



MASTER UNIVERISTARIO EN DISEÑO Y FABRICACIÓN ASISTIDOS POR COMPUTADOR

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

APLICACIÓN DE TÉCNICAS CAD/CAM/CAE AL ESTUDIO Y FABRICACIÓN DE HORNO PARA CURADO DE COMPOSITES

Autor: Antonio Aguilar Martín.

Director: Juan Antonio García Manrique.

En Valencia a 27 de Septiembre de 2013



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Agradecimientos:

Me gustaría agradecer el apoyo prestado desde del I.D.F. para el desarrollo de esta tesina, por el apoyo técnico prestado al dejarme trabajar en sus instalaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, y no sin olvidar el apoyo humano recibido durante toda la fase del trabajo.

A mi director de tesina, D. Juan Antonio Manrique, por su interés y asesoramiento en todo momento.

A mi familia , pareja y amigos por darme todo el apoyo y motivación necesario para sacar adelante el proyecto, ya que sin ellos no podría haber culminado con éxito este proyecto.

INDICE

1 Resumen	7
2 Introducción general	9
2.1 La competición	9
2.2 El diseño	11
2.3 El material	12
2.4 ¿Qué es el pre-impregnado?	13
2.5 Procedimiento de trabajo	17
2.6 Técnica de laminado	17
2.7 Proceso de curado	17
2.7.1 Ciclo de curado autoclave	19
2.7.2 Ciclo de curado horno bajo vacío	19
2.8 Condiciones de trabajo	20
2.9 Moldes a utilizar	21
2.10 Ventajas y desventajas	21
3. Justificación	23
4. Objetivo	25
5. Caracterización y lugar de trabajo	27
6. Conceptos básicos sobre transmisión de calor	29
6.1 Temperatura	29
6.2 Calor	29
6.3 Calor específico	29
6.4 Calor latente	29
6.5 Fluido	30
6.6 Presión	30
6.7 Densidad	30
6.8 Viscosidad	30
6.9 Caudal	30
7. Transmisión de calor	32
8. Métodos de transmisión de calor	34
8.1 Conducción	34

8.1.1 Conductividad térmica	35
8.2 Convección	37
8.2.1. Convección natural	37
8.2.2 Convección forzada	37
8.3 Radiación	39
9. Clasificación de los hornos de resistencias eléctricas.	41
9.1 Forma de funcionamiento	41
9.2 Disposición de las resistencias	41
9.3 Según la forma de su cavidad	41
9.4 Tipo de reacción causada en el producto	41
10.Aspectos técnicos y requisitos fundamentales para su construcción	43
10.1 Requerimiento del usuario	43
10.2 Capacidad de construirlo	46
10.3 Aspectos económicos	47
11. Aspectos constructivos de un horno de resistencias eléctricas	50
11.1 Estructura del horno	52
11.2 Resistencias de calentamiento	52
11.2.1 Clasificación de las resistencias	53
11.3 Calculo de las resistencias	54
11.4 Resistencias empleadas en el horno	60
11.5 Cámara interior	62
11.5.1 Pérdidas de calor	62
11.5.2 Pérdida de calor a través de una pared plana	63
11.5.3 Materiales para aislar térmicamente la cámara	65
11.6 Elementos aislantes	66
11.6.1 Lana de roca	66
11.7 Cubierta exterior	68
11.8 Circulación de aire forzada	69
11.8.1 Disposiciones típicas para la circulación de aire forzado	69
11.9 Ventilador interior	72
11.10 Configuración que se utilizará en nuestro equipo	74
11.11 Ventilador seleccionado para nuestro equipo	75

12. Equipo de regulación y control	77
12.1 Termopar	78
12.2 Programador y control de temperatura	80
12.2.1 Programador instalado	81
12.3 Contactor	84
12.3.1 Características del contactor seleccionado	86
12.3.2 Partes constituyentes de un contactor	87
13. Diseño seleccionado	89
13.1 Calculo del peso de la estructura	91
14. Calculo y análisis CAE	94
14.1 Cálculos y simulación CAE	95
14.2 Modelado	96
14.3 Solver utilizado	99
14.4 Proceso de mallado	100
14.5 Asignación de materiales	101
14.6 Condiciones de contorno	102
14.7 Obtención de resultados	104
15 Fabricación y montaje	113
16 Presupuesto	119
17 Conclusiones	122
18 Bibliografía	124
19 Anexos	126
20 Tabla de ilustraciones	128

RESUMEN

1. Resumen

Durante el siguiente documento escrito encontrarán todo lo referente a esta tesina “Aplicación de técnicas CAD, CAM, CAE, al estudio y fabricación de horno para curado de composites”.

La información con la que cuenta este estudio es fruto de la investigación, cálculo y aplicación de las técnicas como “Ingeniería Asistida por Computador (CAE)” para el análisis térmico y el comportamiento del aire (fluido) dentro del horno utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD).

Además no solo se ha estudiado, si no que el horno también ha sido construido al mismo tiempo que avanzaba la tesina, por tanto también hay una descripción de los materiales empleados en la construcción, como aislantes, selladores, protecciones eléctricas y de cómo se han realizado las uniones entre los perfiles, y también el estudio cuenta con un apartado de presupuesto en el que se especificarán los conceptos y los costes de cada uno de los materiales anteriores.

INTRODUCCIÓN GENERAL

2.Introducción General

El presente proyecto nace de la mano de otro gran proyecto que actualmente, tras la fase de inicial, ya avanza con paso firme, y que para comprender el sentido y la necesidad de fabricación de este horno para el curado de materiales compuestos, en adelante “composites” se hace necesario hablar de dicho proyecto y de los materiales y técnicas de fabricación que en él van a concurrir siendo un total de 3 (Competición, Diseño, Material) factores los que nos llevan al objetivo de este estudio.

El Proyecto “madre” es el FSUPV , el Equipo de la Universidad Politécnica de Valencia para la “Fórmula Student”, más conocida la competición como la “Fórmula SAE”.

2.1 La Competición

La competición cubre un amplio abanico de disciplinas y necesidades. El objeto de la competición es simular una situación real en la cual una empresa de competición contrata a estos ingenieros para desarrollar un prototipo.

La competición se divide en tres clases o protocolo de inscripción:

Clase1:

Clase de mayor categoría en la Formula Student. Los competidores deben enfrentarse a 7 pruebas (4 dinámicas-3 estáticas) y pasar los pertinentes test de seguridad (frenado, ruido en el escape de gases, fuga de líquidos, ergonomía)

Clase 2:

En esta clase los equipos presentaran un proyecto de vehículo en el que el requisito será que como mínimo el chasis del vehículo este construido. En “clase 2” sólo existen eventos estáticos (Presentación- Prueba de diseño- Prueba de costes), los cuales otorgarán la puntuación a cada equipo.

Clase 3:

La Clase 3 está pensada para equipos que entran por primera vez en la competición .El principal objetivo de esta clase es que los equipos completen un proyecto con un diseño detallado. No existe la necesidad de tener ningún

Aplicación de técnicas CAD/CAM/CAE al estudio y Fabricación de horno para curado de composites
componente terminado y construido para poder acceder a esta clase, en la cual sólo se evaluarán los eventos estáticos.

A su vez el monoplaza debe satisfacer unas elevadas prestaciones en aceleración, frenada y estabilidad, pero también ser fácil de mantener, económico y fiable. Otros factores como la estética y el confort se valoran igualmente.

Las pruebas se dividen dos tipos de eventos “estáticos” y “dinámicos”, que son los siguientes:

Pruebas estáticas:

- Design Event- Prueba de diseño (150 Puntos)
- Cost Event- Prueba de costes (100 Puntos)
- Presentación Event- Presentación de Marketing (75 Puntos)

Pruebas dinámicas:

- Acceleration - Aceleración (75 Puntos)
- Skid Pad – Figura en 8 (75 Puntos)
- Autocross – Prueba cronometrada (100 Puntos)
- Endurance and Fuel Economy – Prueba de Resistencia y de consumo. (325 +100 Puntos)

TOTAL : 1000 puntos

Otros factores como la estética y el confort se valoran igualmente. El presupuesto máximo para el monoplaza se sitúa por debajo de los 30.000 €
Por tanto la decisión final del equipo ganador vendrá determinada de la baremación de todos los apartados anteriores.

Con estas características la Formula Student es un marco perfecto para formar a ingenieros tanto en el ámbito técnico como en el de desarrollo empresarial y de marketing. La necesidad de adquirir conocimientos técnicos, de innovar, de competir es una experiencia de un valor sobresaliente con la que los participantes obtienen una gran satisfacción tanto profesional como personal.

2.2 El Diseño

El punto de inflexión.

Por tanto innovar, ir más allá, no conformarse con lo preestablecido, es el espíritu de este gran proyecto, y con esta motivación en unas de las primeras reuniones mantenidas entre los miembros del equipo y de otra parte con varios representantes del I.D.F. se decidió desechar la idea de fabricar un chasis tubular.

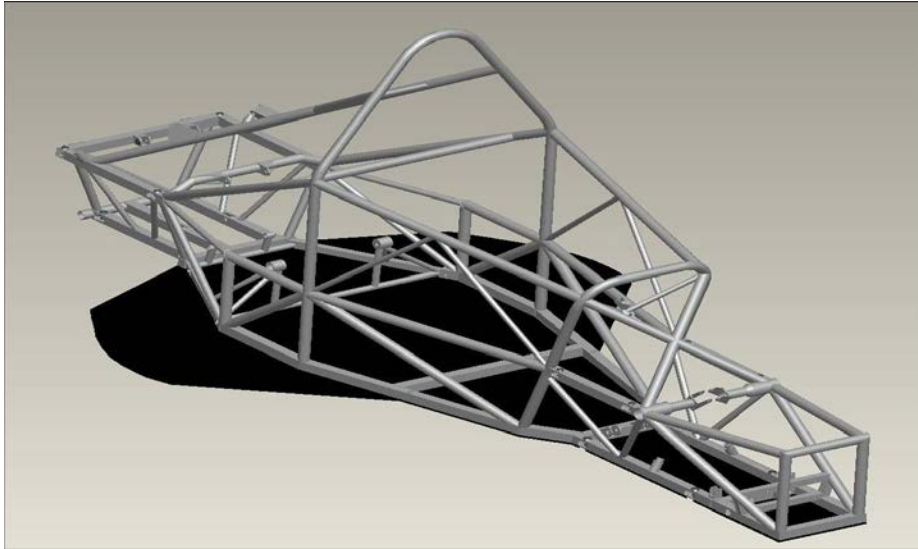


Figura 1 Formula SAE Mc Hill Racing Team

Un concepto algo antiguo para este tipo de competición, y se aprobó la idea de construir el monoplaza basado en un chasis monocasco de fibra de carbono, concepto similar a la de los actuales Formulas 1, pero es obvio que en un tamaño mas reducido, en la siguiente imagen vemos la diferencia entre ambos tipos de chasis.



Figura 2 Eurocarnews.com

Este último se caracteriza por ofrecer un compromiso perfecto entre ligereza y resistencia, elevando el valor añadido del monoplaza así como de sus prestaciones.

2.3 El Material

Como fruto de la decisión de construir el monoplaza sobre “chasis monocasco” esto deriva hacia la principal línea de investigación “los materiales compuestos”, donde se va a llevar a cabo gran parte de la innovación e investigación, trabajando con nuevos materiales, como la fibra de carbono pre-impregnada en adelante “pre-preg” y la fibra de basalto.

Campo el de los materiales compuestos donde el I.D.F. cuenta con amplia experiencia debido a la labor ya realizada por su investigadores estudiando estos materiales y sus posibles combinaciones con bio-resinas, hasta ahora poco utilizadas y en una fase más inicial de su desarrollo.

Ambos materiales se encuentran en desarrollo y estudio, multiplicando día a día sus aplicaciones tanto en el ámbito industrial, deportivo de alto nivel y como en la ingeniería civil.

Para muestra una imagen donde observamos el consumo de Pre-impregnados.

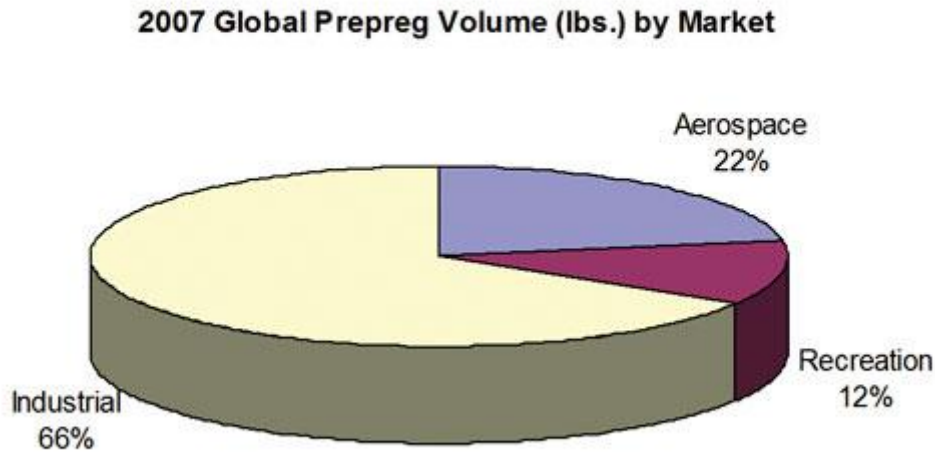


Figura 3 Compositeworld.com Pre-Preg Sorong growth through 2013.

Que según el artículo del Dr. Sanjay Mazumdar, afirma que la demanda de este nuevo material ha ido en aumento desde el año 2002 a un ritmo creciente de un 10% anual, incluso incrementándose.

El consumo de Pre-preg se haya repartido en tres grandes grupos de consumidores, en primer lugar la industria energética, en el campo de fabricación de aerogeneradores, en segundo lugar le sigue la industria aeroespacial y aeronáutica, y por último la industria de los deportes de alto nivel, sea un ejemplo la formula 1 o el sector náutico.

El autor prevé un crecimiento aún mayor para el año 2013, donde la gran parte del mercado se desarrollara en Asia, Norte America, y Europa, siendo los destinos del producto a los sectores anteriormente citados.

2.4 ¿Que es el pre-impregnado?

Los materiales pre-impregnados son generalmente estructuras textiles impregnadas con resinas reactivas listas para ser utilizadas, a las que se ralentiza su proceso de curado por medio del almacenamiento a bajas temperaturas, rondan de media entre los -15°C y los -20°C .

Las matrices más utilizadas para fabricar los pre-impregnados suelen ser a base de matrices epoxi y de matrices fenólicas.

En la siguiente gráfica podemos ver las cualidades de las resinas epoxi comparadas frente a otras como las fenólicas o diferentes bases:

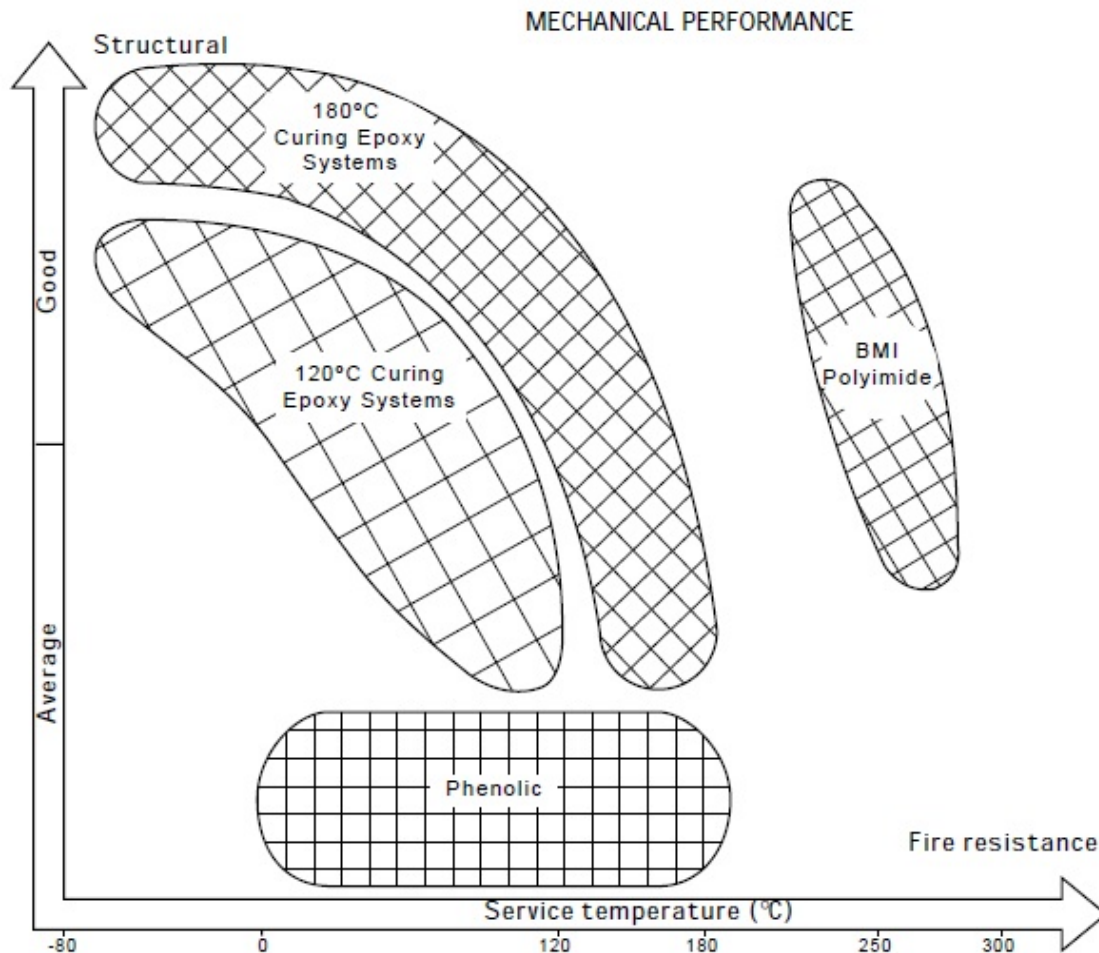


Figura 4 Hexcel Pre-Preg Technology

La impregnación se realiza mediante un sistema de rodillos donde su superficie esta cubierta de la resina epoxi, con lo cual se obtienen porcentajes de resina muy precisos, obteniendo como resultado final un producto con una perfecta uniformidad de impregnado.

Un ejemplo del proceso de fabricación lo podemos observar en la siguiente:

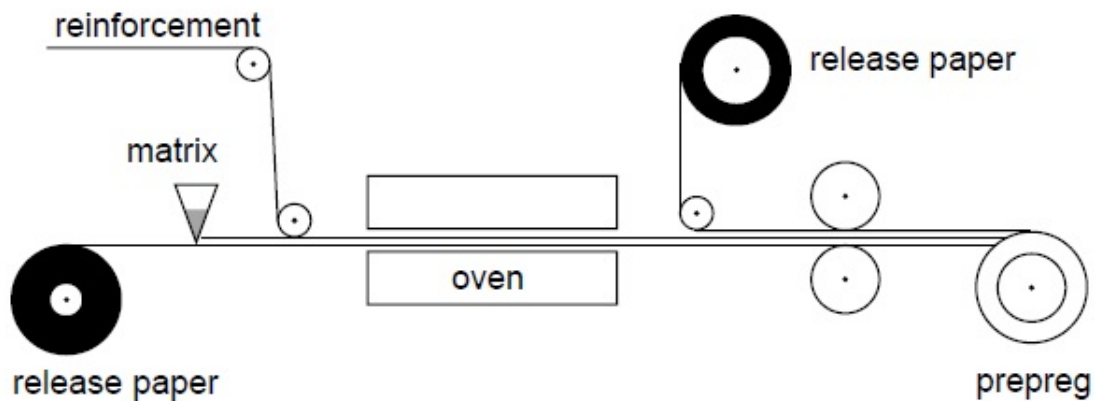


Figura 5 Hexcel Pre-Preg Technology

Como mencionaba antes la ralentización del curado de la resina se consigue mediante su almacenaje a bajas temperaturas mientras la resina se encuentra en su “estado B”, lo que quiere decir que la resina se haya catalizada pero antes de llegar al punto de gel de la curva exotérmica.

El procesado de estos materiales se realiza disponiendo las diferentes capas de estructura textil descongelada sobre el útil o molde y sometiénolas finalmente a presión y temperatura, para obtener un laminado de alta calidad, fase en la que entrara en juego el horno para curado proyectado en esta tesina.

Un factor importantísimo en este material es el control de la viscosidad de la resina de impregnación.

Control que se puede llevar a cabo por medio de dos opciones, calentamiento de la resina, o bien mediante la adición de disolventes.

En ambos casos se persigue disminuir la viscosidad de la resina para favorecer la impregnación del refuerzo y evitar la inclusión de burbujas de aire en la matriz.

En la siguiente imagen podemos observar distintos tipos de tejido de la matriz.

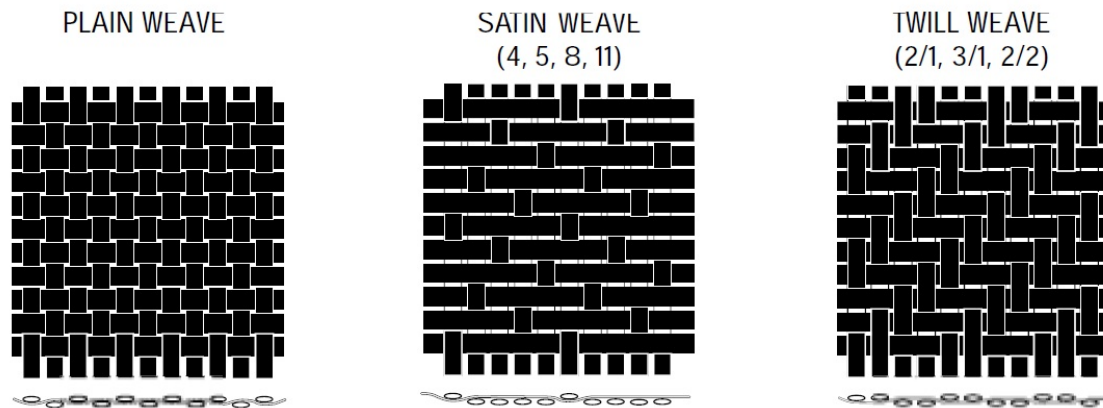


Figura 6 Hexcel Pre-Preg Technology

La reducción de la viscosidad mediante el método de adición de disolventes es un proceso complejo, debido a que una finalizado el proceso de fabricación estos son extraídos y recuperados. En el método de fabricación por calentamiento de la resina este paso final de extracción no es necesario.

Una vez impregnado los refuerzos se deja avanzar la reticulación (semi-curado) para evitar la destilación de la matriz, aumentando su viscosidad y obteniendo un material intermedio.

Debido a que la impregnación de la matriz se realiza por medio de resinas mezcladas con catalizadores y endurecedores, los materiales pre-impregnados poseen un tiempo de vida relativamente corto.

De aquí deriva el motivo de su almacenaje bajo refrigeración.

Los tiempos de vida varían en función de la matriz utilizada, y pueden ser de entre 10 y 60 días sin congelación, y hasta de 6 meses o un incluso un año bajo tratamiento de congelación.

2.5 Procedimiento de trabajo

La técnica de moldeo con pre-impregnados permite separar los procesos de preparación de los de moldeo.

Para su correcta manipulación los pre-impregnados deben descongelarse lentamente, dejando que alcancen la temperatura de trabajo, que rondara entre los 15Cº y los 30Cº, presentando en ese momento poca rigidez y elevada adhesividad.

Un aspecto a tener en cuenta, es que durante la fase de descongelamiento, el pre-impregnado no debe adquirir humedad, ya que esto afectaría a la resistencia de la pieza final, así como igual de importante es su posición de reposo mientras es almacenado, debe ser horizontal, para evitar el escurrido de la matriz y deformaciones que en ella se puedan producir.

2.6 Técnica de laminado:

La técnica de laminado con pre-impregnados es similar al laminado manual, se colocarán sucesivas capas de material de forma manual sobre el molde, con la salvedad, de que no será necesario impregnar los refuerzos ni de realizar una mayor compactación con ayuda de rodillos.

2.7 Proceso de curado:

Para el curado final de una pieza elaborada mediante pre-impregnados se debe combinar presión y temperatura.

Si la presión de compactación es baja (hasta 1 bar) se puede realizar por un sistema de vacío. En cambio si la presión de compactación requerida es alta se debe recurrir al uso de autoclaves.



Figura 7 Amt Composites

Las autoclaves ejercen presión hidrostática en la totalidad de la pieza razón por la que se utiliza para el conformado de piezas con geometría compleja o aquellas que requieren un excelente acabado final.

Dependiendo de la temperatura de curado, podemos encontrar tres tipos de pre-impregnados:

- Pre-impregnados de alta temperatura.
- Pre-impregnados de media temperatura.
- Pre-impregnados de baja temperatura.

Los Pre-impregnados que curan a alta temperatura son los que ofrecen mejores características mecánicas y físicas, donde su temperatura de curado ronda los 180C° normalmente destinadas a construcciones aeroespaciales.

Los Pre-impregnados de media temperatura son la gama comercial más amplia, ya que poseen temperaturas de curado cercanas a los 120C° y son utilizados para conformar gran variedad de piezas industriales.

Y por último los pre-impregnados de bajas temperatura, poseen temperaturas de curado que oscilan entre 60C° y 120C°. Sin embargo son los más utilizados en industrias como la naval, donde el tamaño de las piezas requiere hornos de

Aplicación de técnicas CAD/CAM/CAE al estudio y Fabricación de horno para curado de composites elevadas dimensiones, que como resultado se suelen acondicionar las instalaciones para aplicar un tratamiento térmico.

La clave para conseguir buenos resultados con materiales impregnados, es realizar un ciclo de curado optimo.

En las siguientes figuras podemos apreciar un ejemplo de ciclo de curado para autoclave y otro donde se utiliza el proceso de curado mediante horno, que será nuestro caso de estudio.

2.7.1 Ciclo de curado en Autoclave:

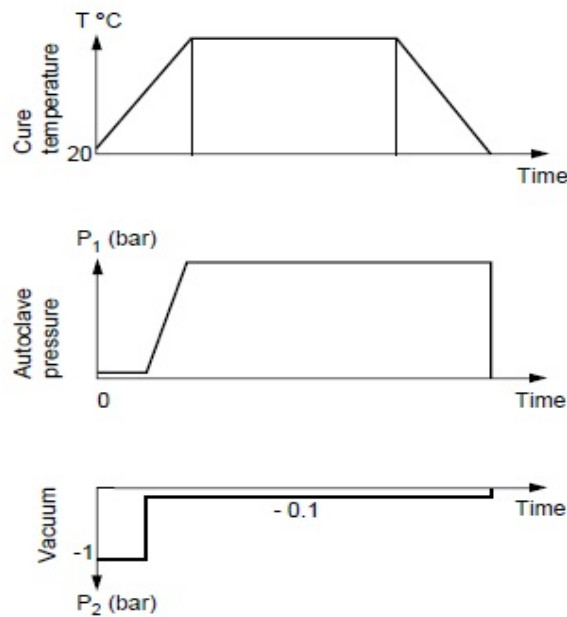


Figura 8 Hexcel Pre-Preg Technology.

2.7.2 Ciclo de curado en horno bajo vacío:

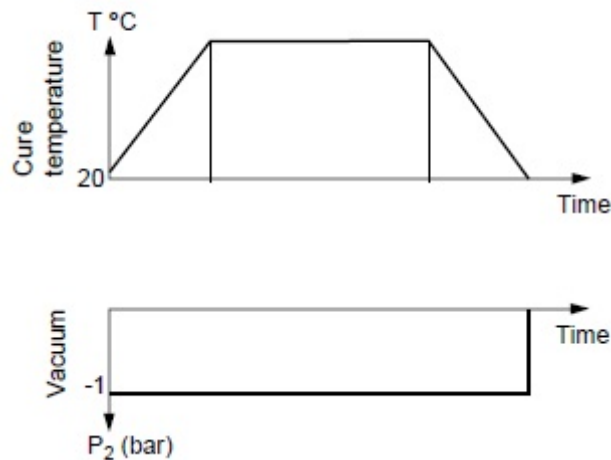


Figura 9 Hexcel Pre-Preg Technology

Principalmente cuando la viscosidad de la resina se modifica con la temperatura, por tanto debemos prestar especial atención al ciclo de curado que nos especifica el fabricante del material pre-impregnado.

Dicho ciclo o rampa térmica establece las características óptimas de flujo de resina. Si dicha rampa térmica no se lleva a cabo correctamente durante el proceso de curado será defectuoso, por ejemplo si la velocidad con la que aumente la temperatura es menor que la especificada, podrían aparecer refuerzos secos por excesivo flujo de resina y por el contrario si la velocidad fuera demasiado rápida, tendríamos zonas reseca, o con burbujas de aire, fruto de un curado anticipado que no permite el flujo de resina.

En nuestro proyecto estos parámetros se controlaran por medio de un controlador de temperatura y una sonda de temperatura Tipo "k" entre otros dispositivos que mas adelante en otro apartado entrare en detalles.

Por medio de este controlador en concreto "STATOP Series 30" cumpliremos estrictamente las especificaciones del fabricante del material garantizando así el cumplimiento del proceso, y por tanto obteniendo buenos resultados en la pieza final.

Para terminar de hablar de los materiales Pre-impregnados finalizare con las condiciones de trabajo, los moldes y de manera resumida justificando las ventajas de emplear este método.

2.8 Condiciones de trabajo:

Las condiciones de trabajo para utilizar pre-impregnados serán similares a las necesidades y preparación para otros medios de producción.

Prestando atención al control de la temperatura, ya que por debajo de los 15C° se hace casi imposible la manipulación, siendo un intervalo adecuado entre los 15C° y los 30C°, y por encima de los 30C° es muy tedioso trabajar con ellos por su elevada adhesividad, además respetando los tiempos de descongelación así como el posterior almacenamiento del material sin que sea contaminado por humedad u otros agentes.

2..9 Moldes a utilizar:

Los moldes a utilizar deberán soportar las temperaturas que alcanzaremos en el horno que aproximadamente se hallarán entre un intervalo de 100C° a 150C° máximo, sin que estas les afecten sufriendo dilataciones o deformaciones que causen un fallo en el vacío del molde, o a sus tolerancias dimensionales.

2.10 Ventajas y desventajas:

Entre las principales ventajas que ofrecen los materiales pre-impregnados podemos enumerar las siguientes:

- Elevados porcentajes de refuerzo en su composición.
- Porcentajes muy precisos y homogéneos de la matriz sobre la estructura textil.
- Ahorros en la utilización de material en relación a otros para obtener las mismas prestaciones.
- Menor exposición de las personas a elementos volátiles durante su manipulación.
- Mejor calidad del estratificado.
- Al utilizar este material no se requieren grandes conocimientos en el proceso de laminado.
- Mejor organización del trabajo, ya que los tiempos de “gel” cuentan con un margen más amplio.
- Facilidad en el manejo del material.
- Posibilidad de rectificar la colocación del material pre-impregnado sobre el molde en caso de error.
- Gran control del proceso.
- Facilidad para obtener el grosor y refuerzos deseados en la pieza elaborada.
- Control riguroso del proceso.

Pero también tienen una serie de desventajas, por ejemplo:

- Elevado coste del material en relación a otros de similares características.
- El coste de los moldes también es mayor, ya que deben soportar el proceso de curado.
- Mayores gastos en infraestructura y equipos, como horno de curado, congelador para su almacenaje.

JUSTIFICACIÓN

3. Justificación

El motivo de ser de este proyecto viene justificado de una necesidad, de una carencia en el equipo del laboratorio de composites del Instituto de Diseño y Fabricación.

En sus instalaciones se cuenta con un equipo que permite realizar probetas de ensayo, pero ni mucho menos se acerca a las prestaciones y características que con este futuro equipo se pretenden alcanzar.

Cabe destacar las excelentes instalaciones y medios con los que el I.D.F. cuenta en su haber, como son los robots KUKA de mecanizado, como es el centro de mecanizado, tornos y demás equipamiento, y no solo de instrumental y equipo de laboratorio se esta hablando, si no que también del capacitado grupo de profesionales que se encuentran entre sus filas, pero con la incorporación de este horno de curado, no solo se podrán realizar probetas de mayores dimensiones, se podrán realizar piezas enteras de dimensiones nada despreciables ya que el volumen del horno es de 2m^3 , se podrá investigar con nuevos materiales que exijan estrictos procesos de fabricación, se podrá contrastar modelos teóricos obtenidos fruto de la simulación en programas como PAM RTM y verificar que se cumple lo estudiado teóricamente y lo simulado en el aula con la practica llevada a cabo en el laboratorio, además de incrementar el ámbito de trabajo del I.D.F en su búsqueda continua de la innovación y desarrollo de prototipos.

OBJETIVO

4.Objetivo

El objetivo del presente proyecto es diseñar, calcular y construir un horno para curado de materiales compuestos, que sea capaz de cumplir las estrictas condiciones que especifican los fabricantes del material para su procesado, en concreto los materiales Pre-impregnados, con el que se pretende aumentar la capacidad técnica del Instituto de Diseño y Fabricación de la Universidad Politécnica de Valencia.

Para la realización del proyecto se aplicarán los conocimientos adquiridos durante el Master Universitario en Diseño y Fabricación Asistidos por Computador (CAD/CAM/CIM).

Utilizando programas, técnicas de análisis y cálculo impartidas por los docentes de dicho master.

Se pretende que este en funcionamiento dicho horno para el Mes de Septiembre de 2013.

CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO

5. Caracterización de lugar de trabajo

El diseño y construcción del horno se ha realizado en las instalaciones del Instituto y Diseño para la Fabricación y Producción Automatizada que tiene en la Universidad Politécnica de Valencia, concretamente en el Edificio 8G en su planta baja.

Sito:



Figura 10 Plano

Donde se haya el taller que se va a utilizar como sede para la fabricación y curado de las piezas realizadas con material pre-impregnado, ya que es en ese lugar donde también es almacenado dicho material



Figura 11 Vista U.P.V.

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TRANSMISIÓN DE CALOR

6. Conceptos básicos sobre transmisión de calor

Para entender este apartado se hace necesario hablar de una serie de conceptos básicos sobre termodinámica.

Conceptos básicos:

6.1 Temperatura:

Es el parámetro de estado térmico. Su valor depende de la energía cinética medida del movimiento de translación de las moléculas de un cuerpo dado.

Expresado de otra manera es el grado de calor que posee un cuerpo.

Sus unidades son:

-C° → Grados Celsius.

-F → Fahrenheit.

-K → Grados kelvin.

-R → Grados Rankine.

6.2 Calor:

Es la energía que se transmite debido a una diferencia de temperaturas entre un sistema y su entorno.

6.3 Calor específico:

Es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de un sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad.

6.4 Calor latente:

Es aquel calor que sin aumentar la temperatura del cuerpo, produce un cambio significativo en él, ejemplo que puede ilustrar este concepto es cuando llevamos a ebullición el agua, donde se observa que la temperatura a la que empieza a hervir es la misma desde principio a fin.

En el caso de un fluido cuando este recibe o entrega es cuando hay mayor flujo o transferencia de calor.

6.5 Fluido:

Se denomina fluido a un tipo de medio continuo formado por una sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Dicho término engloba tanto líquidos como gases.

En nuestro caso de estudio el fluido de estudio será el aire.

6.6 Presión:

La presión es la fuerza superficial que ejerce un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene.

La presión es una magnitud física que también varía según a la altitud que nos encontremos.

6.7 Densidad:

Es la relación que existe entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Su unidad en el sistema internacional es el kg/m³.

6.8 Viscosidad:

Es la oposición de un fluido a sufrir deformaciones tangenciales.

Esta propiedad es característica de los líquidos en movimiento, bien sean aceites, resinas o cualquier tipo que sea su naturaleza.

6.9 Caudal:

Es la cantidad de materia expresada en unidades de volumen (m³, l) que pasa por un área determinada durante un intervalo de tiempo específico.

Por ejemplo l/h → litros que trasiegan por un área concreta en una hora.

Para conocer un poco más sobre los fenómenos térmicos, e indagar mas sobre las técnicas y configuraciones interiores de los hornos, antes de ello debemos introducir otra serie de conceptos, y principios de funcionamiento básicos para un horno, y se trata del fenómeno de transmisión de calor.

TRANSMISIÓN DE CALOR

7. Transmisión de Calor

Se ha descrito la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre las fuentes de calor y receptoras, tratados normalmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como las que ocurren en los equipos de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en la química.

Un problema típico de los procesos de transferencia de calor viene determinado por la cantidad de calor que se transferirá, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y el arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar el intercambio de calor.

Puesto que la transferencia de calor se considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto a temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. El flujo neto se produce siempre en el sentido de la temperatura decreciente.

Los mecanismos por los que fluye el calor son tres:

- Conducción**
- Convección**
- Radiación.**

MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

8.Métodos de transmisión de calor

8.1 Conducción:

Si existe un gradiente de temperatura en una sustancia, el calor puede fluir sin que tenga lugar un movimiento observable de la materia. En los sólidos metálicos la conducción de calor resulta del movimiento de los electrones no ligados y existe una estrecha relación entre la conductividad térmica y la eléctrica.

En los sólidos que son malos conductores de la electricidad, y en la mayor parte de los líquidos, la conducción de calor se debe al transporte de la cantidad de movimiento de las partículas individuales a lo largo del gradiente de temperatura.

En gases la conducción se produce por el movimiento al azar de las moléculas, de forma que el calor se “propaga” desde las zonas mas calientes a las mas frías.

El ejemplo mas común de conducción es el flujo de calor en sólidos opacos, tales como la pared de ladrillo de un horno o la pared metálica de un tubo.

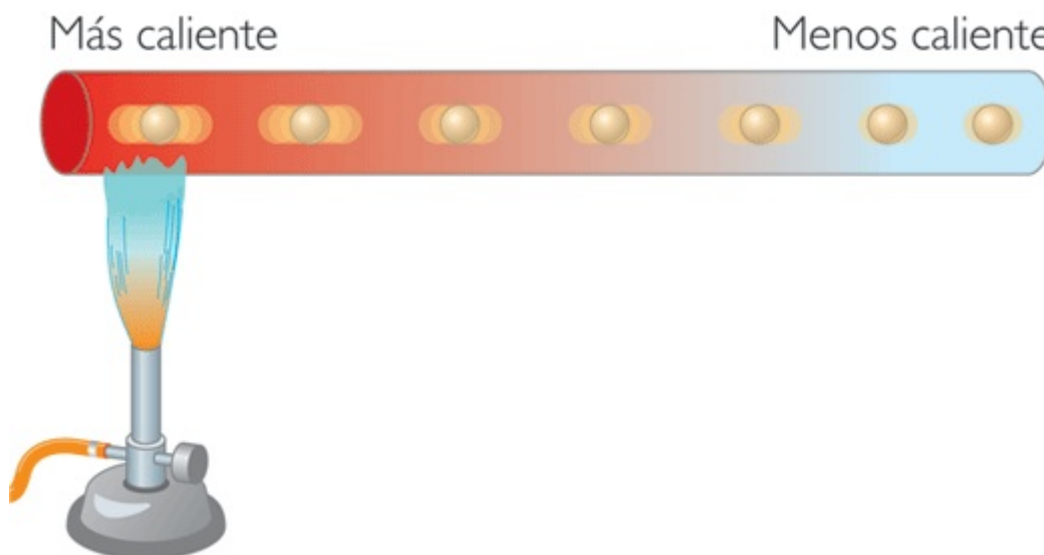


Figura 12 Conducción

8.1.1 Conductividad térmica:

La conductividad térmica o también coeficiente global de transferencia de calor, es una característica de todo material ya que representa la resistencia que este ofrece al flujo del calor.

La conductancia es la inversa de la resistencia al calor, siendo sus unidades $W/(m^2 \cdot K)$, se denota con la letra K.

La conductividad térmica varía con la temperatura, pero no siempre en la misma dirección. La conductividad térmica puede variar para muchos materiales, sobre todo en el caso de los metales y su composición, ya que debido al contenido de estos en impurezas su conductancia puede variar del 50% a 75%.

Sustancia	Conductividades térmicas, k			Valores R
	W/m * K	- kcal/m ² * s * C°	- Btu * in/ft ² * h * F°	
Aluminio	205	5.0 x 10 ⁻²	1745	0.00069
Latón	109	2.6 x 10 ⁻²	750	0.0013
Cobre	385	9.2 x 10 ⁻²	2660	0.0038
Plata	406	9.7 x 10 ⁻²	12	0.00035
Acero	50.2	1.2 x 1 ⁻²	320	0.0031
Ladrillo	0.7	1.7 x 10 ⁻⁴	5.0	0.20
Concreto	0.8	1.9 x 10 ⁻⁴	5.6	0.18
Corcho	0.04	1.0 x 10 ⁻⁵	0.3	3.3
Cartón de yeso	0.16	3.8 x 10 ⁻⁵	1.1	0.9
Fibra de vidrio	0.04	1.0 x 10 ⁻⁵	0.3	3.3
Vidrio	0.8	1.9 x 10 ⁻⁴	5.6	0.18
Poliuretano	0.024	5.7 x 10 ⁻⁶	0.17	5.9
Forno de madera	0.55	1.3 x 10 ⁻⁵	0.38	2.64
Aire	0.024	5.7 x 10 ⁻⁶	0.17	5.9
Agua	0.6	1.4 x 10 ⁻⁴	4.2	0.24

Figura 13 Tabla conductividad térmica

En nuestro caso las pérdidas en conducción se pueden producir a través de las paredes del horno, así como de los perfiles de aluminio que se han utilizado en su construcción.

Para evitar dichas pérdidas se ha utilizado como material aislante, “lana de roca” o también conocida como fibra de vidrio, siendo su resistividad 0.04.

Las pérdidas de flujo de calor a través de las paredes se explican de la siguiente manera:

Flujo de calor a través de una Pared:

De la ecuación $dQ = \kappa dA (d_t / d_x)$ se obtuvo la ecuación general cuando el flujo de calor y las temperaturas de entrada y salida de las dos caras opuestas del cubo elemental parcialmente aislado d_x, d_y, d_z , fueron constantes. Integrando la ecuación anterior cuando todas las variables excepto la Q son independientes, la ecuación del estado estable es:

$$Q = \frac{kA}{L} \Delta t$$

Figura 14 Ecuación de estado

Conocidas las temperaturas entre la pared de menor temperatura y la mayor, el flujo de calor puede ser calculado mediante la anterior expresión.

Flujo de calor a través de una pared compuesta: Resistencias en serie.

La ecuación de flujo de calor a través de una pared es de interés cuando la pared consiste en varios materiales uno, tras otro, colocados en serie, como nuestro caso la pared de un horno.

En la siguiente figura se puede ver una sección de una pared constituida por tres materiales en serie, referidos cada uno por las letras a, b, c. Para la pared total.

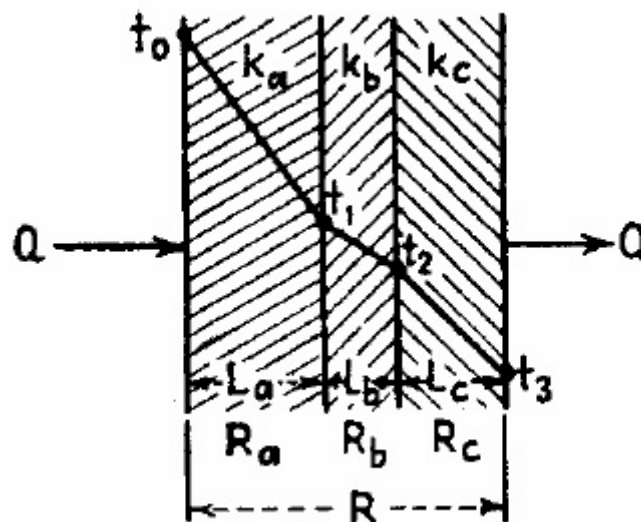


Figura 15 sección de pared

Flujo de calor a través de una pared compuesta.

El flujo de calor deberá vencer la resistencia en serie compuesta por R_a , R_b , R_c , de los tres materiales.

El calor que entra por la cara izquierda debe ser igual al calor que sale por la cara derecha, puesto que nos encontramos en estado estacionario. Si R_a , R_b , R_c , son diferentes, como resultado de diferente conductividad y grosor, la razón de la diferencia de temperaturas a través de cada capa a su resistencia, deberá ser la misma que la razón de la diferencia total de

$$Q = \Delta t / R = \Delta t_a / R_a = \Delta t_b / R_b = \Delta t_c / R_c$$

Donde quedaría:

$$Q = \Delta t / R = (t_0 - t_3) / ((L_a / K_a \cdot A) + (L_b / K_b \cdot B) + (L_c / K_c \cdot C))$$

8.2 Convección:

Cuando una corriente o una partícula microscópica (visible a simple vista) de materia cruza una superficie específica, tal como el límite de un volumen específico, lleva consigo una determinada cantidad de energía asociada "entalpía". Este flujo de entalpía recibe el nombre de "flujo convectivo de calor" o simplemente "convección".

Puesto que la convección es un fenómeno macroscópico, solamente puede ocurrir cuando actúan fuerzas sobre la partícula o la corriente de fluido y estas mantienen su fuerza frente a la fricción. Desde el punto de vista termodinámico la convección no es considerada como un flujo de calor sino como un flujo de entalpía.

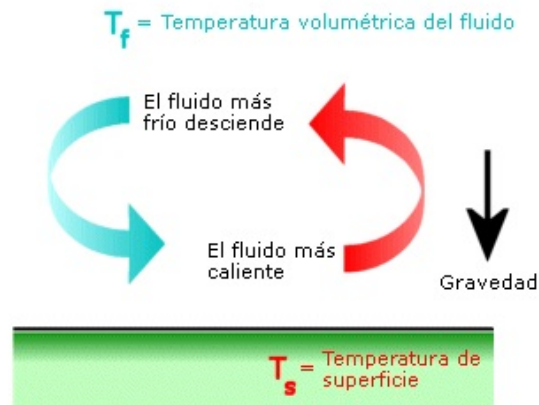


Figura 16 convección

Las fuerzas utilizadas para crear las corrientes de conversión en los fluidos son de dos tipos:

8.2.1 Convección natural:

Ocurre si las corrientes son consecuencia de las fuerzas de flotación generadas por la diferencia de densidad, que a su vez se generan por gradientes de temperatura en la masa del fluido. El flujo de aire a través de un radiador caliente es un ejemplo de colección natural, otro ejemplo es cuando se calienta agua en una olla sin agitación se pueden observar las líneas de convección que se forman.

7.2.2 Convección forzada:

Ocurre cuando las corrientes se ponen en movimiento por medio de la acción de algún dispositivo mecánico, bien sea un ventilador, un agitador.

También se puede obtener como resultado un sistema donde ambos tipos de convección tengan lugar al mismo tiempo.

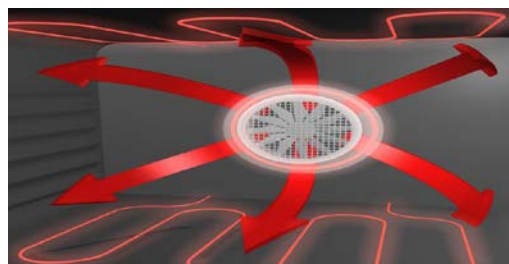


Figura 17 interior horno

8.3 Radiación:

Radiación es la palabra que se usa para designar la transmisión de energía a través del espacio. Si su medio de transporte es el vacío, en ella la energía no sufre transformación alguna, sin embargo si en su camino encuentra materia, la radiación se transmitirá, reflejara, o absorberá. La energía es absorbida es la transformada en calor y es cuantitativa.

Un ejemplo lo tenemos en los colores, o cuando la radiación solar incide sobre una superficie negra mate absorbe la mayor parte y la energía es transformada en calor.

En la siguiente imagen encontramos un ejemplo de las tres formas de transmisión de calor:



Figura 18 Artinaid.com

CLASIFICACIÓN DE HORNOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

9. Clasificación de Hornos de resistencias eléctricas

Los industriales de resistencias son aquellos en los que la energía requerida para su calentamiento es de tipo eléctrico y procede de la resistencia ohmica directa de las piezas, o de las resistencias eléctricas dispuestas en el interior del horno que se calientan por efecto joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

La clasificación más completa y amplia atiende a diferentes aspectos que son:

9.1 Forma de funcionamiento:

Es decir pueden ser hornos de funcionamiento continuo o de funcionamiento discontinuo.

9.2 Disposición de las resistencias:

Según donde se ubiquen las resistencias, los hornos pueden ser de calefacción o aportación de calor, donde se distingue 4 tipos:

- Disposición inferior.
- Disposición lateral.
- Disposición superior.
- Disposición en extremo.

9.3 Según la forma de su cavidad, citare brevemente las más comunes:

- Hornos de solera.
- Hornos de crisol.
- Hornos de túnel.
- Hornos de cuba.

9.4 Tipo de efecto o reacción en causada en el producto:

- Hornos de calentamiento.
- Hornos de Fusión.
- Hornos de curado.

De una manera más genérica se engloban en las siguientes clasificaciones:

- Hornos de fusión.
- Hornos de recalentamiento.
- Hornos de tratamiento térmico.
- Hornos especiales.

ASPECTOS TÉCNICOS Y REQUISITOS
FUNDAMENTALES PARA SU
CONSTRUCCIÓN

10.Aspectos técnicos y requisitos fundamentales para su construcción

Para la construcción del horno se deberán tener en cuenta todos los factores en la medida de lo posible que nos afectan y condicionaran nuestro diseño.

Deberemos tener en cuenta el espacio donde se ubicara el horno, el material con el que trabajaremos en el o los materiales disponibles para su construcción y demás detalles.

Así como alimentación eléctrica, posibles cambios de ubicación, su manejo y control de temperatura.

- Requerimientos y necesidades del usuario.
- Capacidad de construirlo.
- Presupuesto ajustado.

10.1 Requerimiento y necesidades del usuario:

Requisito técnico, satisfacer las necesidades del proceso de fabricación.

Material a tratar:

- Temperatura inicial.
- Material a tratar.
- Forma y dimensiones de la carga.

Particularizando en nuestras necesidades:

- Temperatura inicial: Intervalo entre 10C° y 30C°
- Material: Fibra de carbono Pre-impregnada.
- Forma: La forma y dimensiones de la carga será muy variable puesto que las piezas a introducir en el horno formaran parte del chasis de un vehículo, entre otras partes, y para este propósito se diseñara una mesa, donde fijar todo el utillaje necesario para la manipulación de las mismas durante su curado.

Tratamiento:

- Temperaturas tanto máximas como mínimas de consigna.
- Ciclo de curado aplicado durante el proceso.
- Precisión exigida durante el proceso de curado.
- Capacidad de realizar las rampas de temperatura, tanto en fase de incremento de la temperatura como en fase de refrigeración.

Como en el apartado anterior, particularizando a nuestras necesidades se tiene que:

- Temperatura Máxima: La temperatura máxima exigida durante el proceso de curado será 120C^o según especificaciones del fabricante del material.
- Ciclo de curado: El fabricante del material establece un ciclo de curado muy preciso, el cual deberemos ser capaces de satisfacer con nuestro horno, ya que si no lo logramos con éxito, no conseguiremos los resultados óptimos, y no podremos garantizar la integridad estructural de las piezas fabricadas.

En la siguiente imagen:

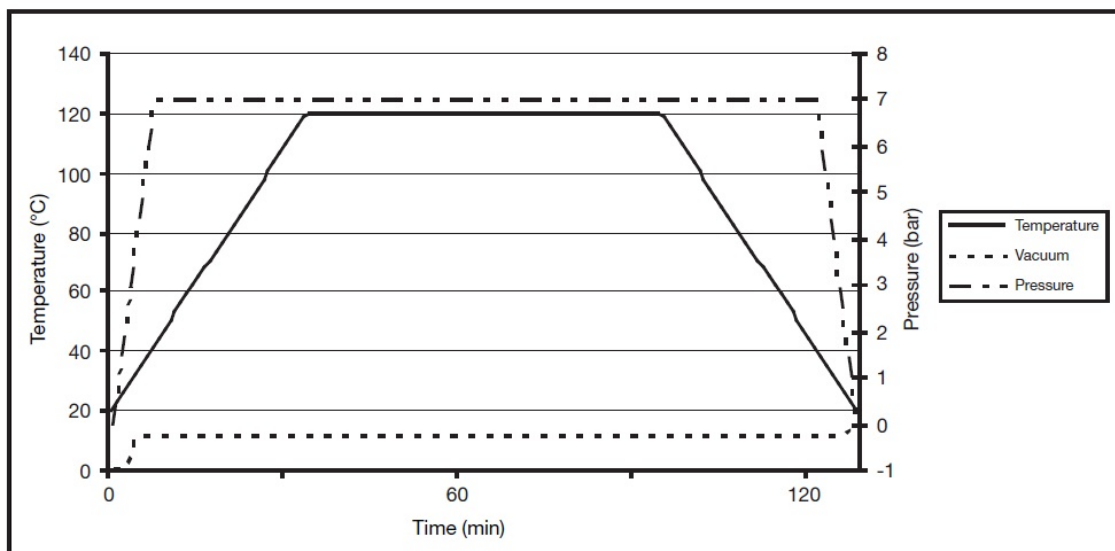


Figura 19 Ciclos de curado, Manual usuario Hexcel M49

Fases del ciclo de curado:

- 1°→ Aplicaremos el vacío a la pieza 0,9bar para ser precisos.
- 2°→ En proceso por autoclave, ahora sería cuando se aplicaría la presión en el interior de la cámara, pero en nuestro caso no tenemos grupo de presión, por tanto este paso será obviado.
- 3°→ Reduciremos la presión de vacío, aproximándonos a unos 0,2bar, un valor más seguro y que garantizara el perfecto conformado de la pieza.
- 4°→ Iniciaremos la rampa de calentamiento, incrementando la temperatura en rango de 1-3C°/min. hasta alcanzar los 120C°.
- 5°→ En este punto será donde mantendremos la temperatura constante, siendo el valor de 120C° durante un tiempo de 60”.
- 6°→ Ahora realizaremos la fase de enfriamiento, a un ritmo de 2-5C°/min.
- 7°→ Esperaremos a que la pieza termine su enfriado, perdiendo su calor latente, para poder proceder a su manipulado, y retirar todos los elementos auxiliares indispensables en el proceso de fabricación.

Otros ciclos alternativos de curado:

Cure temperature (°C)	Time (min)
140	30
120	60
100	120
90	360
85	720

Figura 20 Ciclos de curado, Manual usuario Hexcel M49

-Precisión exigida: Esta característica viene condicionada una vez mas del material, en nuestro caso se ha garantizado este requisito por medio de un termopar tipo k, mas tarde entraremos en detalles de este dispositivo.

-Capacidad de realizar las rampas de temperatura: Deberemos ser capaces de cumplir con las exigencias del proceso, para ello

se han dimensionado las resistencias para ser capaces de suministrar en cada momento la cantidad necesario de calor en cada instante del proceso.

Producción:

-Producción: Como en cada proceso de fabricación deberemos saber la demanda estimada de producción a la que el horno será solicitado.

-Uso del Equipo: Estimación de horas, días, tiempo de uso.

Particularizando a nuestro equipo:

-Producción: En nuestro caso no estamos regidos a ningún proceso de trabajo en cadena ni cliente que nos reclame una demanda determinada, sin embargo seremos nosotros mismos nuestros propios clientes, por tanto el horno deberá satisfacer nuestras necesidades en un periodo de tiempo ajustado.

-Uso del equipo: El horno inicialmente será usado por los integrantes del Equipo para la Fórmula S.A.E. donde serán curadas las piezas para el monoplaza, además también estará a disposición de los miembros del I.D.F. así como de otros departamentos que así lo soliciten.

10.2 Capacidad constructiva:

-En primer lugar analizamos el ciclo de curado especificado por el fabricante del material, y comprobaremos la posibilidad de llevarlo a cabo en nuestras instalaciones.

-Disponibilidad de los materiales para construir el horno y la previsión de recambios en caso de avería.

Particularizando a nuestro caso:

-Análisis del ciclo de curado: Tras recibir las instrucciones del fabricante del material pre-impregnado, analizamos el ciclo de curado recomendado, y tras analizar las rampas de temperatura el principal escoyo se encontraba en controlar dicha rampa, pero ese problema se resuelve con la incorporación del “P.I.D.” el controlador de temperatura que gracias a el seremos capaces de programar las rampas recomendadas para el correcto curado de las piezas.

-Disponibilidad de materiales y recambios: Los materiales para realizar y construir el horno no se pueden encontrar en cualquier superficie comercial, pero si en centros especializados, ya por ejemplo el cable para realizar las conexiones debe ser capaz de soportar la temperatura, y no todos los cables pueden, aún así son materiales relativamente comunes y disponibles en tiendas especializadas, y aunque la avería es algo poco probable, en cuestión de 48 horas tendríamos el recambio a nuestra disposición.

10.3 Aspectos económicos:

Para la construcción el horno se tuvieron en cuenta los factores económicos como:

- Coste de materiales.
- Coste de energía.
- Coste de mantenimiento.
- Coste de personal.

Particularizando a nuestro equipo:

-Coste de materiales: Los materiales con los que se ha construido el horno no se pueden encontrar en cualquier lugar, han sido adquiridos en tiendas especializadas, pero sin ser materiales especiales o que requieran un trato especial durante su manipulación, así como su toxicidad.

Se ha tratado de buscar materiales económicos pero buscando un equilibrio entre prestaciones, además de cuidar el aspecto visual y acabados del equipo.

-Coste de energía: Ante el equipo que nos encontramos el ahorro de energía es una difícil meta, ya que su consumo en energía eléctrica será elevado, existiendo una opción para minimizar su consumo siendo esta la conexión de manera trifásica, método en el que la energía eléctrica es más económica, pero con el inconveniente que se necesita una toma trifásica en el taller aspecto que limitara el ámbito de uso y su portabilidad, ya que si es necesario disponer el horno en otras instalaciones, si dichas instalaciones carece de conexión trifásica, no se podrá utilizar siendo la conexión 220V la elegida para su alimentación.

-Coste de mantenimiento: El coste de mantenimiento del horno será muy reducido, básicamente limpieza del horno y reparación de desajustes que se produzcan resultado de su utilización.

-Coste de personal: Se ha tenido en cuenta a la hora del diseño de el horno, que la mano de obra para su utilización sea lo menor posible, además de no ser gran experto en la materia, es decir se ha tratado de simplificar y automatizar en gran medida el proceso de fabricación.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

11.Aspectos constructivos de un horno de resistencias

eléctricas

Como hemos visto anteriormente los hornos eléctricos gozan de gran versatilidad ya que pueden ser modificados y adaptados para aquel proceso que sea necesario, ya sea curado, fusión, pre-calentamiento...etc. Pero existen multitud de factores que influyen en su construcción y en su configuración.

Sin embargo los hornos de resistencias eléctricas tienen ciertos elementos constructivos comunes aunque su aplicación final sea muy diferente.

Voy a pasar a enumerar las partes constitutivas de un horno de resistencias eléctricas:

- Estructura del horno.
- Resistencias de Calentamiento.
- cámara interior.
- Elementos aislantes.
- Turbinas o ventiladores.
- Elementos de regulación y control.

11.1 Estructura del horno:

La estructura del horno es metálica aunque se puede realizar de otros materiales tales como encofrados de hormigón y demás materiales que soportan altas temperaturas.

Pero lo que buscamos con este proyecto es que fuera ligero, movable, además del volumen ocupado por el fuera lo menor posible dentro del taller.

Por ello la estructura se ha realizado con perfilaría de aluminio.

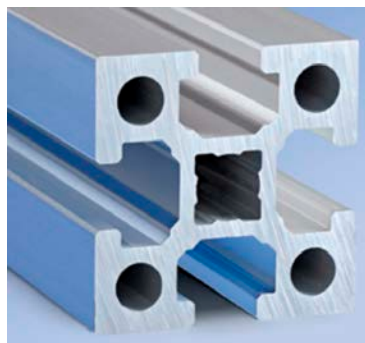


Figura 21 Perfil de aluminio 40 series, Directindustry.es

Un tipo de perfil muy versátil que gracias a la multitud de accesorios y fijaciones, se pueden realizar gran variedad de ajustes en un corto espacio de tiempo, siendo sus uniones atornilladas, una gran ventaja en caso de tener que ser desmontando y trasladado.

Además dicho perfil ofrece un compromiso entre ligereza y resistencia, debido a que las piezas que se van a currar en el interior del horno son voluminosas de pero de una gran masa, estos perfiles soportan con éxito dicha solicitud.

Otro aspecto a tener en cuenta es su reciclado, si un día se decidiera prescindir de su uso, el horno puede ser desmontando sin necesidad de cortar, o estropear los perfiles, pudiendo ser estos reutilizados para cualquier otro propósito.

Y por ultimo mencionar el elemento estético, estos perfiles ofrecen un acabado profesional y atractivo a la vista. Si un día fuera expuesto, su presencia estética resultaría muy atractiva.

-Uniones entre perfiles:

Para unir los perfiles de aluminio entre sí, se utilizo un sistema fácil y sencillo, se trata de una serie de piezas en "L".

La escuadra se fija al perfil por medio de un tornillo de allén, métrica 8 que junto con una tuerca en el ranurado interior se aprieta y queda firmemente fijado así de esta forma se va conformando la estructura principal del horno.



Figura 22 Unión de perfil

11.2 Resistencias de calentamiento:

El calentamiento de las por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasas por las piezas, o indirecto cuando las piezas se calientan por radiación, convección o por una combinación de ambas debido a la proximidad de las resistencias a las piezas.

Calentamiento por resistencia directa hace referencia cuando se hace pasar una pequeña corriente eléctrica a través de la pieza, tomada la corriente del secundario del transformador provisto de varias tomas para adaptarse a diferentes secciones, diferentes materiales o aleaciones.

El calentamiento por resistencia directa es adecuado para piezas metálicas de gran longitud y sección pequeña e uniforme, como por ejemplo barras, pletinas, varillas. Además al obtenerse tiempos de calentamiento muy cortos, pueden encadenarse los equipos de laminación, forja o conformado en caliente.

La distribución de la temperatura por la pieza se puede ajustar por el tiempo de calentamiento, así como conseguir una temperatura ligeramente superior en el interior de la pieza.

Sin embargo en al ámbito industrial es mucho más frecuente el calentamiento de forma indirecta con resistencias eléctricas que pueden ser:

- Barras, Varillas, hilados de cobre, dispuestos en la cámara de calentamiento de horno, transmitiendo calor a las piezas por radiación.
- Paquetes de resistencias que transmiten el calor por convección al aire o gases, y a su vez estos por convección también a las piezas.
- De la misma configuración pero dispuestos en el interior de tubos radiantes cuando la atmosfera del horno sea perjudicial, ya que la vida de las resistencias se vera alargada de manera considerable.
- También existen resistencias blindadas para aplicaciones más especiales.

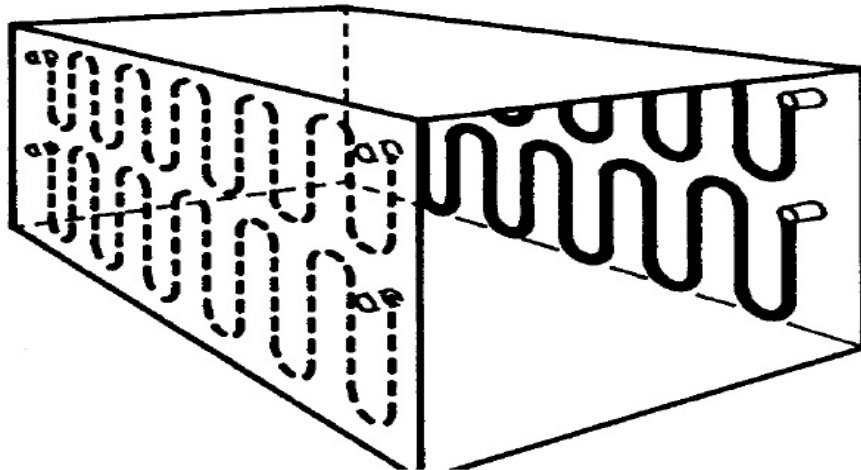


Figura 23 Disposición típica de resistencias eléctricas. Teoría de hornos.

11.2.1 Clasificación de las resistencias:

Las resistencias para calentamiento indirecto se pueden clasificar del siguiente modo:

- Metálicas.
- No metálicas.
- Tubo radiante, generalmente colocados en las bóvedas de los hornos.
- Resistencias blindadas, utilizadas para el calentamiento de líquidos en baños de tratamiento , tanques de temple, cámaras de combustión, etc.

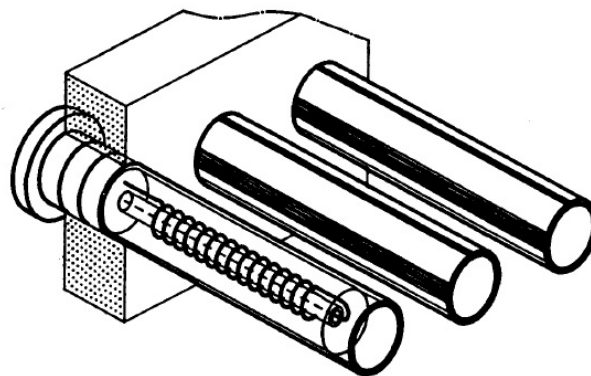


Figura 24 Tubo radiante con resistencia de alambre en espiral, en soporte cerámico. Teoría de hornos resistencias eléctricas.

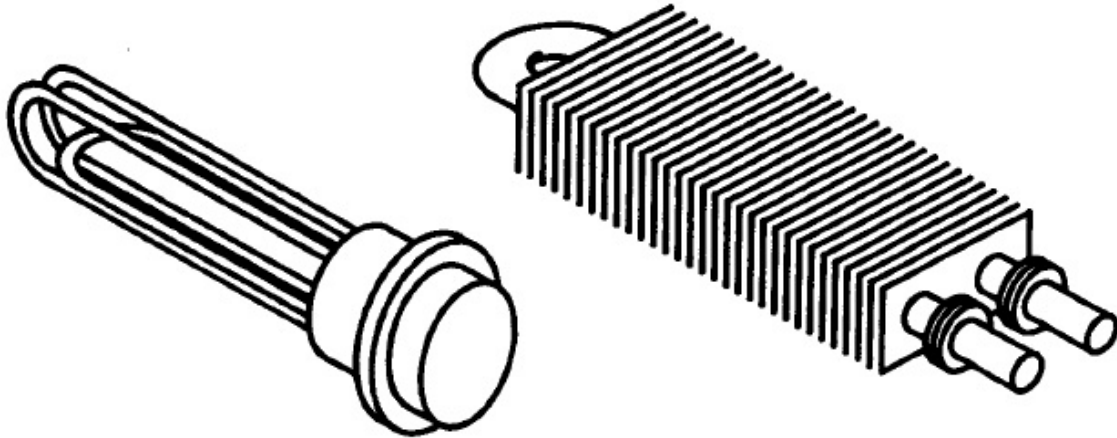


Figura 25 Resistencias comerciales, Teoría de hornos resistencias eléctricas.

11.3 Cálculo de las resistencias

El calentamiento por medio de resistencias está basado en el efecto “joule”, donde la energía eléctrica absorbida por las resistencias(kW) que será disipada en forma de calor (Kcal/h) en el interior de la cámara del horno.

-Factores para el cálculo de las resistencias:

Tendremos varios factores que intervendrán para el cálculo de las resistencias como:

- Tensión disponible en el taller, o lugar de instalación del horno.
- Potencia del horno.
- Volumen del horno.
- Carga o materiales a tratar.

Tensión disponible:

El lugar donde se va a instalar el horno es uno de los talleres que el I.D.F. dispone en la Ciudad Politécnica de la Innovación, en dicho taller se tienen conexiones tanto trifásica como 220v.

Sin embargo pensando en que esta localización quizás no pueda ser segura se ha decidido equipar al horno con resistencias alimentadas a 220v.

Potencia del horno:

El cálculo de la potencia del horno partirá de un dato fijo, la temperatura que se desea alcanzar, que será como máximo de 150C^o, sabiendo esto deberemos realizar un serie de cálculos para los que tendremos en cuenta una serie de factores como son:

- Factor de conductividad térmica ("K") del material aislante a instalar.
- Grosor de las paredes del horno.
- Área de los paneles del horno.
- Masa encerrada.
- Fluido dentro del horno, (aire).

Teniendo claros todos estos datos, el cálculo se ha implementado mediante una hoja Excel en la que se muestran los resultados obtenidos.

A continuación se muestran dichos resultados, teniendo la hoja Excel a disposición en el anexo de la tesina.

En primer lugar se tuvieron en cuenta los actores anteriormente descritos:

Propiedades	
K1 (Lana de Roca) [w/mK]	0,034
K2 (Lana de Roca) [w/mK]	0,039
Espesor (m)	0,03
Cp (Aire) [J/KgK]	1012
Área panel 1 [m2]	1
Área panel 2 [m2]	2
Masa Aire [Kg]	2,36
Ancho canto [m]	0,01

Figura 26 Hoja de calculo Excel.

A su vez se estableció un vector de temperaturas, ascendientes por supuesto, puesto que debemos pensar en un detalle, no es lo mismo , alcanzar la temperatura especificada por el fabricante del material en un intervalo de tiempo que en otro, es decir, no es lo mismo alcanzar 120C° en 1 hora, que alcanzar dicha temperatura con el incremento gradual que requiere el material, por ello se utilizo el vector de temperatura, que aumenta gradualmente en 3C°. Además este facto influirá en gran medida porque no se necesita la misma potencia, realizar una rampa de potencia de este tipo, exige mucho mas aporte de energía por tanto, repercutirá en unas resistencias de mayor potencia.

Vector de Temperaturas (°C)	
20	86
23	89
26	92
29	95
32	98
35	101
38	104
41	107
44	110
47	113
50	116
53	119
56	122
59	125
62	128
65	131
68	134
71	137
74	140
77	143
80	146
83	149
	152

Figura 27 Vector de temperatura Hoja Hexcel.

	Cálculo de Qd (J)	Cálculo de Potencia (W)
1	7198,96	119,98
2	14397,92	239,97
3	21596,88	359,95
4	28795,85	479,93
5	35994,81	599,91
6	43193,78	719,90
7	50392,74	839,88
8	57591,71	959,86
9	64790,68	1079,84
10	71989,66	1199,83
11	79188,63	1319,81
12	86387,61	1439,79
13	93586,59	1559,78
14	100785,57	1679,76
15	107984,56	1799,74
16	115183,55	1919,73
17	122382,55	2039,71
18	129581,55	2159,69
19	136780,56	2279,68
20	143979,57	2399,66
21	151178,59	2519,64
22	158377,61	2639,63
23	165576,65	2759,61
24	172775,69	2879,59
25	179974,74	2999,58
26	187173,80	3119,56
27	194372,86	3239,55
28	201571,94	3359,53
29	201711,94	3361,87
30	208916,03	3481,93
31	216120,13	3602,00
32	223324,24	3722,07
33	230528,36	3842,14
34	237732,50	3962,21
35	244936,65	4082,28
36	252140,81	4202,35
37	259344,99	4322,42
38	266549,19	4442,49
39	273753,40	4562,56
40	280957,63	4682,63
41	288161,88	4802,70
42	295366,15	4922,77
43	302570,44	5042,84
44	309774,75	5162,91
45	316979,08	5282,98

Figura 28 Potencia necesaria en cada instante. Hoja Excel.

El vector anterior de temperatura determina 45 puntos o estados de temperatura, donde a su vez, tras realizar los cálculos obtenemos la potencia necesaria a aportar para cada uno de estos 45 puntos.

Las unidades se encuentran en “Julios” “J” y en “Wattios” “W”.

En la siguiente imagen podemos apreciar el gráfico donde se observa representada la rampa de temperatura:

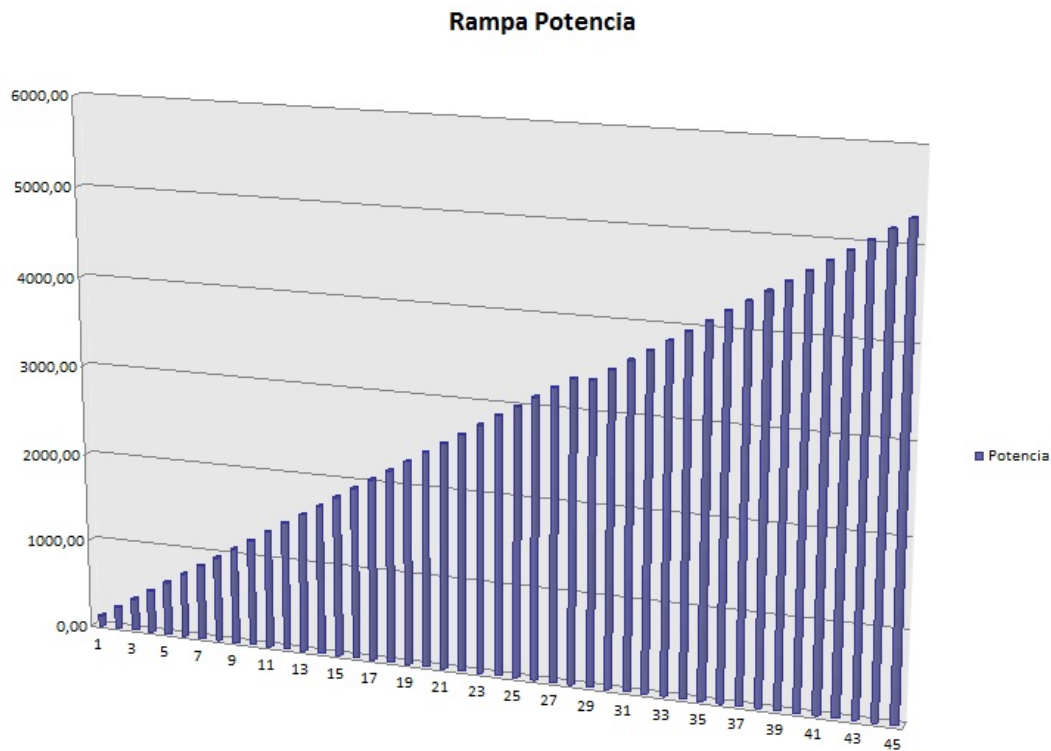


Figura 29 Rampa de potencia. Hoja Excel.

En el eje de ordenadas apreciamos la cantidad en vatios de potencia mientras que el eje de abscisas encontramos los puntos del gradiente de temperaturas. Por último todo cálculo debe finalizar con una conclusión y un resultado. En nuestro caso tras realizar los cálculos y aplicar un coeficiente de seguridad, (es decir mayorando los resultados) de 1,15, obtenemos una potencia final de 6,1KW.

En la siguiente imagen apreciamos dicha conclusión.

Conclusión

C.Seguridad	1,15
Potencia (KW)	6,1

11.4 Resistencias empleadas en el horno:

Se puede decir que es uno de los elementos constitutivos del horno más importante y su cálculo no es baladí, puesto que intervienen diversos factores que más tarde se detallaran en este documento.

Sabiendo las dimensiones de la cámara del horno, el aislante utilizado en la pared del horno y las rampas especificadas por el fabricante del material Pre-impregnado, se realizaron los cálculos mediante una hoja Excel.

Los cuales arrojaron que para realizar las rampas de calentamiento y posterior estabilización de la temperatura durante el tiempo especificado en las instrucciones del material sería necesaria una potencia total de 5,2kw.

Una vez conocido este cálculo se procedió a la realizar la búsqueda de unas resistencias que se adecuaran a la potencia requerida, con la hipótesis de repartir dicha potencia entre varios elementos resistivos.

Para ello se recurrió al catalogo de electrodomésticos “remle” empresa situada en la capital, ventaja en caso de avería, donde se selecciono la resistencia para lavavajillas de 3000w de potencia.



Figura 30 Catalogo de recambios electrodomésticos Remle

Se colocarán dos resistencias, repartidas en cada vano de 1m³ en la zona inferior del horno, a una distancia prudencial de la pieza a tratar, para que la radiación no queme la parte superficial de la pieza.

En la siguiente figura podemos observar nuestra resistencia.



Figura 31 Vista de resistencia

Detalle de conexión y fijación:

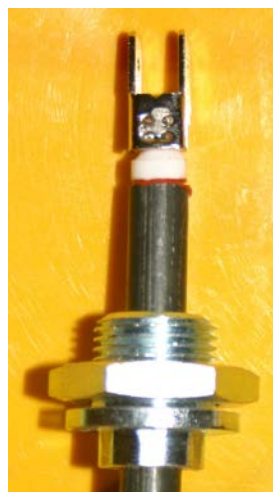


Figura 32 Detalle de la fijación y conexión.

11.5 Cámara interior:

Debido a las solicitaciones a la que será sometido el horno, siendo su temperatura máxima no superior a 140C⁰, se optó por diseñar una única cámara, lo más diáfana posible para así de este modo lograr el mayor espacio posible para introducir piezas de gran volumen.

En la parte inferior de la cámara se ubicaran los elementos resistivos, uno en cada vano, ya que la cámara cuenta con dos vanos de 1m³ cada uno, en las paredes tanto laterales, superior e inferior se ha colocado el aislante adherido a la pared.

Por último se fijarán una serie de guías para introducir y sacar las piezas del horno, facilitando de esta manera su manipulación y multiplicando la versatilidad del horno.

11.5.1 Perdidas de calor:

En relación con la cámara interior y también del horno entero en si mismo, tendremos una serie de pérdidas de calor las cuales se pueden clasificar en:

- Perdidas de calor debido a puentes térmicos.
- Perdidas de calor a través de las paredes del horno.
- Perdidas de calor por almacenamiento de este en el aislamiento.
- Perdidas por entrada de aire.
- Perdidas por juntas, ajuste de puertas, agujeros.....

En nuestro horno la principal pérdida de calor se producirá a través de las paredes planas del horno.

Estas pérdidas dependerán en gran medida de las características del aislamiento utilizado.

11.5.2 Pérdida de calor a través de una pared plana:

En nuestro horno, la principal pérdida de calor se producirá a través de una pared plana.

La transmisión de calor a través de un material es un fenómeno complejo, debido al ser un sólido poroso intervienen en el, en mayor o menos grado, los tres mecanismos de transmisión de calor:

- Conducción → En el sólido y en el gas encerrado en los poros.
- Convección → En el gas.
- Radiación → En el gas.

En la siguiente figura se muestra una pared plana, de área A , y espesor L , en cuya cara en $x=0$ se tiene T_1 , mientras que en el lado $x=L$, se mantiene a T_2 ($T_1 > T_2$). El flujo de Q (J/s) a través de la pared se efectúa en la dirección de la disminución de la temperatura. Donde la ley de Fourier establece que, la densidad del flujo de calor, q , (Cantidad de calor que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo, $[W/m^2]$) viene dada por:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = q = -k \frac{dT}{dx}$$

Figura 33 Cantidad de calor que atraviesa una superficie

Donde:

T es la temperatura local $[K \text{ ó } C^\circ]$, x es la coordenada en la dirección del flujo $[m]$ y k es la conductividad térmica de la sustancia, cuyas unidades $[W/mK]$.

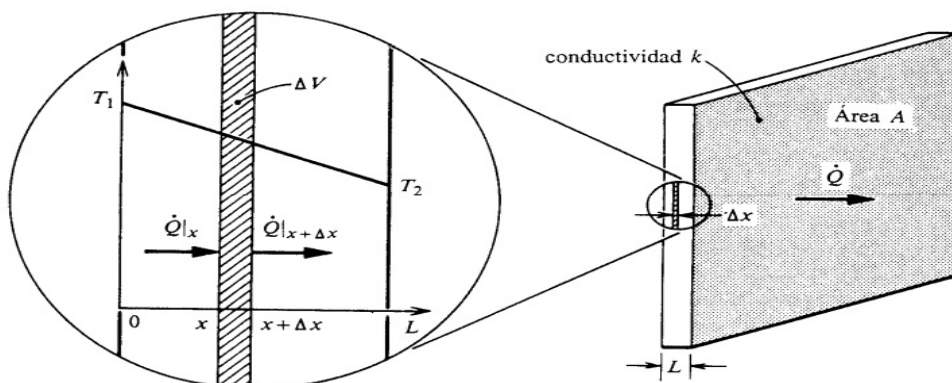


Figura 34 Flujo de calor

La conductividad térmica es un parámetro que depende del tipo de material y de la temperatura y representa la cantidad de calor conducido por unidad de tiempo a través de la unidad de área, perpendicular a la dirección de transporte de calor, cuando el gradiente de temperatura a través del elemento conductores la unidad.

Por tanto tenemos una pared plana compuesta por dos placas de material, el flujo de calor a través de cada placa de material será:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{L_A / k_A} = \frac{T_2 - T_3}{L_B / k_B}$$

Figura 35 Flujo de calor a través de cada placa plana

Que recurriendo a un símil eléctrico formado por resistencias eléctricas en serie obtendríamos:

$$q = \frac{\Delta T}{R_A + R_B}$$

Figura 36 Símil eléctrico

De forma más gráfica:

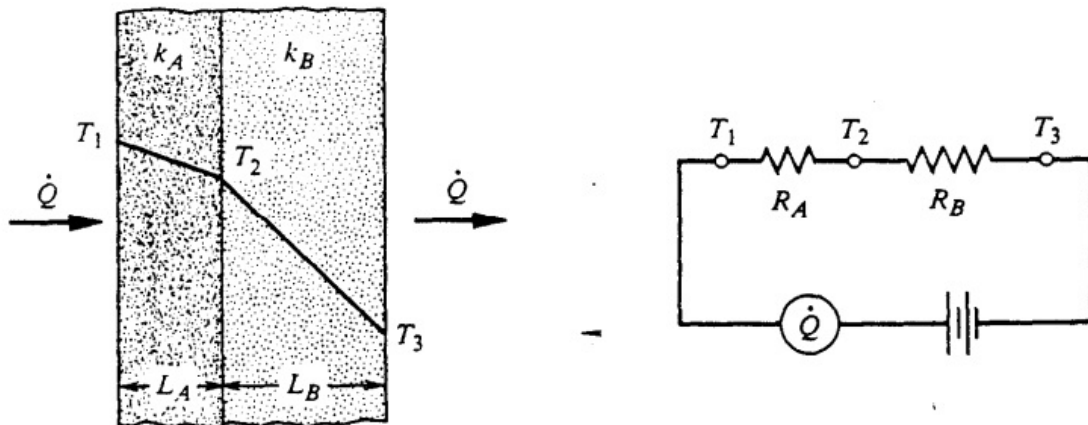


Figura 37 Analogía térmica entre eléctrica

Distribución de temperaturas para conducción estacionaria a través de una pared plana compuesta y el circuito térmico correspondiente.

Este caso atiende a aquel en el que se conocen las temperaturas de contorno en cuestión.

11.5.3. Materiales para aislar térmicamente la cámara:

Existen multitud de materiales para aislar la cámara interior del horno, deberemos escoger aquel que se ajuste mejor a nuestras necesidades y condiciones de trabajo.

Pero también realizan otros papeles:

- Reducir las pérdidas de calor.
- Evitar que el horno afecte al entorno durante su funcionamiento.

Clasificación de materiales para el aislamiento de hornos:

-Refractarios densos:

- Arcillas refractarias.
- Silicatos.
- Óxidos de sílice, cromita, magnesia.

-No refractarios Aislantes soportan 1000C°:

- Carbonato de magnesio.
- Lanas minerales como lana de roca, fibra de vidrio.
- Silicato calcico.
- Sílice fósil.

En función de la temperatura estimada que alcance la cámara interior del horno, condicionara el material a emplear como aislante.

11.6 Elementos Aislantes:

El campo de los aislantes para hornos industriales de resistencias eléctricas es muy amplio

Propiedades de los materiales aislantes:

- Baja conductividad térmica.
- Capacidad de almacenar calor.
- Algunos de ellos ignífugos.

11.6.1 Lana de mineral, Fibra de vidrio:

Este material aislante se realiza con la mezcla de tres componentes, vidrio fundido, escorias metalúrgicas y rocas naturales que junto con los aditivos necesarios, se fabrican las lanas o la presentación que demande el cliente.

Las lanas obtenidas mediante este proceso pueden poseer un alto contenido en sílice, además una buena resistencia a la corrosión química y siendo capaces de resistir temperaturas de hasta 700C°.

Las lanas minerales constituyen hoy en día unos de los mejores y más comunes materiales de aislamiento.

Dicha popularidad ha sido por ser:

- Químicamente neutro.
- Fácil Manipulación.
- Multitud de presentaciones, formas, y grosores.
- Resistente a altas temperaturas.
- Económico.
- Auto estructural.

Además no solo es aislante en términos térmicos, si no que también proporciona aislamiento acústico y su combustibilidad, por tanto estamos ante un material muy versátil en cuanto a presentación y conformado, si que además valido para múltiples aplicaciones.

En la siguiente imagen podemos las características de la lana de roca empleada en el aislamiento del horno, que, concretamente la lana utilizada es la “U Protect Slab 4.0 A1”

Su presentación es en planchas de 40mm de espesor que junto con un revestimiento de aluminio, le confieren unas características inmejorables para el interior del horno, ya que el aluminio repele la posible radiación que pueda incidir en el material aislante debido a la proximidad con las resistencias eléctricas.

Características técnicas de la gama U protect					
Nombre del producto		U Protect Slab 4.0 N	U Protect Slab 4.0 A1	U Protect Wired Mat 4.0 N	U Protect Wired Mat 4.0 A1
Dimensiones	Longitud(mm)	1200		*	
	Anchura (mm)	600			
	Espesor (mm)	30			
		40			
50					
60					
70					
80					
90					
100					
120					
Revestimiento	No	x		x	
	Aluminio		x		x
Reacción frente al fuego	Euroclase EN 13501	A1			
Acústica	α (Absorción Acústica) EN ISO 11654	1	---	1	---
	Resistencia al flujo de aire EN 29053	48			
Conductividad Térmica de acuerdo a la Norma EN 12667 W/m-K	10 °C	0,030			
	50 °C	0,034			
	100 °C	0,039			
	200 °C	0,053			
	300 °C	0,072			
	400 °C	0,098			
	500 °C	0,130			
600 °C	0,170				

Figura 38 Propiedades lana de roca

11.7 Cubierta Exterior:

La cubierta exterior del horno se podría realizar de distintos materiales, como chapas de acero al carbono, o chapa galvanizada a fin de evitar el efecto de la corrosión.

Pero tras buscar un material que fuera resistente a la corrosión, ya que el lugar donde se encuentra la Universidad, esta muy próxima al mar, el ambiente salino y la humedad relativa del ambiente deteriorarían rápidamente el equipo si este no estuviera convenientemente protegido, por ello se decidió emplear para la cubierta exterior aluminio.

Estas chapas de aluminio serán capaces de soportar las condiciones ambientales, además de dar un atractivo aspecto estético al conjunto, y no solo estético, si no que también aligerarán en gran medida el conjunto.



Figura 39 Imagen de la fijación de las chapas de aluminio. Laboratorio I.D.F.

11.8 Circulación de aire forzado:

La atmosfera o masa de aire encerrada en el interior de la cavidad del horno se hace girar por medio de un ventilador o grupo motor, a una velocidad previamente calculada para mover un determinado caudal, realizándose el calentamiento del aire a su paso por las resistencias, normalmente separadas de la cámara útil del horno, pero que en nuestro caso su configuración será otra, se colocaran en la base del horno, de forma que la corriente de aire fluirá desde el fondo hacia la parte superior.

11.8.1 Disposiciones típicas para la circulación de aire forzado:

El reparto del aire dentro de la cámara interior del horno es muy importante que se haga de manera uniforme, lo que obligara a instalar y configurar los sistemas de reparto y difusión del aire de manera que se logre esa meta.

Sin tener zonas muertas o aquellas donde se pueda dar un excesiva densidad de carga que dificulte el paso del aire por falta de presión en el ventilador.

A continuación se muestran una serie de disposiciones típicas para sistemas de circulación forzada:

-Circulación forzada Vertical con ventilador centrifugo:

Configuración típica en hornos de pozo con las piezas colgadas, o en cestas que deben impedir el cortocircuito superior mediante el apoyo de la cesta superior de la pantalla situada debajo del ventilador.

En la siguiente figura podemos ver dicha configuración:

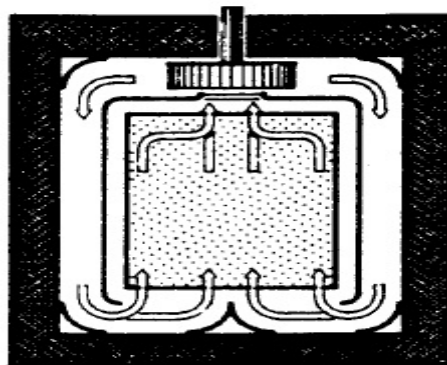


Figura 40 Circulación Vertical centrifuga

-Horno de convección, circulación horizontal y ventilador centrifugo 1:

Configuración utilizada para el calentamiento de chapas y placas gruesas de aleaciones de aluminio.

Es importante tener una distribución uniforme entre las distintas capas de la carga, lo que se consigue mediante la colocación de deflectores interiormente además de distanciadores y soportes de la carga, que ayuden a ello.

En la siguiente imagen vemos esta configuración:

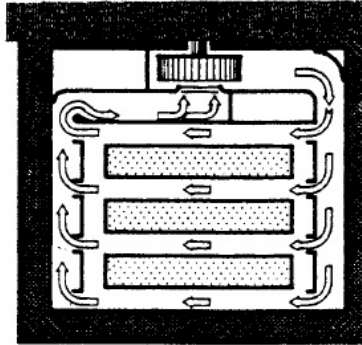


Figura 41 Circulación horizontal centrifuga.

-Horno de convección, circulación horizontal y ventilador centrifugo 2:

Este tipo de configuración se utiliza para el tratamiento de tubos macizos de aluminio destinados a extrusión.

Algunos de estos hornos cuentan con ventiladores axiales colocados en la cámara superior del horno los cuales permiten la circulación del aire en los dos sentidos reduciendo así el tiempo de calentamiento.

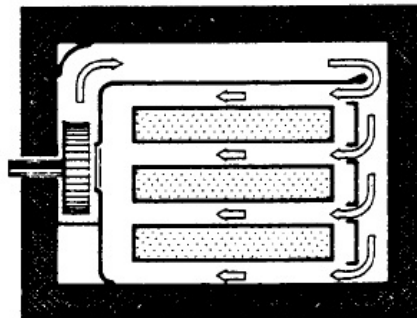


Figura 42 Circulación horizontal centrifuga.

-Horno convección, circulación horizontal-vertical, ventilador centrífugo:

En tipo de horno la circulación de aire es horizontal hacia la cámara interior útil y vertical a través de las piezas dispuestas en bandejas o contenedores. Se hace difícil evitar con cargas densas que las partes exteriores de las bandejas tengan una circulación sensiblemente inferior a las centrales, lo que exige una carga cuidadosa de los contenedores, y se suele instalar deflectores para evitar dicho inconveniente.

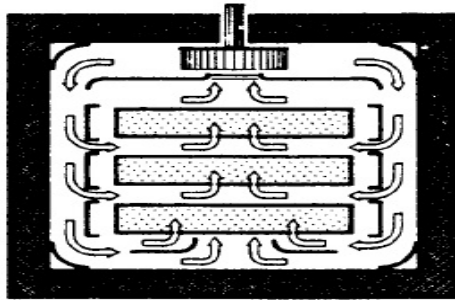


Figura 43 Circulación Vertical-Horizontal centrífugo

-Horno de convección axial piezas alargadas:

Configuración común en el tratamiento de perfiles alargados extruidos de aleaciones ligeras.

La turbina habitualmente utilizada suele ser helicoidal, por la escasa pérdida del circuito de aire y la circulación de aire se realiza en los dos sentidos, aunque los caudales no serán idénticos en ningún caso.

El horno puede utilizarse verticalmente teniendo las piezas colgadas o reposadas horizontalmente, donde se hará con cuidado para ocupar la cámara del horno.

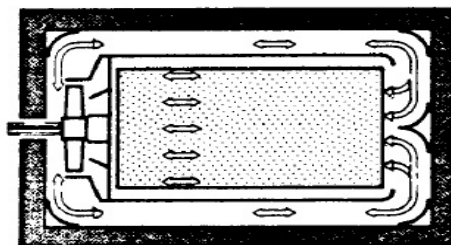


Figura 44 Horno convección axial piezas alargadas

11.9 Ventilador interior:

Además de la elección de la resistencias es igual de importante disponer de uno o varios ventiladores interiores.

Con la ayuda del ventilador conseguiremos un reparto del calor en el interior de la cámara, logrando así la uniformidad en la carga, por tanto tendremos un fenómeno de convección forzada, creando una diferencia de presión, cuanto más grande sea esa diferencia de presión, mayor será el volumen de aire movido.

Los ventiladores para hornos se suelen clasificar en dos tipos, centrífugos (de alabes rectos, curvados hacia delante o hacia atrás) o axiales.

Los ventiladores vienen a estar definidos por una curva característica, al igual que un grupo bomba, en cuya curva se relaciona el caudal en el eje de abscisas, con la presión estática en ordenadas. Las gráficas se suelen completar con la curva del rendimiento y la potencia absorbida.

Suelen corresponder con una velocidad determinada y a un régimen de rpm.

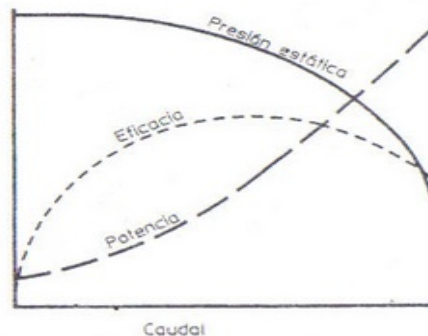


Figura 45 Curva característica ventilador centrífugo.

A su vez, igual de importante es la curva de caudal-presión del circuito interior del horno para diferentes condiciones de la carga.

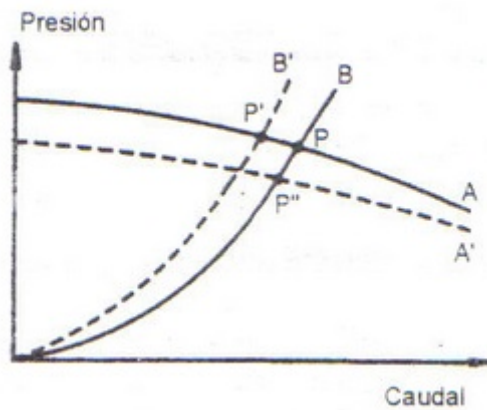


Figura 46 Curva característica caudal-presión.

Algunos ejemplos de turbinas:

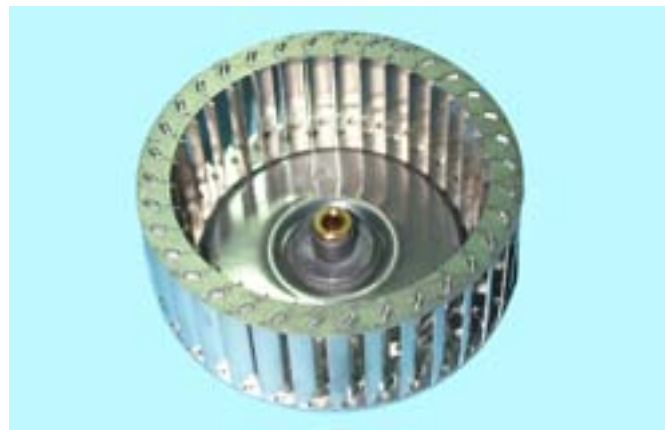


Figura 47 EquiposJuarez.net



Figura 48 Equipos Juarez.net

11.10 Configuración que se utilizará en nuestro equipo:

Atendiendo a las dimensiones de nuestro horno (2m de largo x 1m ancho) y el propósito del mismo que serán piezas alargadas en su mayoría se ha optado por una configuración tipo “convección con ventilador axial”.

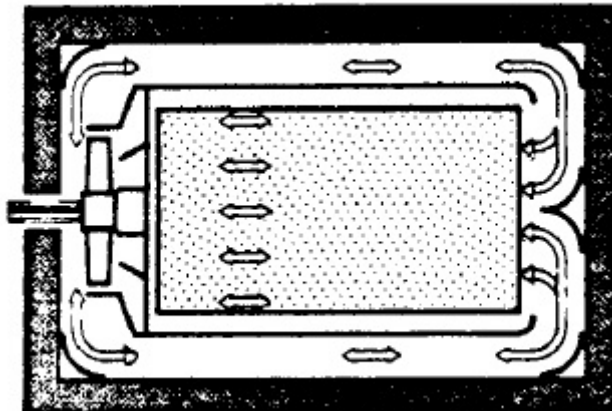


Figura 49 Configuración utilizada en el horno

Convección con ventilador axial

En nuestro equipo se colocarán dos ventiladores en el fondo del horno, convenientemente protegidos para evitar su interacción con otros elementos del horno o piezas a tratar.

11.11 Ventilador seleccionado para nuestro equipo:

Para nuestro equipo se ha seleccionado un ventilador tipo axial, del que se colocarán dos unidades como se ha descrito anteriormente.

El Ventilador seleccionado es un “motor-Ventilador” de 25w de potencia y una alimentación de 220v, de 4 polos y una sola velocidad constante.

Se trata de un Ventilador económico pero eficiente para nuestro propósito no disparando así el presupuesto para el equipo, además su reposición es rápida en caso de avería.

En la siguiente figura podemos apreciar el ventilador seleccionado.



Figura 50 Formex.com

Elementos del motor ventilador:

El motor ventilador consta de tres partes:

-Aspa, en nuestro equipo será de 200mm.

-Motor.

-Fijación, de la que nos serviremos para fijarlo a la estructura del horno, por medio de silenblocks para evitar que se transmitan vibraciones en caso de existir algún desequilibrio.

EQUIPO DE REGUALCIÓN Y CONTROL

12. Equipo de regulación y control:

En general todos los tipos de hornos deben operar a unas temperaturas preestablecidas, bien siendo constantes o realizando ciclos de calentamiento, mantenimiento de temperatura y posterior ciclo de enfriado, similar a nuestro caso donde realizaremos ciclos de curado especificados por el fabricante del material, donde se hará necesario gozar de cierta precisión en la aportación de calor para de este modo así garantizar la integridad de las piezas curadas.

También por motivos de seguridad se hace necesario tener el proceso bajo control en todo momento, es muy importante que el horno no sobrepase la temperatura de seguridad por la propia seguridad e integridad del horno y de todos sus elementos constructivos como cableado, aislantes y demás elementos.

A su vez por medio de la unidad de control lo que buscamos es conseguir un reparto uniforme dentro de la cámara del horno, no solo queremos un cierta temperatura en la superficie de la pieza si no en el conjunto de la masa de la carga.

-Regulación de temperatura y programación de ciclos:

En la regulación y programación de los ciclos de curado intervendrán principalmente tres elementos:

- Termopar
- Programador y control de temperatura.
- Contactor.

A continuación describiré estos elementos que han sido utilizados en nuestro proyecto.

12.1 Termopar:

Principio de funcionamiento:

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica su funcionamiento se basa en los descubrimientos hechos por Seebeck en 1821 cuando hizo circular corriente eléctrica en un circuito, formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferentes temperaturas, esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales diferentes cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

Dicho de otra manera la fuerza electromotriz es proporcional a la temperatura alcanzada por la unión térmica a si mismo si se resta el calentamiento óhmico, que es proporcional al cuadrado de la corriente, queda un remanente de temperatura que en un sentido de circulación de la corriente es positivo y negativo en el sentido contrario. El efecto depende de los metales que forman la unión.

Por tanto combinando estos dos efectos Peltier y Thomson tendremos la causa de la circulación de corriente eléctrica al cerrar el circuito en el termopar esta corriente puede calentar el termopar y afectar la precisión en la medida de la temperatura.

Los termopares son ampliamente utilizados en la industria, haya donde tengamos una carga térmica tendremos un termopar, son económicos, versátiles, intercambiables, poseen conectores estándar, y un amplio rango de medición y precisión alcanzable.

Los termopares están disponibles en múltiples formas, acoples, racores de conexión y presentaciones, podemos encontrar aquel que cumpla nuestras necesidades.



Figura 51 Tipos de termopares, Conatec.com

Tipos de termopares:

Tipo	Rango de medición (C°)	Precisión (C°)	Impedancia de entrada (MΩ)
J	-120 ~ 1000	±2	2.2
K	-200 ~ 1370	±2	2.2
T	-250~400	±2	2.2
E	-100~900	±2	2.2
B	0~1800	±2	2.2
R	0~1767.8	±2	2.2
S	0~1767.8	±2	2.2
N	-250~1300	±2	2.2
L	-200~900	±2	2.2
PT100(DIN)	-210~700	±0.4	1.3 (KΩ)
PT100(JIS)	-200~600	±0.4	1.3 (KΩ)
mV	-8mV~70mV	±0.05%	2.2
mA	-3mA~27mA	±0.05%	70.5
V	-1.3V~11.5V	±0.05%	650 (KΩ)

Para nuestro equipo hemos seleccionado un termopar tipo K, ya que cumple nuestras necesidades.

El rango de utilización no superará los 150C°, entra perfectamente dentro de nuestro intervalo de utilización, a su vez ofrece una precisión de $\pm 2C^\circ$, por tanto cumple con las exigencias del fabricante del material, que especifica una precisión para el ciclo de calentamiento de 1-3C°/min y para el ciclo de enfriamiento 2-5C°/min.

La colocación del mismo se realizará en el interior de la cámara del horno, entre los dos vanos, intentando colocarlo a media altura próximo a la pieza a curar pero sin que este interfiera con ella.

A su vez se protegerá y se cuidara su instalación, para minimizar así el ruido que pueda afectar a su resolución.

12.2 Programador y control de temperatura:

Debido a las necesidades de nuestro material a tratar, no se podía utilizar un programador cualquiera, ni siquiera un temporizador que mantuviese las resistencias conectadas durante un cierto tiempo hasta alcanzar la temperatura.

Se tiene que utilizar un programador que permita realizar rampas de temperatura, tanto de calentamiento como de enfriamiento, en la siguiente figura podemos observar las exigencias del material.

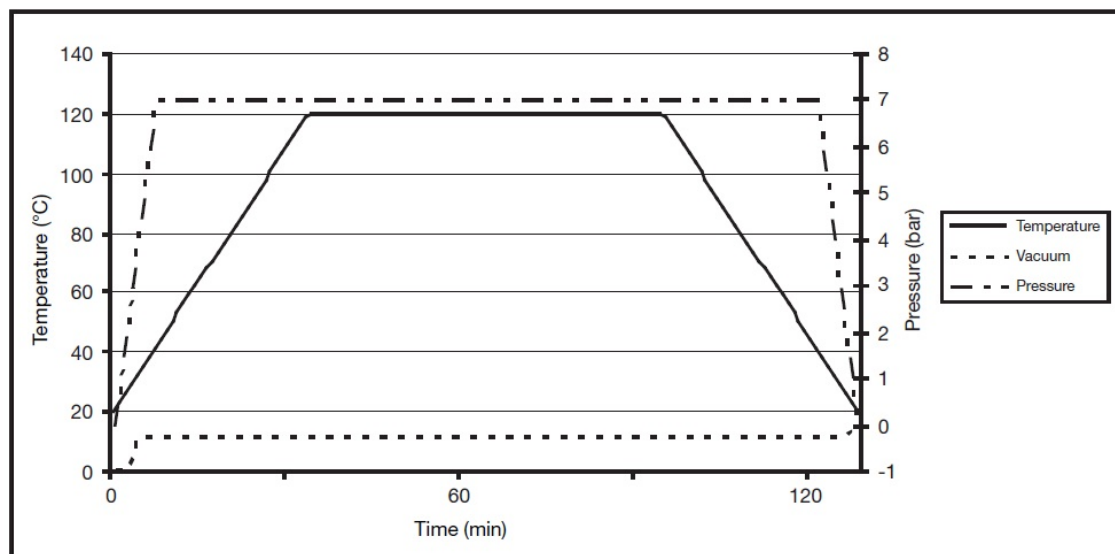


Figura 52 Ciclo de curado Pre-preg mx49-Hexcel composites.

12.2.1 Programador instalado:

Por tanto debido a esa necesidad hemos seleccionado un programador de temperatura de la marca "STATOP 48 Serie 30".

El Regulador viene con modo regulación PID con auto ajuste, además este dispositivo dispone de lógica difusa que efectúa una recuperación automática del proceso.

Por medio de dos indicadores el programador nos muestra los valores en momento real, tenemos el de color rojo para la medida y el color verde para el valor de consigna.

Es un dispositivo muy compacto que nos permitirá programar y realizar los procesos sin tener grandes conocimientos de programación.

Sus características principales son:

- Algoritmo de regulación: PID + lógica difusa.
- Una entrada de temperatura programable.
- Alimentación 90...260Vac.
- Indicador 2 x 10000 puntos.
- Rampa de temperatura de 0 a 480C°/min.
- Minutero de 0 a 9999min.
- Salida de regulación relé inversor, analógica.

Además posee memoria y otras opciones, como la función de alarma e incluso salida auxiliar para texto, es decir si se quiere colocar una pantalla y emitir la información en ella.

En la siguiente Figura tenemos numeradas las teclas para controlar y programar el aparato.



Figura 53 Vista de controlador
Vista delantera Statop 48 Serie 30

Nº	Función
1	Indica que la unidad de medida son "Fahrenheit".
2	Durante la regulación indica el punto de consigna, durante la programación indica el parámetro que va a ser programado.
3	Puede ser usada para salir del menú, o para detener el auto-ajuste o el modo manual.
4	Teclas para aumentar o disminuir el parámetro.
5	Tecla para validar los parámetros a introducir, y también para saltar de un programa a otro.
6	Luz indicadora del modo auto-ajuste.
7	Luz indicadora del modo manual.
8	Durante la regulación indica el valor de entrada, durante la programación indica el parámetro que será procesado.
9	Luz de selección "output 1" salida 1.
10	Luz de selección "output 2" salida 2.
11	Luz de alarma.

12	Luz indicadora de que la unidad son los Grados Centígrados.
----	---

Vista trasera del dispositivo:

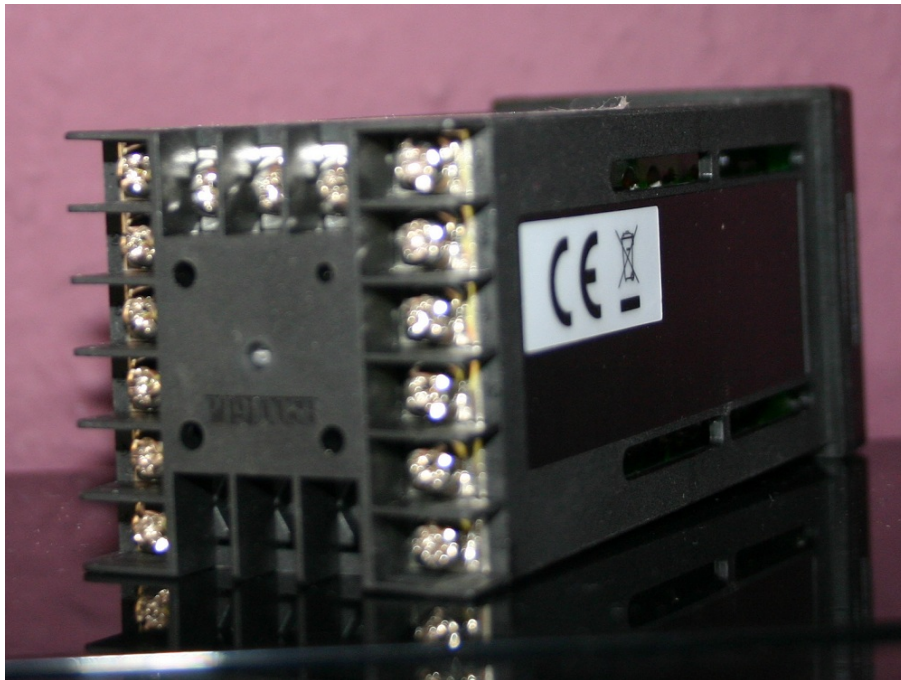


Figura 54 Vista de controlador
Vista de los contactos del programador.



Figura 55 Vista de controlador
Vista superior del controlador.

En la última figura apreciamos el esquema de conexiones que se muestra en la parte superior del controlador.

12.3 Contactor

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando.

Pueden ser accionados a distancia, pero su principal ventaja es que pueden manejar circuitos con corrientes muy altas, mediante corrientes muy pequeñas, garantizando la seguridad para la instalación y el personal técnico, ya que el manejo se puede realizar desde lugares alejados de las zonas de carga, motores o instrumento a pilotar, siendo las corrientes y tensiones que se manipulan con los aparatos de mando son o pueden ser pequeños aparatos de control o autómatas.

Su funcionamiento es muy sencillo, al contactor cuenta con una serie de contactos, donde distinguiremos dos tipos de contactos, los de control y los de fuerza, los de control estarán conectados al dispositivo de control es decir en nuestro caso, al controlador de temperatura, el cual cuando detecte que es necesario subir la temperatura del horno, mandará una pequeña corriente eléctrica, esta llegará al contactor en donde una bobina interior será excitada por esa corriente, entonces en ese momento está cerrará los contactos de fuerza, activando las resistencias, y cuando el controlador de temperatura deje de enviar esa pequeña corriente eléctrica, la bobina dejara de recibir corriente y por tanto volverá a su estado de reposo por la acción de un muelle, abriendo de nuevo el circuito de fuerza y desactivando las resistencias.

Porque utilizar un contactor y no otro sistema, bien el hecho de utilizar un contactor es claro, es debido al nivel de potencia que se va a manejar, estamos hablando de 6000w de potencia, se podría utilizar un relé, pero este terminaría dañado en un corto espacio de tiempo.

Otras ventajas:

- Sencillez mecánica.
- Funciona tanto en servicio intermitente como en continuo.
- Gran variedad de tensiones, así como de contactos.

En la siguiente imagen vemos el esquema de un contactor:

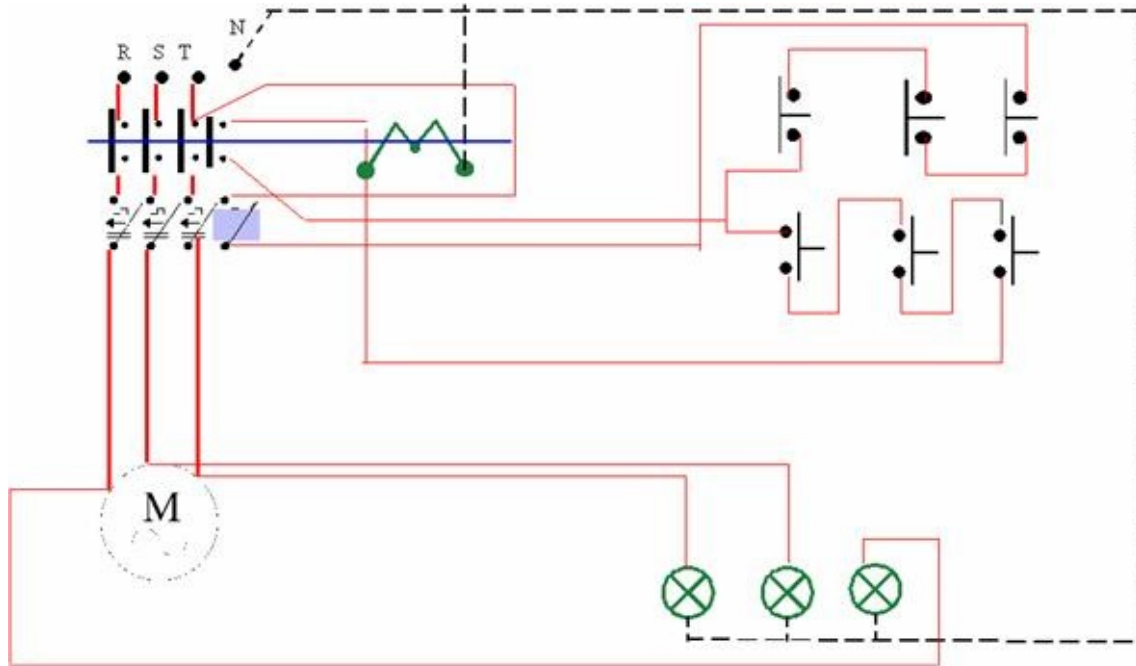


Figura 56 Electrónica fácil.

Para la clasificación de los contactores encontramos múltiples posibilidades, bien haciendo referencia a su construcción, accionamiento, si son estáticos o no, por el tipo de corriente que alimenta su bobina si es alterna o continua, pero en nuestro caso solo prestaremos atención a una en concreto, por la categoría de servicio.

Dentro de la categoría de servicio encontramos:

- AC1 → ($\cos \varphi \geq 0,9$) cargas puramente resistivas para calefacción eléctrica. Son para condiciones de servicio ligeros de cargas no inductivas o débilmente inductivas, hornos de resistencia, lámparas de incandescencia, calefacciones eléctricas. No para motores.
- AC2 → ($\cos \varphi = 0,6$): motores asíncronos (de anillos rodantes) para mezcladoras centrífugas.
- AC3 → ($\cos \varphi = 0,3$): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio continuo para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.

-AC4→ (cos $\varphi=0,3$): motores asíncronos (rotor jaula de ardilla) en servicio intermitente para grúas, ascensores.

12.3.1 Características del contactor seleccionado:

Bien atendiendo a esta clasificación y a otros factores como la tensión de la bobina que debía ser 220v, y debido a la potencia a manejar necesitaríamos al menos 40A en corriente nominal de los contactos se decidió la instalación del siguiente contactor.

De la siguiente ecuación:

$$A = P/V = 6000/240 = 25A$$

Pero por motivos de seguridad y por si en un futuro, al horno se incorporase una mayor potencia, se a dimensionado hasta 40A.

El contactor “LC1DT40M7” de Schneider Electric que en la documentación de la tesina, se tiene a disposición las características técnicas más ampliamente detalladas de este dispositivo, pero entre ellas citare las más importantes:

- Corriente Nominal de los contactos: 40A.
- Número de contactos: 4.
- Tensión de la bobina: 220v.
- Configuración de Polo vía: 4P.
- Categoría de servicio: AC1.



Figura 57 Questelectrical.co.uk

Vista de contactor modelado:

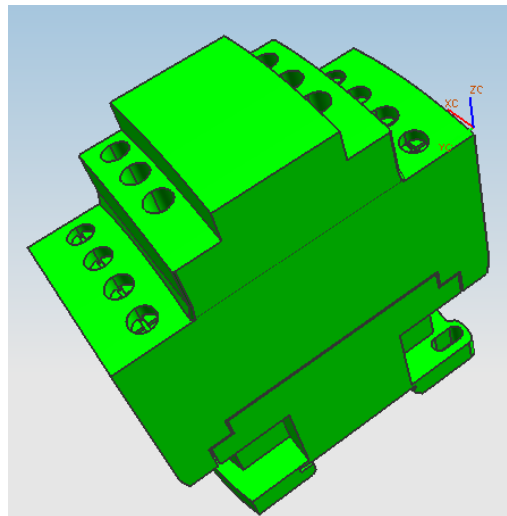


Figura 58 CAD contactor

12.3.2 Partes constituyentes de un contactor:

A continuación haré una breve descripción de los elementos que consta un contactor, para ello en la siguiente imagen seccionada podremos verlos en detalle.

- Contactos.
- Bobina.
- Electroimán.
- Elementos mecánicos.
- Cámara de extinción de arco eléctrico.

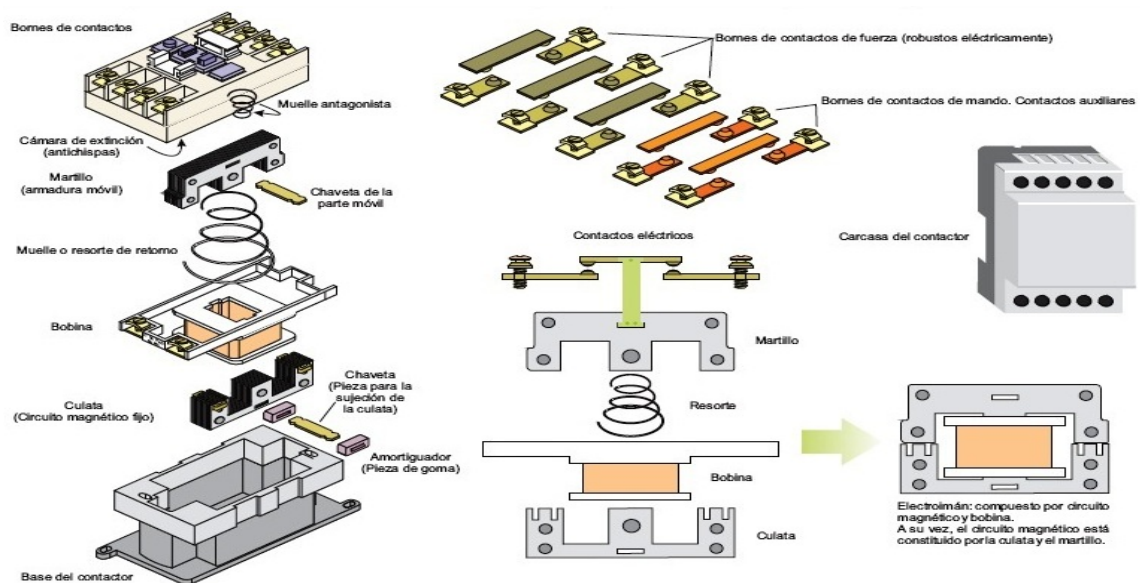


Figura 59 Automatismos-tai32.blogspot.com

DISEÑO SELECCIONADO

13. Diseño seleccionado

Existen múltiples configuraciones para el diseño de hornos como hemos visto anteriormente, pero debido a nuestras necesidades especiales y el uso al que se destinara el horno, se ha decidido un diseño rectangular.

Un diseño rectangular destinado a ser lo más versátil posible, el horno dispondrá de una entrada frontal compuesta por dos hojas, una cámara interior diáfana para que pueda albergar piezas de gran tamaño, como puedan ser alerones o cualquier otra pieza estructural alargada.

El espacio útil del horno será de 1,8 metros de largo por 0,9 metros de ancho y 0,9 metros de altura.

Gracias a un sistema de raíles laterales se podrá introducir y extraer con facilidad del horno una mesa o base, pensada para fijar en ella la pieza a curar, minimizando el tiempo de preparación para el curado de la pieza, y garantizando así que la pieza no sufre golpes ni cualquier otro desperfecto durante la fase de curado.

Dicha mesa contara con ruedas de fundición que soportan temperaturas de más de 300C^o, en la siguiente figura podemos observar dichas ruedas de fundición.

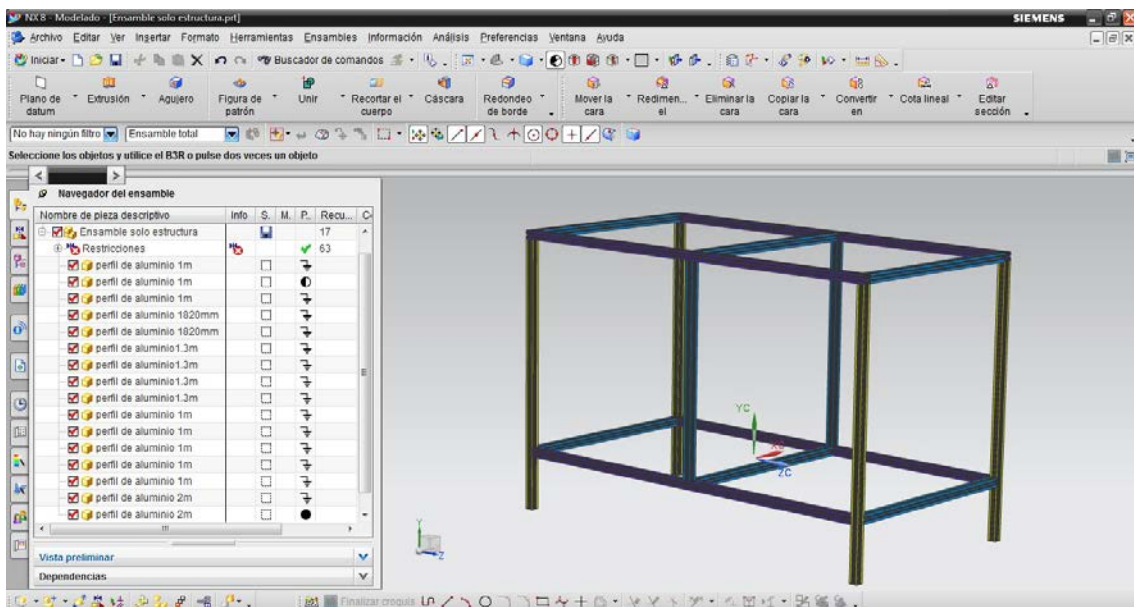


Figura 60 Estructura CAD

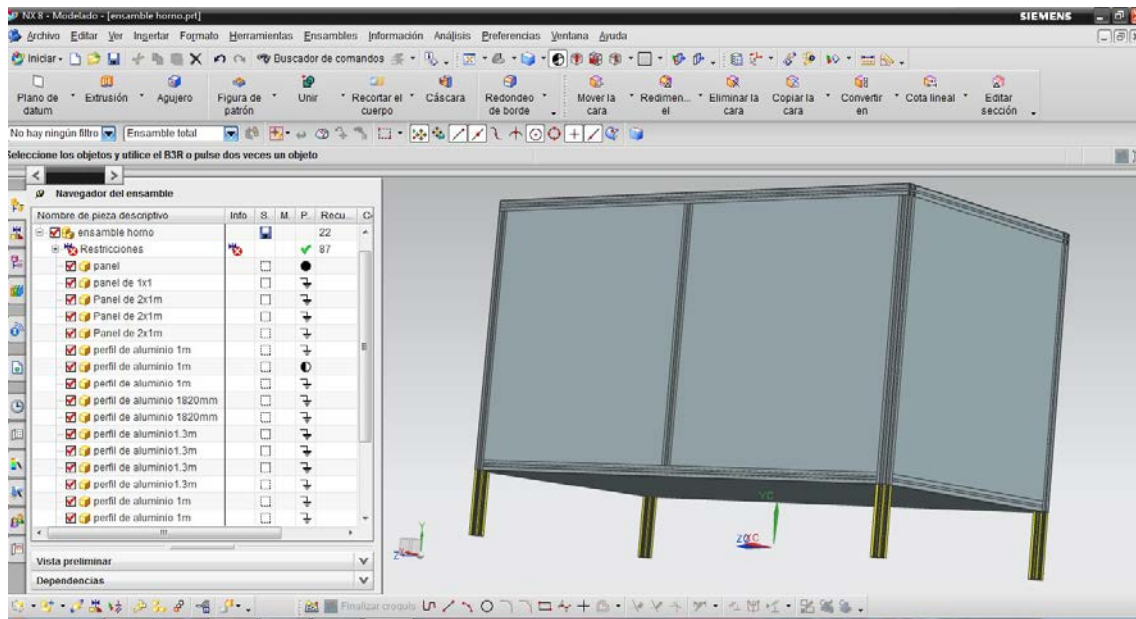


Figura 61 Vista de ensamblaje



Figura 62 Rueda de fundición

13.1 Cálculo del peso de la estructura:

La estructura del horno deberá soportar su propio peso estructural, más el peso de las planchas de aluminio utilizadas en el cerramiento, más el peso de las piezas que se introduzcan para el proceso de curado.

Calculando el peso de la estructura se tiene:

$$\rho_{\text{Alu}} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

De los catálogos se obtiene que el peso del perfil 40x40 es de:

$$M_{40 \times 40} = 2,48 \text{ Kg/m.}$$

Calculamos el número de metros totales empleados en el horno:

Nº metros totales= 21,20m.

$$\text{Por tanto} \rightarrow 2,48 \cdot 21,20 = \mathbf{52,57 \text{ kg}}$$

Por otro lado calculamos el peso que añaden las placas del cerramiento, tenemos que :

$$\rho_{\text{Alu}} = m / V$$

Donde:

$$V = A \cdot L \cdot E$$

Siendo A= Ancho de la placa.

L= Largo.

E= Espesor

Y despejando tendremos:

$$m = \rho_{\text{Alu}} \cdot V$$

Masa de la placa de aluminio de 2x1:

$$m_{2x1} = 2700 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,001 = \mathbf{5,4Kg}$$

Masa de la placa de aluminio 1x1:

$$m_{1x1} = 2700 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,001 = \mathbf{2,7Kg}$$

$$\mathbf{M_{total\ placas\ alu} = 5,4 \cdot 2 + 2,7 \cdot 2 = 16,2Kg}$$

Sumando todas las masas obtenemos:

$$\mathbf{Masa\ TOTAL = 68,77Kg}$$

CALCULO Y ANALISIS CAE

14. Calculo y análisis CAE

En este apartado llevaré a cabo la comprobación y simulación del horno, modelando y diseñando los elementos que forman parte del horno, así de esta manera obtendremos un conocimiento aproximado del comportamiento y de la dinámica del fluido que se producirá en el interior del horno.

¿Qué entendemos por Análisis CAE?

La definición estricta de “CAE” sería, “Ingeniería Asistida por Computadora”, es decir, la utilización de un software computacional para implementar y mejorar los diseños, o bien como soporte para la resolución de problemas en la ingeniería.

Las técnicas “CAE” pueden tomar parte en la simulación, optimización, validación de los procesos de fabricación.

Mediante aplicaciones “CAE” se pueden realizar:

- Simulación del proceso de fabricación.
- Optimización del proceso de fabricación.
- Análisis de estrés y resistencia de materiales y productos.
- Análisis cinemáticos y dinámicos de mecanismos.
- Análisis térmicos y fluido-dinámicos.

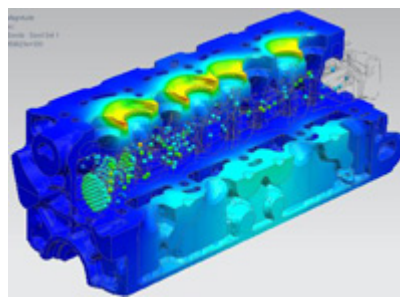


Figura 63 Siemens.com

14.1 Calculo y Simulación “CAE”:

El primer lugar mencionar que el modelo diseñado se trata de una aproximación al modelo real, es decir, he simulado las mismas dimensiones y volumen que tendremos en el horno, respetando los espacios y grosores de los elementos que en el formaran parte, resistencia, placa de material aislante y demás componentes.

Para esta simulación térmica no es necesario detalles constructivos, o incluso la estructura, porque no queremos simular su comportamiento, si no queremos como saber como se va a comportar el fluido en el interior de la cámara del horno, analizando la convección interior que su interior tendrá lugar de forma natural, sin ser forzada por ningún ventilador.

Gracias a la simulación obtendremos un mayor conocimiento del comportamiento del fluido, (aire), lo que nos ayudara a optimizar y comprender mejor el ciclo de curado para nuestras piezas realizadas en materiales compuestos o pre-impregnados.

La resolución y simulación se ha llevado a cabo con el programa “Siemens PLM Software Unigraphics 8”

Una potente herramienta, que será utilizada para realizar en un primer paso el modelado, y en la simulación que será llevada a cabo gracias al solver térmico que la aplicación dispone en “Simulación avanzada”.

A continuación describe los pasos llevados a cabo para la consecución de la simulación, los cuales podemos dividir en siete pasos:

- Modelado.
- Solver Utilizado.
- Proceso de mallado.
- Asignación de materiales.
- Condiciones de contorno.
- Solución.
- Obtención de resultados e interpretación.

14.2 Modelado:

Comenzaremos diseñando la cámara interior del horno, la cual estará formada por un cubo rectangular, de dimensiones 2010mm de largo por 1010mm de ancho, el motivo de aumentar la cámara en 10mm, es debido a la necesidad de centrar en el interior la placa de material aislante, ya que cuando se realice el mallado, debe haber un espacio entre ambas, si no concurriríamos en errores en el solucionado.

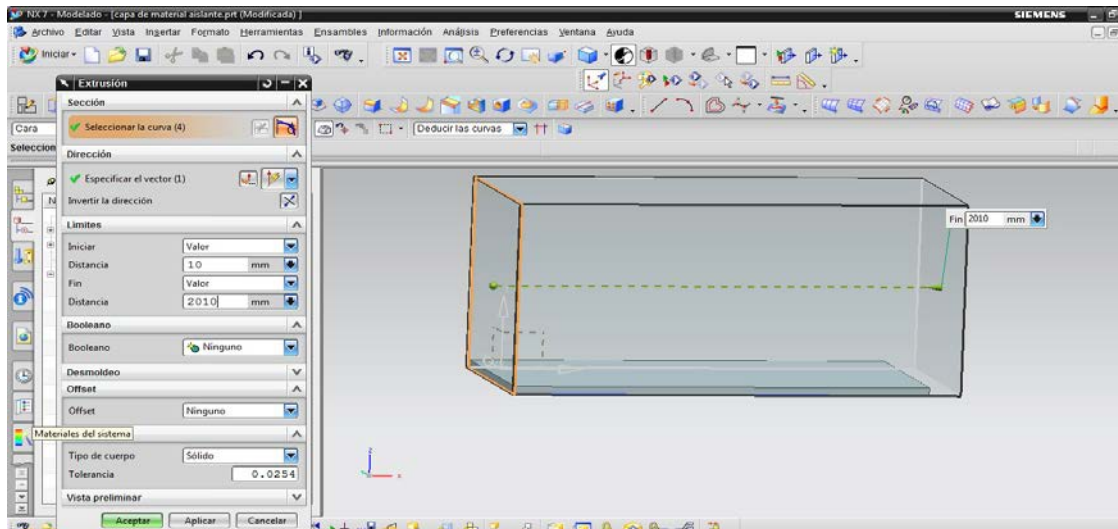


Figura 64 Vista de modelo

Seguiremos modelando las resistencias, para las cuales contaremos con el mismo número de espirales, mismo diámetro, y sección, para que la aplicación de la carga térmica y su futura solución se aproxime lo máximo posible a la realidad.

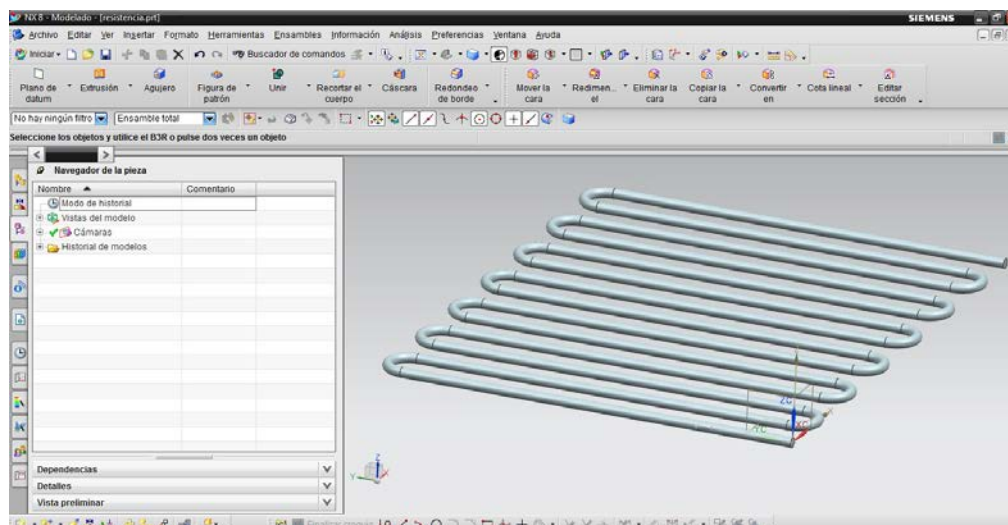


Figura 65 Vista de resistencia

Aplicación de técnicas CAD/CAM/CAE al estudio y Fabricación de horno para curado de composites

Una vez tenemos la resistencia, conformaremos un rectángulo, el cual desempeñará las funciones de la placa del material aislante que se colocará en las paredes del horno.

Sus dimensiones serán las mismas que la placa inferior del horno 2000x1000x40 (mm).

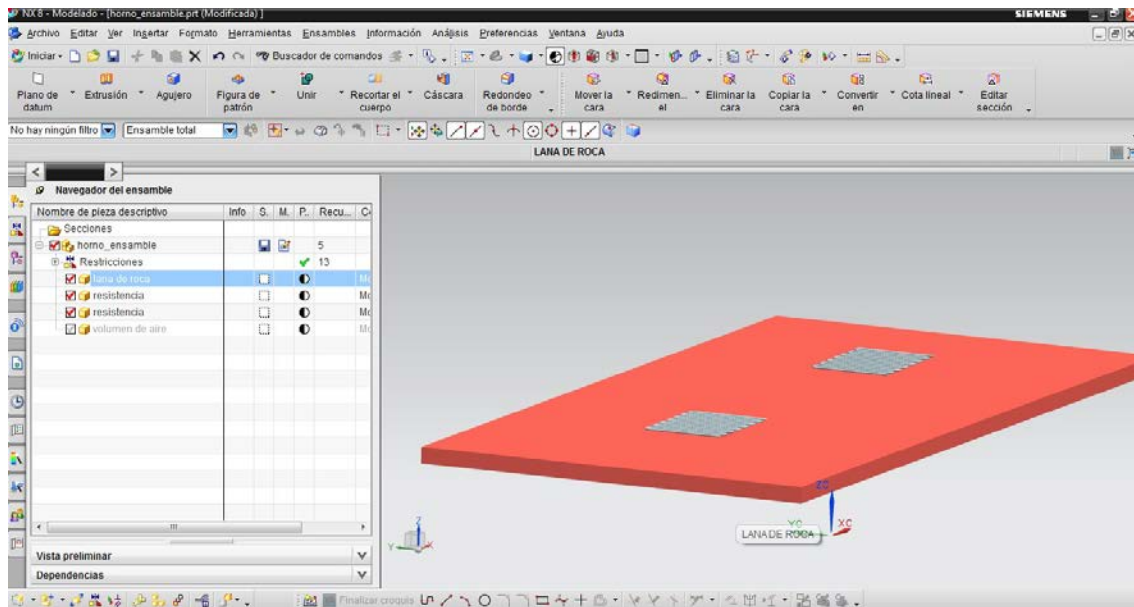


Figura 66 Vista de lana de roca

Una vez tenemos los tres elementos que interactuarán en el interior del horno pasaremos a realizar su ensamblaje.

Para ello, iniciaremos nuevo ensamblaje, en la aplicación de "Nx", he iremos incorporando lo elementos, en primer lugar el volumen de aire, ya que sobre él, más bien en su interior seguiremos incorporando los demás elementos.

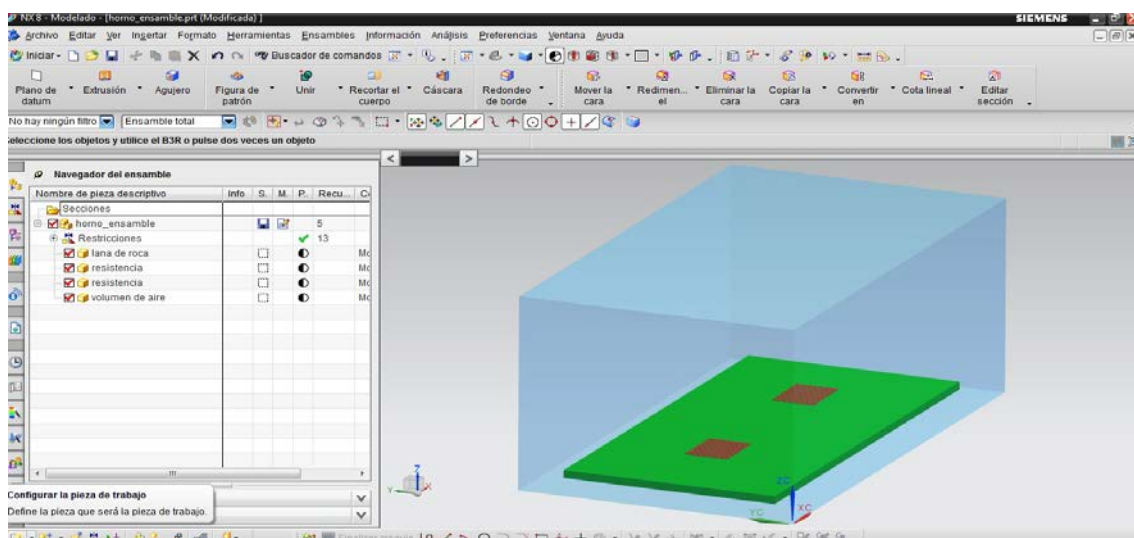


Figura 67 Vista de ensamblaje

Una vez tenemos el ensamble, iniciaremos la simulación, para ello vamos a “simulación avanzada”.

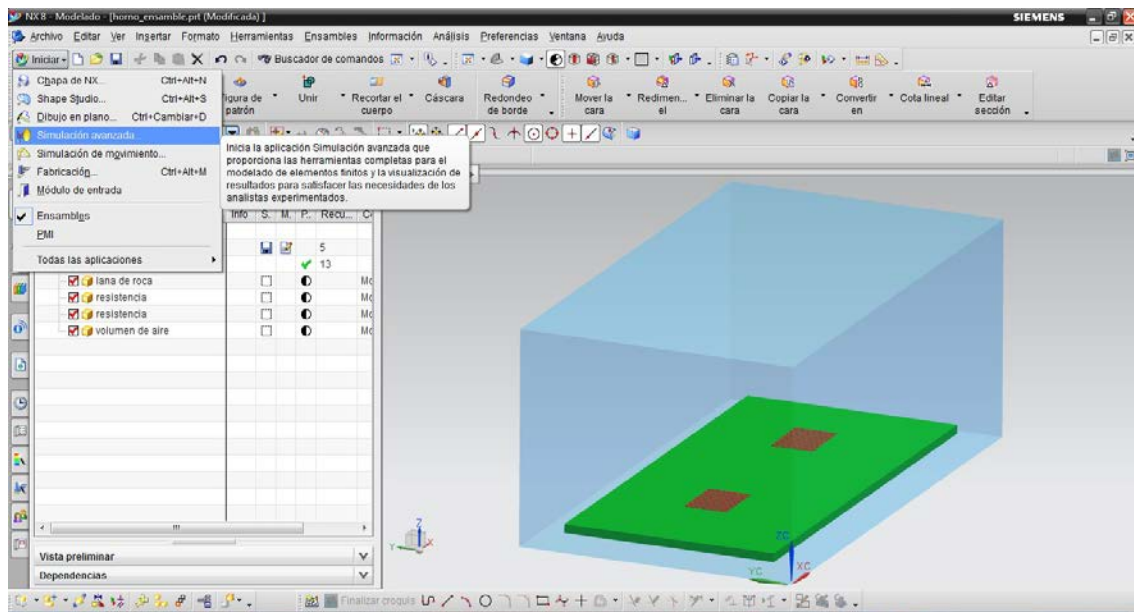


Figura 68 Inicio de Simulación avanzada

14.3 Solver Utilizado:

Una vez aplicamos a simulación avanzada, tendremos botón derecho “fem nuevo y simulación”.

Nos aparecerá entonces el solver que deberemos seleccionar.

Llegado a este momento seleccionaremos el solver “Refrigeración para sistemas electrónicos”, cambiaremos en Tipo de análisis a “Flujo térmico acoplado”, activaremos la casilla de “flotabilidad”, con la obtendremos un mayor ajuste en la solución final.

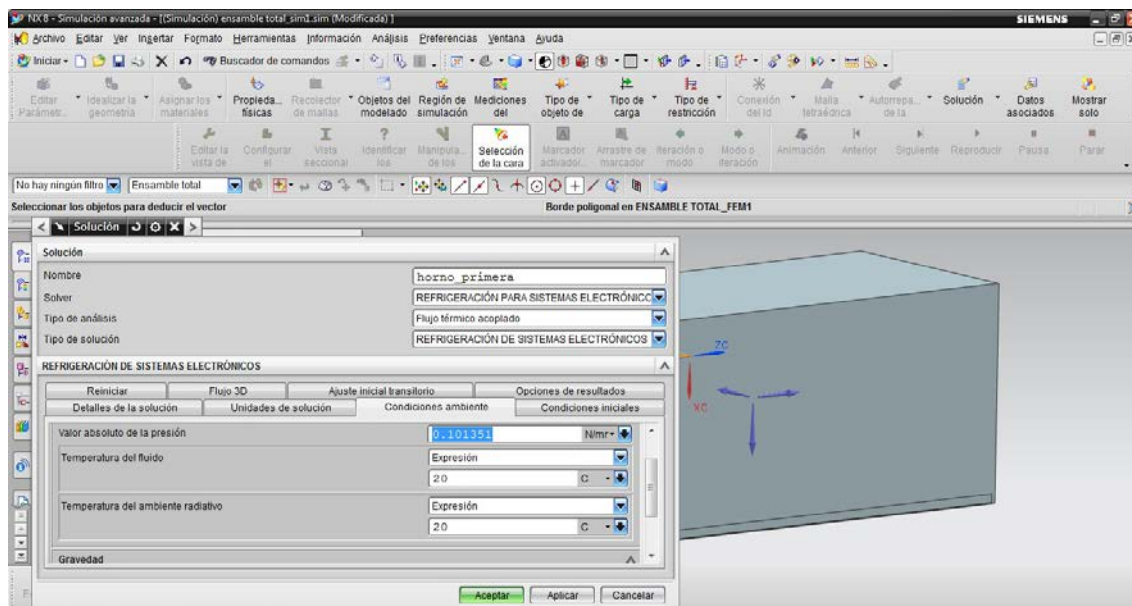


Figura 69 Configuración de la solución

Estableceremos las condiciones ambientales, flujo 3D y opciones de resultados, donde podremos seleccionar de un gran desplegable los resultados que queremos obtener, para en la opción de térmico encontraremos todos los resultados necesarios.

14.4 Proceso de mallado:

Durante el procesado de mallado deberemos mallar todos los elementos menos el fluido, es decir, nuestro cubo rectangular.

Comenzaremos el proceso de mallado por las resistencias, para ello seleccionaremos el icono de malla, “tetra4” y seleccionaremos el cuerpo de uno en uno, tendremos especial cuidado en seleccionar el tamaño del elemento de malla ya que si no los resultados no ofrecerán conclusiones claras.

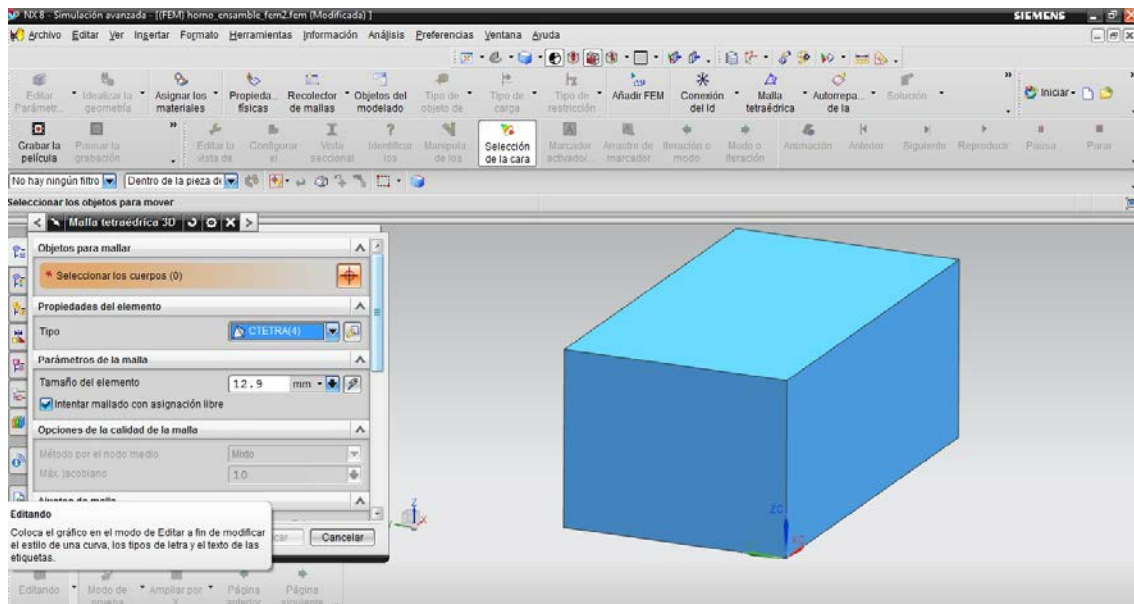


Figura 70 Inicio de proceso de mallado

14.5 Asignación de materiales:

A continuación del mallado, seleccionaremos la malla de la placa del material aislante, botón derecho, “editar” y crearemos en este paso el material.

En dicho material reproduciremos las propiedades del material aislante como se puede observar en la siguiente imagen.

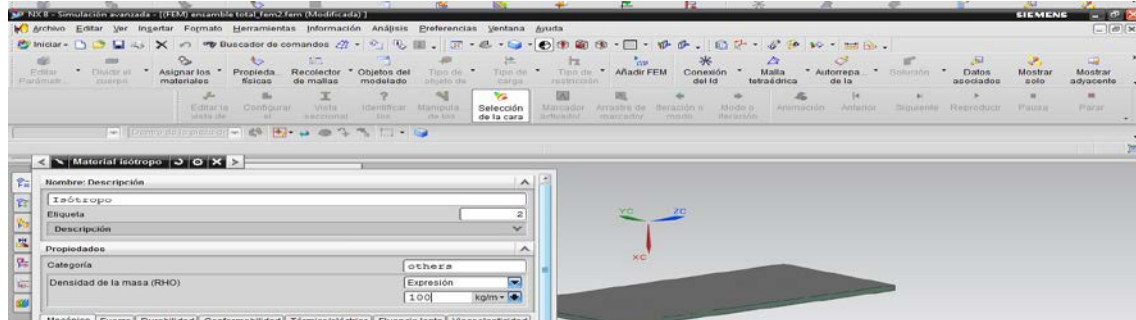


Figura 71 Creación de material aislante

Sus propiedades serán:

$$K= 0.039 \text{ W/m-K}$$

$$C_p= 800 \text{ j/ Kg-k}$$

$$\text{Coeficiente de expansión térmica (A)} = 0.000002$$

$$\text{Densidad}= 100 \text{ Kg/m}^3.$$

Asignaremos el material, a la malla correspondiente y procederemos de igual forma para aplicar los materiales a las resistencias, con la salvedad de que en este caso utilizaremos un material ya creado en la biblioteca de materiales de software, será “cooper_2010” un tipo de cobre puro, material perfecto ya que se comportara como si las resistencias fueran ideales, es decir seleccionando este material no tendremos ninguna perdida.

Pasamos al siguiente paso condiciones de contorno.

14.6 Condiciones de contorno:

Llegados a este punto deberemos aplicar las cargas térmicas y las demás condiciones que queramos simular, para ello comenzaremos aplicando las cargas térmicas a las resistencias.

Comenzamos.

Seleccionaremos una de las resistencias, haremos “clic” en el menú de herramientas en el icono de “thermal loads”, verificaremos las unidades e introduciremos el valor, 3000W.

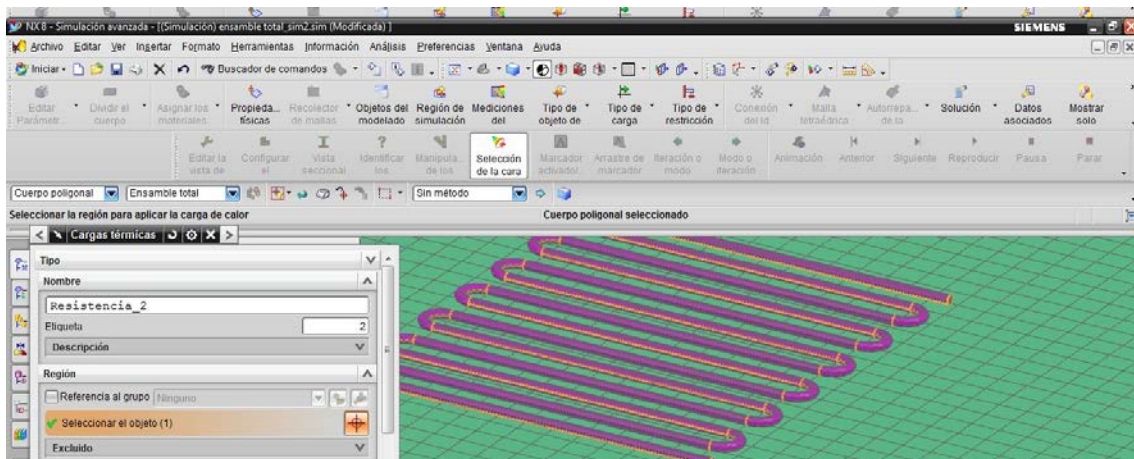


Figura 72 Cargas térmicas

Procedemos de igual manera con la otra resistencia.

Llegado a este punto aplicaremos la condición de contorno “thermal coupling” o acoplamiento térmico.

Aplicaremos filtro, cara poligonal y seleccionaremos en primer paso las caras de la resistencia, una vez tengamos todas, seleccionaremos la cara del material aislante, y en la siguiente pestaña, desplegaremos la opción de “heat transfer coeficient” o coeficiente de transmisión de calor donde por expresión introduciremos el valor del aire que es “0.024”.

Aplicaremos, veremos como se crea alrededor de la resistencia una serie de figuras, y líneas, al igual pasara en la placa del material aislante.

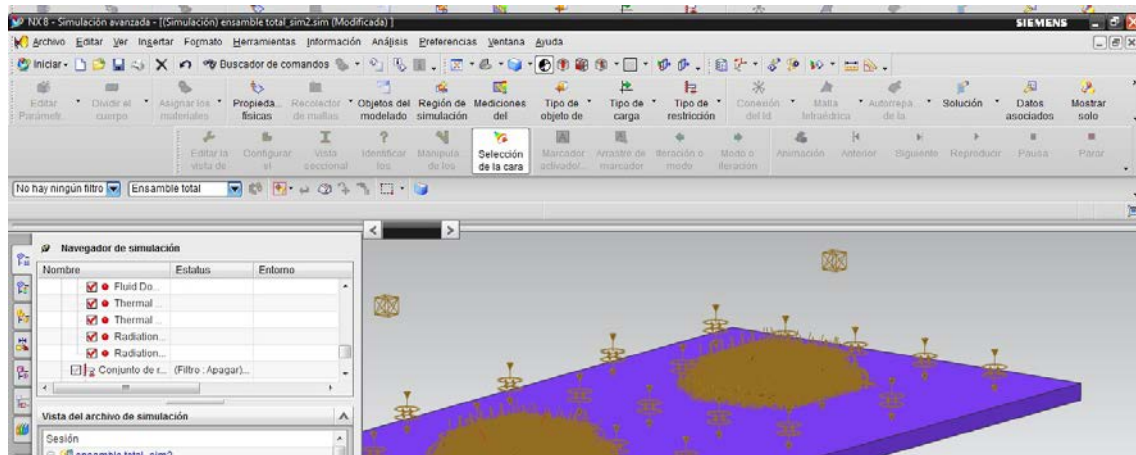


Figura 73 thermal coupling

Procederemos de la misma manera con la segunda resistencia.

Una vez tenemos aplicadas los acoplamientos térmicos realizaremos el mallado del cubo, el cual va a realizar las veces del “aire” interior del horno. Para ello clicamos en el icono de herramientas tipo de objeto y seleccionaremos “fluid domain”

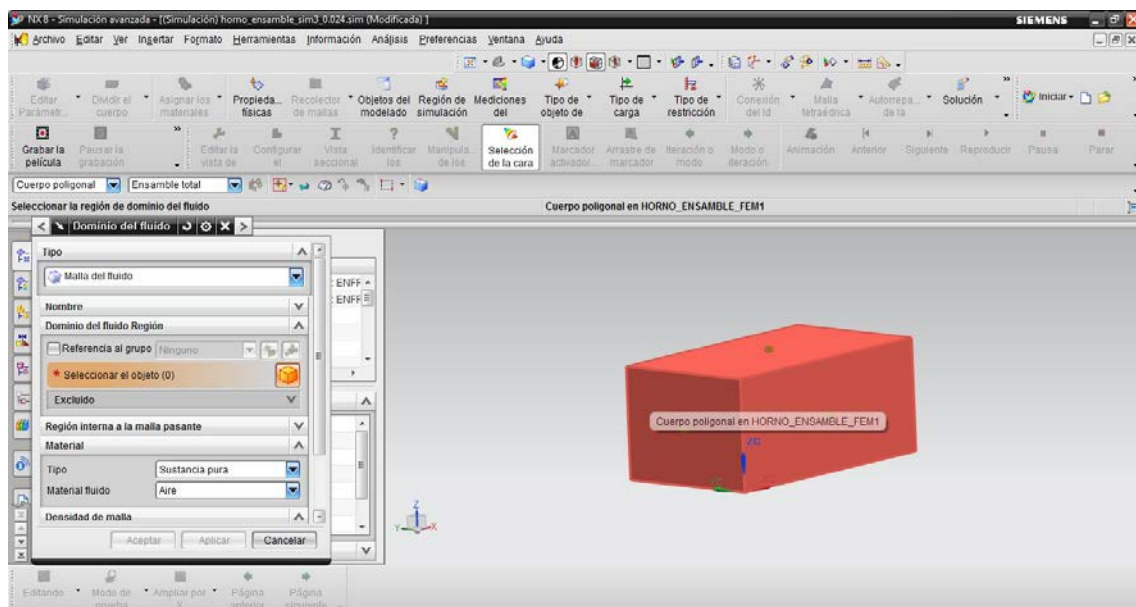


Figura 74 Fluid domain

Seleccionaremos el cubo, dejaremos la opción de aire por defecto, pero cambiaremos la opción de tamaño del elemento de “relativo” por “absoluto” , ahora deberemos tener precaución ya si introducimos un tamaño muy pequeño, la solución llevara horas, debido a la gran cantidad de operaciones que deberá realizar el ordenador en nuestro caso he introducido un valor de 50mm.

14.7 Solución:

Llegados a este punto nos dirigiremos hacia el árbol de operaciones, botón derecho, y seleccionaremos verificar, de esta manera comprobaremos el modelo, si tenemos algún error en el proceso de mallado, o en la asignación de materiales y resolvemos.

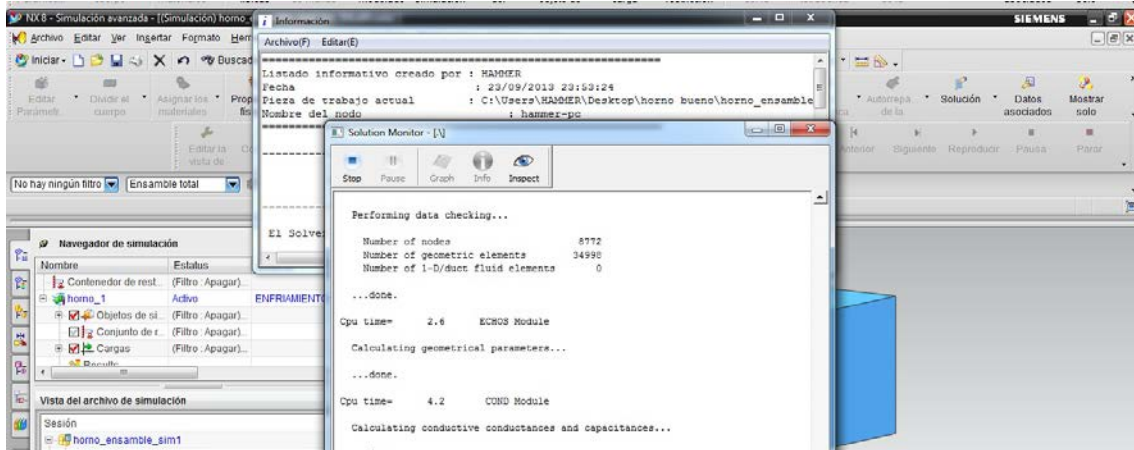


Figura 75 solución

Esperamos a obtener los resultados.

Pero también podremos ver el número de iteraciones que el ordenador va realizando y la manera en la que este converge hacia el resultado

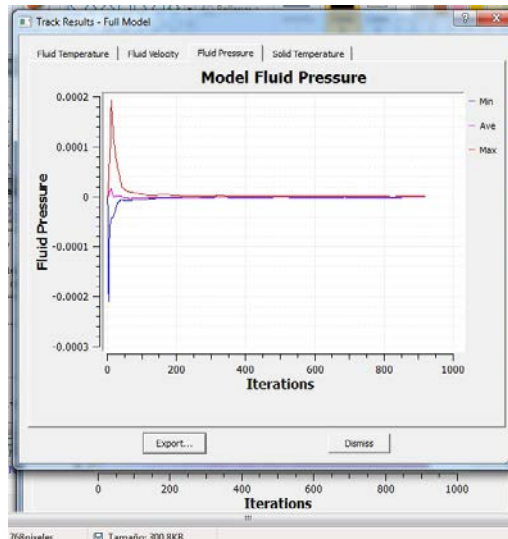


Figura 76 Gráfico de solución

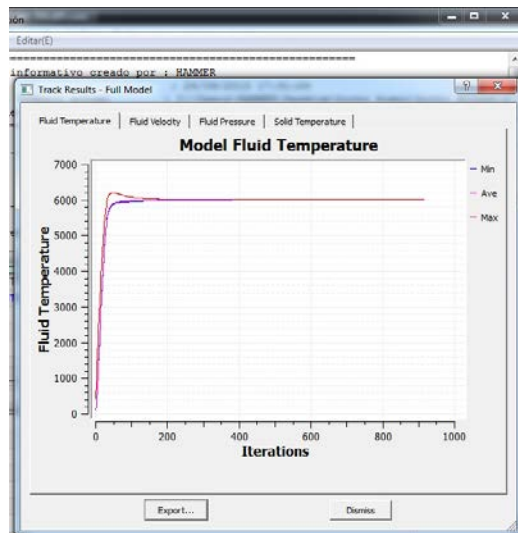


Figura 77 Gráfico de solución

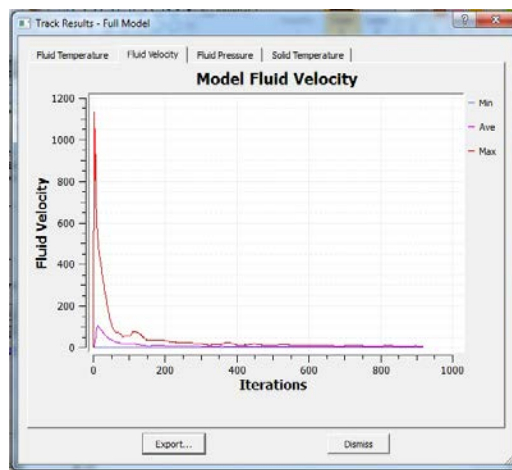


Figura 78 Gráfico de solución

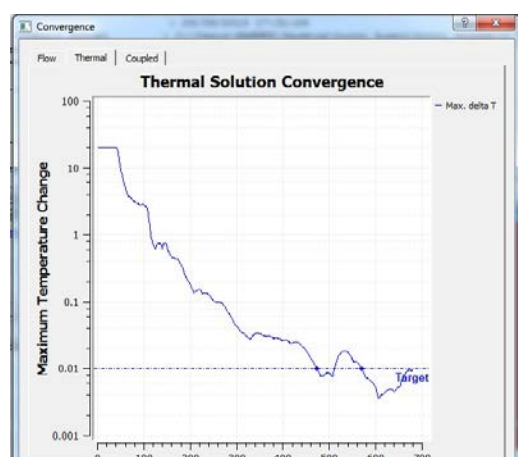


Figura 79 Gráfico de solución

14.7 Obtención de los resultados:

Cuando el software finalice los cálculos nos lo indicara en la ventana, cancelaremos y cerramos todas las ventanas y nos dirigimos al árbol de la izquierda, seleccionaremos los resultados, y “cargar resultados”.

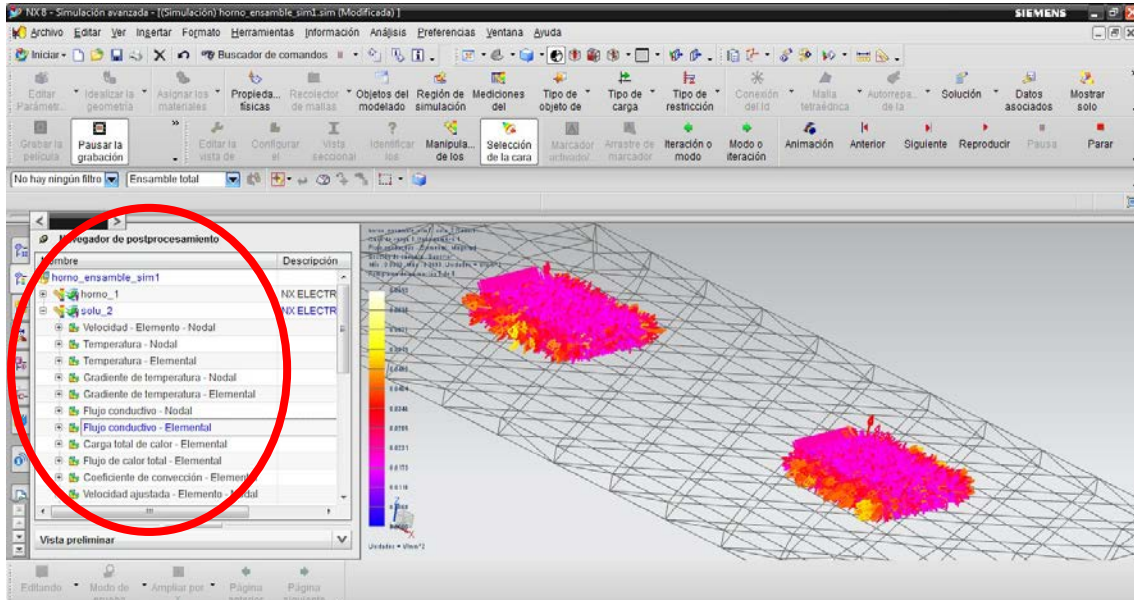


Figura 80 Obtención de resultados

Seleccionando en la solución visualizaremos el resultado obtenido, además podremos modificar la visualización de los resultados, por ejemplo, para evaluar los flujos de convección o las velocidades estas podrán ser representadas mediante “flechas” de forma que son más intuitivas

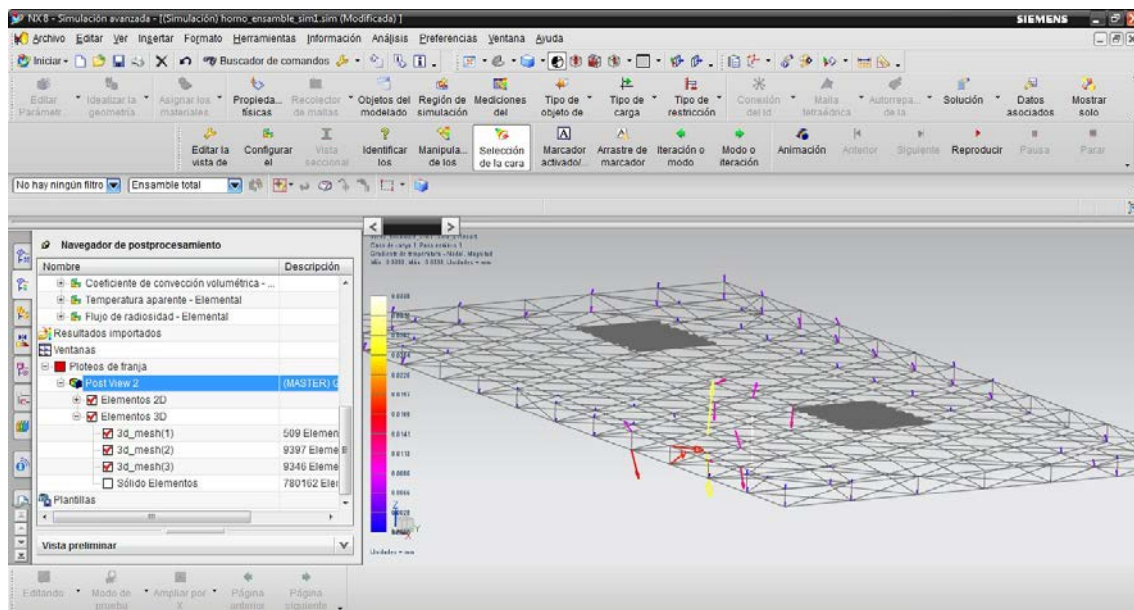


Figura 81 Visualización de flechas

Visualización de la temperatura en los nodos:

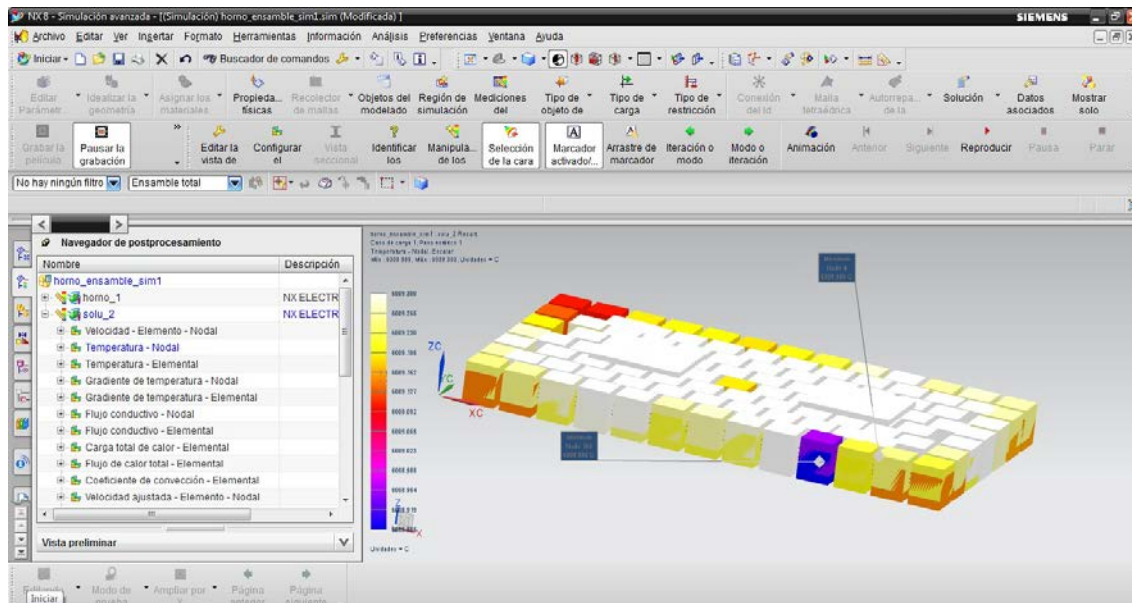


Figura 82 Temperatura en nodos modo cubos

En la anterior imagen podemos observar la temperatura en los nodos, cambiando su visualización por “cubos” que nos ayudaran a visualizar mejor donde se produce la máxima y mínima temperatura de la placa aislante.

Transferencia de calor:

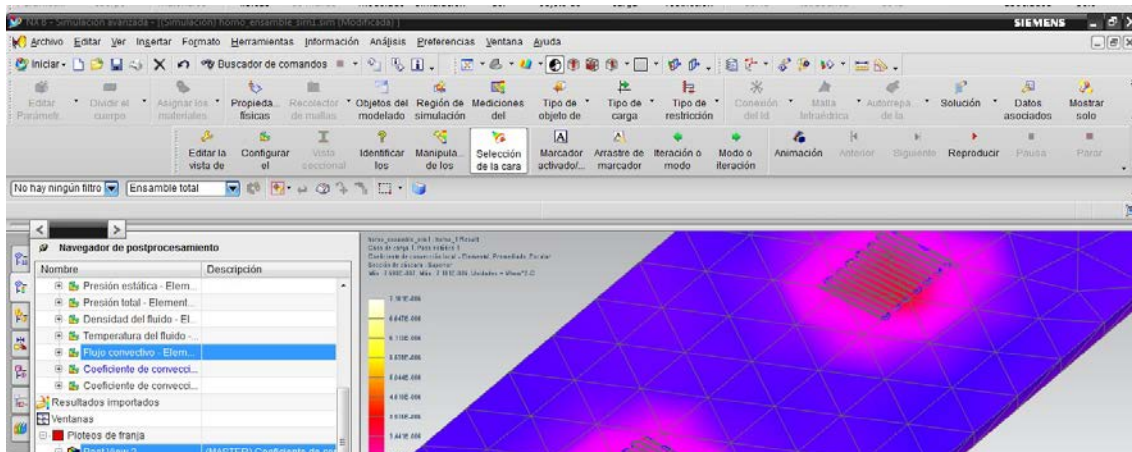


Figura 83 Transferencia de calor

En esta otra imagen podemos apreciar la distribución de calor que se produce entre las resistencias y la placa aislante.

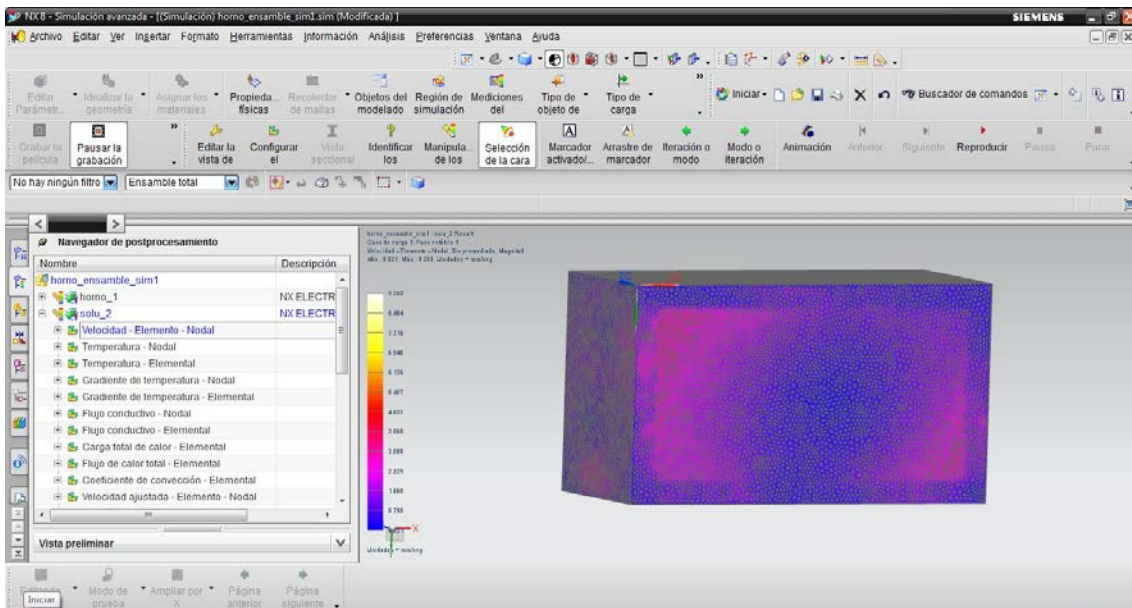


Figura 84 Velocidades de los nodos

En la figura 14, observamos la velocidad acaecida en los elementos nodales de la base, si nos fijamos bien, podemos apreciar el contorno de la placa de material aislante.

Siendo su distribución uniforme en el resto del volumen, por lo cual podemos deducir que tendremos el mismo flujo o movimiento del fluido en todo el volumen interior, cabe recordad que esta simulación se ha llevado a cabo sin flujo forzado, es decir sin aplicar las condiciones de contorno que un ventilador introduciría en la simulación.

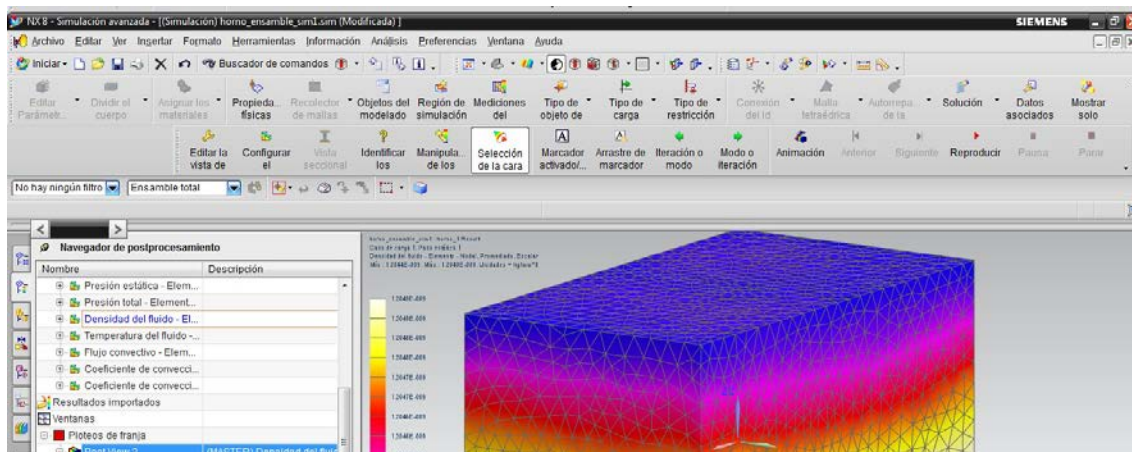


Figura 85 Densidad del fluido

En esta última imagen apreciamos la distribución de densidad del aire en el volumen interior del horno. Como apreciamos se concentrara en la capa superior teniendo en la inferior el fluido a más temperatura, produciéndose de este modo un flujo de convección natural.

Más resultados:

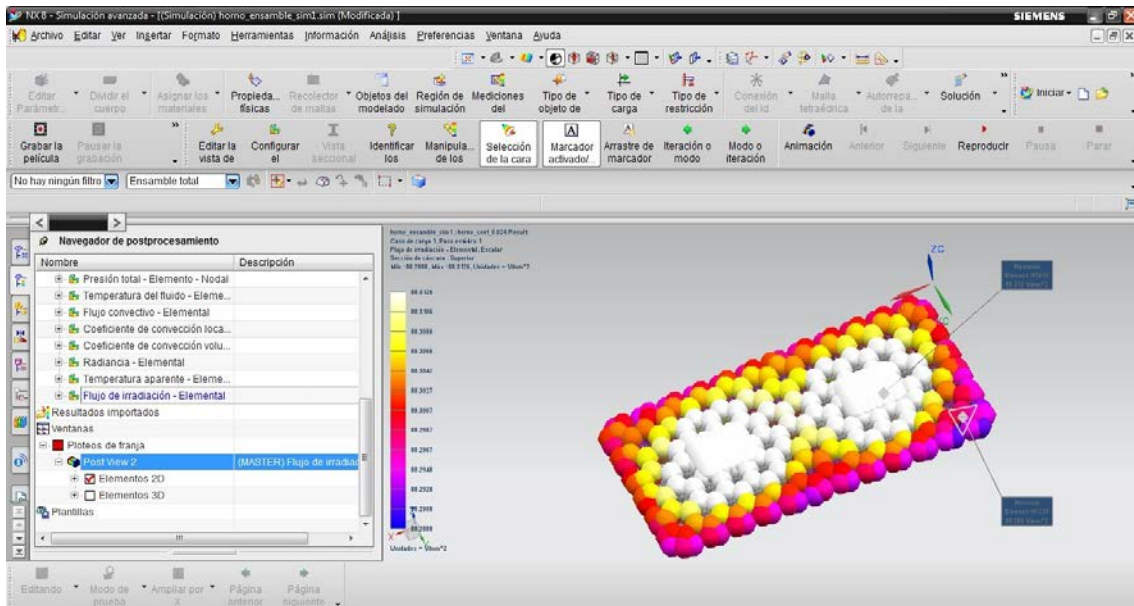


Figura 86 Flujo de irradiación

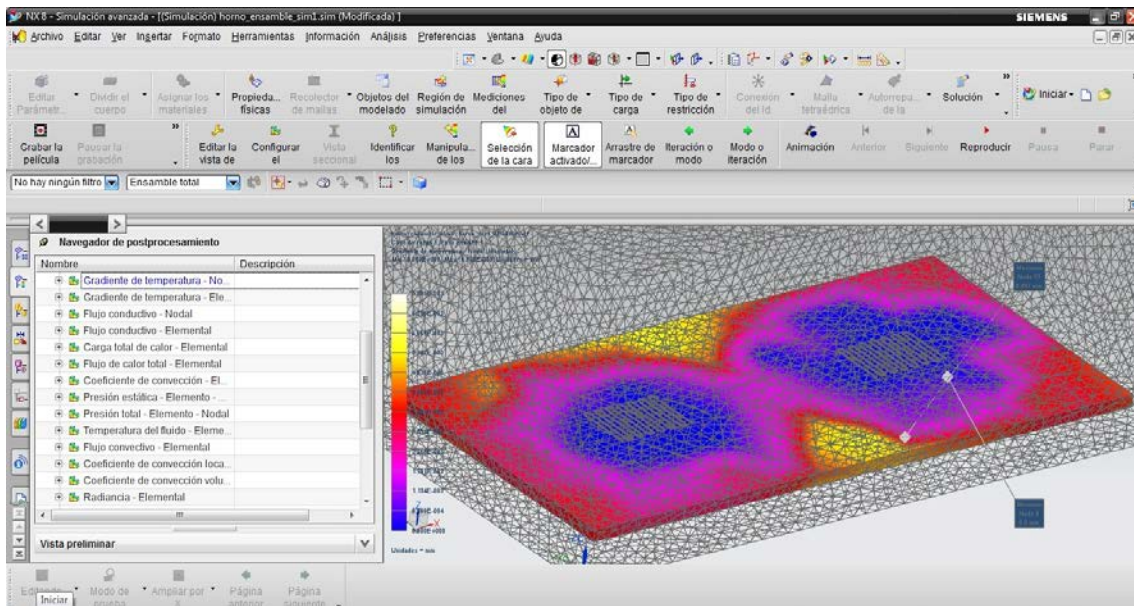


Figura 87 Gradiente de temperaturas

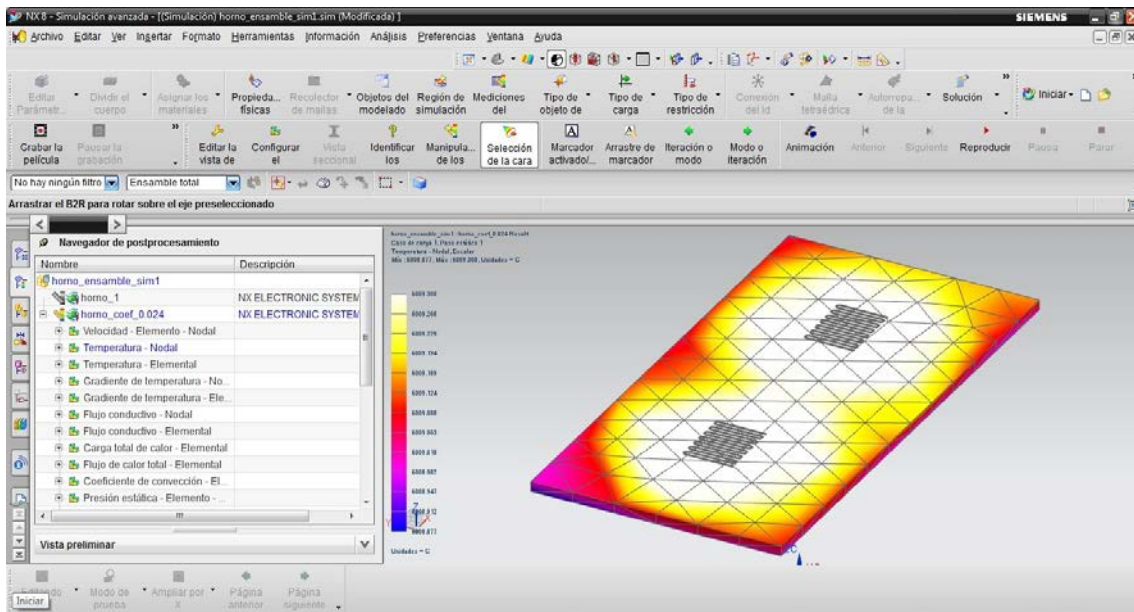


Figura 88 Velocidad del Elemento Nodal

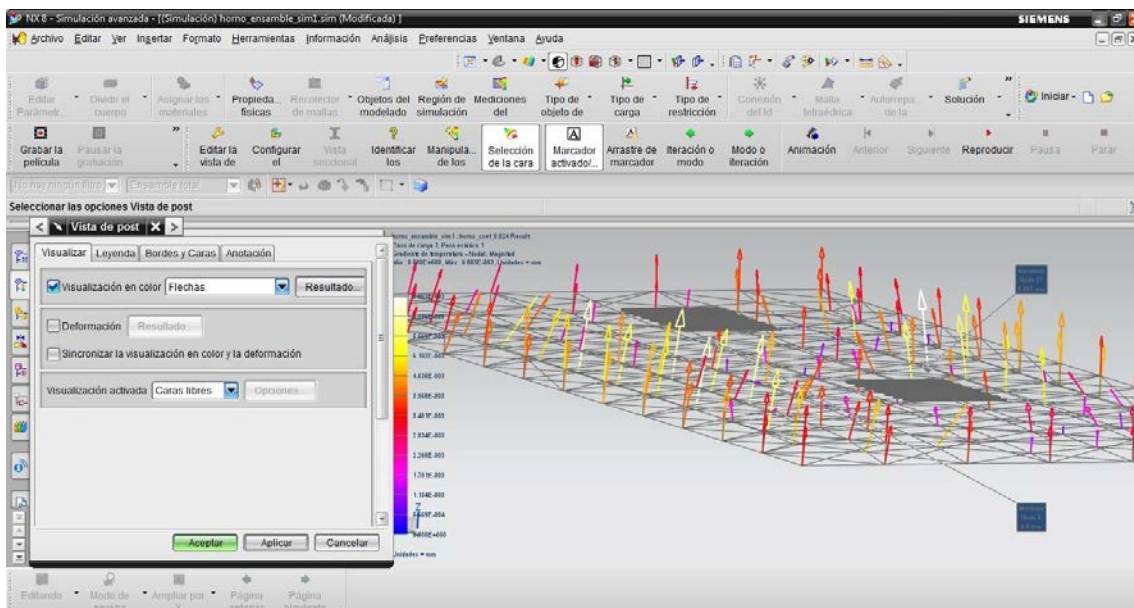


Figura 89 Gradiente de Temperaturas Visualización modo “flechas”

Aplicación de técnicas CAD/CAM/CAE al estudio y Fabricación de horno para curado de composites

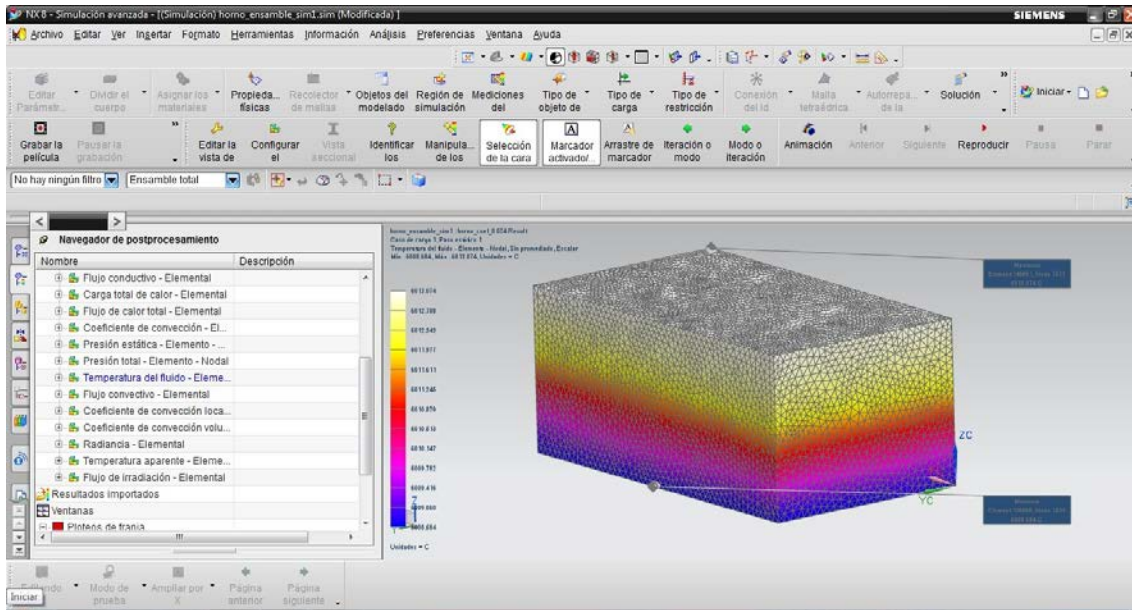


Figura 90 Temperatura del Fluido

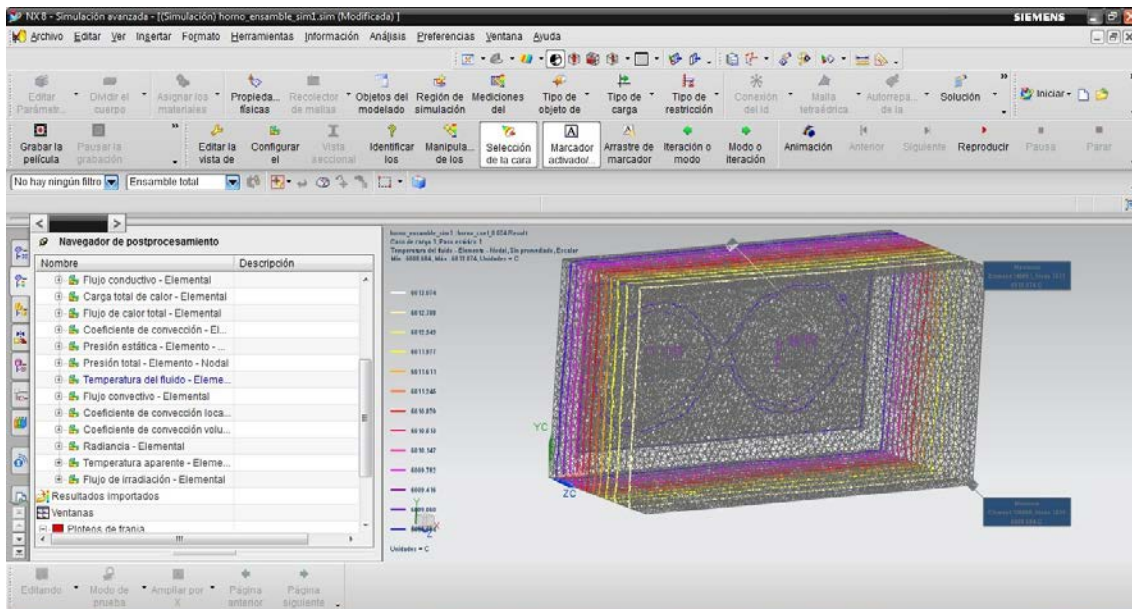


Figura 91 Temperatura del Fluido Vista dos

FABRICACIÓN Y MONTAJE

15.Fabricación y montaje

La fabricación y montaje se ha llevado a cabo en las instalaciones que el I.D.F. posee en la Universidad Politécnica de Valencia, tal y como se describe en el anterior apartado.

Los perfiles utilizados en la fabricación de la estructura fueron de aluminio, en concreto perfiles de 40x40mm.

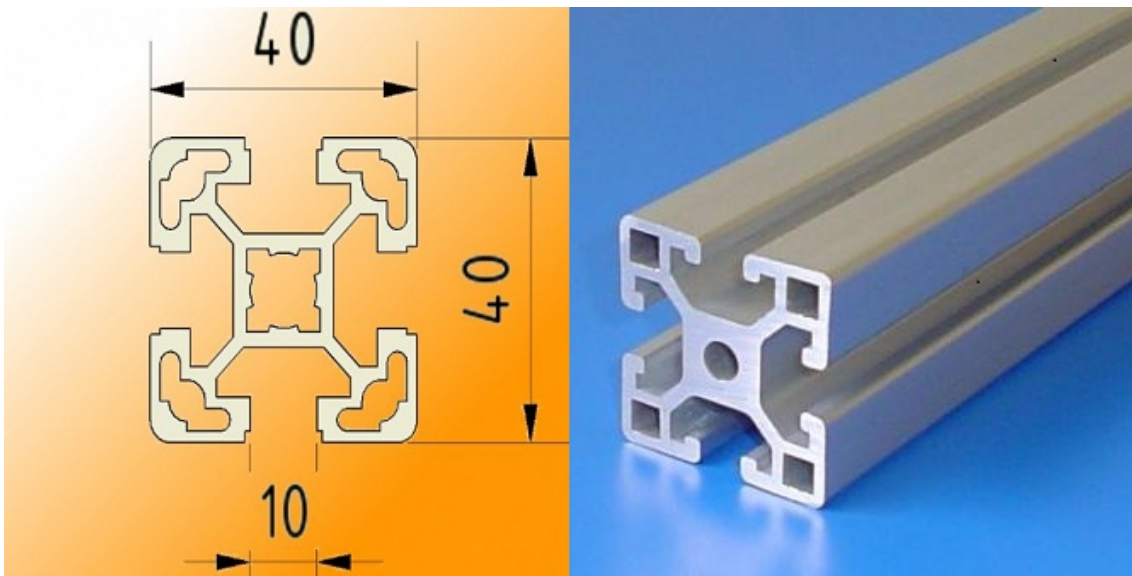


Figura 92 Sección de los perfiles Transfmetal.

Se suministraron cortados a medida, previamente especificada al suministrador, las cantidades fueron:

- 4 Unidades de 2 metros de largo.
- 14 Unidades de 1 metro de largo.

Además el suministrador proporciono las puertas del horno ya montadas, que como toda la estructura del horno es de perfil de aluminio.

El ensamblaje de los perfiles de aluminio se realizo por medio de unos ángulos o escuadras, que colocadas de manera correcta dotan a la estructura del horno de la robustez necesaria para resistir todos los elementos.

Estas escuadras van fijadas a los perfiles de aluminio mediante tornillos de métrica de 8x25mm, apretados por tuercas de métrica 8, y para aumentar la superficie de contacto se emplearon arandelas de ala ancha.

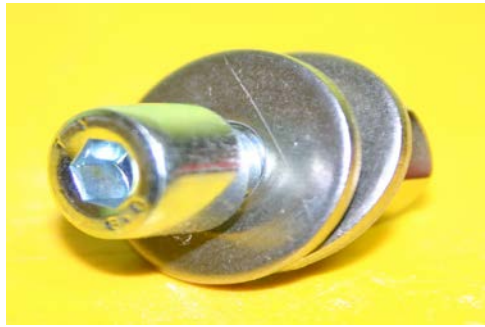


Figura 93 Tornillo de métrica 8.

También hubo que unir los paneles del horno entre sí, para ello, en primer lugar se fijaron a la estructura unas chapas de 7cm de ancho por 100cm de largo, estas fueron fijadas con los tornillos de métrica descritos anteriormente.

Una vez fijadas estas se colocaron los paneles, a los que se aplicó silicona para altas temperaturas, para realizar un sellado lo más hermético posible para evitar pérdidas de calor a través de pequeños espacios o mal sellado entre perfiles.



Figura 94 Aplicación de silicona sellante

Se repasaron todas las juntas con silicona, y además de ello una vez colocados los paneles estos fueron fijados a las chapas pre-instaladas con tornillos rosca chapa de 4x25mm.



Figura 95 Tornillo rosca chapa

Una vez montada la estructura, con sus paneles y bien fijados se procedió a aislar el interior de horno.

Para ello se emplearon placas de lana de roca, como las que podemos apreciar en la siguiente figura que fueron fijadas a los laterales del horno por medio de silicona resistente a la temperatura.

En la siguiente figura vemos la silicona aplicada en la cara que se unirá contra el metal.



Figura 96 Placa de lana de roca

Una vez colocada la placa de material aislante en el panel del horno se fueron ajustando y sellando con cinta de aluminio.



Figura 97 Cinta de aluminio-Growcastellet.com

Un tipo de cinta utilizada en conducciones como tubos de escape, circuitos de calefacción, se caracteriza por resistir perfectamente las altas temperaturas y su uso en nuestro horno es imprescindible, porque gracias a ella podemos terminar de sellar las juntas entre los perfiles de aluminio y además sujetar firmemente las placas aislantes de lanas de roca contra las paredes del horno.

Material eléctrico:

En esta apartado describiré los materiales eléctricos empleados en la construcción del horno, porque tan importante o más es como los anteriores materiales.

Para alimentar las resistencias eléctricas deberemos emplear cable, pero un cable que sea resistente a altas temperaturas, porque sino corremos el peligro de que se produzca un cortocircuito poniendo en peligro el horno, y las instalaciones.

En el mercado podemos encontrar gran variedad de cable, secciones, y usos, pero poco son aquellos que soportan el efecto de la temperatura o incluso el fuego, en este pequeño grupo encontramos los cables de silicona.

Los cables de silicona, vienen presentados de la siguiente manera,

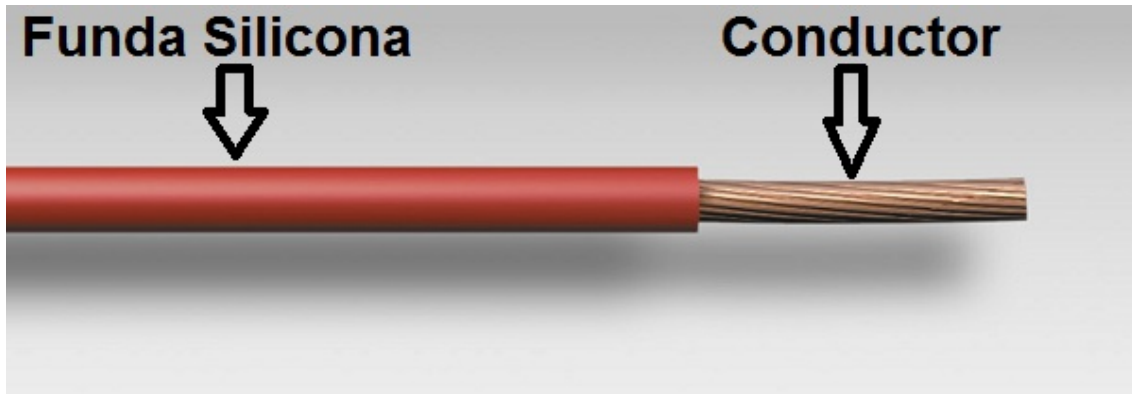


Figura 98 Cable silicona Cervi.es

Constan de una funda protectora de silicona, la cual es resistente a la temperatura y también a las llamas, en nuestro caso es suficiente con que resista la temperatura, a su vez en su interior tenemos el conductor un hilo de cobre que podrá ser escogido entre múltiples secciones, para nuestra aplicación será suficiente con instalar cable de 4mm de sección.

Terminales faston:

Una vez seleccionado el cable que se instalará, el siguiente paso será ver que conexiones necesitan las resistencias, ya que deberemos ceñirnos a ese tipo de conexión.

La conexión con la que cuentan las resistencias seleccionadas se trata de una conexión tipo faston, en la siguiente figura vemos que tipo es.



Figura 99 Terminal faston Francesccasal.com

PRESUPUESTO

16. Presupuesto

Antes de redactar el presupuesto, mencionar que se ha intentado buscar un equilibrio entre económico y eficiente, con el fin de optimizar el gasto y reducirlo lo máximo posible.

Antes comprar las piezas y materiales necesarios para la fabricación del horno se consulto a varios proveedores con el fin de comparar los distintos precios para un mismo material.

Presupuesto:

Proveedor	Concepto	Cantidad	Precio Unitario Euros	Precio Total Euros
Aluval	Perfil de aluminio 40x40x2000mm	4	20€/metro	160
Aluval	Perfil de aluminio 40x40x1000mm	10	20€/metro	200
Aluval	Perfil de aluminio 40x40x1300mm	4	20€/metro	104
Aluval	Perfil de aluminio 40x40x920mm	4	20€/metro	73.6
Aluval	Perfil de aluminio 40x40x380mm	4	20€/metro	30.4
Aluval	Chapa de aluminio 2000x1000x0.8mm	8	23€/m ²	184
Aluval	Chapa de aluminio 1000x1000x0.8mm	4	23€/m ²	92
Aluval	"L" para unir perfiles	80	1.5€/unidad	120
Aluval	Accesorios montaje	----	30€	30

Total estructura mas carcasa del horno → 994€

Proveedor	Concepto	Cantidad	Precio Unitario Euros	Precio total Euros
Hierros Teruel S.A.	Ruedas de funcidión.	4	68€/ 4 Unidades	68
Elebome S.A.	Cable resistente a temperatura sección 4mm.	22metros	2€/metro	44
Remle S.A.	Resistencias tren de lavado 2100w	3	15	45
Remle S.A.	Ventilador	1	56	56
Chauvin Arnox	Programador y controlador de temperatura	1	150	150
LeRoy merlin	Sellador alta temperatura	6	6.10	36.6
LeRoy merlin	Tornillo 4x25mm	2 cajas 100unidades	4.56	9.12
LeRoy merlin	Arandela métrica 4	2 cajas 100 unidades	3.45	6.9
LeRoy merlin	Tuerca métrica 8mm	2 cajas 100 unidades	4.24	8.48
LeRoy merlin	Caja de tornillos rosca chapa 500 unidades	1 caja	3.34	3.34
LeRoy merlin	Cinta adhesiva Aluminio	5 unidades	4.28	21.4
LeRoy merlin	Lana de roca	10m ²	5.02€/m ²	50.2
RS Components	Contactador 40A	1	69.50€	69.50€

Total resto de materiales→ 568.54€

Por tanto el presupuesto total a falta de pequeños detalles asciende a una suma de 1562.54€

CONCLUSIONES

17. Conclusiones

A la vista de lo expuesto en esta tesina, el horno debe satisfacer las necesidades para las cuales ha sido diseñado, calculado y construido.

En la selección de materiales y elementos de seguridad se ha tenido en cuenta, los requisitos de temperatura a los que iban a ser sometidos, así como las corrientes eléctricas y su posible aumento de potencia debido a nuevos requisitos técnicos o por causas ambientales donde su ubicación, sea menor aislada del ambiente y por tanto sea necesario un mayor aporte de calor para cumplir las especificaciones de los ciclos de curado del fabricante del material.

BIBLIOGRAFÍA

18. Bibliografía:

- [1]- Antonio Torregrosa Huguet, José Galindo Lucas, Héctor Climent Puchades “Ingeniería Térmica, Fundamentos de termodinámica” editorial U.P.V 2001-4318.
- [2] - José Galindo Lucas, Santiago A. Molina Alcaide, José Javier López Sanchez, Pablo C. Olmeda Gonzalez, “Ingeniería Térmica, Apuntes de teoría y Práctica”. Editorial U.P.V. Departamento de máquinas y motores térmicos. Ref 2008.482.
- [3] Juana Abejonar, Francisco Velasco, Miguel A. Martinez, “Influencia del post-curado en las propiedades mecánicas de una resina epoxi reforzada” , Revista Iberoamericana de polímeros volumen 10-3 mayo de 2009.
- [4]- Daniel Rebollo, Manuel Sánchez, “Modelado de la transferencia de calor por convección natural y radiación combinadas mediante el método de los volúmenes finitos” Universidad Nacional de San Juan, Instituto de mecánica aplicada, Argentina 10 de marzo de 2007.
- [5]- Marta Barrenas Carracedo, Mario García Sanz, Sebastian Díaz, “Modelado y simulación de un horno eléctrico de 1MW de Potencia.” Departamento de computación y Automática. Universidad Pública de Navarra.
- [6]- Desconocido, “Hornos de resistencias, pérdidas de calor”.
- [7]- Thermoequipos C.A. “Introducción a la Teoría de la transferencia de Calor”.
- [8]- Franklin Efraín Romero Bustillos, David Romero Chasi Culqui, “Diseño y construcción de un equipo para reparación de materiales compuestos” España 2007.
- [9]- “Convección natural sobre placas horizontales”.
- [10]-Roberto Aguirre González, Jorge Luis Sánchez Sánchez, Miguel Ángel Serna Rodriguez. “Horno de curado de resinas a epoxi”.
- [11] Optimer System S.A. “Cálculo de la resistencia térmica de las cámaras aire”.

ANEXOS

19.Anexos

- Catalogo de ruedas Gayner.
- Catalogo de repuestos de hostelería Remle.
- Especificación de producto Pre-Preg M49. Hexcel composites.
- Hoja de calculo Excel, Calculo de la Potencia.
- Especificación de fabricante de lana de roca (material aislante).
- Manual Statop 48 Series 30.
- Archivos cad, y sim. De simulación y diseño.

TABLA DE ILUSTRACIONES

20. Tabla de ilustraciones:

Figura 1 Formula SAE Mc Hill Racing Team	10
Figura 2 Eurocarnews.com	11
Figura 3 Compositeworld.com Pre-Preg Sorong growth through 2013.	12
Figura 4 Hexcel Pre-Preg Technology	13
Figura 5 Hexcel Pre-Preg Technology	14
Figura 6 Hexcel Pre-Preg Technology	15
Figura 7 Amt Composites	17
Figura 8 Hexcel Pre-Preg Techonology.	18
Figura 9 Hexcel Pre-Preg Technology	18
Figura 10 Plano	26
Figura 11 Vista U.P.V.	26
Figura 12 Conducción	33
Figura 13 Tabla conductividad térmica	34
Figura 14 Ecuación de estado	35
Figura 15 sección de pared	35
Figura 16 convección	37
Figura 17 interior horno	37
Figura 18 Artinaid.com	38
Figura 19 Ciclos de curado, Manual usuario Hexcel M49	43
Figura 20 Ciclos de curado, Manual usuario Hexcel M49	44
Figura 21 Perfil de aluminio 40 series, Directindustry.es	49
Figura 22 Unión de perfil	50
Figura 23 Disposición típica de resistencias eléctricas. Teoría de hornos.	52
Figura 24 Tubo radiante con resistencia de alambre en espiral, en soporte cerámico. Teoría de hornos resistencias eléctricas.	52
Figura 25 Resistencias comerciales, Teoría de hornos resistencias eléctricas.	53
Figura 26 Hoja de calculo Excel.	55
Figura 27 Vector de temperatura Hoja Hexcel.	56
Figura 28 Potencia necesaria en cada instante. Hoja Excel.	57
Figura 29 Rampa de potencia. Hoja Excel.	58
Figura 30 Catalogo de recambios electrodomésticos Remle	59
Figura 31 Vista de resistencia	60
Figura 32 Detalle de la fijación y conexión.	60
Figura 33 Cantidad de calor que atraviesa una superficie	62
Figura 34 Flujo de calor	62
Figura 35 Flujo de calor a través de cada placa plana	63
Figura 36 Símil eléctrico	63
Figura 37 Analogía térmica entre eléctrica	63
Figura 38 Propiedades lana de roca	66
Figura 39 Imagen de la fijación de las chapas de aluminio. Laboratorio I.D.F.	67
Figura 40 Circulación Vertical centrifuga	68
Figura 41 Circulación horizontal centrifuga.	69
Figura 42 Circulación horizontal centrifuga.	69
Figura 43 Circulación Vertical-Horizontal centrifugo	70
Figura 44 Horno convección axial piezas alargadas	70
Figura 45 Curva característica ventilador centrifugo.	71
Figura 46 Curva característica caudal-presión.	72
Figura 47 EquiposJuarez.net	72

Figura 48 Equipos Juarez.net	73
Figura 49 Configuración utilizada en el horno	73
Figura 50 Formex.com	74
Figura 51 Tipos de termopares, Conatec.com	78
Figura 52 Ciclo de curado Pre-preg mx49-Hexcel composites.	79
Figura 53 Vista de controlador	81
Figura 54 Vista de controlador	82
Figura 55 Vista de controlador	82
Figura 56 Electrónica fácil.	84
Figura 57 Questeletrical.co.uk	85
Figura 58 CAD contactor	86
Figura 59 Automatismos-tai32.blogspot.com	86
Figura 60 Estructura CAD	88
Figura 61 Vista de ensamble	89
Figura 62 Rueda de fundición	89
Figura 63 Siemens.com	93
Figura 64 Vista de modelo	95
Figura 65 Vista de resistencia	95
Figura 66 Vista de lana de roca	96
Figura 67 Vista de ensamble	96
Figura 68 Inicio de Simulación avanzada	97
Figura 69 Configuración de la solución	98
Figura 70 Inicio de proceso de mallado	99
Figura 71 Creación de material aislante	100
Figura 72 Cargas térmicas	101
Figura 73 thermal coupling	102
Figura 74 Fluid domain	102
Figura 75 solución	103
Figura 76 Gráfico de solución	103
Figura 77 Gráfico de solución	104
Figura 78 Gráfico de solución	104
Figura 79 Gráfico de solución	104
Figura 80 Obtención de resultados	105
Figura 81 Visualización de flechas	105
Figura 82 Temperatura en nodos modo cubos	106
Figura 83 Transferencia de calor	106
Figura 84 Velocidades de los nodos	107
Figura 85 Densidad del fluido	107
Figura 86 Flujo de irradiación	108
Figura 87 Gradiente de temperaturas	108
Figura 88 Velocidad del Elemento Nodal	109
Figura 89 Gradiente de Temperaturas Visualización modo “flechas”	109
Figura 90 Temperatura del Fluido	110
Figura 91 Temperatura del Fluido Vista dos	110
Figura 92 Sección de los perfiles Transfmetal.	112
Figura 93 Tornillo de métrica 8.	113
Figura 94 Aplicación de silicona sellante	113
Figura 95 Tornillo rosca chapa	114
Figura 96 Placa de lana de roca	114
Figura 97 Cinta de aluminio-Growcastellet.com	115

Figura 98 Cable silicona Cervi.es 116

Figura 99 Terminal faston Francesccasal.com 116