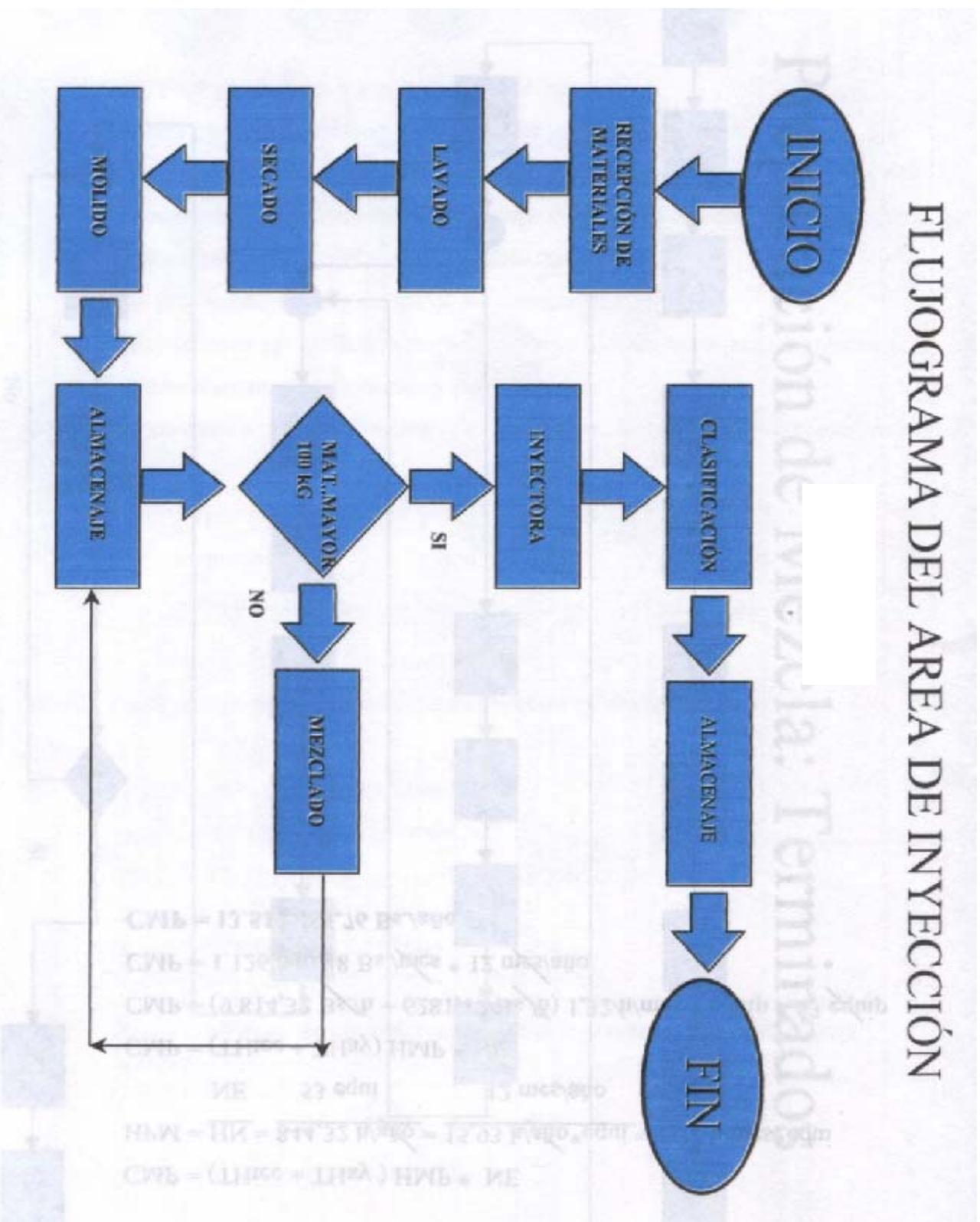
Fabricación de Moldes

SPH

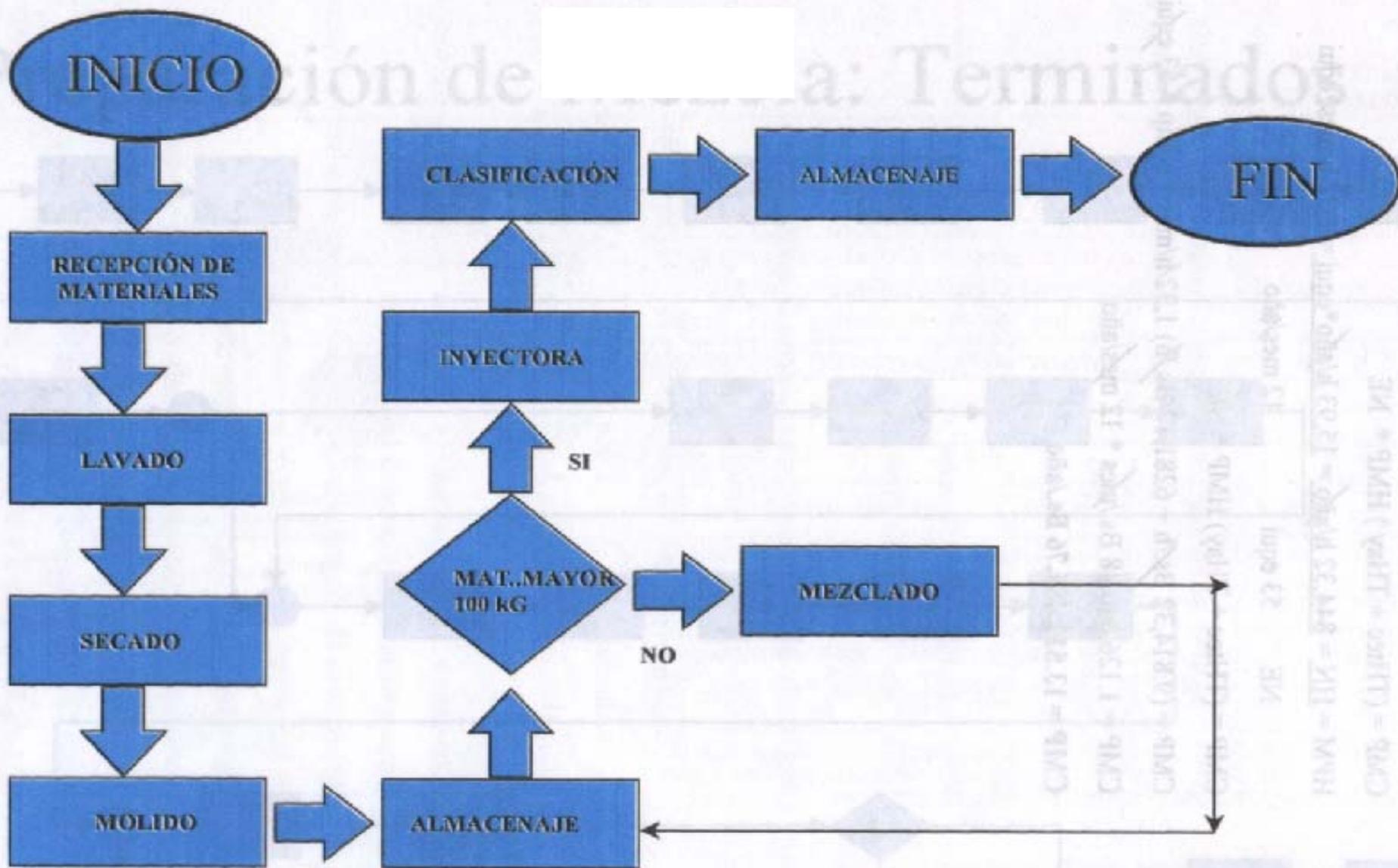
CYL



FLUJOGRAMA DEL AREA DE INYECCIÓN



FLUJOGRAMA DEL AREA DE INYECCIÓN



SOLA

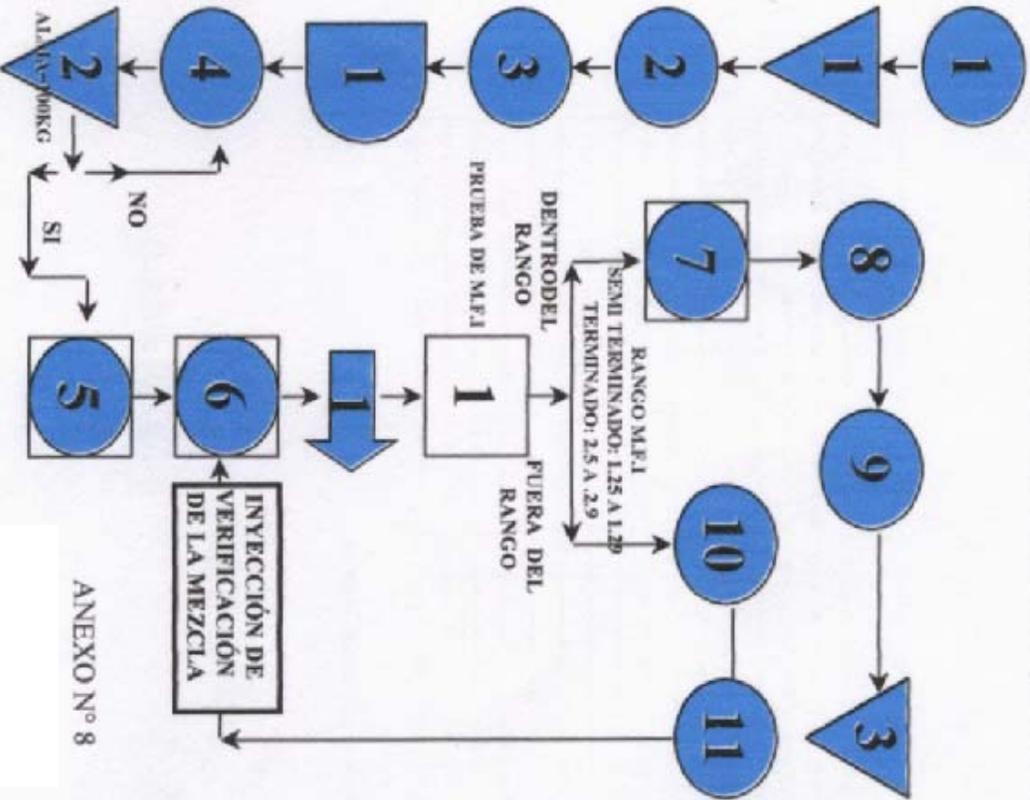
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE INYECCIÓN

GERENCIA TÉCNICA
ING JOSE MANUEL FERNANDEZ

RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAJE	DEMORA	INSPECCIÓN
CANT TOTAL DIST TOTAL TIEMPO TOTAL	11	1	3	1	3
					1 CONTROL CALIDAD

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- 1 RECEPCIÓN DE MATERIALES
- 2 ALMACENAMIENTO DE AROS RECICLADOS
- 3 LAVADO : TIEMPO SEMITERMINADO: 45, TIEMPO TERMINADO: 35 MIN
TEMPERATURA H20 : 80 °C
- 4 SECADO : TIEMPO 25 MINUTOS, TEMPERATURA: 40 °C
- 5 DEMORA : TIEMPO: 20 MINUTOS, MIENTRAS SE ENFRÍAN LOS AROS.
- 6 MOLIDO
- 7 ALMACENAMIENTO ES UN TAMBOR DE CAPACIDAD 100 KG.
- 8 CERNIDO SE TOMAN LOS GRANOS FINOS Y MEDIANOS
- 9 INYECCIÓN DE PRUEBA: SE CIERRA LA COMPUERTA DE LA TOL, VA DE LA INYECTORA Y SE ESPERA QUE SE ACABA TODO EL MATERIAL DEL CAÑON Y SE INTRODUCEN 1 8 KG DE MEZCLA, CON LA FINALIDAD DE INYECTAR 6 AROS, DE LOS CUALES SE TOMAN DOS PARA HACER LA PRUEBA DE M.F.I.
- 10 TRANSPORTA LOS DOS AROS A CONTROL DE CALIDAD.
- 11 PRUEBA DE MFI: LA REALIZA CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICA LA FLUIDES DEL MATERIAL EN LA MEZCLA. MFI.
SI LA PRUEBA ESTA DENTRO DEL RANGO CONTINUA EL PROCESO. (PASO 7)
SI LA PRUEBA ESTA FUERA DEL RANGO. SE VA AL PASO NUMERO 10
- 12 PESA UNA CANTIDAD DE MATERIAL VIRGEN DE ACUERDO A A LOS RE
13 SE MEZCLA VIRGEN CON LOS AROS Y SE PASA AL PASO 6 Y



ANEXO N° 8

Diagrama de Flujo de Semi-Terminado

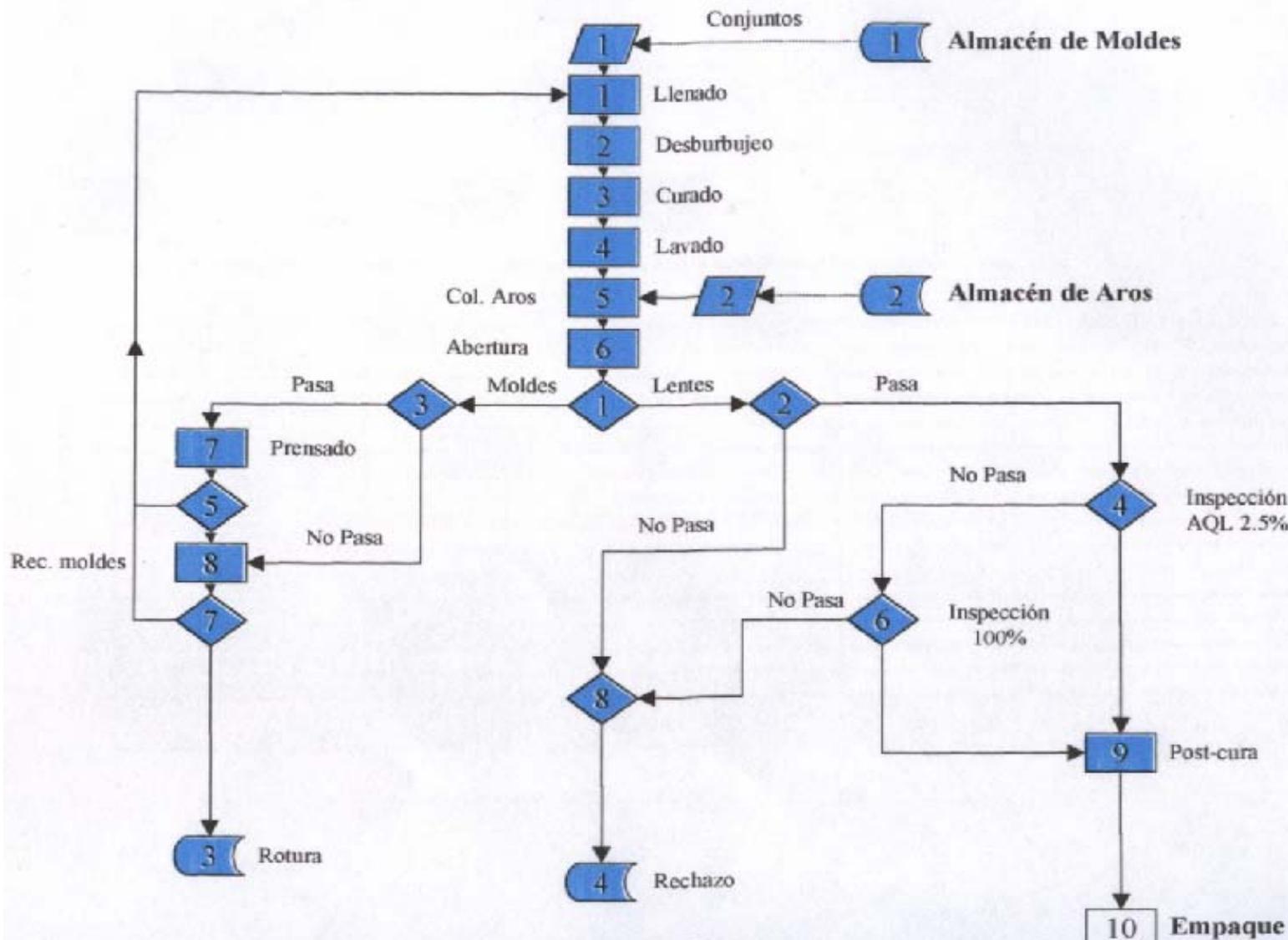
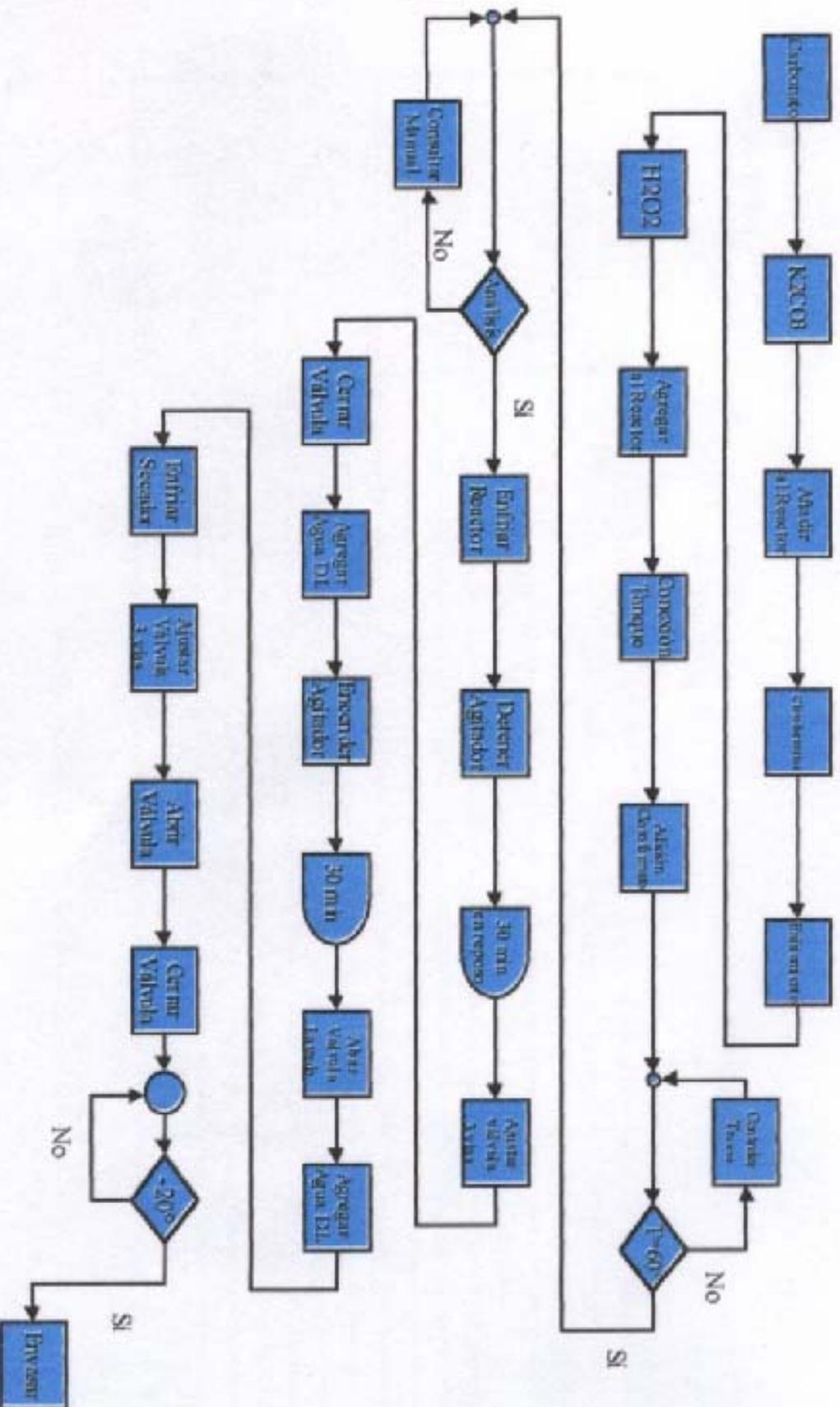
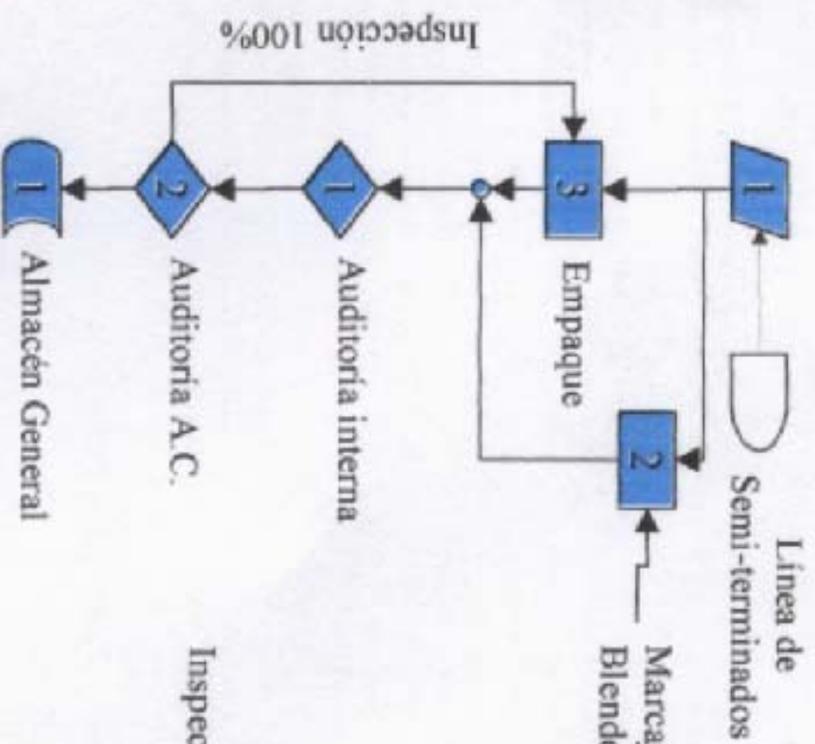


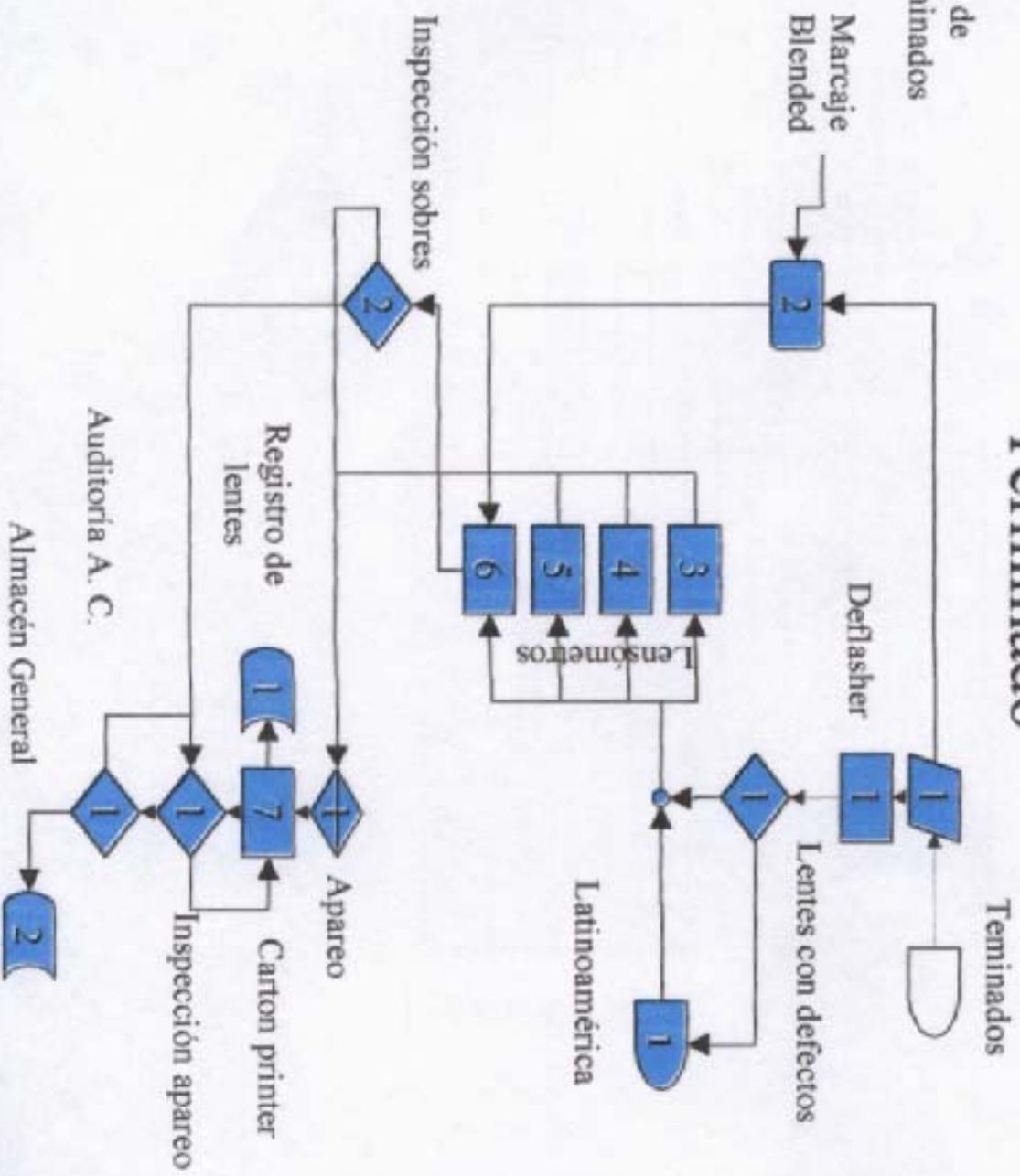
Diagrama de Flujo Planta SIP



Semi-Terminado



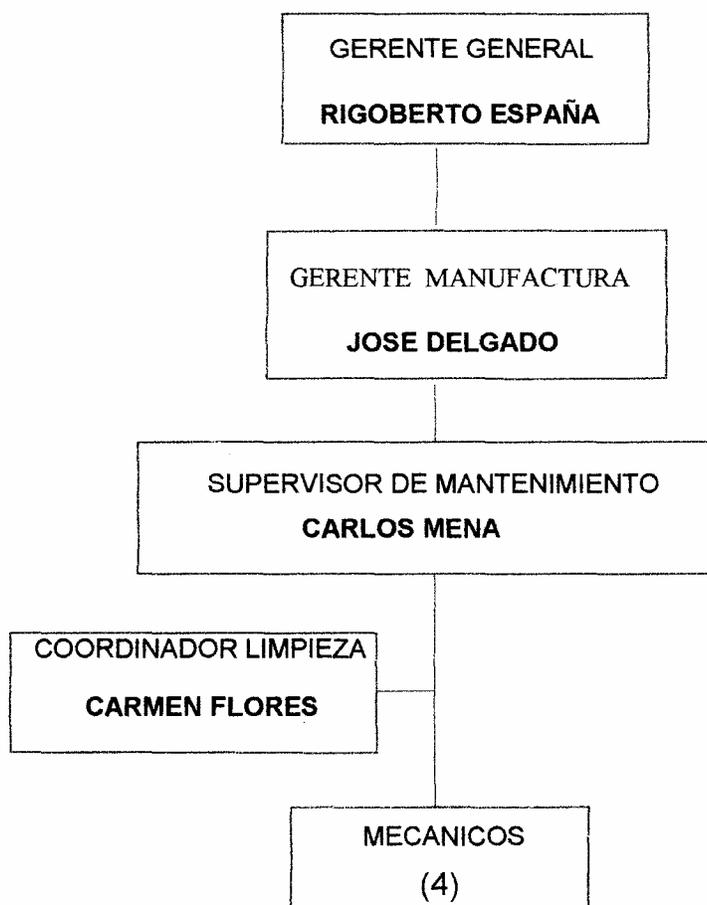
Terminado



ORGANIGRAMA MANTENIMIENTO

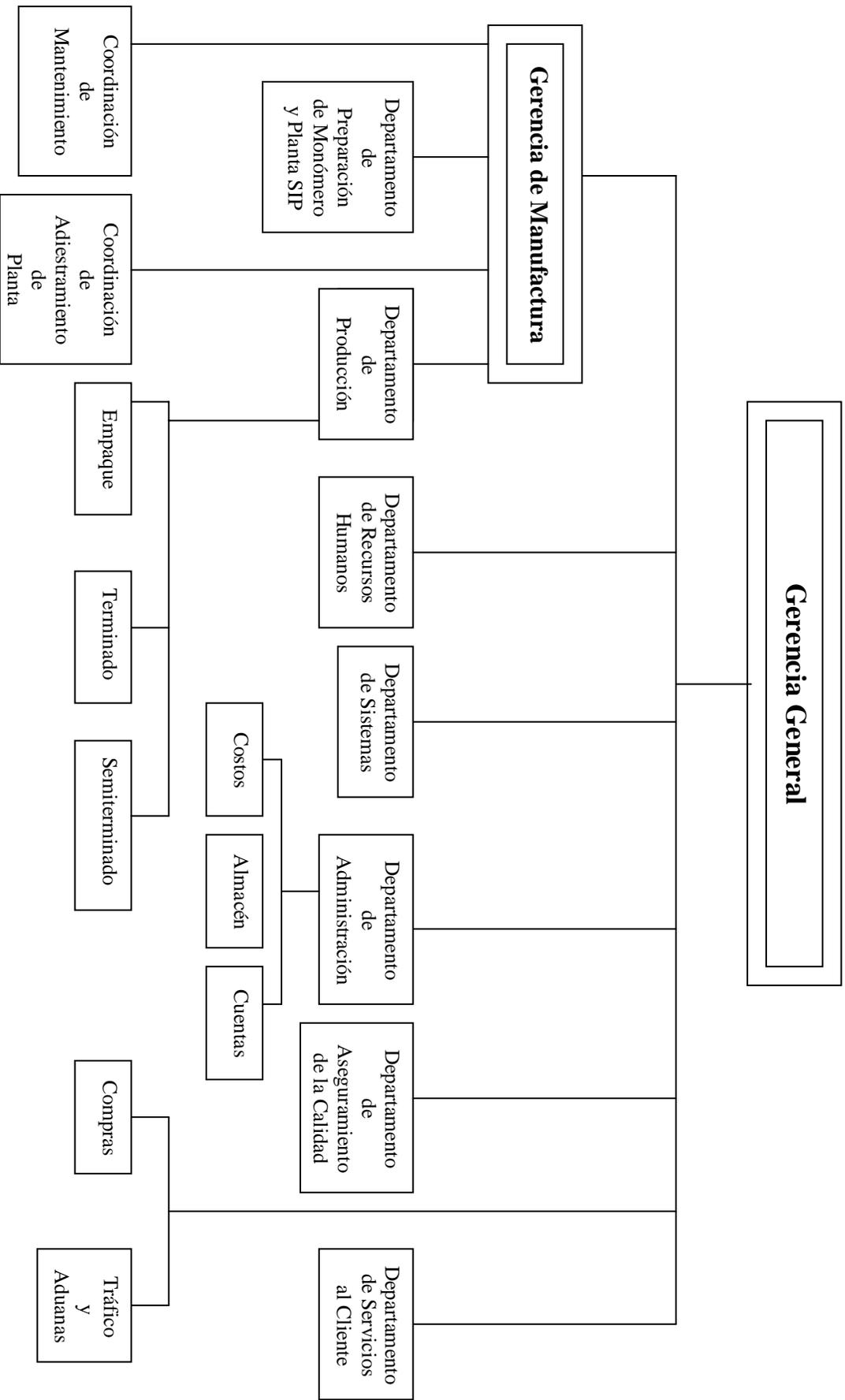


**SOLA
VENEZUELA**





ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DE LA INDUSTRIA SOLA VENEZUELA C.A.



Fuente: SOLA Venezuela Industria Óptica, C.A.

ANEXO III

PATRÓN 1 PRODUCTO TERMINADO STANDARD CURE PARA FLAT TOP

Paso	Hora	Duración Pas	Temp
0	00:00	00:00	40
1	00:00	00:15	40
2	00:15	00:15	40.5
3	00:30	00:15	41
4	00:45	00:15	41.5
5	01:00	00:15	42
6	01:15	00:15	42.5
7	01:30	00:15	43
8	01:45	00:15	43.5
9	02:00	00:15	44
10	02:15	00:15	44.5
11	02:30	00:15	45
12	02:45	00:15	45.5
13	03:00	00:15	46
14	03:15	00:15	46.5
15	03:30	00:15	47
16	03:45	00:15	47.5
17	04:00	00:15	48
18	04:15	00:15	48.2
19	04:30	00:15	48.5
20	04:45	00:15	48.8
21	05:00	00:15	49
22	05:15	00:15	49.2
23	05:30	00:15	49.5
24	05:45	00:15	49.8
25	06:00	00:15	50
26	06:15	00:15	50.1
27	06:30	00:15	50.3
28	06:45	00:15	50.5
29	07:00	00:15	50.6
30	07:15	00:15	50.8
31	07:30	00:15	51
32	07:45	00:15	51.2
33	08:00	00:15	51.3
34	08:15	00:15	51.5
35	08:30	00:15	51.7
36	08:45	00:15	51.9
37	09:00	00:15	52
38	09:15	00:15	52.2
39	09:30	00:15	52.5
40	09:45	00:15	52.8
41	10:00	00:15	53

Paso	Hora	Duración P	Temp
42	10:15	00:15	53.4
43	10:30	00:15	53.7
44	10:45	00:15	54
45	11:00	00:15	54.3
46	11:15	00:15	54.7
47	11:30	00:15	55.1
48	11:45	00:15	55.5
49	12:00	00:15	56
50	12:15	00:15	56.5
51	12:30	00:15	57
52	12:45	00:15	57.5
53	13:00	00:15	58
54	13:15	00:15	58.5
55	13:30	00:15	59
56	13:45	00:15	59.5
57	14:00	00:15	60
58	14:15	00:15	60.5
59	14:30	00:15	61
60	14:45	00:15	61.5
61	15:00	00:15	62
62	15:15	00:15	62.8
63	15:30	00:15	63.5
64	15:45	00:15	64.3
65	16:00	00:15	65
66	16:15	00:15	65.8
67	16:30	00:15	66.5
68	16:45	00:15	67.3
69	17:00	00:15	68
70	17:15	00:15	68.8
71	17:30	00:15	69.5
72	17:45	00:15	70.3
73	18:00	00:15	71
74	18:15	00:15	71.8
75	18:30	00:15	72.5
76	18:45	00:15	73.3
77	19:00	01:00	74
78	20:00	01:00	74
79	21:00	01:00	74
	22:00		

53,4

58

59

62
62,9

Fecha: 02/08/2000

PATRON 4

PRODUCTO SEMI TERMINADO

Paso	Hora	Duracion Paso	temp
0	00:00	00:00	25
1	00:00	00:15	25
2	00:15	00:15	30
3	00:30	00:15	36
4	00:45	01:00	39
5	01:45	01:00	42
6	02:45	01:00	42
7	03:45	02:00	42
8	05:45	00:15	42
9	06:00	00:45	43
10	06:45	00:15	43
11	07:00	00:45	44
12	07:45	00:15	44
13	08:00	00:45	45
14	08:45	00:15	45
15	09:00	00:30	46
16	09:30	00:15	46
17	09:45	00:15	47
18	10:00	00:30	48
19	10:30	00:15	48
20	10:45	00:15	49
21	11:00	00:45	50
22	11:45	00:15	50
23	12:00	00:15	51.5
24	12:15	00:15	53
25	12:30	00:15	53
26	12:45	00:15	54.5
27	13:00	00:30	56
28	13:30	00:15	56
29	13:45	00:15	57.5
30	14:00	00:15	59

Paso	Hora	uracion Pa	Temp
31	14:15	00:30	60
32	14:45	00:15	60
33	15:00	00:15	60.5
34	15:15	00:15	62
35	15:30	00:15	62
36	15:45	00:15	63.5
37	16:00	00:30	65
38	16:30	00:15	65
39	16:45	00:15	66
40	17:00	00:15	67
41	17:15	00:30	68
42	17:45	00:15	68
43	18:00	00:45	69
44	18:45	00:15	69
45	19:00	01:00	70
46	20:00	01:00	70
	21:00		

Fecha: 02/082000

PATRÓN 7 PRODUCTO TERMINADO FULL CURE

Paso	Hora	Duracion F	Temp
0	00:00	00:00	30
1	00:00	00:15	30
2	00:15	00:15	36
3	00:30	00:15	41
4	00:45	00:15	41
5	01:00	00:15	42
6	01:15	00:15	42
7	01:30	00:15	43
8	01:45	00:15	43
9	02:00	00:15	44
10	02:15	00:15	44
11	02:30	00:15	45
12	02:45	00:15	45
13	03:00	00:15	46
14	03:15	00:15	46
15	03:30	00:15	47
16	03:45	00:15	47
17	04:00	00:30	48
18	04:30	00:15	48
19	04:45	00:45	49
20	05:30	00:15	49
21	05:45	01:00	50
22	06:45	00:15	50
23	07:00	00:15	51
24	07:15	01:00	51
25	08:15	00:15	51
26	08:30	00:15	52
27	08:45	00:30	52
28	09:15	00:15	52
29	09:30	00:15	53
30	09:45	00:15	53

Paso	Hora	Duracion F	Temp
31	10:00	00:15	54
32	10:15	00:15	54
33	10:30	00:15	55
34	10:45	00:15	56
35	11:00	00:15	56
36	11:15	00:15	57
37	11:30	00:15	58
38	11:45	00:15	59
39	12:00	00:15	60
40	12:15	00:15	61
41	12:30	00:15	61
42	12:45	00:15	62
43	13:00	00:15	63
44	13:15	00:15	64
45	13:30	00:15	65
46	13:45	00:15	65
47	14:00	00:15	66
48	14:15	00:15	67
49	14:30	00:15	68
50	14:45	00:15	69
51	15:00	00:15	70
52	15:15	00:15	70
53	15:30	00:15	71
54	15:45	00:15	72
55	16:00	00:15	73
56	16:15	00:15	74
57	16:30	00:15	74
58	16:45	00:15	75
59	17:00	00:15	76
60	17:15	00:15	77
61	17:30	00:15	77
62	17:45	00:30	78
63	18:15	00:15	78
64	18:30	00:30	79
65	19:00	00:15	79
66	19:15	00:45	80
67	20:00	01:00	80
68	21:00	00:40	80
69	21:40	00:15	80
70	21:55	00:30	75
	22:25		

Fecha: 01/04/2001

PATRON 13 PRODUCTO SEMI TERMINADO CURVA IRLANDA

Paso	Hora	duracion Pas	Temp
0	00:00	00:00	42
1	00:00	00:15	42
2	00:15	01:00	42
3	01:15	01:00	42
4	02:15	01:00	42
5	03:15	01:00	42
6	04:15	00:15	42
7	04:30	00:15	42
8	04:45	00:15	42
9	05:00	00:15	43
10	05:15	00:15	43
11	05:30	00:15	43
12	05:45	00:15	43
13	06:00	00:15	44
14	06:15	00:15	44
15	06:30	00:15	44
16	06:45	00:15	44
17	07:00	00:15	45
18	07:15	00:15	45
19	07:30	00:15	45
20	07:45	00:15	45
21	08:00	00:15	46
22	08:15	00:15	46
23	08:30	00:15	47
24	08:45	00:15	47
25	09:00	00:15	48
26	09:15	00:15	48
27	09:30	00:15	49
28	09:45	00:15	49
29	10:00	00:15	50
30	10:15	00:15	50
31	10:30	00:15	51
32	10:45	00:15	51

Paso	Hora	duracion Pa	Temp
33	11:00	00:15	52
34	11:15	00:15	52
35	11:30	00:15	53
36	11:45	00:15	53
37	12:00	00:15	54
38	12:15	00:15	54
39	12:30	00:15	55
40	12:45	00:15	56
41	13:00	00:15	57
42	13:15	00:15	58
43	13:30	00:15	59
44	13:45	00:15	60
45	14:00	00:15	61
46	14:15	00:15	62
47	14:30	00:15	63
48	14:45	00:15	64
49	15:00	00:15	66
50	15:15	00:15	67
51	15:30	00:15	69
52	15:45	00:15	70
53	16:00	00:15	71
54	16:15	00:15	72
55	16:30	00:15	73
56	16:45	00:15	75
57	17:00	00:15	76
58	17:15	01:00	76
59	18:15	01:00	76
60	19:15	01:00	76
61	20:15	01:00	76
62	21:15	00:15	76
63	21:30	00:15	76
64	21:45		

ANEXO IV



Octubre 9, 2003

[Inicio](#) [Tarifas](#) [Contratistas](#) [Tu Factura](#) [Tu Contador](#) [Requisitos](#)
Servicios**Tarifas**

- [Buenas Noticias](#)
- [Avisos de Interés](#)
- [Nuestra Empresa](#)
- [¿Qué Hacemos?](#)
- [Atención al Cliente](#)
- [Servicios](#)
- [¿Sabías que?](#)
- [Consulte su Deuda](#)
- [Cuentas por Pagar](#)
- [Proyecto Reto](#)

	Aplicación	Detalles de Aplicación	Unidad	Gaceta Oficial N° 37.415 03/04/2002
001	Residencial Social	Primeros 200	Bs.	1.770,00
		Restantes	Bs./Kwh	71,24
002	Residencial General	Primeros 100	Bs.	2.622,00
		Siguientes 200	Bs./Kwh	79,78
		Siguientes 200	Bs./Kwh	89,52
		Restantes	Bs./Kwh	97,95
003	Residencial Alto Consumo	Con derecho a	Bs.	41,202,00
		500 Kwh Restantes	Bs./Kwh	111,16
004	Servicio General 1 DAC < 10 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	2.872,39
		Cargo Energía	Bs./Kwh	76,25
005	Servicio General 2 10 < DAC < 30 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	3.573,53
		Cargo Energía	Bs./Kwh	64,57
006	Servicio General 3 30 < DAC < 100 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	7.243,49
		Cargo Energía	Bs./Kwh	39,81
007	Servicio General 4 100 < DAC < 1000 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	5.392,49
		Cargo Energía	Bs./Kwh	37,14
008	Servicio General 5 1000 < DAC < 10000 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	4.582,65
		Cargo Energía	Bs./Kwh	35,15
009	Servicio General 6 DAC ≤ 10000 KVA	Cargo Demanda	Bs./KVA	2.149,58
		Cargo Energía	Bs./Kwh	28,36
		Cargo por Subestación	Bs./KVA	909,22
010	Alumbrado Público	Cargo Energía	Bs./Kwh	97,02
011	Bombeo y Riego	Cargo Demanda	Bs./hp	1.336,11
		Servicio Diurno	Bs./Kwh	60,43
		Servicio Nocturno	Bs./Kwh	34,23
012	Agropecuario	Cargo Demanda	Bs./KVA	1.336,11
		Cargo Energía	Bs./Kwh	51,47

ANEXO V

