

**DISEÑO DE UN HORNO PARA EL CURVADO DE VIDRIO PANORAMICO
PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

JULIO MOTTA BETANCOURT

GEOVANNI VALLEJO RAMIREZ



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERIA MECANICA

BOGOTA D.C.

2012

**DISEÑO DE UN HORNO PARA EL CURVADO DE VIDRIO PANORAMICO
PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

**JULIO MOTTA BETANCOURT
GEOVANNI VALLEJO RAMIREZ**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Tutor del Proyecto
Ing Hernando Vélez Sánchez Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGICA
INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.**

2012

TABLA DE CONTENIDO

0. RESUMEN	5
1. INTRODUCCION	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2.1.Estado del arte	7
2.2.Justificación.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1.General	13
3.2.Específicos.....	13
4. MARCO TEORICO	14
4.1.Transferencia de calor.....	14
4.1.1. Transferencia de calor por radiación térmica	14
4.1.2. Aislamiento térmico y barreras de radicación (placas térmicas)	15
4.1.3. Resistencia térmica	15
4.1.4. Dilatación térmica	16
4.1.5. Proceso de curvado.....	17
4.2. Horno eléctrico y sus partes.....	18
4.2.1. Hornos eléctricos	18
4.2.2. Resistencias	19
4.2.2.1. Material de las resistencias	20
4.3. Marco Conceptual	21
4.3.1. Justificación de la selección del horno eléctrico	21
4.4. Energía Eléctrica	22
5. SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL HORNO ELÉCTRICO	23
5.1. Estructura metálica	23
5.2. Aislantes térmicos	23
5.3. Resistencias electica	25
5.3.1. Kanthal	25

6. DISEÑO DEL HORNO ELECTRICO	27
6.1. Capacidad y dimensiones	27
6.2. Cálculos para el diseño del horno	28
7. COSTOS Y ANALISIS DE MERCADO	32
8. METODOLOGIA.....	34
8.1. Fase de documentación y observación	34
8.2. Fase de análisis	34
8.3. Fase de diseño y simulación	35
8.4. Fase de elaboración de producto final	35
9. CRONOGRAMA	37
10.PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION	38
11.CONCLUSIONES	40
12.BIBLIOGRAFIA	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de curvado del vidrio	17
Figura 2. Resistencia nominal	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de resistividad	20
Tabla 2. Coeficiente de expansión térmica	21
Tabla 3. Conductividad térmica	21
Tabla 4. Propiedades del Kantkal	30
Tabla 5. Presupuesto general del proyecto	38
Tabla 6. Costo de personal	38
Tabla 7. Costos generales asociados al proyecto	39
Tabla 8. Costos licencias, conexión y computador.....	39

0 RESUMEN

En este documento se encuentran las necesidades de una empresa del sector del vidrio de diseño y fabricación para desarrollar un horno para el curvado de vidrio plano con el propósito de cubrir una demanda específica en el mercado automotor, donde tendremos que revisar el comportamiento del vidrio sus diferentes propiedades mecánicas y térmicas para desarrollar a satisfacción los requerimientos de la empresa.

La elaboración del horno conlleva a buscar un desarrollo basado en una de las principales necesidades del cliente, en este caso, que su alimentación sea completamente eléctrica, con el propósito de tener un mayor control del proceso productivo para de esta forma ofrecer el producto según las necesidades del producto a desarrollar, para esto en el documento se encuentran los diferentes elementos principales que están relacionados con la fabricación de un horno eléctrico.

1 INTRODUCCION

La necesidad de satisfacer un mercado del vidrio laminado que en la actualidad no se satisface por completo de fabricación de vidrio laminado para vehículos carroceros, que se encuentran en constante crecimiento. Los nuevos desarrollos de vehículos de gran escala fabricados en los últimos años para satisfacer la demanda de producción generada por el volumen de pasajeros, a movilizar actualmente; así como las proyecciones de crecimiento del país en la comercialización de diferentes productos gracias a los beneficios arancelarios con que cuenta actualmente con varios países de la región, ha contribuido con la necesidad de ampliar el sector del mercado cubierto por Vitro, esto ha generado que la empresa de inicio a un proyecto de grandes dimensiones como lo es el desarrollo de un horno de carroceros que cubra con estas expectativas; por lo tanto:

La empresa ha solicitado el diseño para la posterior fabricación de un horno que cumpla con las especificaciones técnicas de dimensión y curvado del vidrio que permita el desarrollo de productos de gran formato donde se requiere que la alimentación del mismo sea eléctrico, con el objetivo que esto les permita un mayor control del proceso y las temperaturas que en su interior se desarrollan, fundamentales para el cumplimiento de las normas de calidad solicitadas por sus proveedores.

El equipo de trabajo se encuentra compuesto por un grupo multidisciplinario donde nuestra función será la elaboración del diseño del horno allí entre las actividades nos corresponden se incluye la recopilación de la información relacionada con la selección de los materiales, calculo, selección del diseño preliminar y planos correspondientes al horno eléctrico para curvar el vidrio; este grupo de trabajo también está compuesto de ingenieros, técnicos mecánicos y eléctricos, así como una empresa especializada en automatización que será la encargada de ejecutar esa parte del proyecto.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el crecimiento comercial del sector automotriz en el país y los nuevos desarrollos nacionales que se han generado en el transporte urbano, el sector autopartista ha tenido que encontrar la forma de satisfacer las necesidades que día a día se están creando, por este motivo la industria colombiana ha tenido que importar algunas piezas porque no cuenta con las herramientas o la infraestructura necesaria para desarrollarla. Por este motivo Vitro en vista de las oportunidades de crecimiento con la firma de tratados de libre comercio con diferentes países, la ubicación estratégica de Colombia como proveedor principal en la zona sudamericana de vehículos y el crecimiento del mercado de buses articulados, urbanos y camiones; ha tomado la decisión de suplir el mercado que no es abastecido por la empresa por esto decidió comenzar con el desarrollo de vidrios que hasta el momento las ensambladoras tenían que importar siendo este el motivo principal para desarrollo de un horno para curvar vidrio de grandes dimensiones.

Teniendo como uno de los principales objetivos el mercado nacional, pero de las misma forma el brasilero, otro de los importantes consumidores de este producto; Vitro opto por comenzar por el diseño y construcción en el país de un horno que le permita curvar vidrio con dimensiones hasta de 1.6 metros de largo, siendo este el segundo más grande en América latina; además permitiría no solo satisfacer el mercado nacional y sudamericano, sino que al mismo tiempo generaría quince puestos directos en la empresa.

2.1 ESTADO DEL ARTE

El documento contiene un resumen de todo lo investigado en el diseño y fabricación de hornos eléctricos teniendo en cuenta las características de los diferentes desarrollos, sus componentes y partes asociadas al desarrollo del mismo. Por lo observado la investigación efectuada hasta el momento tiene

centrada la investigación fundamentalmente en la automatización de procesos en los hornos y los relacionado con el campo de diseño del horno específicamente se ha dejado en la mayoría de casos al sector industrial. Sin embargo en algunos de los documentos se tiene muy presente la capacitancia térmica del kankal elemento indispensable en la fabricación de las resistencias de los hornos, también como lo señala Buelna “se puede calcular el valor de la resistencia necesario para el funcionamiento óptimo del horno, también se puede obtener un dato necesario que es la corriente con la que se alimentará el circuito eléctrico”¹. Son cálculos que en algunas oportunidades se dejan al final pero son sensibles para que los costos del diseño y el punto de equilibrio de la inversión sea lo más ajustado a la realidad.

En la actualidad una parte importante de la industria está relacionada con los procesos donde intervienen cambios físicos en las materias primas a través de los procesos térmicos, este es uno de los casos desarrollados en Colombia relacionados con la fabricación de hornos donde un grupo de investigadores desarrollaron el diseño de un horno eléctrico para producir recubrimientos metálicos utilizando la técnica de deposición por difusión termorreactiva. En este caso se elaboraron un horno que permitió por medio de altas temperaturas y recubrimientos de vanadio, una maquina cuyo rendimiento les permite producir recubrimientos mediante el uso de la termo reactiva deposición, difusión técnica que fue descrita como recubrimientos de Carburo de vanadio y niobio carburo estos se reprodujeron con éxito con el fin de evaluar el rendimiento del horno. En los baños que contienen ferroniobio o ferrovanadio, presentaron las capas de espesor regular. “En el primer baño, la capa se compone de NbC, con una dureza de 21809 ± 25 HV y un espesor de $10,75 \pm 0,4$ micras; mientras que en el

¹ BUELNA JACOBO, Víctor Hugo, ZUÑIGA VARGAS, Francisco Javier. Horno eléctrico para tratamiento térmicos, 2009 2 p. artículo. Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

segundo caso, la capa está formada por una medición de $2270,9 \pm 46$ HK de dureza y $11,93 \pm 0,3$ micras de espesor”.² (Castillejo, Marulanda & Rodríguez, 2011). A través del uso de este equipo y basado en el resultados obtenidos, las investigaciones futuras se llevarán a cabo a estudiar las propiedades de los recubrimientos, tales como la corrosión y resistencia al desgaste.

Durante el diseño y la elaboración del proyecto estos investigadores mencionaron la relación entre coeficiente de conductividad térmico con la importancia del área donde se irradian los flujos de calor.

Según Flores y Quinteros (2008, p. 16) la selección de los materiales pero específicamente que la estructura del mismo sea metálica influye demasiado en el tipo de contaminación que pueda incorporarse en el producto final: “El uso del horno metálico contrarresta en gran medida, la contaminación de los productos a la tierra. Ya que el procesos de pirolisis y carbonización se dan dentro del recinto aislado, herméticamente del medio ambiente, lo que hace posible tener mayor control de los subproductos de dichos procesos”.³ En el proceso de diseño y fabricación del horno para curvar vidrio la contaminación del producto final es un factor importante porque esta es una de las principales causas de producto defectivo en la industria del vidrio. Además con esto juega un papel muy importante el hecho que este sea eléctrico permite que en el proceso se pueda controlar las temperaturas internas, detectando de esta forma fallas en la estructura del material y así garantizar la calidad del producto final.

² CASTILLEJO, MARULANDA & RODRIGUEZ. Diseño de un horno eléctrico para producir recubrimientos de carburos metálicos utilizando la técnica de deposición por difusión termorreactiva. Medellín, 2011, 192 p. Tesis (Doctores en Ciencia y tecnología de materiales). Universidad Nacional de Medellín., Medellín, Colombia.

³ FLORES FLORES, Elías, QUINTEROS SEGOVIA, Hugo. Diseño de un Horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal., 2008 26 p. Tesis Ingeniería Mecánica. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” , Antiguo Cuscatlán, El Salvador

Además de la contaminación del producto, el desarrollo de un horno eléctrico se comporta amigablemente con el medio ambiente ya que este permite el control de la emisión de gases que generan otros tipos de hornos como los de gas, leña o carbón, con el control de la emisión de los gases evitamos las enfermedades respiratorias que generan tanto a los trabajadores como las personas que conviven en los alrededores de la fábrica. Aunque tiene una desventaja y son los altos costos de operación, pero tiene una ventaja importante y es que sus problemas de operación son limitados como lo indica Merino...“El proceso no es muy eficaz ya que el horno eléctrico utilizado implica un consumo de energía elevado, sin embargo, en servicio, presenta menos problemas de operación que otros tipos de hornos. Gracias a los avances en tecnología química, los nuevos hornos producen menos contaminantes y utilizan energía con más eficiencia que sus antecesores.”⁴

En la selección de los materiales también es importante tener en cuenta la resistencia térmica de las paredes, ancho, aislamiento térmico para evitar en primera instancia la pérdida de energía, incluso la importancia del uso de materiales refractarios y sus especificaciones con el propósito de prolongar la vida útil y de esta forma ampliar los ciclos de mantenimiento del horno, por los costos que se requieren para el arranque del mismo si observamos que en el arranque de un horno se requiere más energía que en sus ciclos normales de trabajo.

Hasta aquí hemos hablado de las ventajas de diseñar un horno eléctrico, pero es también importante observar los materiales que se utilizan en la fabricación del mismo y en este caso es muy importante el material de las resistencias siendo esta una de las piezas principales del horno, el desarrollo de hornos que hemos encontrado durante nuestra investigación siempre nos

⁴ MERINO del AMO, Nuria., Fabricación y caracterización de materiales compuestos de matriz metálica reforzados con nanofibras de carbono, 2010 9 p. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de ciencia de materiales, Madrid, España.

ha colocado frente a un material en común el Kanthal, debido a que sus costos son muy elevados se requiere un cálculo exacto de las especificaciones que requerimos de él. En este campo no existe mucha investigación al respecto más que la publicada por su principal proveedor mundial GLOBAR SD, quien nos ha facilitado una ficha técnica sobre los componentes de una resistencia, cada una de sus partes según el tipo de horno que se esté diseñando, allí el proveedor nos dice que la mayoría de los materiales que se instalan dentro de la cámara del horno deben ser cerámicos, porque estos materiales tiene poca tramitación de calor comparada con otros materiales que permiten un mejor desempeño del horno. También nos asesora la forma de instalación de resistencias y nos proporciona tablas de temperatura y porcentaje de resistencia del kanthal desarrollados por ellos, estos cálculos **no** pueden ser muy útiles en el momento de desarrollar la fabricación de **nos** las mismas que nos permite trabajar temperaturas hasta de 1260 grados Celsius, siendo esta superior a las que requiere para trabajo el diseño.

Dentro del diseño del horno y entre algunas de las partes importantes de un horno eléctrico, que permite el control preciso del manejo de la temperatura son los termopares diseñados para el control preciso de la temperatura tanto en el horno como en las cabinas de enfriamiento como lo referencio Barreras...” En los laterales del recinto hay unas ventanas de ventilación... Homogéneamente distribuidos sobre la pieza, 20 termopares se encargan de medir su temperatura superficial. Además otros 7 sensores situados uno en cada zona del horno ofrecen su temperatura interior en cada momento”⁵. Esto nos indica algunas partes que no deben faltar en el diseño para un buen desempeño.

⁵ BARRERAS CARRACEDO, Marta GARCIA SANZ, Mario. Modelado y simulación de un horno eléctrico industrial de 1MW de potencia., 2010 2 p. Artículo. Departamento de automática y computación, Universidad Pública de Navarra ,Pamplona, España.

2.2 Justificación

Son factores importantes de la actualidad en el mundo productivo el tiempo, el dinero y la calidad junto con el buen servicio de los productos que se fabriquen. Debido a la alta competitividad se vuelve prescindible el combinar tiempos como también garantizar los altos estándares de calidad que día a día exige el mercado y ante todo el automotriz que es uno de los más exigentes del mundo actual. De los factores que más influyen es la seguridad y el desempeño de los productos por consiguiente cada parte de un vehículo se encuentra sometida a exigentes pruebas para evaluar sus características específicas.

Vitro es uno de los principales proveedores del sector automotriz principalmente ensambladoras que tienen los más altos criterios de calidad. Para evaluar estos productos es necesario cumplir con las exigentes pruebas relacionadas en normas que rigen el mercado a nivel nacional e internacional. La empresa cuenta con el único laboratorio certificado en Latinoamérica esto hace que cada producto hable por si mismo de la empresa en cada rincón donde se comercializan sus productos; por este motivo son ellos mismos quienes han dado un voto de confianza a su grupo de trabajo para la elaboración de un horno que suplirá el mercado nacional con un estudio del mismo teniendo proyectado un punto de equilibrio en un plazo de dos años.

Lo anterior, tendría un impacto positivo en cuanto a calidad, cantidad y ante todo tamaño de los vidrios que se producirán con este horno que sería el segundo más grande de América Latina. Esto tendría como resultado un aporte a la creación de nuevos puestos de trabajo no solo en la planta de producción sino todos los empleos indirectos que se generan con la producción nacional de un producto que en el momento se está importando de Europa.

3 OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar un horno de curvado de vidrio laminado para la producción de vidrio en grandes formatos que cumpla con las especificaciones requeridas por de las empresas del sector automotriz en este caso puntualmente al sector carroceros más conocido como buses y camiones.

3.2 Específicos

- Describir el proceso actual de curvado de vidrio, teniendo en cuenta criterios de: funcionalidad, funcionamiento, operatividad, herramientas y demás normas relacionadas con el curvado del vidrio para de esta forma desarrollar un diseño que cumpla las expectativas de la empresa.
- Realizar el diseño conceptual y preliminar, para establecer los parámetros finales de diseño.
- Efectuar el diseño detallado del conjunto y cada una de las partes del horno con ayuda de un programa de diseño teniendo en cuenta que el diseño estará sujeto a la parte mecánica y eléctrica.
- Fabricar el horno realizando los ajustes y puesta a punto del horno teniendo en cuenta los parámetros entregados por el área interesada, para cumplir los criterios requeridos por la empresa.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Transferencia de calor

Según Kern: *“La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor”*⁶ (p. 14). Es decir el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

4.1.1 Transferencia de calor por radiación térmica

Uno de los fenómenos que se presentan en el interior de un horno y su cálculo es esencial en el momento de conocer la cantidad de calor que necesitamos sea emitido en este caso el interior del horno es la transferencia de calor por radiación según Holman: *“En contraposición a los mecanismos de la conducción y convección, donde la transferencia de energía involucra un medio material, el calor puede también transferirse a través de zonas en las que exista un vacío perfecto. En este caso el mecanismo de radiación electromagnética. Se limitara el análisis a la radiación electromagnética que se propaga como resultado de una diferencia de temperaturas”*.⁷ (p. 10). Donde afirma que un radiador térmico ideal o cuerpo negro emitirá energía

⁶ KERN, Donald Q. (1999). Procesos de transferencia de calor. (31ª Ed). México: Compañía Editorial Continental S.A.

⁷ HOLMAN, J. P., (1998). Transferencia de calor. (8ª Ed). España: Editorial McGraw-Hill.

de forma proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo y directamente proporcional al área de su superficie; para esto cita la siguiente ecuación.

$$q_{emitido} = \sigma A T^4$$

4.1.2 Aislamiento térmico y barreras de radiación (placas térmicas)

Según Cengel: “Los aislantes térmicos son materiales o combinaciones de materiales que se usan principalmente para suministrar resistencia al flujo de calor”⁸ (p.395) específicamente diseñados para reducir el flujo de calor limitando la conducción, convección o ambos. Las barreras de radiación, son materiales que reflejan la radiación, reduciendo así el flujo de calor de fuentes de radiación térmica. Los buenos aislantes no son necesariamente buenas barreras de radiación, y viceversa. Los metales, por ejemplo, son excelentes reflectores pero muy malos aislantes.

La efectividad de un aislante está indicado por su resistencia (R). La resistencia de un material es el inverso del coeficiente de conductividad térmica (k) multiplicado por el grosor (d) del aislante. Las unidades para la resistencia son en el Sistema Internacional: (K•m²/W).

$$R = \frac{d}{k}; C = \frac{Q}{m\Delta T}$$

4.1.3 Resistencia Térmica

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica. Pero según Cengel: “la resistencia térmica de la pared en contra de la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de una pared... la

⁸ CENGEL, Yunus A., (2003). Transferencia de calor. (2ª Ed). México: Editorial McGraw-Hill.

*resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio...*⁹ (p. 129)

La resistencia térmica total R_t es la inversa del coeficiente de transmisión de calor de un elemento, que es la suma de las resistencias térmicas superficiales y la resistencia térmica del elemento constructivo. Se verifica que:

$$R_t = \frac{1}{K} = R_{S_e} + R_{S_i} + R$$

La resistencia térmica R de una capa homogénea de material sólido, en metro cuadrado por kelvin y por vatio, viene dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donde e es el espesor de la capa (m) y λ (lambda) la conductividad térmica del material, $W/(K \cdot m)$.

4.1.4 Dilatación térmica

Cuando un cuerpo es sometido a cambios de temperatura o esfuerzos térmicos tiende a cambiar sus dimensiones, en el diseño de una máquina que va a estar sometida a cambios es necesario calcularlo. Según Gere: *“los cambios de temperatura producen dilatación o contracción de los materiales estructurales, causando deformaciones térmicas y esfuerzos térmicos.”* (p.93)¹⁰. El horno que se va a diseñar al poseer una estructura tan grande y ser sometido a cambios fuertes de temperatura calcular la dilatación térmica se vuelve primordial.

⁹ CENGEL, Yunus A., (2003). Transferencia de calor. (2ª Ed). México: Editorial McGraw-Hill.

¹⁰ GERE, James M., (2006). Mecánica de materiales. (6ª Ed). México: Editorial Thomson

4.1.5 Proceso de curvado

El proceso de curvado que se desarrollara en este horno es por medio de una matriz en hierro con todas su superficies con acabados sin filos para evitar que en el contacto con el mismo y en el momento que el vidrio adentro del horno llegue a la zona plástica y comience a tomar la forma de ella no tome una figura con puntas agudas que puedan generar esfuerzos que faciliten el rompimiento del vidrio, como se puede observar en la *figura a* en ella descansa el vidrio plano descansando el cristal sobre ella, en el momento que se encuentra la matriz en el horno y con las condiciones de temperatura adecuadas esto ocurre a temperatura de 575 grados Celsius allí en la zona plástica del vidrio comienza su proceso de curvado por gravedad donde se requiere una mayor curvatura en alguna de las zonas más que en otras el gradiente de temperatura se aumenta hasta que esta tome la curvatura deseada como lo podemos observar en la *figura b*; después se procede a dejar enfriar de forma controlada para de esta manera evitar el templado del cristal y liberando las tensiones con un enfriamiento lento que varía según características como el espesor y el tamaño del vidrio *figura c*; para obtener finalmente un vidrio óptimo para un posterior proceso de laminado. Este proceso se realiza con dos láminas de vidrio separadas con una pequeña película de talco de yeso, que tiene como función el que las piezas sean idénticas para que no surjan problemas de ensamble al adicionar la película de polivinil.



Figura 1: Proceso del curvado del vidrio

Los vidrios curvados y posteriormente laminados son elementos que se encuentran en la parte frontal de los vehículos, no solamente por los costos ya que un vidrio de seguridad laminado es más costoso que uno de seguridad templado, más específicamente por la lámina que funciona como adhesivo entre las dos láminas de vidrio llamado comúnmente el Polivinil Butiral PVB, que mejora las propiedades mecánicas del material y es allí donde se concentra la mayor parte del valor agregado del producto ya que tiene una resistencia mecánica al impacto hasta de 5 veces la del vidrio normal. Estos permiten que en caso de accidente en un vehículo a alta velocidad, la persona no logre salir impulsada por el parabrisas debido a la inercia del piloto o copiloto del vehículo, un importante proceso del vidrio en el momento de ser curvado es el tiempo de enfriado porque este da la resistencia mecánica final al vidrio en caso de que fuese rápido su comportamiento sería como el de un vidrio templado, por esto es importante al diseñar el horno que la zona de enfriamiento permita que los ciclos sean lentos para seguir cumpliendo las normas de calidad identifican los vidrios de Vitro.

4.2 Hornos y sus partes eléctricos

4.2.1 Hornos eléctricos

En la investigación, se encuentra que “El proceso de recocido es utilizado para liberar las tensiones internas del material que causa una extrema fragilidad del producto, que se producen debido al rápido e irregular enfriamiento de la pieza de vidrio durante la operación de formado¹¹”.

Sin embargo Cuenca¹², sustenta que la frecuencia del calentamiento influye directamente en el calentamiento interno o superficial de una pieza “en nuestro caso el vidrio” a altas temperaturas se produce un calentamiento

¹¹ LORA FIGUEROA Edgar & MERIÑO STAND Lourdes., Ahorro de energía en la industria del vidrio. 2009. p.15

¹² CUENCA ALBA, Mariano: Pre estudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción. 2004 p.25

superficial; mientras que si lo que buscamos es un calentamiento interno se deben trabajar a frecuencias mas bajas, esto se debe al momento en que superamos la zona plástica del vidrio y después de moldearlo según nuestras necesidades es muy importante un enfriamiento lento para que la liberación de las tensiones sea uniforme evitando que en algunas partes pueda en cambios bruscos de temperatura afectar las propiedades físicas del vidrio y en vez de obtener un curvado obtengamos un vidrio templado lo que nos modificaría el producto final que estamos buscando.

4.2.2 Resistencias

Una de las partes primordiales de los hornos son las resistencias, por lo general estas se encuentran diseñadas en las misma forma espiral para aprovechar el espacio y de esta forma garantizar el suministro de la energía suficiente en el interior del horno.

Es importante además tener en cuenta las temperaturas que necesitamos para trabajar el vidrio que son de 1000 a 1100 grados Celsius los que necesitamos para que por medio de radiación obtengamos los resultados del proceso esperado; a esto Buelna comenta como norma técnica lo siguiente “Como norma general y guía hemos de decir que en hornos para temperaturas de 1000° a 1100°, con una capacidad de 0,25 a 1 m², tienen una duración de caldeo de 7 a 12 horas. Para temperaturas mayores hasta 1450 ° C se emplea la silita o similares (carburo de silicio)¹³”. El junto con otro grupo de investigadores para llegar a esta conclusión fue necesario investigar el funcionamiento de hornos para procesar vidrio, de la misma manera que fue necesario por parte de estos investigar los materiales de los que se encuentran hechos estas piezas por lo general son de fibras cerámicas y se fabrican en forma de bloques o tablas. La característica

¹³ BUELNA JACOBO Victor Hugo: HORNO ELECTRICO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS, 2009 p. 28. Jalisco, Mexico

principal de estos materiales es la resistencia a las altas temperaturas en operaciones con hasta 1538 grados centígrados.

4.2.2.1 Material de las resistencias

Una de las principales y tal vez el más importante en el momento de fabricar un horno es la selección del material que pueda transmitir las cantidades necesarias de calor para conseguir el objetivo de procesar el vidrio, por lo tanto este debe responder a largos ciclos de mantenimiento y su periodo de vida de la misma forma debe ser largo.

Sobre esto existen algunos comerciales y otros no entre los no comerciales se encontraron según lo cito Buelna como material para la elaboración de las resistencias “para hornos de alta temperatura llamado NICROMO el cual es una aleación de níquel”¹⁴. Por ser poco comercial no es muy grande la fuente de esta información pero existe en el mercado otro producto que cubre en su mayor porcentaje este mercado a nivel nacional aunque su producción es europea; este es el llamado Kantal que en varias referencias permite cubrir las características para este proceso sus propiedades son las siguientes.

Factor temperatura de la resistividad														
Temperatura °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Ct	1	1	1	1	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05

Tabla 1: Factor de resistividad

¹⁴ BUELNA JACOBO Victor Hugo: HORNO ELECTRICO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS, 2009 p. 28. Jalisco, Mexico

Coeficiente de expansión térmica	
Temperatura °C	La expansión térmica x 10⁻⁶ /K
20 a 250	11
20 a 500	12
20 a 750	14
20 a 1000	15
20 a 1200	16
20 a 1400	16

Tabla 2: Coeficiente Expansión térmica

Conductividad térmica						
Temperatura °C	50	600	800	1000	1200	1400
Wm⁻¹ K⁻¹	11	20	24	26	27	35

Tabla 3: Conductividad térmica Fuente: <http://www.kanthal.com>

4.3 MARCO CONCEPTUAL

4.3.1 JUSTIFICACION DE LA SELECCIÓN DEL HORNO ELECTRICO

En los procesos de manufactura y más exactamente en la los procesos que tiene que ver con modificaciones al vidrio, siempre ha sido en la actualidad preferidos los hornos eléctricos en la industria automotriz; aunque su consumo de energía por vidrio manufacturado es más costoso también es cierto que los porcentajes de pérdidas por contaminación son mínimos comparados con otro tipo de hornos debido a que la combustión del mismo no genera ningún tipo de polución; el diseño de este tipo de horno no requiere mucha experiencia por parte del operario debido a que por la forma de su tablero de control permite controlar cada uno de las resistencias en forma manual y con la capacitación por parte del ingeniero de procesos, adquirirá la destreza necesaria para su correcta manipulación.

El horno consta de dos vagones metálicos móviles compuestos en su interior de placas térmicas colocadas en las paredes para evitar las pérdidas de

calor, en la base de su interior se encuentra un soporte que tiene una matriz que se desliza mediante un móvil para de esta forma apoyar el vidrio; cuando el vagón ingresa al interior del horno se calientan las resistencias produciendo por radiación el calentamiento de su interior.

En el proceso de enfriamiento se los vagones se desplazan a los extremos del horno y tiene en la parte superior unas compuertas que permiten el enfriamiento lento de la cámara que contiene el vidrio para evitar el temple del mismo; como este horno tiene un proceso de calentamiento eléctrico no genera gases tóxicos que afecten la salud del operario encargado y también se minimiza las posibilidades de accidentes gracias a que su manipulación es mínima.

El diseño del horno permite que trabaje las 24 horas del día durante todo el año, preferiblemente para hacerlo un horno rentable; aunque debido a que reiniciar el horno y poner su puesta a punto es costoso se recomienda tener ciclos de trabajo de veinticuatro horas por varios días a la semana para mejorar los costos de producción.

4.4 ENERGIA ELECTRICA

La energía eléctrica aunque es uno de los generadores de energía más costosos, tiene una ventaja importante comparado con los demás medios de combustión en los procesos de manufactura del vidrio; por ser un combustible limpio no genera contaminación en el producto final; además nos permite con la potencia indicada obtener las temperaturas necesarias y de la misma forma controlar la temperatura interna del horno que en este caso necesitamos que se establezca por encima de los seiscientos grados celsius.

5 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA FABRICACION DEL HORNO ELECTRICO

5.1 ESTRUCTURA METALICA

Para el cuerpo estructural se dividirá en dos grupos, el horno con las cabinas de desfogue y en el otro los vagones móviles del horno.

El primero correspondiente al horno con las cabinas de desfogue tiene una estructura en perfiles y ángulos de acero en perfiles I estos formaran la caparazón principal que está cubierta por láminas de acero inoxidable calibre 10 que cuentan con un espesor de 0.00343m de espesor; algunos puntos como las uniones de los perfiles I se utiliza soldadura pero en la mayoría del horno se utilizaron uniones con tornillos debido que cuando el horno se encuentra en el proceso de enfriamiento y calentamiento el tiende a dilatarse y encogerse; si este estuviera solamente soldado, debido a las altas temperaturas que requiere para trabajar, se desbarataría después de algunos ciclos de calentamiento.

5.2 AISLANTES TERMICOS

Los vagones móviles del horno tanto como la parte de calentamiento del horno cuenta con dos tipos de aislantes térmicos diferentes para conservar el calor al interior de las cabinas de calentamiento; estos tiene como característica principal que permiten una mayor eficiencia de la maquina gracias a que las pérdidas de calor con esto dos materiales son mínimas en el caso del primero porque el calor es reflejado lo que permite que funcione con un efecto de espejo como lo es los bloques rígidos siendo estos bloques compuestos en icopor de alta densidad y cubiertos por una capa exterior de tela de fibra de vidrio; tiene entre otras ventajas que son muy limpio en su uso y esto es un punto importante para la producción de vidrio sin contaminación, por su bajo peso los soportes de anclaje que necesitan son muy pequeños y ligeros lo que le permite una mayor eficiencia y menos

perdida de calor durante la operación del horno principalmente porque es la primera capa interna del horno.

La **segunda** **la las** capas de aislamiento térmico es la manta térmica cerámica entre las características principales se encuentran que tiene una resistencia al calor hasta cinco veces mejor que la de un bloque refractario; es decir que si los bloques rígidos tiene como función principal reflejar el calor, la función principal de la manta térmica es evitar que la temperatura interior del horno se escape hacia las paredes y de esta forma tener pérdidas importantes de calor. Además las mantas térmicas tienen otras características que las hacen fundamentales para hacer parte de los aislantes térmicos, como lo son la baja conductividad térmica, posee una alta resistencia a choques térmicos y la alta tensión; permite fácilmente hacer cambio de las piezas cuando estas se encuentran deterioradas por el uso, es decir que facilita los tiempos de mantenimiento, no posee asbesto que es uno de los materiales cancerígenos que más se han utilizado últimamente en la elaboración de estas máquinas y ante todo es importante relacionándolo con la seguridad industrial del operario. Se puede utilizar para temperaturas entre los mil y los mil cuatrocientos **ochenta** **idos** grados Celsius.

Además de **estas propiedades** **ochenta y dos** resaltan que tiene una gran resistencia mecánica por este motivo no se desmorona cuando se encuentra sometido a vibraciones; puede ser mecanizado sin llegar a perder sus propiedades térmicas o acústicas; es incombustible, anticorrosiva, no expele ni retiene olores, no es un medio propicio para la aparición de hongos; posee una densidad nominal de 5 lbs/pie³ que le permite tener una excelente resistencia térmica, acústica y mecánica.

5.3 RESISTENCIAS ELECTRICAS

5.3.1 KANTHAL

Las resistencias eléctricas están compuestas por dos piezas principales como lo son el Kanthal que es un material compuesto de carburo de silicio alfa recristalizado, diseñado para conseguir el máximo rendimiento en la fabricación de hornos y máquinas que tengan que ver con manejo de altas temperaturas, el Kanthal se utiliza en la industria para generar temperaturas que van desde los 600° hasta los 1600° grados Celsius, estas se generan de la misma forma en el aire como en atmósferas controladas; aunque según la ficha técnica del fabricante es el tipo de atmósfera lo que determina la temperatura recomendada para cada elemento, este material facilita la elaboración de resistencias en forma horizontal y vertical debido a que su composición es similar a la de un material metálico por tener consistencia rígida, en algunos casos por esta misma consistencia no requiere en algunos casos soportes especiales.

El Kanthal tiene también como característica que admite una carga eléctrica considerable aun superior a la que soportan los materiales metálicos, siendo otra de sus ventajas que tiene un rendimiento muy superior sobre los metales tanto en procesos continuos como en procesos intermitentes. Esto permite que **le costó** en la construcción de hornos sea ventajoso para el fabricante, permite hacer cambios durante su uso gracias a que durante sus cambios de temperatura no tiende a cristalizarse algo importante en los tiempos de mantenimiento.

El Kanthal tiene una resistividad variable y alta a temperatura ambiente, pero esta va disminuyendo cuando aumenta la temperatura llegando a tener su valor mínimo a los 700 grados Celsius, pero cuando la temperatura aumenta por encima de esta temperatura su resistividad aumenta proporcionalmente como lo hace la temperatura.

En la gráfica podemos observar que la variación mínima en la cantidad de impurezas menores del material es desproporcionado sobre su resistencia al frio; como lo muestra la línea discontinua.

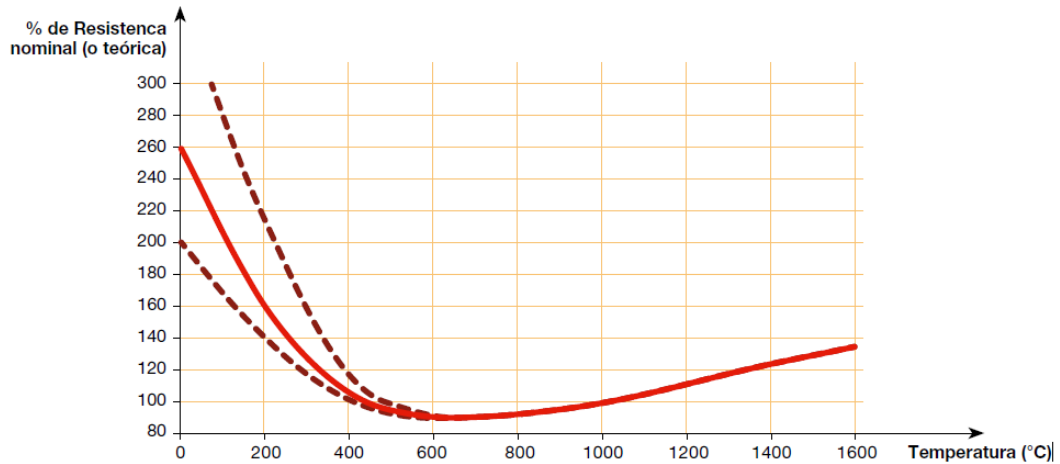


Figura 2: Resistencia nominal

El rendimiento de los elementos de carburo de cilio tiene como principal característica que ellos tienden a aumentar su resistencia eléctrica cada vez que aumenta su vida útil, es decir que entre más se esté utilizando el material como resistencia mayor será su resistencia y por lo tanto el tiempo de ciclo de uso del material para producir calor.

La razón de funcionamiento del Kanthal según su proveedor es aproximadamente del orden del 5-6% cada vez que se completa un ciclo de trabajo de aproximadamente mil horas de funcionamiento en una atmosfera limpia hasta de un funcionamiento de 3% por cada mil horas **de bajo** condiciones extremas.

El cálculo de la carga de los elementos está dada como W/cm^2 , esta se obtiene cuando dividimos la potencia de cada elemento en este caso el Kanthal entre la zona caliente del mismo por ejemplo las paredes externas del tubo de Kanthal, teniendo en cuenta que la presentación de este material es por alambres podemos calcularlo con la siguiente formula

$$C = \pi * D * L$$

Donde D es el diámetro exterior del elemento expresado en centímetros, y L es la longitud de la zona caliente de la misma forma en centímetros.

Debido a que la temperatura del elemento es directamente proporcional a la carga superficial que se aplique se deberá emplear una carga de menor potencia, esto quiere decir que como las resistencias tiene la forma de espiral; la formula me permitirá encontrar el punto donde el número de espiras sea el más adecuado para la producción de una carga que por lo general debe estar entre los 3 y 8 W/cm²; contando además que según la recomendación del proveedor se debe guardar al menos 1mm entre cada anillo de distancia.

Las otras piezas relevantes en las resistencias son los soportes cerámicos que por su forma permiten que no se requieran más que de estas piezas cerámicas para sujetar las resistencias fuera de unos soportes metálicos para apoyar las resistencias y que esta quede en el aire suspendidas para irradiar mayor cantidad de calor sin perdidas.

6 DISEÑO DEL HORNO ELECTRICO

6.1 CAPACIDAD Y DIMENSIONES

El horno posee en cada vagón las dimensiones mínimas requeridas para elaborar el proceso de curvatura de un vidrio de carroceros, donde sus medidas son aproximadamente 3200 milímetros de ancho 2620 milímetros de profundidad y 600 milímetros de altura en el área útil de la cámara interna de cada uno de los vagones.

6.2 CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL HORNO

Los paneles rígidos son paredes que tienen como finalidad reflejar el calor en este caso en el interior del horno evitando el intercambio de temperaturas a los extremos de las mismas, es decir del interior al exterior de la cámara interna del horno, para eso nos valemos de las leyes de conducción unidimensional de estado estable.

Conociendo de antemano que la temperatura interna del horno será de 650 grados Celsius se manejarán dos tipos de aislantes térmicos la manta térmica y los paneles rígidos con un Coeficiente de conductividad térmica: 0,023 W/(m·K) como pared interna del horno debido a que el vidrio es muy sensible a la contaminación, además de la consistencia visco elástica como se encontrara en el interior del horno lo más eficiente será que las paredes del horno tengan una consistencia rígida; además de estas paneles rígidos también se calculara el aislamiento térmico con manta térmica, ambos materiales tiene un espesor de una pulgada de espesor.

Para esto debemos empezar por el área que constituirá el espacio que será calentado por las resistencias eléctricas con la fórmula:

$$A_T = (X_1 * Y_1 * 2) + (X_1 * Z_1 * 2) + (Z_1 * Y_1 * 2)$$

$$A_T = (2.62 * 3.2 * 2) + (2.62 * 0.6 * 2) + (0.6 * 3.2 * 2) = 23.75 \text{ m}^2$$

Donde tomamos con las coordenadas X,Y,Z el largo, ancho y profundo respectivamente del horno y multiplicamos por dos por cada vagón del horno ser una cámara cerrada.

A continuación y con el área de las paredes internas de los vagones del horno calculamos las pérdidas que nos representan las paredes debido a la resistencia térmica que estas ofrecen para de esta forma poder tener un cálculo teórico y aproximado de la potencia que requiere el horno para su funcionamiento mediante las siguientes formulas.

$$R_T = \left(\frac{L_1 * n_1}{k_1 * A_T} \right) + \left(\frac{L_2 * n_2}{k_2 * A_T} \right)$$

$$R_T = \left(\frac{0.0254 * 4}{0.044 * 23.75} \right) + \left(\frac{0.0254 * 4}{0.045 * 23.75} \right) = 0.19227 \frac{K}{W}$$

En la ecuación anterior de las pérdidas en las paredes o resistencia térmica, identificamos L_1 y L_2 como los espesores normalizados y comerciales de los materiales que conformaran las paredes térmicas; los valores correspondientes de n_1 y n_2 son el número de capas que se van a utilizar de los materiales aislantes térmicos de las paredes del horno; k_1 y k_2 son los correspondientes coeficientes de conductividad térmica de cada material por ultimo A_T es el área total interna de cada vagón del horno, dato que se obtuvo en una formula anterior.

La potencia que requiere el horno para calentar la cámara del vagón se obtiene mediante la formula

$$q = \frac{\Delta T}{R_T} q = \frac{(650^{\circ}C - 30^{\circ}C)}{\frac{0,19227K}{W}} = 3224,63 W$$

Con esta fórmula encontramos la potencia del horno requerida teniendo en cuenta que las puertas del horno son elaboradas en su cara interna en los mismos materiales que el resto del vagon, tomaremos los cálculos como si todo el vagon fuera un solo cajón. Además de estos datos también se pueden obtener los datos de la corriente necesaria de la que se alimentara el circuito eléctrico. Esto lo calculamos mediante la ley de ohm donde nosotros podemos obtener que:

$$P=VI$$

De aquí sabemos que P es la potencia total del horno, V el voltaje e I la corriente, después despejamos I que para encontrar la corriente total. Teniendo de antemano conocimiento que el voltaje de entrada es de 120 V.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{3224,63W}{120V} = 26,87Amp$$

De esto conocemos que la maquina contara con una alimentación compuesta por una corriente de 120 V, para de esta forma poder encontrar el valor de la corriente necesaria para alimentar el horno materiales y con este último despejaremos en la siguiente fórmula para encontrar el valor de la resistencia total.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{120V}{26.87Amp} = 4.46\Omega$$

Para este horno como lo mencionamos anteriormente utilizaremos para elaborar las resistencias el Kanthal; debido a que es un material que mejora sus propiedades mecánicas y térmicas cada vez que su temperatura y sus ciclos de trabajo son mayores.

TIPO DE ALEACION	Hierro y Cromo (20-30%), Aluminio (4-7.5%)
CALIBRE	18 AWG (1.150)
RESISTIVIDAD (ρ)	$1.27 \times 10^{-8} \Omega m$
COEFICIENTE DE RESISTIVIDAD C_t	1.040

Tabla 4: propiedades de Kanthal 1

Las resistencias que se diseñaran para este tipo de horno será de forma espiral sobre tubos cerámicos. Con una resistencia eléctrica a 20° C; dato importante porque con este conoceremos la resistencia por metro lineal que tiene el Kanthal.

$$R_{20} = \frac{\rho * L}{A}$$

$$R_{20} = \frac{1.27 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \cdot 1m}{\pi(0.575 \times 10^{-3} m)^2} = 0,012 \Omega$$

De esta forma conocemos que por cada metro de resistencia tendremos 0,012Ω; con esta información procederemos a calcular la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo del horno, está la calcularemos con el coeficiente de resistividad, este nos sirve para conocer cuánto cambia la resistencia con los cambios de temperatura. El valor de este coeficiente será el que consignamos en la tabla anterior de 1.040 a 1200° C tomado de las tablas de kanthal.

$$R_T = C_t * R_{20}$$

$$R_T = 1.040 * 0.012 \Omega = 0.01248 \Omega$$

Después de obtener esta información podemos afirmar que a la temperatura de trabajo la resistencia cambia a una razón de 0.01248 Ω por metro lineal; ahora con esta razón y el valor obtenido de 4.46 Ω para el horno que estamos diseñando y el número del valor obtenido de 0.01248 Ω/m de la resistencias de trabajo, estamos en capacidad de calcular cuánto será el material necesario para hacer las resistencias, por consiguiente tenemos:

$$L = \frac{R}{R_T}$$

$$L = \frac{4.46 \Omega}{0.01248 \Omega/m} = 357.37m$$

Con esta información ya tenemos el dato exacto de metros lineales de Kanthal que necesitamos para la elaboración de las resistencias que deben ir en el horno y producirnos las temperaturas deseadas para poder curvar el vidrio con las características de curvado como lo son 620 grados Celsius.

7 COSTOS Y ANALISIS DE MERCADO

Para el análisis de costos de la elaboración del horno se tuvieron en cuenta variables relevantes en los procesos de operación, evaluación de los actuales proveedores del producto en el mercado *benchmarking*,

recuperación de la inversión según el plan de ventas y el análisis de costo beneficio del mismo.

Para comenzar se estableció una capacidad de producción donde se tendría en cuenta los tiempos que se requieren para curvado, enfriamiento y operación promedio de un horno en similares condiciones; para encontrar la capacidad de producción de unidades por ciclos; estos datos nos permitiría observar el panorama de producción normal así encontrar el punto de equilibrio para conocer el tiempo de recuperación de la inversión, bajo las condiciones actuales del mercado.

CALCULO DE CAPACIDAD POR UNIDADES Y CICLOS	
CAPACIDAD HORNO PROPUESTO	CANTIDAD
Días disponibles al mes	29
Turnos por día	3
Horas por turno	8
Eficiencia de la operación (und ok/und totales)	94%
Tiempo por ciclo (horas)	0,55
Numero de ciclos al mes	1.255
Numero de PBS completos al mes	130
Numero de PBS partidos al mes	780
Numero de mitades sencillas	735
Número de piezas al mes	1.645
Capacidad de medios PBS al mes	1.515
Porcentaje defectivo (esperado)	2,80%
Capacidad disponible del año (unidades)	19.740

Los costos de operación nos permite observar la eficiencia del horno, analizar el costo por metro cuadrado de curvado producido

COSTOS DE OPERACIÓN	
CONSUMO DE ENERGIA	CANTIDAD
Potencia instalada (kW)	295
Consumo requerido (kW/h)	205.581

Costo kWh	USD 0,11
Costo de energia la mes	USD 22613,91
Costo de energia/pieza	USD 13,74
Area representativa (m2/ciclo)	1,83
Costo de energia/m2	USD 7,50

Al utilizar la totalidad de las resistencias, incluyendo las laterales permitirá que el horno pueda procesar vidrios de geometrías mucho más complejas de las que se realizan actualmente, este servicio permitirá generar un sobre costo en el producto final, que permitiría llegar al *Break-even* (Punto de equilibrio) en menos tiempo del programado inicialmente.

Bajo cotizaciones realizadas a compañías especializadas en la fabricación de las piezas y los servicios requeridos los costos de la inversión ejecutada en el proceso de fabricación sin tener en cuenta la mano de obra ya que esta hace parte de la nómina de la empresa fue:

PARTE MECANICA	\$ 58.339.771	32.429 USD
PARTE ELECTRICA	\$ 163.014.586	90.614 USD
AUTOMATIZACION (PLC con programas por referencia)	\$ 53.140.661	29.539 USD
TOTAL	\$ 274.495.018	152.582 USD

Estos dato son tomados bajo la cotización del día del dólar de \$1799⁰⁰, pero la información de la proyección del *Break-even* y el análisis de costo-beneficio (ACB) hace parte de la confidencialidad a que tiene derecho Vitro por lo tanto en la parte de costos de recuperación de inversión no se entregara información sobre el mismo, la única información que se comunicara es que el tiempo de inversión es menor de dos años.

8 METODOLOGIA

Con el objeto de realizar un buen desarrollo del proyecto se han desarrollado las siguientes fases y actividades

8.1. FASE DE DOCUMENTACION Y OBSERVACION

En esta fase se realizó la recolección de información, de diversas fuentes tales como lo son: catálogos, manuales, artículos on-line, fichas técnicas, libros, proyectos de grado relacionados directamente con el tema, normas técnicas. Esta información será seleccionada adecuadamente, de páginas en internet, biblioteca de la empresa para la que se realizara el proyecto.

Durante este proceso el área de ingeniería nos facilitó la información que la empresa durante sus años de historia ha recopilado, de esta forma se pudo acceder a datos como el comportamiento mecánico del vidrio, sus fallas, los tipos de defectos que se pueden generar durante el proceso, cuales son los principales proveedores fabricantes de hornos en el mundo, con esta información se pudo acceder a lo último en tecnología en la fabricación de hornos eléctricos, como también las ventajas de los hornos eléctricos para vidrio sobre los otros tipos de hornos, esta información fue determinante para la elaboración del horno en forma precisa, teniendo claro las fuentes de información para la elaboración consignada a lo largo de este documento.

8.2. FASE ANALISIS

Esta fase ha correspondido al estudio del contenido de cada uno de los documentos seleccionados durante la fase de documentación y observación, desde la perspectiva de la problemática que se ha planteado desde el principio de este proyecto, de forma que permita estudiar que ocurre en el interior de un horno de curvado de vidrio durante el proceso de calentamiento en el horno como en el vidrio, además se reconocerán las ventajas, desventajas, características, funciones, de la misma forma que los costos y

beneficios que deja la inversión del proyecto a la empresa y a la economía del país.

8.3. FASE DE DISEÑO Y SIMULACION

En esta fase se propusieron las diversas alternativas del diseño conceptual, esto mediante una lluvia de ideas, teniendo en cuenta aspectos como ergonomía, costos, mantenimiento, etc., pero bajo los parámetros solicitados de confidencialidad requeridos por parte de la empresa, de esta forma se procedió con el diseño preliminar, definiendo los parámetros detallados del diseño, especificando con exactitud las geometría de las piezas y dimensiones generales del equipo, después se escogió, con base en una matriz de decisiones, una alternativa definitiva para de esta forma dar inicio al diseño detallado.

Esta última etapa del diseño correspondió al desarrollo de cálculos precisos, que determinaron la geometría y los materiales de la piezas que se fabricaron, se seleccionaron en algunos casos piezas normalizadas para de esta forma dar inicio a los planos ensamble y fabricación del horno. Una vez que se tuvieron los planos y los modelos 3D en un software CAD, se realizó la validación del prototipo teórico, mediante la aplicación de análisis por elementos finitos.

Al terminar el diseño del horno se realizaron actividades relacionadas con el ajuste y puesta a punto del horno.

8.4. FASE DE ELABORACION DEL PRODUCTO FINAL

La última fase correspondió a la elaboración del producto principal que se refiere a la Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico. Aquí se documentó el diseño mediante la generación de planos mecánico, eléctricos, de montaje y distribución física; Memorias de cálculos; Todo esto solamente

se tendrá registrado aquí en este documento las memorias de los cálculos y el plano del ensamble por motivos de confidencialidad de la empresa.

9 CRONOGRAMA DE TRABAJO

DISEÑO DE UN HORNO PARA EL CURVADO DE VIDRIO PANORAMICO PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

NUMERO ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Investigación del mercado de fabricación de los hornos	PLAN REAL	■	■						
2	Selección del tipo de horno a diseñar	PLAN REAL		■	■					
3	Investigación de los materiales para la fabricación de hornos	PLAN REAL		■	■					
4	Elaboración de calculos	PLAN REAL		■	■					
5	Análisis mecanicos y termicos	PLAN REAL		■	■	■	■			
6	Analizar y calcular los materiales	PLAN REAL		■	■	■	■			
7	Desarrollo del horno en un programa de diseño	PLAN REAL				■	■	■		
8	Elaboración de planos mecanicos finales	PLAN REAL					■	■	■	
9	Ensamble final	PLAN REAL							■	■
10	Entrega y evaluación del proyecto	PLAN REAL								■

10 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION

Duración estimada en meses		9	
Semanas		38	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
Recurso Humano Asociado		\$ 24.434.950	
2	Autores del proyecto	\$ 22.997.600	Personal
1	Director o tutor	\$ 1.437.350	Institucional
Software o equipo de apoyo		\$ 3.350.500	Personal
Gastos Generales		\$ 1.076.000	Personal
Subtotal		\$ 28.861.450	
5%	Imprevistos	\$ 1.443.073	
Total presupuestado		\$ 30.304.523	

Tabla 5. Presupuesto General Proyecto

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Numero	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto	2	10	\$ 20.000	\$ 15.200.000
Director o tutor	1	1	\$ 25.000	\$ 950.000
				\$ 16.150.000
Carga Prestacional			51,30%	\$ 8.284.950
				\$ 24.434.950

Tabla 6. Costo del Personal

Generales	Un medida	Cantida d	Valor unitario	Total
Fotocopias		500	\$ 100	\$ 50.000
Impresión de planos		90	\$ 4.000	\$ 360.000
Impresión documentos		90	\$ 200	\$ 18.000
Transportes		216	\$ 3.000	\$ 648.000
Gastos Generales asociados al proyecto				\$ 1.076.000

Tabla 7. Gastos generales asociados al Proyecto

Software	Detalle	Costo ref.	% Uso	Costo Uso	Total
Licencia 1	Inventor	\$ 15.000.000	1%	\$ 150.000	\$ 1.350.000
Licencia 2	Office Windows	\$ 850.000	1%	\$ 8.500	\$ 76.500
Computador	Desktop	\$ 1.600.000	100%	\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
Internet	ETB	\$ 36.000	100%	\$ 36.000	\$ 324.000
Costos de licencias, conexión y computador					\$ 3.350.500

Tabla 8. Costos de licencias, conexión y computador

11 CONCLUSIONES

- Se desarrolló las bases del proceso del curvado del vidrio como parte de la investigación para la fabricación del horno según las características solicitadas por la empresa, además con la recopilación de esta información se pudo desarrollar el horno sin afectar drásticamente los procesos de fabricación en la empresa, de esta forma se han cumplido con las expectativas de la empresa.
- Se realizó el diseño conceptual y preliminar utilizando cálculos con los que se establecieron los parámetros finales del diseño.
- Se diseñó detalladamente el horno y cada una de las partes del horno con ayuda de un programa de diseño, además se tuvo en cuenta las partes mecánicas y eléctricas que se encontraban relacionadas entre ellas utilizando programas de diseño 3D.
- Se fabricó el horno realizando los ajustes y puesta a punto del horno donde se tuvieron en cuenta los parámetros de la empresa como los fueron: volumen de la cámara y que el horno funcionara por medio de corriente eléctrica para un mayor control del proceso.

12 BIBLIOGRAFIA

CHAUR BERNAL, Jairo. Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa. Barcelona, 2004, 357 p. Tesis (Doctor en Ingeniería). Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Proyectos de Ingeniería.

International Organization for Standardization. (2005). Norma ISO17025: Requisitos Generales Para Competencia De Laboratorios De Prueba y Calibración. ISO.

MTS Systems Corporation. (2009). Global MTS. <http://www.mts.com/en/Global/index.asp>

National Instruments. (2009). Empresa, de National instruments: <http://www.ni.com/company/esa/>

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. Editorial Prentice Hall, México, 1999.

MARIANO, Cuenca Alba. Pre estudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción., http://www.uam.es/personal_pas/mcuenca/mifiles/Desarrollodeuneequipo de calentamiento por induccion.pdf

BERNAL, Sanabria Maria de los Angeles. Diagnostico del sector de autopartes en Colombia. Tesis Pontificia Universidad Javeriana., <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis29.pdf>

PRIETO Lizarazo, Andrés Felipe. Efectos en las ventas del sector automotor en Colombia frente a la aprobación del tratado de libre comercio con Estados Unidos.

KERN, Donald Q. (1999). Procesos de transferencia de calor. (31ª Ed). México: Compañía Editorial Continental S.A

HOLMAN, J. P., (1998). Transferencia de calor. (8ª Ed). España: Editorial McGraw-Hill.

CENGEL, Yunus A., (2003). Transferencia de calor. (2ª Ed). México: Editorial McGraw-Hill.

GERE, James M., (2006). Mecánica de materiales. (6ª Ed). México: Editorial Thomson

LORA FIGUEROA Edgar & MERIÑO STAND Lourdes., Ahorro de energía en la industria del vidrio. 2009.

CUENCA ALBA, Mariano: Pre estudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción. 2004

BUELNA JACOBO Víctor Hugo: HORNO ELECTRICO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS, 2009. Jalisco, México

FLORES FLORES, Elías, QUINTEROS SEGOVIA, Hugo. Diseño de un Horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal., 2008. Tesis Ingeniería Mecánica. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” , Antiguo Cuscatlán, El Salvador

CASTILLEJO, MARULANDA & RODRIGUEZ. Diseño de un horno eléctrico para producir recubrimientos de carburos metálicos utilizando la técnica de deposición por difusión termorreactiva. Medellín, 2011, Tesis (Doctores en Ciencia y tecnología de materiales). Universidad Nacional de Medellín., Medellín, Colombia.

MERINO del AMO, Nuria., Fabricación y caracterización de materiales compuestos de matriz metálica reforzados con nanofibras de carbono, 2010. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de ciencia de materiales, Madrid, España.

BARRERAS CARRACEDO, Marta GARCIA SANZ, Mario. Modelado y simulación de un horno eléctrico industrial de 1MW de potencia., 2010. Artículo. Departamento de automática y computación, Universidad Pública de Navarra ,Pamplona, España.

