



89

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

INSTRUMENTACION Y CONTROL DE UN HORNO DE PRODUCCION DE ESPUMAS DE ALUMINIO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA :

DANIEL RAMOS

ASESOR:

ING. JORGE BUENDIA GOMEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO, 2002.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Asociación General de Bibliotecas de la
UNAM a través en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Daniel Ramos

FECHA: 25/OCT/02

FIRMA: [Firma]



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Instrumentación y Control de un Horno de Producción de Espuma de Aluminio"

que presenta el pasante: Daniel Ramos

con número de cuenta: 9031618-A para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de octubre de 2002

PRESIDENTE

Ing. Noé García Lira

VOCAL

Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez

SECRETARIO

Ing. Jorge Buendía Gómez

PRIMER SUPLENTE M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

SEGUNDO SUPLENTE M. en I. J. Guadalupe Ramos Anastasio

[Firmas manuscritas de los miembros del tribunal]

Agradecimientos

A Dios:

Por darme la vida, la fortaleza, la sabiduría y todas las bendiciones otorgadas; entre ellas: mi carrera.

A mis padres:

Irma y Alfonso por su amistad, apoyo incondicional, por enseñarme los principios que me hacen ser la persona que soy.

A mi abuela:

Avelina por estar conmigo siempre y por que dejo en mí la semilla de su carácter y fortaleza.

A mi hermano:

Israle por su ayuda y compañerismo.

A la U.N.A.M.:

Por la educación gratuita y formación integral.

A mis amigos:

*Armando, Arturo, Blanca, Carlos, Claudia,
Dulce, Edwin, Laura, Lilitana, Ma. Carmen,
Ma. Teresa y Oscar por su amistad, consejos y
por siempre estar ahí cuando más los necesité.*

A CONACYT:

*Por el apoyo para la realización de este trabajo
dentro del proyecto J35281-U.*

A CIATEQ:

*Por brindarme la plataforma en la cual pude
desarrollarme de manera profesional: y en
donde encontré grandes amigos y compañeros
de trabajo.*

A Ma. Elena:

*Por su apoyo incondicional, por siempre confiar
en mí, estando a mi lado aún en los momentos
más difíciles...*

Por ser la motivación que ilumina mi sendero.

... y a todos los no me cione GRACIAS.

INDICE

PÁGINA

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS.....	6
1 ANTECEDENTES.....	8
1.1 GENERALIDADES.	8
1.2 ESPUMAS SÓLIDAS.....	9
1.3 ESPUMAS METÁLICAS.	10
2 MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LAS ESPUMAS.	13
2.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE ESPUMAS DE ALUMINIO.....	14
2.1.1 Producción por medio de la ruta de polvos.....	15
2.2.1.1 Estructuras esféricas huecas.....	15
2.2.1.2 Atrapamiento de un gas por expansión. [LDC].	16
2.2.1.3 Consolidación de polvos.	16
2.1.2 Producción partiendo del estado líquido.....	17
2.2.1.4 Solidificación eutéctica.....	18
2.2.1.5 Adición de un agente espumante (ALPORAS).....	18
2.2.1.6 Método de inversión usando un polímero (DOUCEL).....	19
2.2.1.7 Método de fusión por adición de partículas (LIXIVIACIÓN).....	20
2.2.1.8 Inyección de gas en una aleación fundida Al-SiC o Al_2O_3	21
2.2 PROCESO DE CREACIÓN DE ESPUMA.....	22
2.2.1 Partículas cerámicas.....	23
2.2.2 Gas para inyección.....	24

2.3	PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROCESO.....	24
3	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO.	27
3.1	HORNO DE RESISTENCIAS.	27
3.2	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	32
3.2.1	Medición de temperatura.	32
3.2.2	Transductores de temperatura.	33
3.2.2.1	Detectores de temperatura de resistencia.	33
3.2.2.2	Termistores.....	35
3.2.2.3	Sensores de IC (Circuitos Integrados).	36
3.2.2.4	Termopares.....	36
3.2.3	Termopar.	37
3.2.3.1	Temperatura relativa frente a temperatura absoluta.	40
3.2.4	Manipulación de la señal.....	45
3.2.4.1	Amplificación de señal.	45
3.2.4.2	Filtrado de la señal.....	46
3.2.4.3	Tarjeta de adquisición de datos.	48
3.2.4.4	Software de control.	49
3.2.4.5	Compensación por software.	50
3.2.5	Curvas de enfriamiento.....	51
3.2.5.1	Curvas de enfriamiento teóricas.	52
3.2.5.2	Curvas de enfriamiento reales.	53
3.2.5.3	Parámetros en la zona liquidus.....	53
3.2.5.4	Parámetros eutéticos.	54

3.2.5.5 Tiempo total de solidificación	56
3.2.5.6 Calibración del sistema de adquisición de temperatura.....	56
3.3 SISTEMA DE AGITACIÓN.....	59
3.3.1 Propelas para el sistema.....	63
3.4 MEDICIÓN DE FLUJO.....	64
4 RESULTADOS.....	67
4.1 HORNO DE RESISTENCIAS	67
4.2 SISTEMA DE AGITACIÓN.....	70
4.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA.....	74
4.3.1 Curvas de temperatura.	79
4.3.2. Curva de aluminio al 99% de pureza.	79
4.3.3 Curvas de la aleación base.....	85
4.4. MEDICIÓN DE FLUJO.....	89
4.5 ESPUMAS DE ALUMINIO.	91
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA.....	98
APENDICES	99
APENDICE A: SOFTWARE DE CONTROL	99
APENDICE B: AMPLIFICADOR OPERACIONAL TL081	113
APENDICE C: CONTROLADOR DEL HORNO.....	115
APENDICE D: SENSOR DE TEMPERATURA LM35.....	117

INTRODUCCIÓN

Las espumas sólidas son materiales formados por células, cuyo esqueleto es el material sólido lleno de burbujas de aire o gas, y que puede ser cinco veces más fuertes que la madera y tener la mitad de su peso; este material es también capaz de flotar.

En la fabricación de espumas de aleación base aluminio, intervienen diferentes variables como son el tiempo, la temperatura, la velocidad de rotación del motor, la viscosidad, el flujo de gas inyectado, el tipo de aleación, la cantidad de material y tamaño de las partículas refractarias.

Cabe señalar que es importante controlar las variables del proceso desde el inicio, ya que así se puede definir las características finales del producto lo cual nos dará el uso mas apropiado dependiendo de tamaño de burbuja y la microestructura de éste.

Este trabajo se divide en cuatro etapas, el sistema de fusión, adquisición de datos, agitación y medición de flujo; las cuales son las variables mas importantes de este proceso.

La primera parte consistió en la fabricación de un horno vertical de resistencias eléctricas para la fusión de las aleaciones. Este horno tiene su controlador y sensor de temperatura que permite controlar la velocidad de calentamiento y mantenerlo a una temperatura constante deseada.

Posteriormente se implemento un sistema de adquisición de datos con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos de propósito general. En este sistema se

realizó una etapa de amplificación y filtrado para medir las temperaturas para termopares tipo K, se realizó el algoritmo de control en lenguaje Visual C++, con este programa se pueden controlar hasta los 16 puertos analógicos de entrada y permite controlar la ganancia del amplificador operacional programable de la tarjeta así como la frecuencia con la cual se desea obtener los datos de acuerdo a las necesidades.

Con este sistema fue posible la obtención de las curvas de enfriamiento de las diferentes aleaciones, las cuales nos permiten conocer sus puntos de transición de estado sólido a líquido y viceversa.

El sistema de agitación consta de un motor, amplificador y su interface de comunicación con la computadora, incluye su propio software con el cual se controla la velocidad del motor de manera eficiente ya que se tiene un control de lazo cerrado y un encoder. Con el encoder se controla la velocidad, el torque o posición del motor y al mismo tiempo se puede monitorear uno de los dos parámetros restantes.

Finalmente se adaptó un medidor de analógico de flujo con el cual se tomaron medidas de referencia para controlar el proceso de fabricación de las espumas.

OBJETIVO GENERAL:

El objetivo del presente trabajo es implementar equipo para la instrumentación y control de un horno de producción de espuma de aluminio.

OBJETIVOS PARTICULARES:

El diseño y construcción de un horno vertical para la fundición de aluminio y aleaciones.

CAPITULO UNO

ANTECEDENTES

1 ANTECEDENTES.

Las espumas metálicas fueron usadas en secreto por la industria militar en los países desarrollados durante algunos años y recientemente han empezado a aparecer en el mercado. Ésta clase de materiales basados en espumas metálicas prometen una revolución en el campo de los materiales como lo fueron los plásticos en los 1970's[1].

Recientes desarrollos tecnológicos para la producción de espumas metálicas (CYMAT, Co. en Canadá), especialmente de aluminio, han producido una nueva generación de materiales ligeros, los cuales son excelentes absorbentes de diferentes tipos de energía. De lo anterior se ve la importancia de empezar el desarrollo de una tecnología de este tipo, en cuyos productos resultantes sé vera involucrada una serie de disciplinas con el fin de caracterizar el material desde el punto de vista de fases constituyentes, estructura / composición, propiedades y desempeño en condiciones reales[2].

1.1 GENERALIDADES.

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la tierra, solo el oxígeno y el silicio se presentan en cantidades más grandes. Diferentes compuestos de aluminio y muchas de sus aleaciones, presentan diversas propiedades que lo hacen atractivo, permitiendo su uso en la industria del empaçado, construcción, transporte y algunas aplicaciones eléctricas. Estos se caracterizan por tener baja

densidad, buenas propiedades térmicas y eléctricas, toxicidad nula y pueden ser procesados y producidos por métodos convencionales. Además poseen excelente resistencia a la corrosión, y desde el punto de vista de la importancia ambiental se pueden reciclar.

Según las últimas estadísticas, 20 millones de toneladas de aluminio son producidas cada año, el aluminio ha reemplazado muchos materiales incluyendo cobre, zinc, plomo, hierro, acero inoxidable, titanio, papel, madera, concreto y materiales compósitos, debido a razones técnicas y económicas [3].

El diseño, la fabricación y el control dentro del procesamiento de las aleaciones de aluminio involucran la adición de diferentes elementos aleantes, lo cual se hace principalmente para mejorar sus propiedades mecánicas, su fluidez y algunas otras propiedades en los procesos de fundición[4].

1.2 ESPUMAS SÓLIDAS.

Las espumas sólidas son materiales formando células, i.e. materiales cuya estructura es un material sólido lleno de burbujas de gas distribuidas uniformemente. Las espumas sólidas pueden ser 100 veces más ligeras que el material sólido equivalente. Las espumas sólidas naturales incluyen madera, hueso, esponjas de mar, rocas volcánicas. Las espumas metálicas, especialmente de aluminio han producido una nueva generación de materiales ligeros, los cuales son excelentes absorbentes de energía; esta propiedad es muy útil en materiales sometidos a diferentes tipos de condiciones.

Otras aplicaciones de las espumas sólidas incluyen [5]:

- Materiales amortiguadores en muebles (hule espuma)
- Materiales aislantes, como aisladores en paredes (de ruido y térmicos)
- Materiales de empaque (poliestireno, unicel)

1.3 ESPUMAS METÁLICAS.

El concepto de espumas metálicas consiste en producir un metal como producto terminado, lleno de burbujas de aire que hacen a este producto más ligero en peso. Las recientes investigaciones en los métodos de manufactura [1,2] han permitido el desarrollo de manera comercial de diferentes espumas metálicas hechas principalmente de aleaciones de aluminio, la figura 1.1 ilustra la espuma de aluminio.

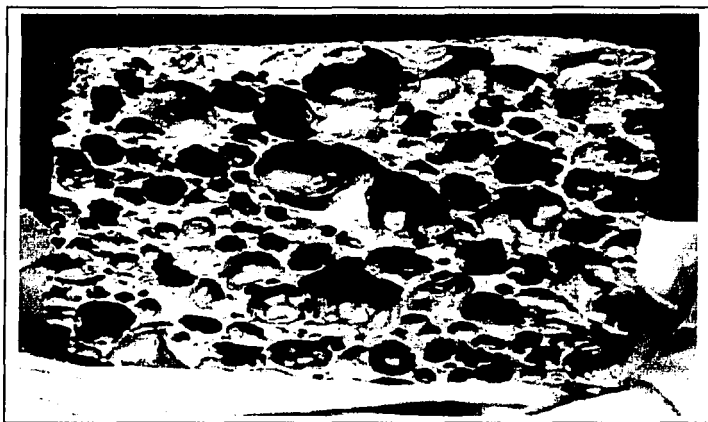


Figura 1.1 Espuma de aluminio.

Algunas aplicaciones como se muestran en la figura 1.2, en el caso de las espumas de aluminio son:

- Estructuras de paneles
- formas complejas
- trabajo a alta temperatura
- células cerradas
- Tubos de paredes delgadas con coraza de espuma
- mejoramiento a la deformación
- Absorbentes de energía
- grandes deformaciones a carga constante

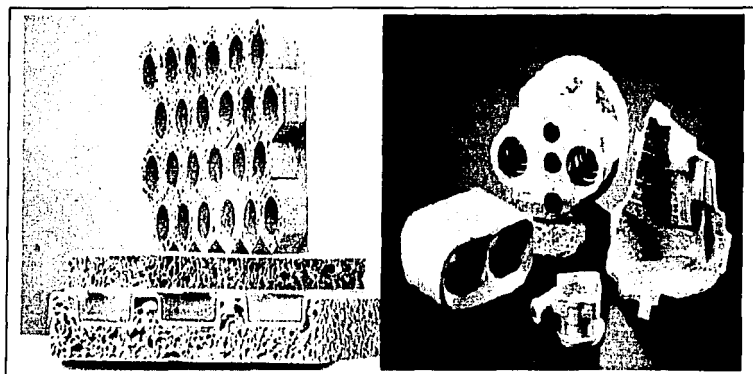


Figura 1.2 Paneles y estructuras de espumas de aluminio.

CAPITULO DOS

MECANISMOS DE

FORMACIÓN

2 MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LAS ESPUMAS.

La fabricación de aleaciones de aluminio incluye diferentes tipos de técnicas como son: fundición, solidificación unidireccional, extorsión, forja y más recientes la fabricación de espumas de aluminio, Banhart propuso varias definiciones[6]:

- **Metal Celular:** Es un metal en el cual los espacios están bien divididos por células bien determinadas, los límites de estas células están hechos de metal sólido y el interior son espacios vacíos.
- **Metal Poroso:** Es un tipo especial de metal celular en que los poros están normalmente aislados uno de otro, producto de gases atrapados y se caracterizan por tener una superficie lisa.
- **Espuma Metálica:** Las espumas son casos especiales de metales celulares. Una espuma sólida se origina de una espuma líquida en la cual las burbujas de gas están finamente dispersadas en el líquido. Las células son cerradas, redondas o poliédrales y están separadas una de otra por una capa delgada.
- **Esponja Metálica:** En una esponja, los espacios son rellenados con metal formando una red continua y coexistiendo con una red de espacios vacíos los cuales también están interconectados.

En la figura 2.1 se observan ejemplos de las definiciones anteriores.

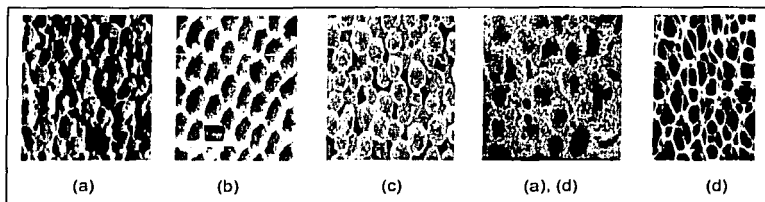


Figura 2.1. (a) Metal celular (b) Metal poroso (c) Espuma metálica (d) Esponja metálica.

2.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE ESPUMAS DE ALUMINIO.

Los métodos de producción se dividen en dos rutas las cuales son la de metal líquido y la de polvos dependiendo del estado en que se parte para obtener la espuma de aluminio, pueden ser que se parte del estado líquido es decir del metal fundido o del estado sólido, de estos dos grupos se tienen subcategorías como se puede observar en la figura 2.2.

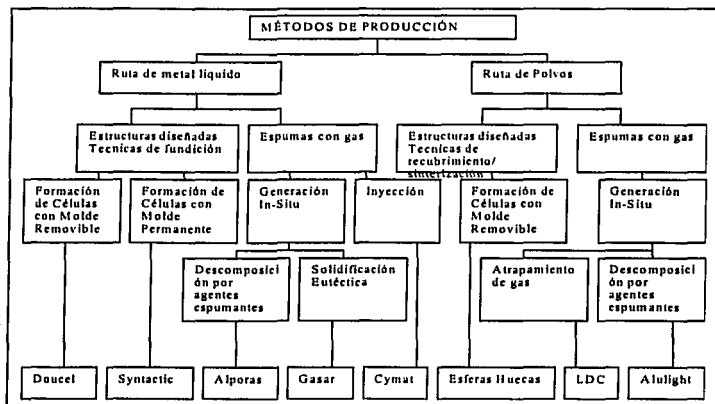


Figura 2.2 Métodos de producción.

2.1.1 Producción por medio de la ruta de polvos[7].

Por esta ruta se tienen los siguientes métodos:

- Estructuras esféricas huecas.
- Atrapamiento de gas por expansión.
- Consolidación de polvos.

2.2.1.1 Estructuras esféricas huecas.

Las esferas huecas de metal son formadas por fusión de un composito y un precursor que se descompone como TiH_2 junto con partículas orgánicas y solventes, las esferas son endurecidas por evaporación durante la volatilización al caer desde lo alto de un contenedor. Se calienta posteriormente para evaporar el solvente y las partículas orgánicas (figura 2.3). Un tratamiento térmico final descompone el metal híbrido dejando esferas huecas de metal.

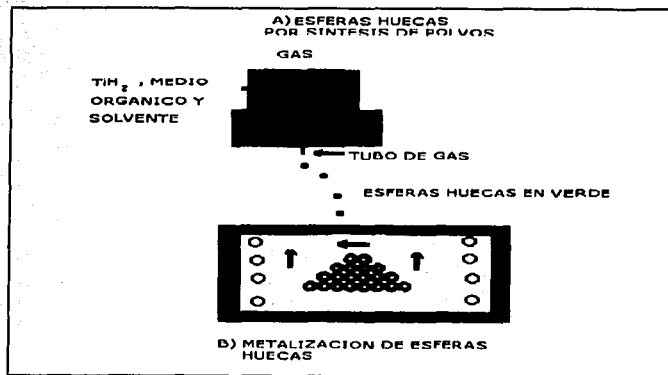


Figura 2.3 Métodos de esferas huecas de metal

2.2.1.2 Atrapamiento de un gas por expansión. [LDC].

En los procesos los polvos del metal son sellados en un recipiente, el cual esta recubierto (figura 2.4). El recipiente se coloca al vacío para quitar el oxígeno, y se introduce argón entre 3-5 atmósferas (0.3 a 0.5 MPa), el recipiente es sellado nuevamente y consolidado a una densidad relativa alta (0.9- 0.98) por HIP (prensado isostático en caliente), causando un incremento en la presión de vacío. Un paso de rolado es introducido para refinar la estructura y crear una distribución uniforme de pequeños poros. El paso final es la expansión por calentamiento a 900 °C durante 20-30 horas. Este proceso da como resultado componentes con forma de emparedados con una capa que contiene células cerradas de un porcentaje hasta 50% y un tamaño de célula de 10-300 μm .

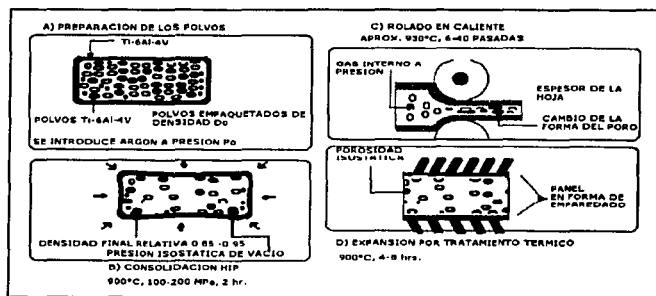


Figura 2.4 Atrapamiento de gas por expansión.

2.2.1.3 Consolidación de polvos.

El método consiste (figura 2.5) en mezclar polvos de Al y un agente espumante (hidruro de titanio), los polvos se mezclan, posteriormente se compactan y se

extruyen en forma de platos con una densidad teórica conocida. Estos platos o barras se colocan en un molde cerrado y se calientan a la temperatura de fusión del sólido. El hidruro de titanio se descompone creando un vacío con altas presiones. Esta expansión del material por un flujo en el estado semi-sólido crea una estructura de la forma del molde. Este proceso da como resultado densidades tan bajas como 0.08 y espumas con diámetros en el rango de 1 – 5 mm.

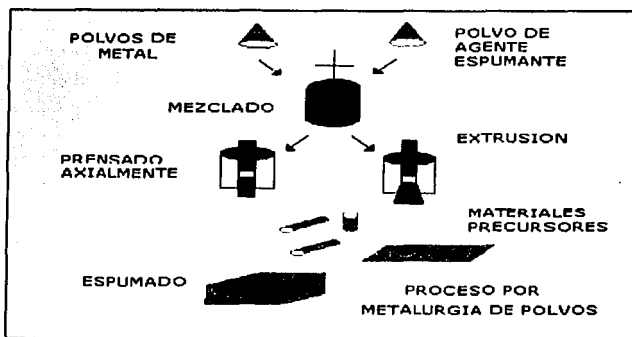


Figura 2.5 Consolidación de polvos.

2.1.2 Producción partiendo del estado líquido[7].

Se tienen los siguientes métodos:

- Solidificación eutéctica (GASAR).
- Por adición de un agente espumante (ALPORAS).
- Método de inversión usando un polímero (DOUCCEL).
- Método de fusión por adición de partículas (LIXIVIACIÓN).

- Inyección de gas en una aleación fundida Al-SiC ó Al_2O_3 (CYMAT /HYDRO).

2.2.1.4 Solidificación eutéctica.

Este método consiste en fundir una aleación y saturarla con hidrógeno aplicando alta presión, y solidificando direccionalmente a una presión más baja. Durante la solidificación, el metal (que puede ser Al, Be, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn y Ni) y el gas precipitan simultáneamente en una reacción eutéctica (figura 2.6), la cual da como resultado un material poroso que contiene grandes filas de poros.

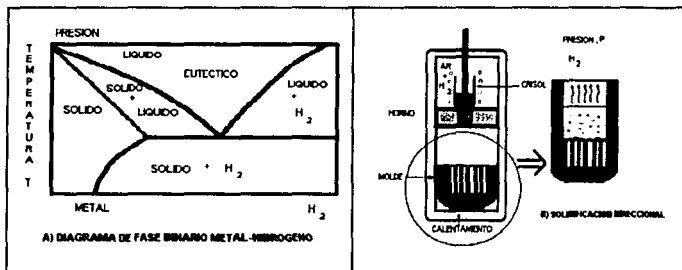


Figura 2.6 Solidificación eutéctica.

2.2.1.5 Adición de un agente espumante (ALPORAS).

En el proceso de Alporas (figura 2.7) se funde Al a los 670 – 690 °C, después se estabiliza la viscosidad del material agregando de 1-2 % de Ca, lo cual forma compuestos finos de CaO y CaAl_2O_4 cuando se agita el material. Posteriormente el material se vierte en un molde y se agita, simultáneamente, se le agregan partículas de TiH_2 (con un diámetro de 5 – 20 μm), el titanio forma una aleación con Al, la cual produce rápidamente grandes cantidades de H_2 , este paso del

proceso depende fuertemente de la presión, temperatura y el tiempo. Después, el material se expande formando la espuma, para posteriormente enfriarse y cortarse a las medidas deseadas.

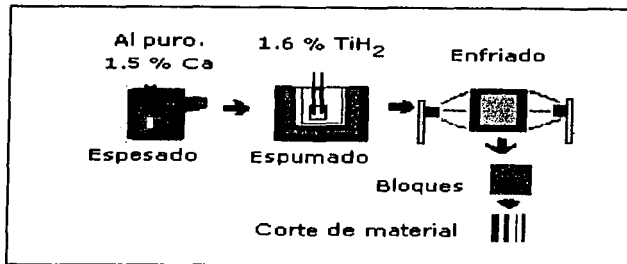


Figura 2.7 Proceso de producción de Alporas.

2.2.1.6 Método de inversión usando un polímero (DOUCCEL).

En este método (figura 2.8) se ocupa un molde de material plástico (polímero) de células abiertas, el cual se recubre de un material refractario el cual posteriormente se seca.

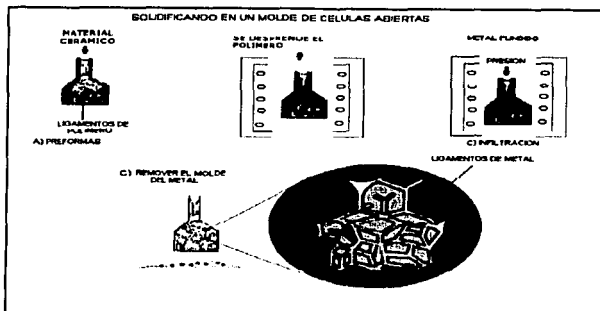


Figura 2.8 Proceso de inversión usando un polímero como precursor.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

El polímero se extrae por calentamiento, vaporizándolo y dejando un molde de células abiertas, después se vacía el metal fundido y se solidifica direccionalmente, posteriormente se enfría, y se remueve el cerámico, la estructura resultante es igual al polímetro precursor.

2.2.1.7 Método de fusión por adición de partículas (LIXIVIACIÓN).

Este método produce una estructura celular interconectada o una esponja metálica por partículas de metal introducidas dentro del material fundido. Estas partículas pueden ser solubles, tales como una sal (cloruro de sodio), las cuales son lixiviables en el metal dejando porosidades. Dentro de los materiales lixiviables pueden existir materiales orgánicos.

El método consiste en agregar dos polvos, uno con una fracción de volumen de 25 % (el lixiviable), mezclarlos y compactarlos, después uno de ellos es lixiviado en un solvente, como se muestra en la figura 2.9.

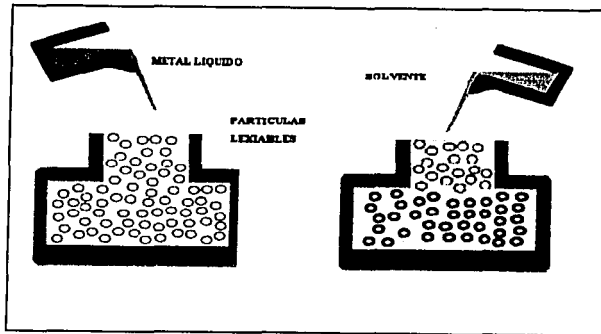


Figura 2.9 Método de fusión de adición de partículas.

2.2.1.8 Inyección de gas en una aleación fundida Al-SiC o Al_2O_3 .

En este método, el metal (Al ó Mn.) se funde y transporta a un contenedor donde se agregan del 5 a 15 % de partículas cerámicas (p.ej. alúmina, carburo de silicio, zirconia y diborato de titanio) de 0.5-25 μm de diámetro, con el objetivo de incrementar la viscosidad del metal. El compuesto se mezcla para homogeneizar y estabilizar la viscosidad y posteriormente inyectar el gas, por lo general es aire, pero se pueden utilizar distintos gases como dióxidos de carbón, gases inertes y agua. Finalmente, durante el proceso de inyección las burbujas quedan atrapadas dentro del metal, lo que produce homogeneidad de poros en la espuma (Figura 2.10).

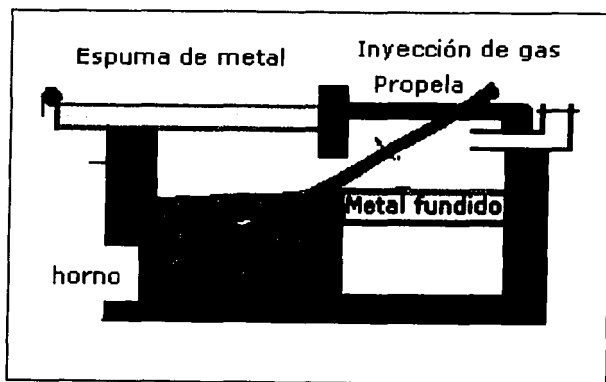


Figura 2.10 Proceso continuo para fabricar espumas por inyección de gas.

2.2 PROCESO DE CREACIÓN DE ESPUMA.

El método que se utilizó en este trabajo para la fabricación de espumas de aluminio es el de inyección de gas en una aleación fundida, ya que, así se planteó la propuesta a CONACYT, esto se debe a que es el más económico y relativamente el más sencillo, además de que se podría adquirir la infraestructura necesaria para la fabricación de espumas por este método. Cabe señalar que se está trabajando en la fabricación de espumas de aluminio por otros métodos.

La estructura celular o espumosa es la que determina las propiedades finales y la que juega un papel determinante en el desempeño de este material. Por ello es importante conocer el proceso de formación de dichas burbujas desde el estado líquido, en este caso particular del aluminio. Así la formación de dichas burbujas (i.e. aire, gas inerte, CO_2) se puede dividir en tres etapas, estas son:

- El estado inicial de la burbuja, y su efecto sobre la tensión superficial en el metal líquido, así como los efectos de sobre presión del sistema exterior, el movimiento y la agitación del sistema.
- La interacción entre las diferentes burbujas que se forman y los posibles mecanismos de coalescencia, y finalmente.
- La formación de la estructura celular que se ve afectada por la evolución de la difusión de gas y por efectos de sobre presión.

2.2.1 Partículas cerámicas.

Las partículas que se agregan como aditivos dependen del proceso de fabricación (i.e. SiC, SiN, ZrO₂) y deben ser de un tamaño específico, además de que se pueden agregar otros elementos aleantes para aumentar la humectación. El flujo del gas inyectado tiene que ser controlado y distribuido con la ayuda de una boquilla o de una propela [8], bajo la superficie del líquido para formar las burbujas dentro de la aleación, las cuales flotan a la parte superior para formar la espuma. El éxito de la formación de esta espuma depende de la naturaleza y la cantidad de las partículas sólidas refractarias agregadas. El tipo de materiales que se pueden usar son partículas que puedan incorporar y distribuir en la matriz metálica, que mantengan su integridad y no pierdan dilución, algunos ejemplos de estas partículas incluyen alúmina, diboruro de titanio, zirconia, carburo de silicio, etc. El volumen de las partículas es normalmente de menos del 25% y preferiblemente en el rango de 5 a 15%. El tamaño de las partículas puede variar entre 0.1 a 100 µm. Las partículas generalmente son equiaxiales de una relación ancho: largo, así se tiene una relación empírica entre el tamaño y el volumen de las partículas. La matriz metálica es de aluminio, aunque esta técnica se puede emplear para varios metales, como acero, zinc, plomo, níquel, magnesio, cobre y sus aleaciones respectivas.

2.2.2 Gas para inyección.

El gas espumante puede ser aire, dióxido de carbono, agua o un gas inerte. El gas se inyecta dentro del metal fundido de diferentes maneras para proporcionar

gas suficiente para ser distribuido y formar la espuma en la superficie, esto se puede hacer inyectando el gas con una propela giratoria, o a través de una boquilla vibratoria, también es posible inyectando el gas, por medio de una lanza ultrasónica la cual romperá el gas inyectado en una serie de burbujas. El tamaño de las células de la espuma depende de la velocidad de rotación de la propela. Estudios microestructurales de las espumas de aluminio revelan que consisten principalmente de Al primario dentro de una matriz eutéctica dependiendo del elemento aleante (en Al/Ca/Ti incluyen intermetálicos como Al_4Ca y Al_3Ti), con morfologías similares a otras aleaciones solidificadas como Al_3Ni [1,2].

2.3 PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROCESO.

En el proceso se tienen diferentes variables como son el tamaño de las partículas cerámicas y su composición química, la velocidad de agitación, la temperatura de la aleación, la viscosidad y la cantidad de flujo de gas inyectado. Todas estas variables se encuentran íntimamente relacionadas unas con otras.

1. Se necesita un horno para fundir la aleación base aluminio. El peso aproximado de la aleación es 1 kg y un volumen aproximado de 0.8 l.
2. También es necesario un sistema de sensado preciso de la temperatura, para obtener las curvas de enfriamiento de las aleaciones. También sirve para determinar en que momento deben de agregarse los aleantes y el cerámico.

3. El Al se introduce en un crisol y al estar fundido se agregan los aleantes se mezclan con una propela, enseguida se agrega el cerámico, en diferentes cantidades para cada prueba.
4. La aleación es agitada por medio de una propela a velocidad constante. El material del cual esta hecha la propela debe ser capaz de soportar la temperatura de trabajo.
5. La velocidad de agitación varia en un rango de 400 a 1600 r.p.m. según lo reporta la literatura. Esto con el fin de aumentar la viscosidad y formar burbujas más estables evitando que se colapsen.
6. Por ultimo para generar burbujas se inyecta gas en la aleación fundida y se mide el flujo de éste. La inyección se realiza a través de un tubo de acero inoxidable el cual se sumerge en el fondo del material fundido.

CAPITULO TRES

INSTRUMENTACIÓN

CONTROL DEL

PROCESO

3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO.

Para la fabricación de las espumas se necesita equipo que mida y controle este proceso, dicho equipo es:

1. Horno para fundición de aleaciones.
2. Sistema de adquisición de temperatura.
3. Sistema de agitación.
4. Medición de flujo.

3.1 HORNO DE RESISTENCIAS.

El proceso necesita un horno vertical capaz de alcanzar temperaturas de por lo menos 700 °C, y mantenerla constante por tiempo indefinido. El tamaño del horno que se necesita es pequeño, ya que el crisol (figura 3.1) en el que se trabaja es de aproximadamente 2 litros. Es necesario que sea vertical para poder realizar la agitación dentro del horno.

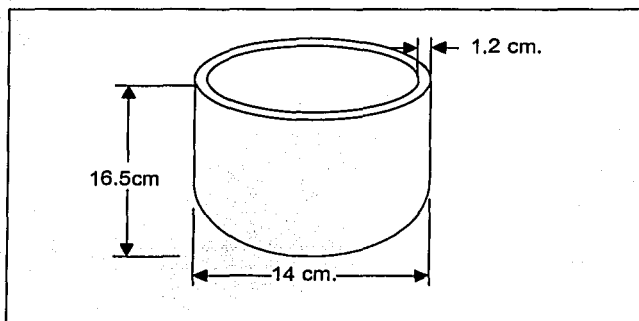


Figura 3.1 Crisol de carburo de silicio.

Para la construcción del horno se utilizaron resistencias de nicromel, que es capaz de alcanzar 1100°C . Las cuales se encuentran montadas en una placa de cerámico como se observa en la figura 3.2, para soportarlas y mantenerlas en su posición. Se utilizaron cuatro resistencias para calentar el crisol por los cuatro lados en el fondo del horno no se utilizo ninguna resistencia. Dos resistencias tienen un valor de 10 ohmios y dos de 14 ohmios. Las resistencias de 10 ohmios tienen una placa de cerámico de $15 \times 18\text{cm}$ y las de 14 ohmios miden $22.5 \times 18\text{cm}$. Las resistencias se encuentran conectadas en un arreglo serie-paralelo a dos fases de 220 voltios.

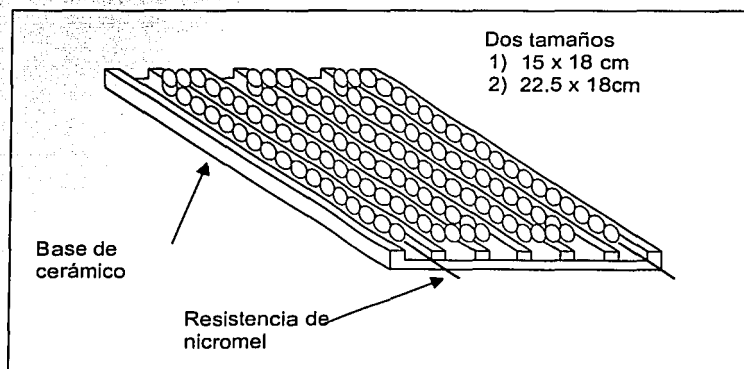


Figura 3.2 Resistencia.

La cubierta exterior del horno es una caja de acero al carbono como se muestra en la figura 3.3, ésta da soporte y protección al horno. En su interior se encuentran ladrillos cerámicos que conservan por mas tiempo el calor y a su vez mantienen fijas las resistencias. El horno tiene una protección de acero

inoxidable para cubrir las conexiones eléctricas contra posibles derrames de aleación fundida y evitar jalar los cables accidentalmente.

Los ladrillos cerámicos tienen un espesor de 4 cm, un largo de 20 cm y una altura de 10 cm.

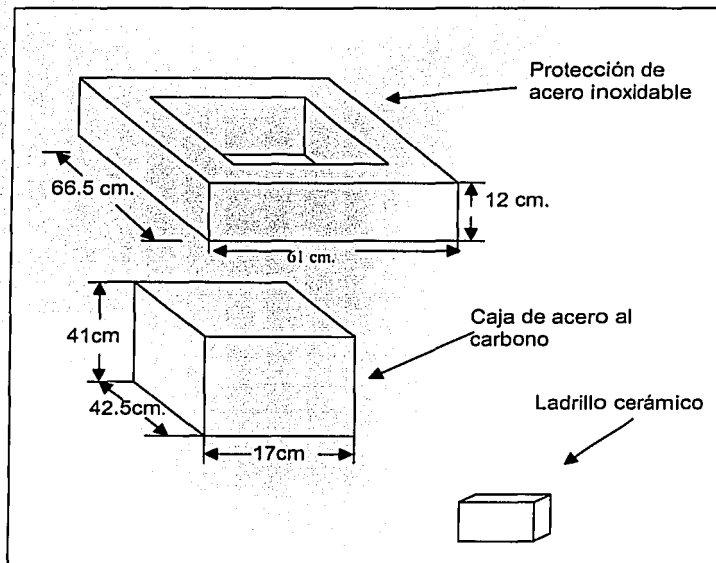


Figura 3.3 Soporte del horno.

Las resistencias están cubiertas de fibratec. Este cerámico sirve para proteger las resistencias contra posibles derrames de metal, algún golpe que pudiera fracturarlas o corrosión.

La temperatura del horno es sensada por medio de un termopar tipo K el cual se encuentra en una de las paredes del horno y está conectado al controlador de

temperatura, el cual se encuentra dentro de una caja metálica a dos metros del horno por seguridad.

Este controlador está diseñado para reconocer diferentes tipos de termopares, así como con un termómetro con resistencia de platino, entrada analógica y termosensor infrarrojo ES1A. Las salidas de control cuentan con las opciones de un relé, control de tensión y salida de corriente. El método de control que utiliza es de apagado/encendido o PID. La salida del relé es de 250 V a 1 A. La pantalla del controlador se observa en la figura 3.4.

La salida del controlador de relé está conectada a un contactor para dos líneas, con las dos opciones normalmente abierto y normalmente cerrado a una línea de 220 voltios; la opción que se utiliza es la normalmente abierta debido a la naturaleza del sistema.

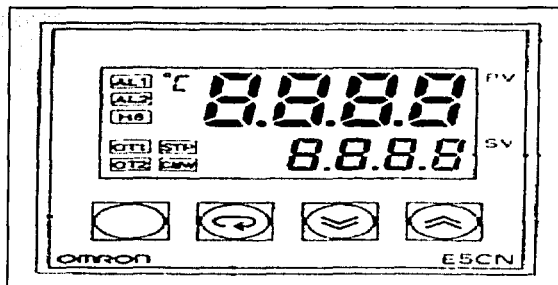


Figura 3.4 Controlador del horno

El horno del sistema queda como muestra el corte de la figura 3.5, que muestra también la caja del controlador.

En la figura 3.6 se observa el diagrama eléctrico del horno, las conexiones ocupando dos líneas y el neutro. El controlador necesita una alimentación de 127 V. Los valores de las resistencias son: dos resistencias de 10 ohmios y dos de 14 ohmios. Las resistencias como se observa en el diagrama se encuentra en serie-paralelo.

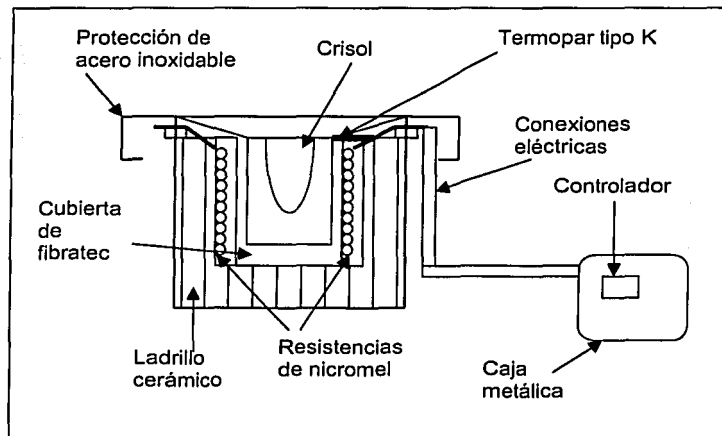


Figura 3.5 Horno de resistencias.

La razón por la cual no fueron conectadas a tres líneas y con lo cual se obtendría una mayor velocidad de calentamiento en el horno, se debe a la capacidad de las protecciones térmicas de la toma de energía de la cual se dispone para la alimentación del horno. En cuanto a la velocidad de calentamiento del horno se puede decir que el horno tarda aproximadamente 2.5 horas en alcanzar una temperatura de 660°C, necesaria para la fundición del Al.

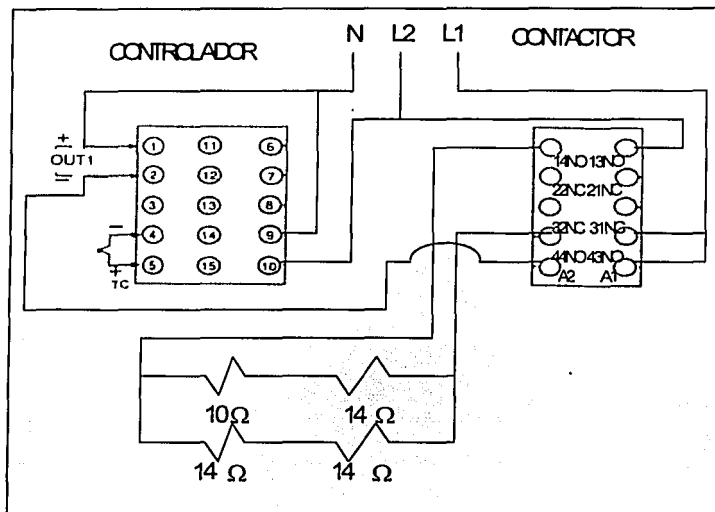


Figura 3.6 Diagrama eléctrico del horno.

3.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

La temperatura que se tiene en la pared del horno no es necesariamente la misma que tiene la aleación, debido a que existe un gradiente de temperatura. Para resolver este problema es necesario medir la temperatura dentro de la aleación.

3.2.1 Medición de temperatura.

La temperatura es un factor de medida engañoso debido a su supuesta simplicidad. Es fácil pensar en ella como un simple número, pero en realidad es

una cantidad estadística, cuya exactitud y repetitividad pueden verse afectadas por la masa, el tiempo de medición, el ruido eléctrico y los algoritmos de medición. En otras palabras es difícil medir con exactitud aun en circunstancias óptimas y en entornos reales la dificultad aumenta.

3.2.2 Transductores de temperatura[10].

Para medir la temperatura se encuentran en el mercado varios transductores, entre los más comunes están: detectores de temperatura de resistencia (RTD), termistores, sensores de IC y termopares.

3.2.2.1 Detectores de temperatura de resistencia.

Se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. Los RTD de máxima calidad son de platino, esto se debe a las características de este metal, con las cuales se tienen mediciones más exactas y estables, hasta una temperatura de aproximadamente 500 °C. Los hay de níquel o aleaciones de níquel pero no son tan sensibles y lineales como los de platino.

En cuanto a las desventajas tenemos:

- El platino encarece los RTD.
- El autocalentamiento.- Es necesario hacer circular una corriente para poder medir su resistencia, lo cual produce una cantidad de calor, que por supuesto, que distorsiona la medición.

La baja resistencia de los alambres conductores que conectan al termistor con el voltímetro, puede provocar errores importantes. En la denominada técnica de los

dos alambres, como se muestra en la figura 3.7, la resistencia se mide en las terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los alambres forma parte de la cantidad desconocida (R_x) que se pretende medir, en otras palabras, la resistencia propia de los alambres del medidor puede ser del mismo valor que la resistencia que está siendo medida y con esto se estaría midiendo el doble de resistencia y la medida tendría un error del 50% aproximadamente. En la figura 3.7 también se ve la suma de las resistencias y como se mide el voltaje total, la corriente que pasa por el circuito, incluyendo la resistencia del voltímetro que tiene como consecuencia que haya un error grande en la medición.

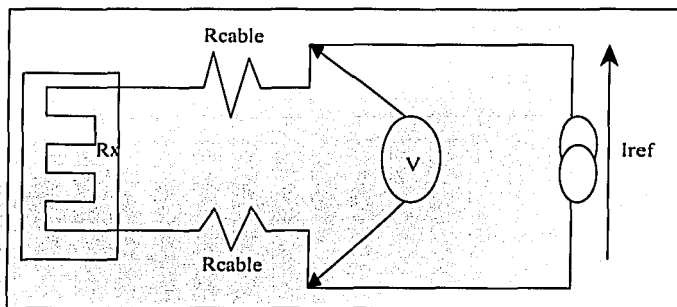


Figura 3.7 Técnica de los dos alambres.

Por otro lado, la técnica de cuatro alambres figura 3.8, mide la resistencia en las terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los dos alambres del medidor, queda eliminada de la medición, el inconveniente es que se necesita el doble de alambres y el doble de canales de adquisición de datos.

En la técnica de los cuatro alambres se mide el voltaje del RTD y en otro circuito se mide su corriente con lo cual se evita el error de medición y se obtiene una medición más confiable.

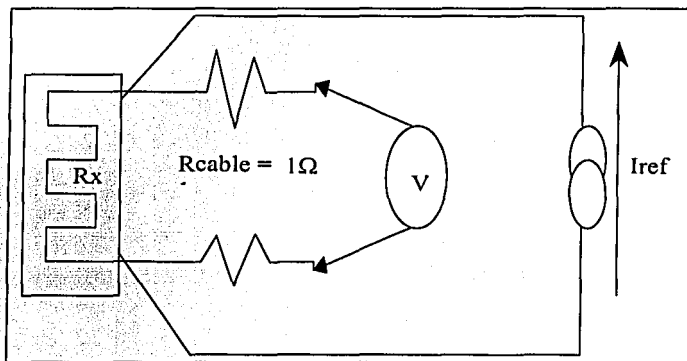


Figura 1.8 Técnica de los cuatro alambres.

3.2.2.2 Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado (un coeficiente negativo significa que la resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta), que presentan una curva característica voltaje-corriente.

Para poder obtener una estabilidad mayor en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente. En intervalos amplios de temperatura, tienen características no lineales, al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una

mayor sensibilidad, que incluso permite intervalos de medida de 1°C , son de tamaño pequeño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor, variando desde fracciones de segundos hasta minutos.

3.2.2.3 Sensores de IC (Circuitos Integrados).

Los IC son circuitos integrados que resuelven el problema de linealidad con altos niveles de rendimiento, son relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente. Sin embargo no tienen una gran variedad de temperaturas y requieren una fuente de alimentación, los rangos de temperatura que pueden sensar son del orden de -50 hasta 200°C .

3.2.2.4 Termopares.

Son dispositivos de estado sólido que se utilizan para convertir energía calorífica en energía eléctrica. Constan de dos metales diferentes unidos en un extremo, que pueden ser de hierro, constantano, cobre, antimonio, etc.

Los termopares tienen una amplia variedad de temperaturas y una construcción más robusta que otros tipos de transductores, no necesitan alimentación de ningún tipo y su precio reducido los hace atractivos para sistemas de adquisición de datos.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de los transductores.

	RTD	Termistor	Sensor de IC	Termopar
Ventajas	Más estable. Más preciso. Más lineal que los termopares.	Alto rendimiento Rápido. Medición de dos alambres	El más lineal. El de más alto rendimiento. Económico.	Autoalimentado. Robusto. Económico. Amplia variedad de formas físicas Amplia gama de temperaturas.
Desventajas	Caro. Lento. Precisa fuente de alimentación. Medida de 4 alambres. Autocalentable.	No lineal. Rango de temperaturas limitado. Frágil. Precisa fuente de alimentación. Autocalentable.	Limitado a $< 250^{\circ}\text{C}$. Precisa fuente de alimentación. Lento. Autocalentable. Configuraciones limitadas.	Baja tensión. Precisa referencia. El menos estable. El menos sensible.

El transductor que se utilizó para medir la temperatura en este trabajo fue el termopar, debido al rango de temperaturas que es muy variado, no necesita alimentación externa, la diversidad de tamaños que existen en el mercado, el ambiente donde va a estar sensando es oxidante, tiene una velocidad de respuesta alta y por su bajo costo, ya que en el proceso se destruyen varios sensores es necesario tener uno económico y fácil de adquirir.

3.2.3 Termopar.

Es un instrumento extremadamente sensible, se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, según el cual los propios alambres constituyen el sensor. La figura 3.9 ilustra este concepto. Cuando uno de los extremos de un alambre se calienta, se produce un voltaje que es una función del gradiente de

temperatura desde uno de los extremos al otro. El coeficiente de Seebeck, es una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

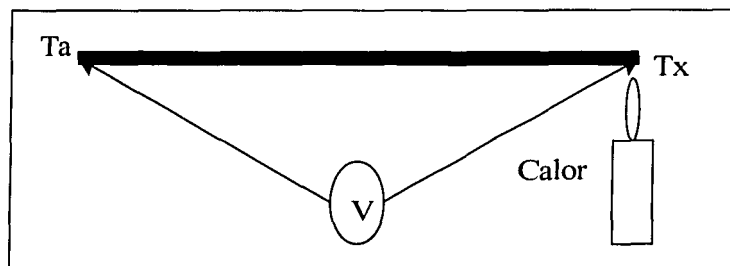


Figura 3.9 Metal calentado por un extremo.

Un termopar se compone de dos alambres, de diferentes metales unidos por un extremo y abiertos en el otro como se ve en la figura 3.10. El voltaje que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión, como de los metales de los alambres. Todos los pares de metales distintos presentan este voltaje, denominado voltaje de Seebeck en honor de su descubridor.

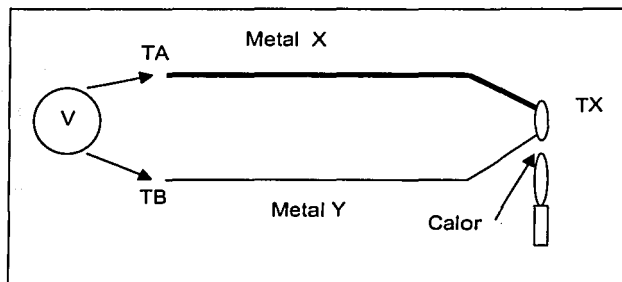


Figura 3.10 Se muestra un termopar.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

1. Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
2. Ley de metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
3. Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 y T_3 , es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 y T_2 , de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 y T_3 ; esto se ilustra en la figura 3.11.

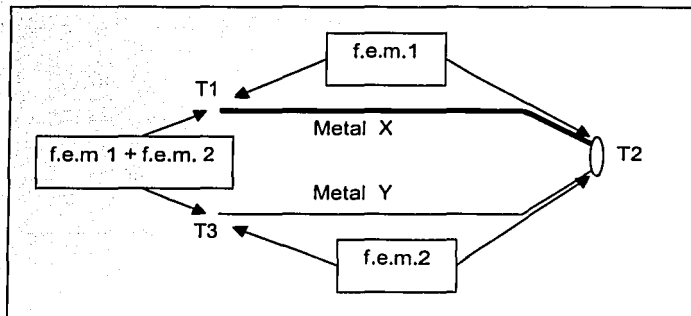


Figura 3.11 Ilustración de la ley de temperaturas sucesivas.

3.2.3.1 Temperatura relativa frente a temperatura absoluta.

Los RTD, termistores y sensores de CI miden temperaturas absolutas, en cambio el termopar mide solo temperaturas relativas. Supongamos que estamos utilizando un termopar tipo J, que es el más común y consiste de un alambre de hierro y otro de constantano (una aleación con un 45% de níquel y un 55% de cobre), para medir su voltaje lo conectamos a un voltímetro, por medio de sus puntas que son dos alambres de cobre, con esto se crean otros dos termopares como se ilustra en la figura 3.12, cada uno de los cuales aportará un voltaje al circuito, con lo que tendremos tres termopares y tres temperaturas desconocidas.

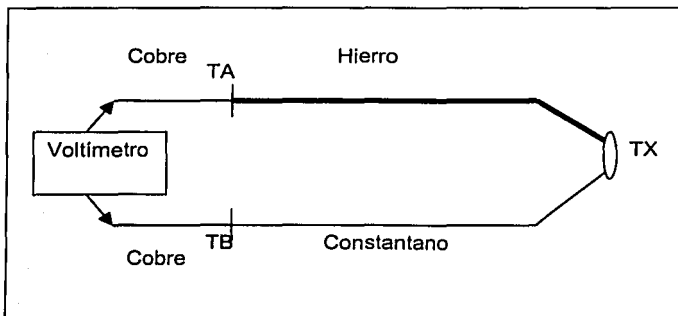


Figura 3.12 Formación de tres termopares debido a las puntas del multimetro.

La solución a este problema es conectar otro termopar de hierro-constantano con una temperatura de referencia ($T_{ref.}$) conocida (figura 3.13), ahora tenemos dos termopares de hierro-cobre que se anulan mutuamente, si sus uniones están aisladas, por un bloque isotérmico, quedando solo Tx como un valor

desconocido, la lectura que el voltímetro nos entrega es la suma de la f.e.m. generada por Tref más la f.e.m. generada por Tx.

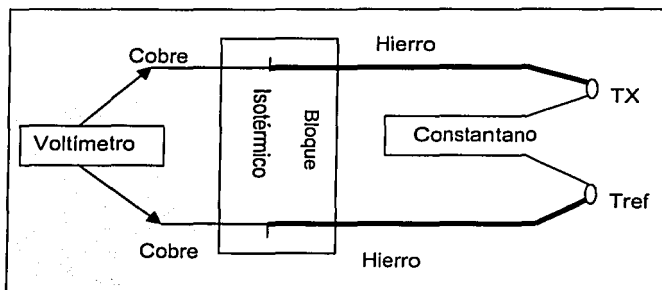


Figura 3.13 Anulación de termopares agregando otro termopar.

Se tiene lo siguiente:

$$V = V_{Tref} + V_{Tx}$$

donde: $V_{Tx} = V - V_{Tref}$

V = Voltaje medido con el voltímetro.

V_{Tref} = Voltaje conocido.

V_{Tx} = Voltaje que entrega el termopar.

Conociendo V_{Tx} , V_{Tref} y de acuerdo con el tipo de termopar se puede conocer la temperatura del sistema, en función de su curva característica como se muestra en la figura 3.14, de la cual se puede deducir la ecuación que representa el comportamiento de la temperatura contra el voltaje del termopar.

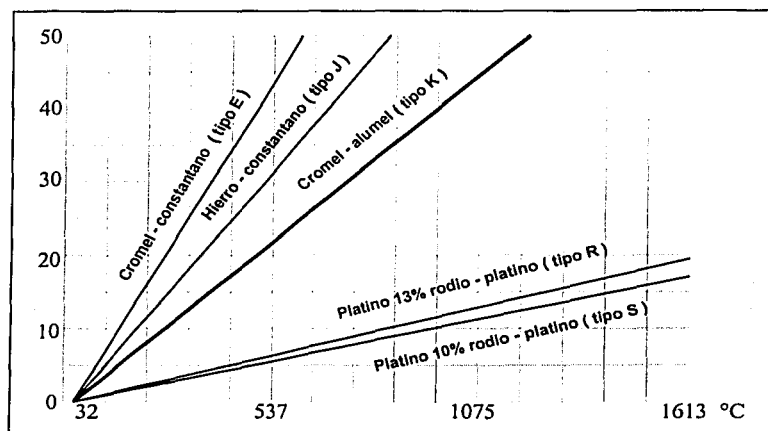


Figura 3.14 Curvas características de los termopares.

Los coeficientes de Seebeck y los voltajes de salida resultantes son valores pequeños (ver Tabla 3.2), por lo que resulta difícil medir con exactitud tanto los niveles absolutos como los cambios relativos. En este punto el ruido eléctrico puede alterar la precisión de las mediciones de temperatura. El acoplamiento magnético y electrostático se reduce utilizando un cable de par trenzado, reduciendo al mínimo la longitud de los hilos conductores y permaneciendo alejado de campos magnéticos y eléctricos intensos. Por último, pero no por ello menos importante, se necesita instrumentación capaz de realizar mediciones de bajo nivel de voltaje (en mV) y limpias, ésto es, libre de ruido eléctrico.

Tabla 3.2 Coeficiente de Seebeck

Tipo de termopar	A temperatura 0°C	A temperatura 100 °C	Tensión de salida a 100 °C
B	-0.25V/C	0.90V/C	0.011mV
E	58.7V/C	67.5V/C	6.12mV
J	50.4V/C	54.4V/C	5.27mV
K	19.5V/C	41.4V/C	4.10mV
S	5.40V/C	7.14V/C	0.65mV

La selección de los alambres para termopar se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, oxidación, reducción y cristalización, además que desarrollen una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y de baja resistencia eléctrica, que la relación entre temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento entre ambas sea lo más lineal posible.

El efecto termodinámico no es del todo lineal, la sensibilidad varía con la temperatura. La sensibilidad de las parejas de termopares de la Tabla 3.3 es diferente, dependiendo del rango de temperatura en donde esté trabajando el termopar, por ejemplo, 60 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ para el cobre / constantano a 150 $^\circ\text{C}$, mientras que para el de platino / platino-rodio es menor la sensibilidad, aproximadamente, de 6 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ entre 0 y 100 $^\circ\text{C}$. El termopar platino / platino-rodio es el más preciso; el error es del orden de $\pm 0.25 \%$; el de cobre / Constantano es de $\pm 0.5 \%$ o 0.811 $^\circ\text{C}$ entre - 60 y 91 $^\circ\text{C}$; $\pm 0.75 \%$ entre 91 y 172 $^\circ\text{C}$; crome / alumel es $\pm 2.77 \%$ de 0 a 148 $^\circ\text{C}$; $\pm 0.75 \%$ entre 148 y 1260 $^\circ\text{C}$; acero / Constantano tiene $\pm 66\mu\text{V}$ debajo de 260 $^\circ\text{C}$; y, $\pm 1.0 \%$ para 260 hasta 815 $^\circ\text{C}$. Si la precisión necesaria es mayor, el termopar puede ser calibrado particularmente. En este trabajo se utiliza un termopar tipo K de Cromel ($\text{Ni}_{90}\text{Cr}_{10}$)/Alumel ($\text{Ni}_{94}\text{Mn}_1\text{Al}_2\text{Si}_1$),

ya que su rango de temperatura es de 200° bajo cero hasta 1100 °C sobre cero y lo que es apropiado por que el aluminio funde a 660 °C. La curva que describe el comportamiento de dicho termopar se puede observar en la Figura 3.14 y su

ecuación es:
$$^{\circ}C = \left[\left(\frac{y + 0.73}{0.02286} \right) - (32) \right] \left(\frac{5}{9} \right)$$

donde: y – es la lectura en mV que se obtiene.

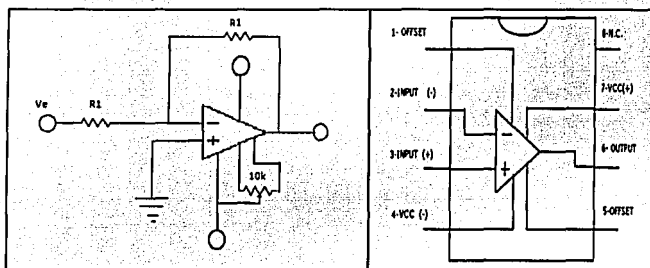
El factor de escala del termopar es: **0.041mV/°C**

Tabla 3.3 Datos técnicos de referencia de los termopares.

TIPO DE TERMOPAR	NOMBRES DE MATERIALES	RANGO DE APLICACIÓN EN °C	RANGO MV
B	Platino10% Rodio (+)	18 –1798	0.007-11.499
	Platino 6% Rodio (-)		
C	W5Re Tugsteno 5%Renio(+)	1649-2115	-
	W26ReTugsteno26%Renio(-)		
E	Cromel (+)	0-982	0-75.12
	Constatano (-)		
J	Hierro(+)	-184-872	-7.25-50.05
	Constatano (-)		
K	Cromel (+)	-184 – 1260	-5.51-51.05
	Alumel (-)		
N	Nicrosil (+)	649- 1260	-
	Nisil(-)		
R	Platino11% Rodio (+)	0 – 1594	0-18.616
	Platino(-)		
S	Platino10% Rodio (+)	0 – 1518	0-15.979
	Platino(-)		
T	Cobre(+)	-184 – 199	-5.28 – 20.80
	Constatan (-)		

3.2.4 Manipulación de la señal.

Para manipular la señal del termopar es necesario hacer algunos ajustes como amplificarla, eliminar el ruido eléctrico y la compensación. El amplificador operacional que tomamos como base para la manipulación es el circuito integrado cuyo número es el TL081, su configuración típica de eliminación de voltaje de offset y configuración de terminales se muestran en la figura 3.15 Este amplificador es de bajo costo, alta velocidad de respuesta, con entrada JFET con impedancia de entrada de $10^{12} \Omega$.



(a) INVERSOR SIN RUIDO

(b) TERMINALES

Figura 3.15 Diagramas de conexiones.

3.2.4.1 Amplificación de señal.

Debido a que el rango de variación de voltaje que entrega el termopar es de 0-50mV, es necesario amplificar y filtrar la señal; la primer etapa tiene una configuración de amplificador inversor mostrada en la figura 3.16, con una eliminación de voltaje de offset y una ganancia de 7.3 veces la entrada. El factor de escala ahora es de 0.105176 mV/°C.

En un principio el diseño incluía dos etapas de amplificación y una intermedia de filtrado, con este diseño se pretendía amplificar 100 veces la señal. Este diseño provocaba una mala medición debido a que también se amplificaba el ruido eléctrico en el mismo orden y ocasionaba una incertidumbre considerable, por lo tanto, se tomo la decisión de modificar el circuito para la manipulación de la señal y solo tener una etapa de amplificación y una de filtrado.

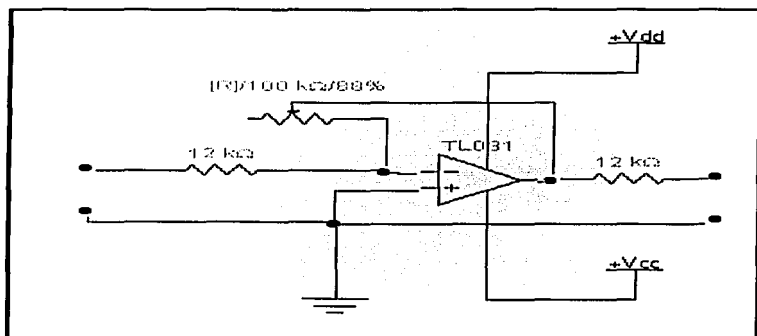


Figura 3.16 Primer etapa de amplificación.

3.2.4.2 Filtrado de la señal.

Es necesario filtrar la señal para eliminar el ruido eléctrico, de no hacerlo la medida pierde precisión, al haber una mayor incertidumbre. La configuración de nuestro filtro es Butterworth activo, con una frecuencia de corte de 6 Hz, frecuencia de rechazo de 60 Hz. y 40 db. mínimo, impedancia de escala de 12 K y es de segundo orden. El circuito se muestra en la figura 3.17.

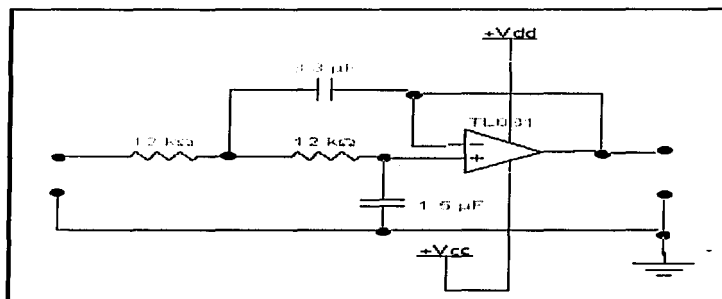


Figura 3.17 Etapa de filtrado.

Para el voltaje de referencia (temperatura de referencia) que necesita el termopar se ocupa el circuito integrado LM35 (figura 3.18), el cual es un sensor de temperatura. Debido a que la medida del termopar cuando esta a temperatura ambiente es cero, al no haber una diferencia de temperatura entre la unión de los alambres y sus terminales, el valor que se tendría es cero más la temperatura ambiente.

$$T_{REAL} = T_{AMBIENTE} + T_{MEDIDA \text{ POR EL TERMOPAR}}$$

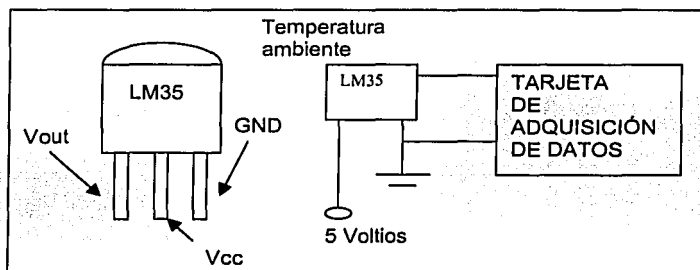


Figura 3.18 Sensor de temperatura ambiente CI.

3.2.4.3 Tarjeta de adquisición de datos.

La tarjeta de adquisición de datos es de bajo costo multifunción, sus características son:

16 canales sencillos analógico / digital de entrada.

Resolución de 12 bits analógico / digital, con frecuencia de muestreo de 100Khz.

16 canales digitales de entrada.

16 canales digitales de salida.

Timer/ contador programable.

El diagrama de bloques de la tarjeta se muestra en la figura 3.19. Se observa que la tarjeta tiene un amplificador instrumental de ganancia programable, un multiplexor, su convertidor digital analógico, una memoria FIFO de 1K de capacidad y el contador.

La tarjeta que se utiliza para la obtención de datos en el sistema es multifunción debido a que son diferentes datos que se requieren adquirir, como la temperatura (en 4 puntos del metal) y torque, posteriormente viscosidad y desgaste de piezas; además de que para etapas posteriores se necesitara medir otras variables.

Los accesorios de la tarjeta son: cable para tableta de conexiones y la tableta de conexiones.

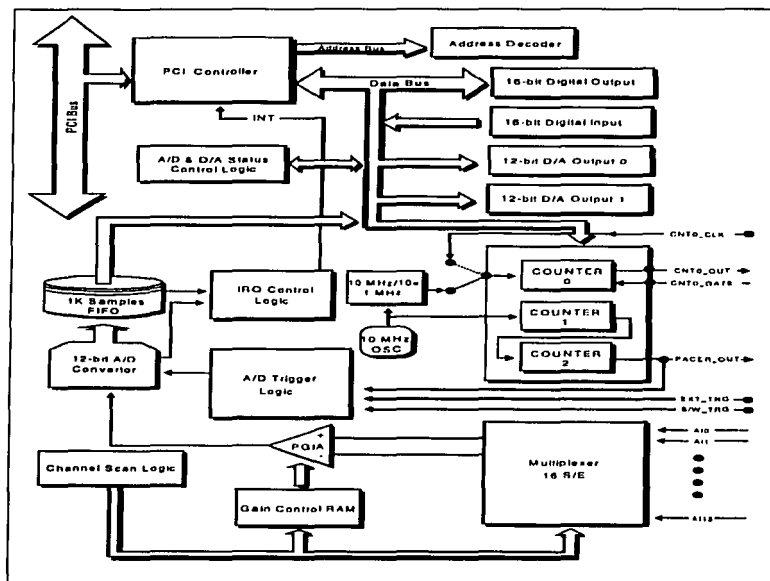


Figura 3.19 Diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición.

3.2.4.4 Software de control.

El software de control está realizado en Visual C++, la tarjeta incluye librerías para este lenguaje y programas de ejemplo lo cual facilita la programación de la tarjeta y su control. Para el diseño del software se tomó en cuenta el número de temperaturas que se desea medir en el sistema, así como otro adicional para medir la corriente demandada por el motor. De este modo, se programaron los puertos de entrada analógica con una ganancia de 16 debido a la naturaleza del sistema, el programa despliega una ventana sencilla en la cual se puede variar el

tiempo de muestreo de acuerdo a las necesidades, así como el botón de inicio y detención. Al ejecutar el programa se abre un archivo donde se guardan todos los datos en forma de tabla para posteriormente poder analizarlos. Con estos datos se obtienen gráficas de tiempo - temperatura y de temperatura - potencia.

3.2.4.5 Compensación por software.

La decisión de realizar esta compensación por software se debe a que no se requieren más componentes para el sistema, ya que solo se hace un arreglo aritmético a la señal y queda ajustada. Cabe señalar que también se eliminó el offset de los amplificadores operacionales aprovechando el algoritmo de medición, con esto tenemos menos elementos en el sistema lo que lo hace más sencillo, más económico y con la misma eficacia de medición. El factor de escala de CI es de $10 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$ y su escala va de -50°C hasta 150°C .

El factor de escala del termopar después de la etapa de amplificación es de $0.305176 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$. Esto se determinó a que la tarjeta de adquisición de datos tiene un amplificador instrumental programable con el cual se puede cambiar el tamaño del escalón, que va desde 4.8828 mV hasta 0.3051 mV y tomando el rango mínimo de voltaje que puede leer, se evita el ruido. Bajo este arreglo es posible medir hasta 2048°C con un grado Celcius de resolución, debido al número de escalones de la tarjeta. Tomando en cuenta que el termopar solo alcanza una temperatura máxima de 1200°C .

Con un rango de 0-0.625 V en la señal del termopar, compensada y filtrada, es leída por la tarjeta de adquisición de datos a través de un puerto analógico y compensada por medio del algoritmo, calibrando la medidas en el rango de 500 a 700 °C, ya que en éste ocurre el cambio de estado del Al de sólido a líquido y viceversa; es muy importante determinar la temperatura de transición, para poder llevar a cabo el proceso de fabricación de la espuma.

3.2.5 Curvas de enfriamiento.

La técnica del análisis térmico ha sido usada para establecer la relación entre la historia de la solidificación y la microestructura desarrollada. El resultado de un análisis térmico muestra que los parámetros están influidos por la velocidad de enfriamiento.

La velocidad de solidificación determina el grosor de las microestructuras, porosidad, distribución de las partículas refuerzo, segregación y propiedades mecánicas.

Las curvas de enfriamiento se utilizan para determinar la formación de varias fases durante la solidificación en materiales no-ferrosos, las cuales son gráficas Tiempo -Temperatura.

El cambio de temperatura que ocurre en una aleación se debe al calor latente de transformación liberado durante la solidificación. Esta evolución de calor determina un punto en el cual se realiza la transformación de fase. Así, la curva de enfriamiento establece la historia de la solidificación de un proceso en particular.

En la figura 3.20 se observan las curvas ideales de enfriamiento para aleaciones con solubilidad total, eutécticas, hipoeutécticas e hipereutécticas, así como los diagramas binarios correspondientes.

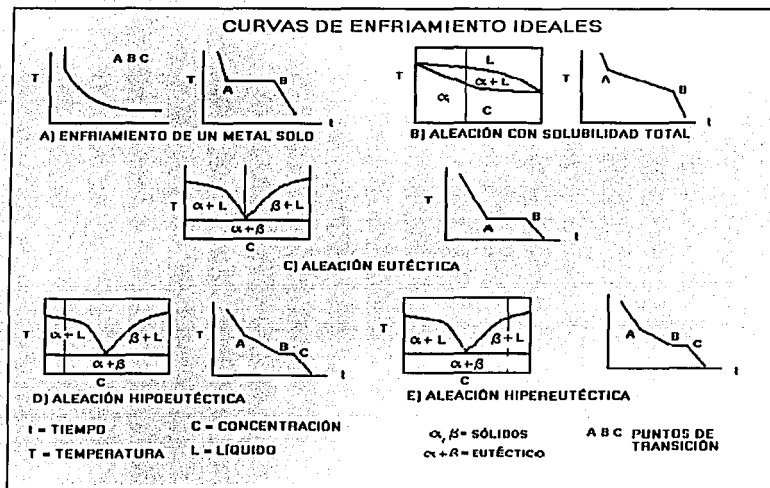


Figura 3.20 Curvas de enfriamiento ideales.

3.2.5.1 Curvas de enfriamiento teóricas.

Mientras que la forma de una curva de enfriamiento ideal es típica de aquellas encontradas para una aleación real, ésta posee dos importantes diferencias cuando se encuentran materiales reales.

Estas diferencias se deben a que el proceso de solidificación requiere de un sobreenfriamiento, fuerza motriz termodinámica, para que dé inicio el proceso de nucleación y crecimiento. Este sobreenfriamiento aparece en la curva de

enfriamiento como una disminución de temperatura por debajo de la temperatura de equilibrio (temperatura de liquidus) (T_L) o temperatura eutéctica (T_E). Una vez que la solidificación empieza, se libera calor latente de solidificación y la temperatura se eleva hasta un cierto valor cercano a la temperatura de equilibrio, posteriormente continua el proceso de solidificación. A este fenómeno se le conoce como recalescencia. Un sobreenfriamiento acompañado de recalescencia está usualmente asociado con la solidificación de fases primarias y eutéctica.

La magnitud de dicho sobreenfriamiento es importante en la evaluación de la microestructura de colada.

La segunda diferencia radica en la complejidad química de las aleaciones comerciales reales, es decir presentan diferentes constituyentes (ternarias o cuaternarias).

3.2.5.2 Curvas de enfriamiento reales.

En la figura 3.21 se muestra una curva de enfriamiento típica a una velocidad de $6\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ para una aleación Al - 7%Si. La velocidad de enfriamiento en la curva es $\dot{T} = dT / dt$ (es decir la primera derivada). En esta figura se presentan tres picos principales, el primero representa el crecimiento dendrítico, el segundo representa el crecimiento eutéctico y el tercero, el cual se observa con dificultad, la formación de la segunda fase eutéctica, que en este caso es Mg_2Si .

3.2.5.3 Parámetros en la zona liquidus.

Para la aleación A156 el punto de fusión es $610\text{ }^{\circ}\text{C}$ se ha observado que cuando la variación en la temperatura de liquidus, a bajas velocidades de enfriamiento,

se puede omitir, a altas velocidades de enfriamiento se nota una caída de 3°C para las aleaciones A156, F1A10s (compósito de A156 de SiC 11.3 %), F1A20s (compósito de A156 18.3% de SiC). También la temperatura en la zona liquidus del compósito es más baja que en la aleación base en aproximadamente 10°C .

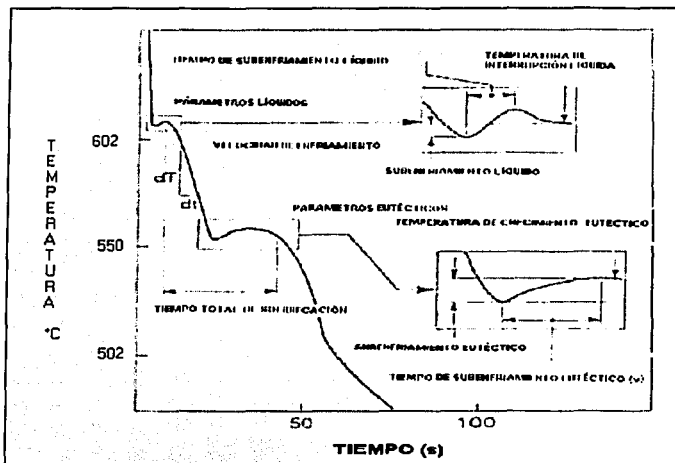
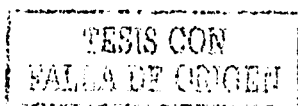


Figura 3.21 Curva de Enfriamiento Al-7% Si a una vel. de enfriamiento 6°C/s

3.2.5.4 Parámetros eutécticos.

La temperatura de crecimiento eutéctico para una aleación Al-Si ha sido reportada en la literatura como 577°C , en su diagrama de fases. En realidad, este punto puede ser más bajo debido a impurezas en el material tales como Cu, Mg, Fe, y Ni. Se ha determinado una ecuación para obtener la temperatura de crecimiento eutéctico (L.I.Mondolfo):



$$T_g = 577 - (12.5 / \% \text{ Si}) [4.41 (\% \text{ Mg}) + 1.41 (\% \text{ Fe}) + 1.91 (\% \text{ Cu}) + 1.7 (\% \text{ Zn}) + 1.0 (\% \text{ Mn}) + 4.0 (\% \text{ Ni})]$$

En la cual la concentración se expresa en porcentaje de peso. Considerando solo magnesio se observa solo una caída de 1 °C para 0.11 % Mg. Usando la ecuación para obtener la caída del punto de crecimiento eutéctico por la presencia de hierro, cobre, magnesio, zinc y níquel (0.25, 0.14, 0.52, 0.1, y 0.7). El eutéctico Al-Si tiene una forma acicular irregular que para modificarla a una estructura uniforme esferoidizada ésta se le agregan ciertos elementos como Na, Sr, Sb y tierras raras. Se ha establecido que los procesos de modificación disminuyen el punto eutéctico, ΔT , entre 6 y 8 ° C. Esta depresión de temperatura, se define como la diferencia de temperatura entre el punto de cambio y el punto debido a las modificaciones. La formación del eutéctico presenta como una meseta en la curva.

Se ha reportado el punto de crecimiento eutéctico entre 564 – 568 ° C[14].

El tiempo de subenfriamiento t_{EI} decrece con el incremento de velocidad, por lo tanto en los compósitos se observa un subenfriamiento mayor que en la matriz A156.

La presencia de SiC como refuerzo suprime la formación de Mg_2Si y por lo tanto no se nota en la curva.

La primera derivada (figura 3.22) de la curva de enfriamiento en la aleación Al-Si-Mg sin reforzamiento, marcaría tres picos principales, el primero correspondería a la nucleación de la fase primaria α , el segundo pico marcaría la nucleación del eutéctico y finalmente el tercero punto la nucleación de la fase ternaria Al-Mg₂-Si

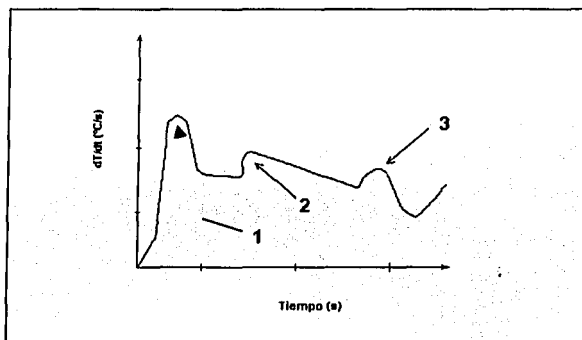


Figura 3.22 Primera derivada de la curva de enfriamiento.

3.2.5.5 Tiempo total de solidificación

El tiempo total de solidificación t_s , en el presente trabajo es definido por un intervalo de tiempo entre la iniciación de la solidificación y el fin de la reacción eutéctica, la cual es obtenida por la derivada de la curva, que puede ser expresada como:

$$t_s = A(dT / dt)^n$$

donde dT / dt es la velocidad de enfriamiento:

Los valores de n y A se obtienen a partir de las curvas experimentales y dependen de los materiales usados.

3.2.5.6 Calibración del sistema de adquisición de temperatura.

Es necesario calibrar los termopares junto con la tarjeta de adquisición de datos para poder validar los resultados que se obtengan.

Para la calibración del sistema se utilizó el horno de resistencias para fundición de aluminio. Como patrón de temperatura se utiliza un termómetro digital para diferentes tipos de termopares y su correspondiente termopar calibrados previamente; se pone el termopar calibrado en el horno y el termopar que se desea calibrar con las puntas en la misma posición dentro del horno, para sensar la misma temperatura como se muestra en la figura 3.23.

Se tapa el horno con colcha cerámica para mantener estable la temperatura mientras se realiza la calibración del sistema de adquisición de datos. Ésto se realiza para cada canal del sistema de adquisición de datos calibrándolo en las temperaturas de 606.9°C , 666.7°C y 707°C . Al tener esta calibración se deja enfriar el horno y se observa el comportamiento de los termopares y se comparan las medidas. Y se hacen las anotaciones necesarias en una tabla para tener las desviaciones de temperatura.

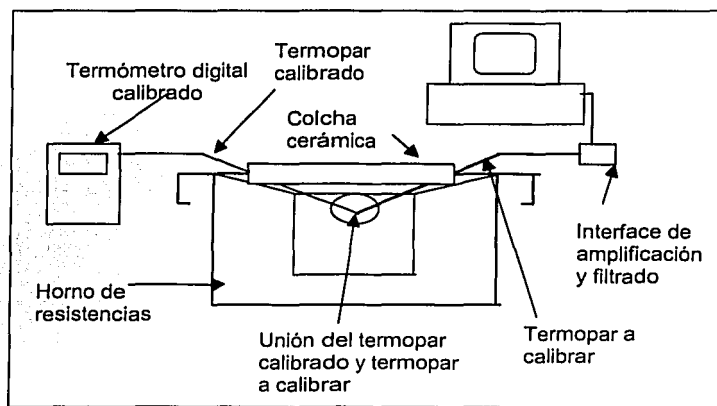


Figura 3.23 Calibración del sistema de adquisición de temperatura.

Los termopares se colocan dentro del metal líquido, para obtener una lectura más precisa al tener contacto directo con el metal. Ubicándose como se muestra en la figura 3.24. Los termopares se introducen en cilindros de cerámico (llamados "huesitos") y recubiertos de fibratex para que el metal no los disuelva, a pesar de esto el termopar es desechado debido que al solidificar el metal el termopar queda cubierto con la aleación, de tal forma que para cada curva de enfriamiento de colocan dos termopares nuevos. Los termopares son hechos de dos hilos de alume y cromel como se muestra en la figura 3.25, la longitud de estos se determina de acuerdo a las necesidades de espacio, ya que los alambres están en rollos, lo cual es de ayuda porque se tiene una buena distancia entre nuestro sistema de adquisición de datos y el horno de fundición.

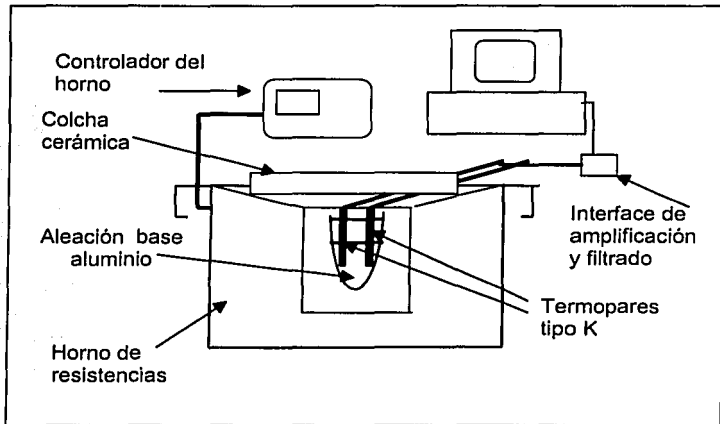


Figura 3.24 Posición de termopares en el crisol.

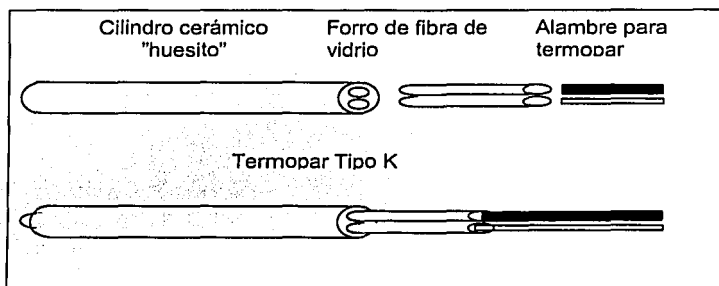


Figura 3.25 Muestra los termopares.

3.3 SISTEMA DE AGITACIÓN.

Para la agitación de las aleaciones se necesita un motor capaz de variar la velocidad de agitación en un rango de 700 a 1200 r.p.m., según la literatura, y ya seleccionada la velocidad de rotación debe mantenerse constante.

También es necesario un soporte rígido que sostenga el motor y ayude a minimizar las vibraciones en la propela y poder desplazar de manera fácil y rápida el motor. Así como para introducir la propela al metal fundido.

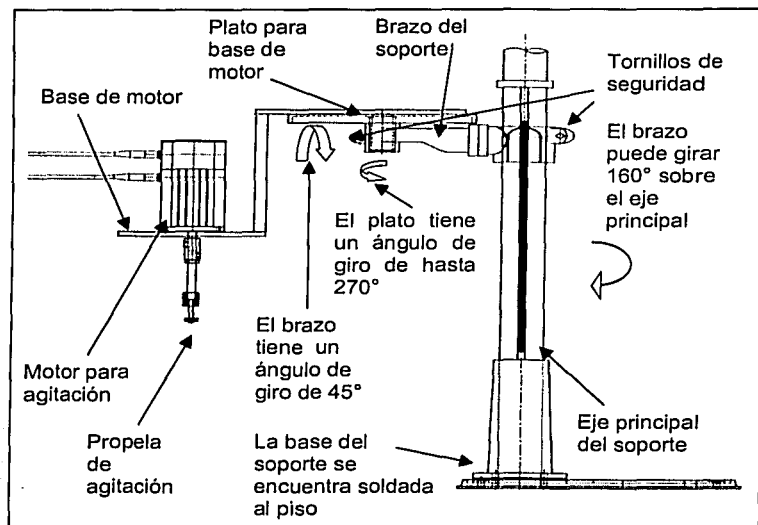


Figura 3.26 Base para motor.

De esta manera el sistema de agitación está constituido por un motor, controlador del motor, propela y soporte rígido (figura 3.26). Éste soporte cuenta con una manija que sube o baja la propela con respecto al horno, con un movimiento vertical, también tiene un brazo que permite inclinar la propela hasta 45° con respecto a la horizontal; tiene tornillos de seguridad que permiten fijar en una sola posición la propela por tiempo indefinido, con lo que se reducen al mínimo las vibraciones y se evitan accidentes. El brazo de este soporte también puede girar 360° sobre el eje principal, lo cual permite tener mayor libertad para extraer el crisol del horno.

El motor cuenta para su control con un encoder, un amplificador y software de control, la interface de comunicación se realiza por el puerto serial. El motor tiene rango de velocidad de 0 a 3000 r.p.m., en ambos sentidos, tiene un control de lazo cerrado para tener un mejor control de la velocidad, la cual es un factor importante en la fabricación de espumas. Este motor es capaz de controlar la posición, la velocidad o el torque y sensar al mismo tiempo uno de los dos restantes, tiene una potencia de $\frac{1}{2}$ H.P. Este motor se controla desde la computadora a través del puerto serial (COM1), utilizando un amplificador el cual alimenta al motor como se ve en la figura 3.27. Para su control se usa el software OMNIDRIVE con una interface. El modelo del amplificador es el ODM-005I, tipo indexador, el motor es el BLX141B2, que necesita una fuente de corriente directa para habilitar al sistema y 127 VCA para energizarlo.

El software permite controlar la velocidad, la posición o el torque en el motor y medir otro parámetro diferente al controlado. En el caso de este sistema, el parámetro que se desea medir es la potencia demandada por el motor, la cual se obtiene por medio de arreglos matemáticos, esta medición es análisis de otro estudio. Al conocer la viscosidad que demanda la aleación se determina el momento en que se debe inyectar el gas para que las burbujas sean estables y no colapsen.

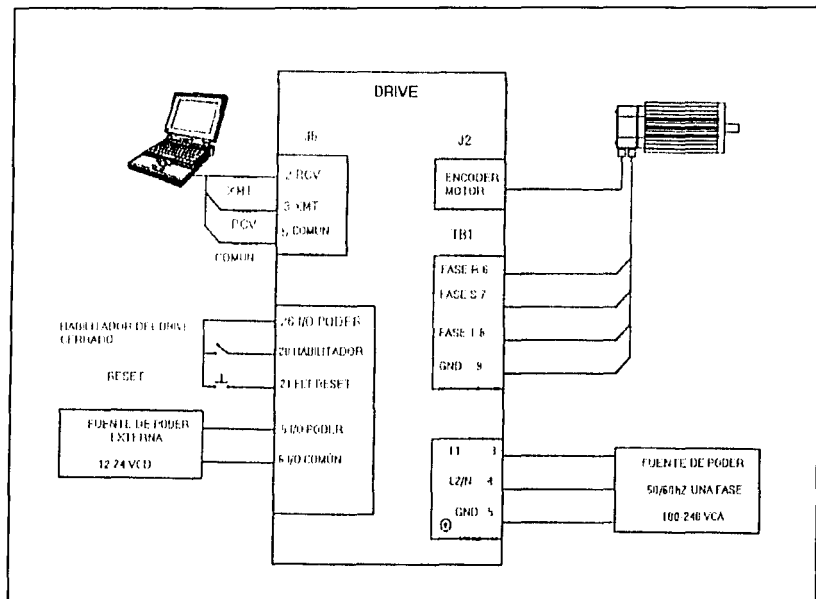


Figura 3.27 Conexiones del motor.

El sistema ofrece dos opciones en el sensado de la señal, la primera es tener la señal en el software de control y sólo visualizarla, lo cual no es de mucha ayuda por que no se pueden guardar los valores, y la segunda es que se puede adquirir ese valor por el puerto analógico. Este puerto se conecta a la tarjeta de adquisición de datos y así se pueden guardar los valores de corriente que demanda el motor.

3.3.1 Propelas para el sistema.

Las propelas para el sistema son de acero inoxidable con doble aspa y sirven para realizar la agitación de la aleación cuando se agregan las partículas cerámicas. En la Figura 3.28 se muestra el diseño de la propela.

Las propelas para la agitación deben de proporcionar el efecto vortex, con el que se afecta la distribución de las partículas en la mezcla, lo que ayuda a la homogeneización. Las propelas son de doble aspa, una que empuja el líquido hacia arriba y la otra hacia abajo, esto hace que las partículas cerámicas se muevan en una trayectoria circular y se distribuyan uniformemente en el líquido. Las aspas se deben recubrir con fibra cerámica y luego pintarlas con pintura cerámica, debido que al entrar en contacto directo el aluminio fundido y por la fricción de ambos metales estas empezarían a disolverse.

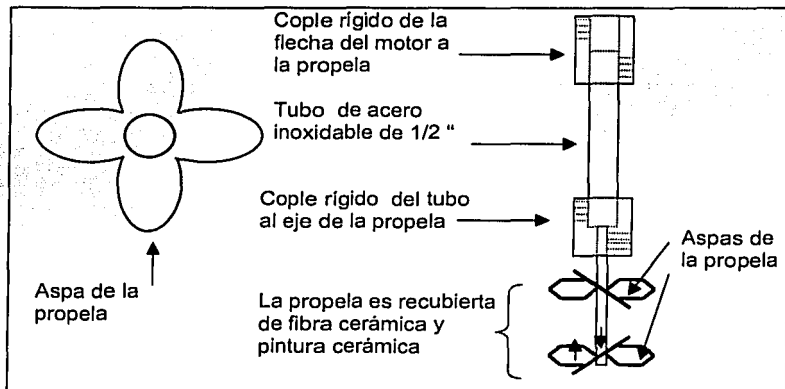


Figura 3.28 Diseño de la propela

Probando diferentes tipos de propela, se realizaron pruebas con aceite y arena para ver las líneas de circulación del líquido, con lo que se concluyó que esta propela es la más conveniente en este caso. En la Figura 3.29 se muestra un esquema de dicho efecto, en el cual se nota como se forma una especie de cono de aire, conocido como efecto vortex, que obliga a las partículas a entrar en la aleación al mismo tiempo que se mezcla un poco de aire.

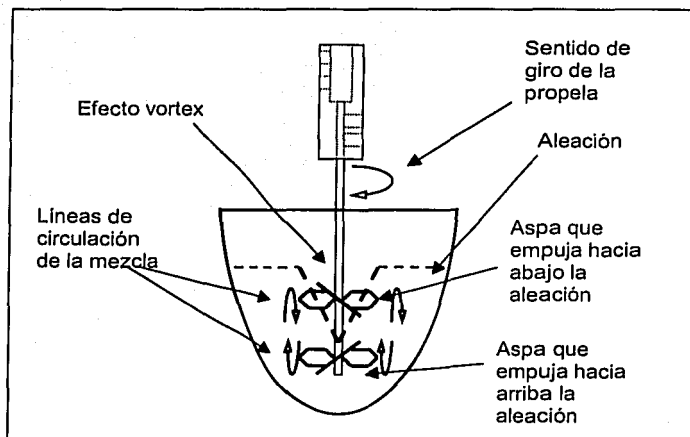


Figura 3.29 Efecto vortex.

3.4 MEDICIÓN DE FLUJO.

La medición de flujo se realizó con un rotámetro analógico para simplificar el proceso de fabricación. Se utilizaron varios rotámetros para medir los diferentes gases como nitrógeno, hidrogeno, aire, argón y oxígeno. En las diferentes aleaciones se inyectaba un gas a la vez. Los dos gases que se inyectaron fueron

aire y nitrógeno. Para la inyección de aire se utilizó un compresor con tanque (Figura 3.30), que por medio de mangueras se conecta al inyector, el que es un tubo de 1/8" de acero inoxidable 304 recubierto de cerámico para evitar que se disuelva en la aleación.

Para el caso del nitrógeno se utilizaron tanques con su regulador de presión, conectado al rotámetro en la misma forma que se conectó para la inyección de aire.

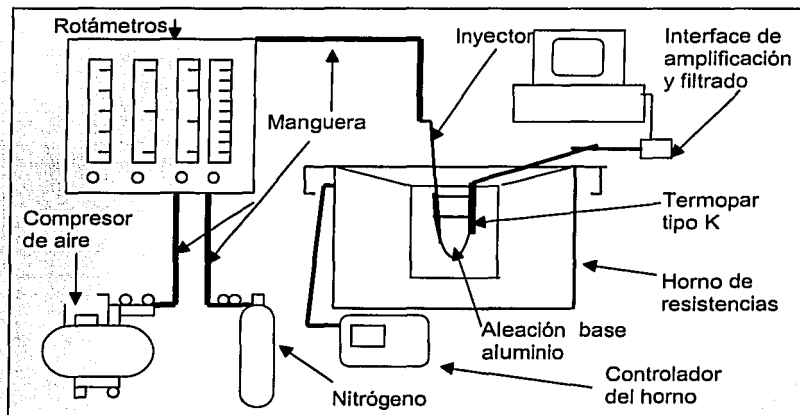


Figura 3.30 Sistema de inyección de gas.

CAPITULO CUATRO RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1 HORNO DE RESISTENCIAS.

El horno de resistencias que se muestra en la figura 4.1, tarda aproximadamente 2.5 horas en alcanzar los 660°C, a partir de este momento el metal tarda en fundirse 1 hora aproximadamente. Durante la operación del horno se recomienda que se encuentre tapado con colcha cerámica, esto ayuda a que en un día se puedan realizar dos pruebas. La oscilación de temperatura del horno está en un promedio de 7 °C sobre la temperatura seleccionada con lo cual se tiene un buen control, por otro lado la velocidad de calentamiento del mismo es satisfactoria.

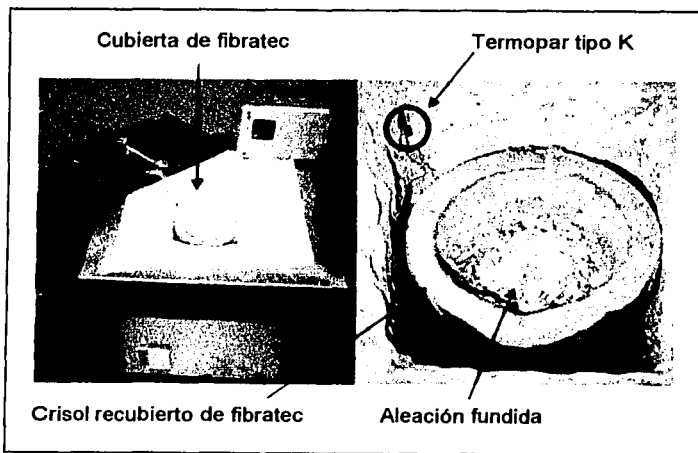


Figura 4.1 Horno de resistencias.

La figura 4.2 muestra la velocidad de calentamiento del horno y la diferencia de temperatura que existe entre el termopar del horno y un termopar sumergido en aluminio.

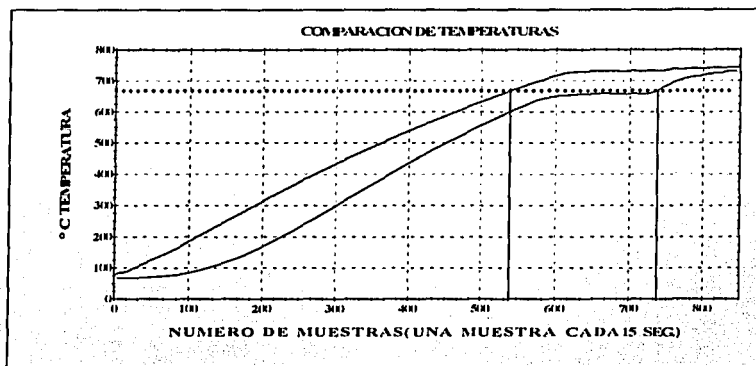


Figura 4.2. Velocidad de calentamiento del horno.

Así con estos resultados se tiene un horno práctico, funcional y relativamente económico, lo cual ayuda a reducir los gastos en la producción de espumas de aluminio. Las resistencias y el termopar son fáciles de cambiar y económicos.

En la figura 4.3 se puede observar, la tapa de acero inoxidable recubierta de fibratec, así también se observa su control el cual se encuentra alejado del horno para poder controlar la temperatura con mayor seguridad, los cables de alimentación y del termopar se encuentra dentro de una manguera de acero recubierta de plástico para protegerlos.

También se observan las pinzas y el anillo con los cuales se hace el vaciado de las aleaciones para limpiar el crisol. El horno se pintó con pintura especial la cual soporta temperaturas de hasta 500°C antes de evaporarse para evitar que la caja se oxide.

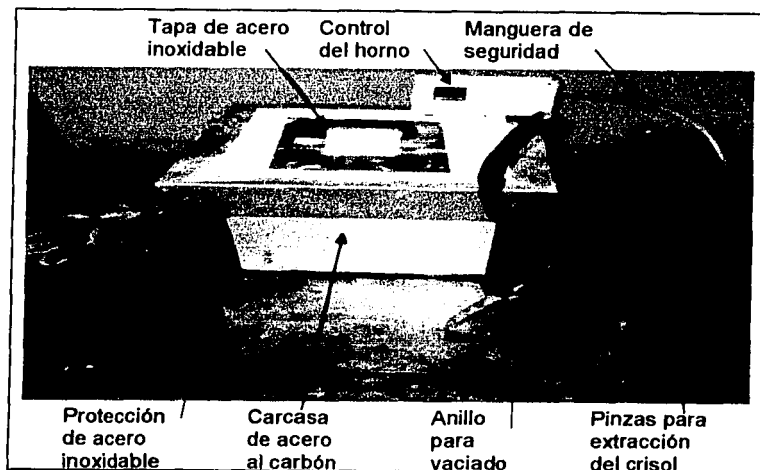


Figura 4.3 Descripción de partes del horno de resistencias.

El crisol que se utilizó es de carburo de silicio como el que se muestra en la figura 4.4, el cual se recubre con fibratex para evitar que reaccione con el oxígeno del aire inyectado durante el proceso de espumado y así alargar su vida útil, esto facilita el poder quitar todos los residuos que pudiesen quedar de alguna prueba anterior ya que con esto podrían contaminar posteriores pruebas.



Figura 4.4 Crisol de carburo de silicio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 SISTEMA DE AGITACIÓN.

El sistema de agitación está constituido por un motor, un soporte y un controlador, el cual se muestra en la figura 4.5, con éste sistema se tiene un control de velocidad, de posición y de manipulación de la propela.

Se tomo la base de un taladro de banco, como la base del soporte del sistema de agitación y con esto simplificar el diseño.

Con este soporte se puede subir y bajar la propela junto con el motor, también es posible girar el brazo del soporte 360°, de la misma manera se tiene tornillos de seguridad que sirven para fijar el sistema en la posición deseada por tiempo indefinido.

El soporte se encuentra soldado al piso para reducir las vibraciones en la propela, lo cual podría provocar algún accidente al chocar la propela con el crisol. Con este sistema se tiene un control de velocidad preciso sin vibraciones en la propela, la velocidad de agitación es de 1200 r.p.m. ya que al realizar la agitación a velocidades inferiores se observaba que la aleación no era homogénea y al tener velocidades mayores la aleación era expulsada del crisol.

La propela como se muestra en la figura 4.6 es de doble aspa y se recubre de fibratec (alúmina), primero se deja secar a 200°C durante 20 minutos y después se pinta con cerámico(alúmina) dejándose secar por otros 20 minutos, esto con el fin de secar la alúmina y obtener una mejor resistencia.

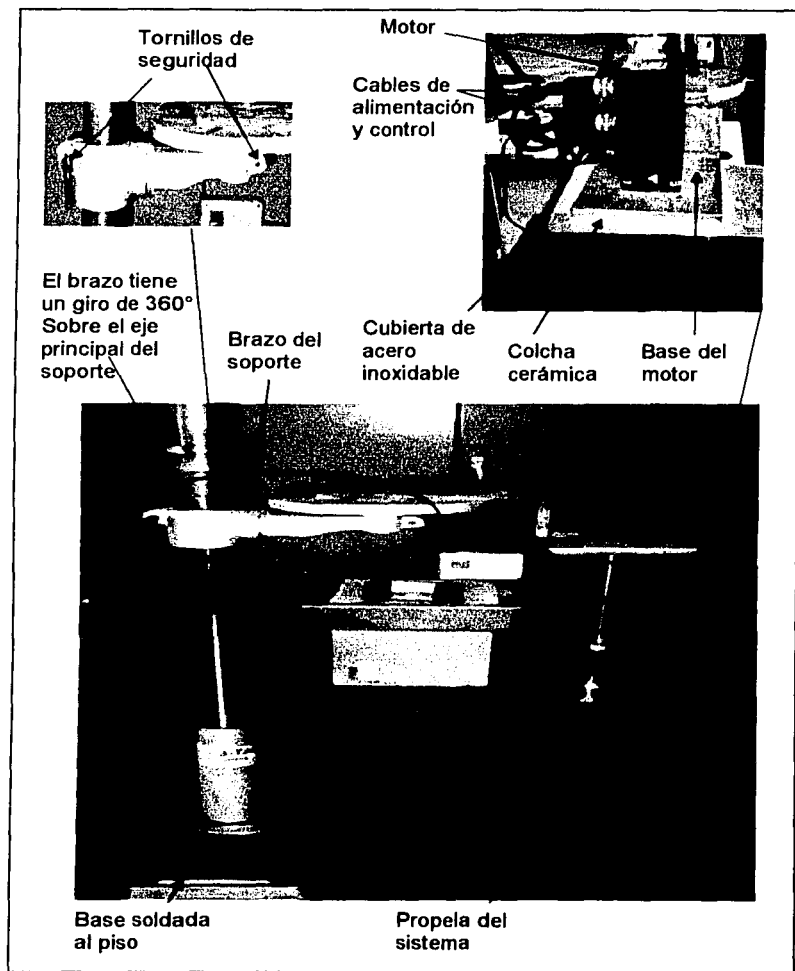


Figura 4.5 Sistema de agitación.

Con ésta propela sé obtiene el efecto vortex como lo se muestra en la figura 4.7 donde se observa como a una velocidad de 500 r.p.m. el efecto comienza a aparecer y a 1200 r.p.m. el efecto se logra en mayor capacidad, la propela se sumergió en agua para poder ver el efecto vortex en el líquido.

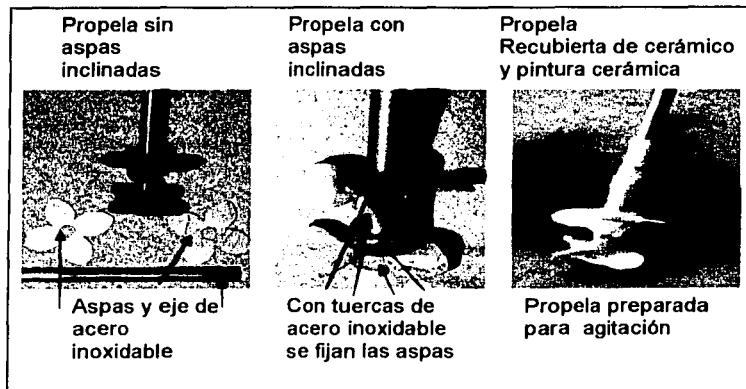


Figura 4.6 Propela del sistema.

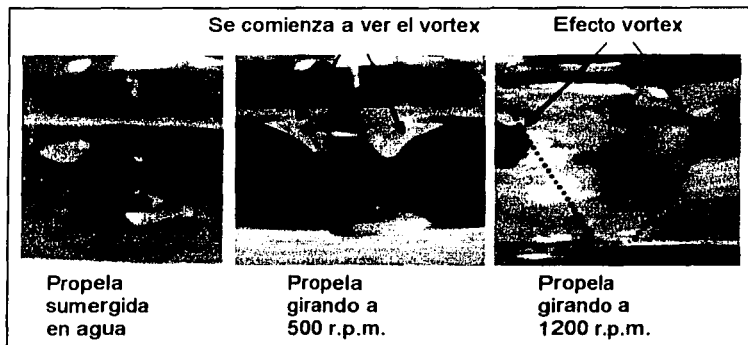


Figura 4.7 Efecto vortex.

El control de velocidad (figura 4.8) del motor de agitación se realiza por medio de su interface que está conectada a su vez a una computadora a través del puerto serial, con la cual se controla de manera sencilla la velocidad del motor desde 1 r.p.m. hasta 3000 r.p.m.

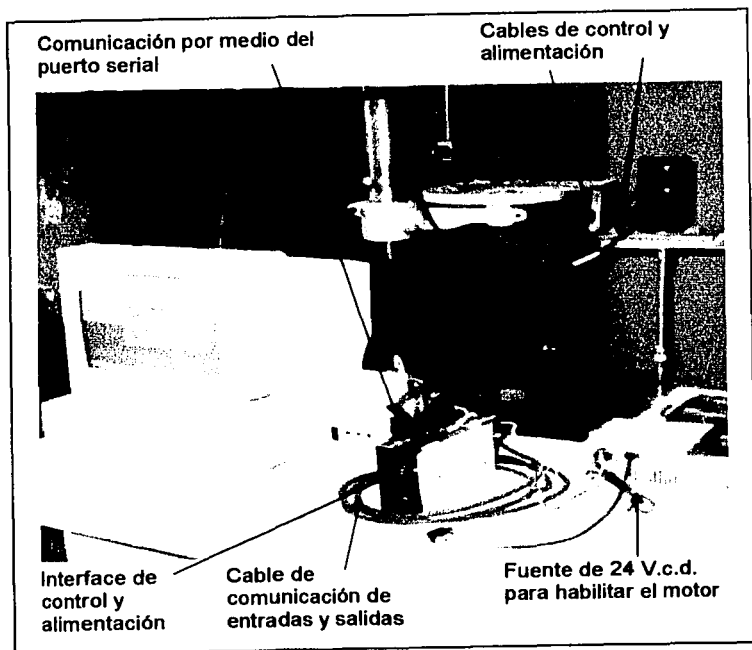


Figura 4.8 control del motor.

El software de control del motor es fácil de manejar como se ilustra en la figura 4.9, lo único que se debe hacer es escribir el valor de la velocidad y presionar la

tecla "intro", a lo cual se pide que sea habilitado el dispositivo, ésto se hace prendiendo la fuente de alimentación de corriente directa y enseguida el motor comienza a girar en el sentido deseado.

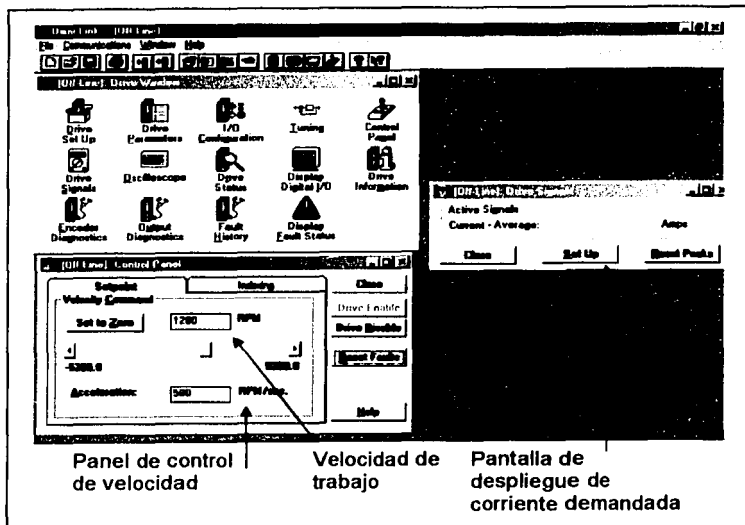


Figura 4.9 Software de control del motor.

4.3. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE TEMPERATURA.

El sistema de adquisición de datos consta como se ve en la figura 4.10, de una tarjeta de adquisición de datos, un cable para tableta de conexiones, una tableta de conexiones, una interface de amplificación y sistema de filtrado, termopares tipo K y software de control.

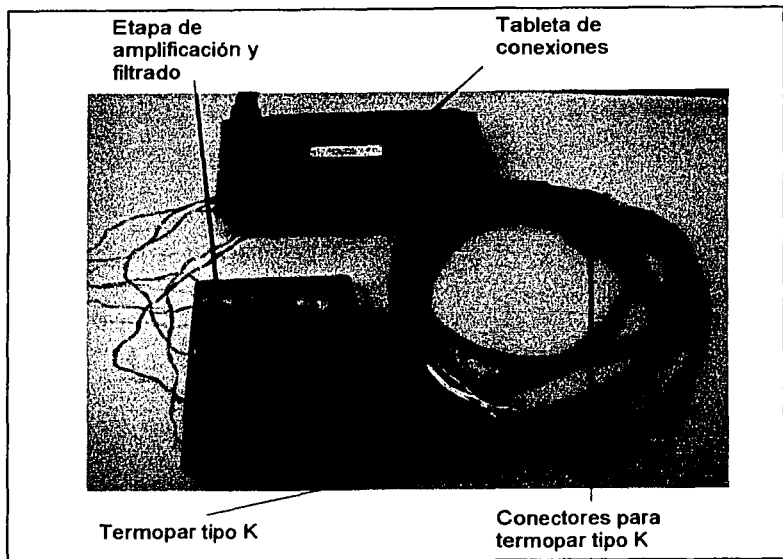


Figura 4.10 Sistema de adquisición de datos.

El control de la tarjeta se realiza con la ayuda de un programa realizado en Visual C++ el programa es sencillo, despliega una pantalla (figura 4.11) en la cual se puede seleccionar la velocidad de muestreo, al inicio y al final del proceso, al iniciar el proceso de muestreo el programa abre un archivo llamado "tabla" en el cual se guardaran los datos obtenidos por el sistema y al finalizar el proceso se cierra la ventana y el archivo donde se escribieron los datos es cerrado y guardado, estos datos pueden ser manipulados fácilmente (i.e.) en excel y en EasyPlot de acuerdo a las necesidades. Con éste programa se realizó la

compensación de punta fría que necesitan los termopares con un arreglo aritmético se resolvió dicho problema y al mismo tiempo se eliminó el off set de los amplificadores operacionales, que no tienen dicha compensación.

La etapa de amplificación y filtrado sufrió modificaciones durante la experimentación hasta que se obtuvieron resultados satisfactorios. En un principio se planteó amplificar 100 veces la señal de los termopares y leer en la tarjeta en una escala de 0 a 5V con una etapa intermedia de filtrado. Ésto se modificó ya que los resultados que se obtenían en el laboratorio de electrónica eran buenos pero al poner esta etapa a medir en lugar de trabajo se tubo una señal con un ruido de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ lo cual da una medición de temperatura mala.

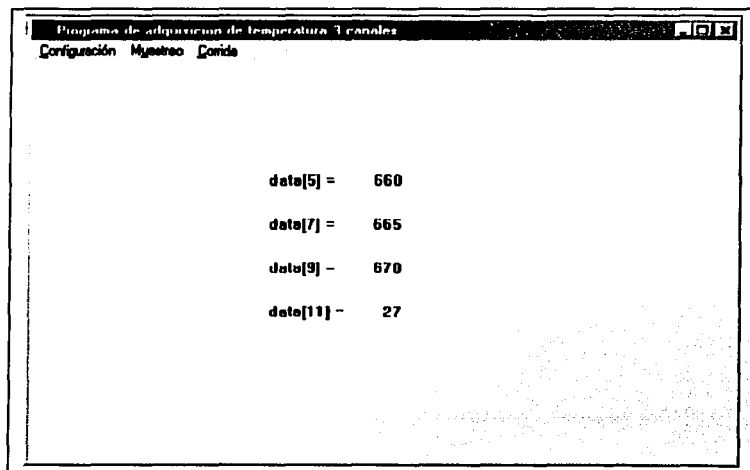


Figura 4.11 Software de control.

Así se tomo la decisión de solo amplificar 7.3 veces la señal en una sola etapa y un filtro de segundo grado (figura 4.12), con esto la tarjeta trabajo en un rango de 0 a 0.625 V, con este arreglo se obtuvieron mejores resultados se hizo una prueba cuyo resultado fue aceptable, sin embargo se modifico el diseño de la etapa de filtrado teniendo de igual manera un filtro de segundo orden pero con capacitores mas pequeños lo cual redujo aun más el ruido en la señal.

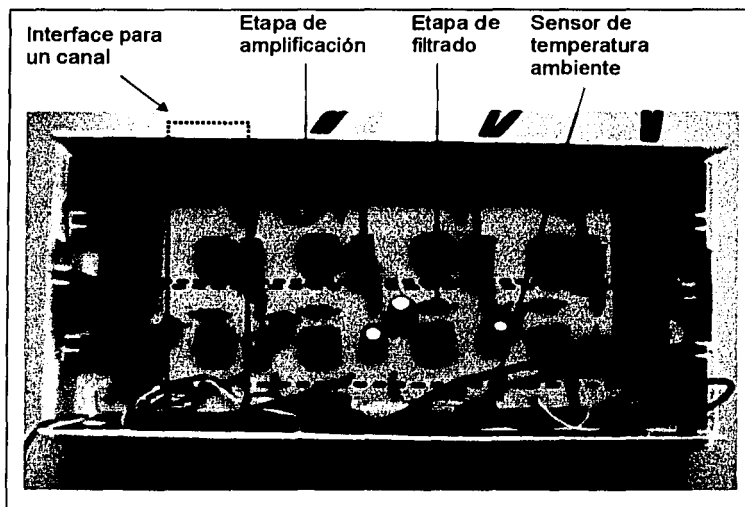


Figura 4.12 Etapa de amplificación y filtrado.

Los termopares (figura 4.13) son hechos de rollos de alambre de alume y de cromel esto se realizó así ya que no se tiene la limitante de la distancia, se pueden cortar tan largos o pequeños como sea requerido, su aislante es un forro

de fibra de vidrio y al igual que el alambre se puede tener la distancia deseada, en la punta de los termopares se colocan tubos de cerámico conocidos como "huesitos" a pesar de que la fibra cerámica soporta estas temperaturas se cristaliza y por ello sería necesario desechar le forro de fibra de vidrio, además es necesario recubrir la punta con fibratex para evitar que el termopar sea disuelto por la aleación teniendo como resultado que no se termine el proceso de medición.

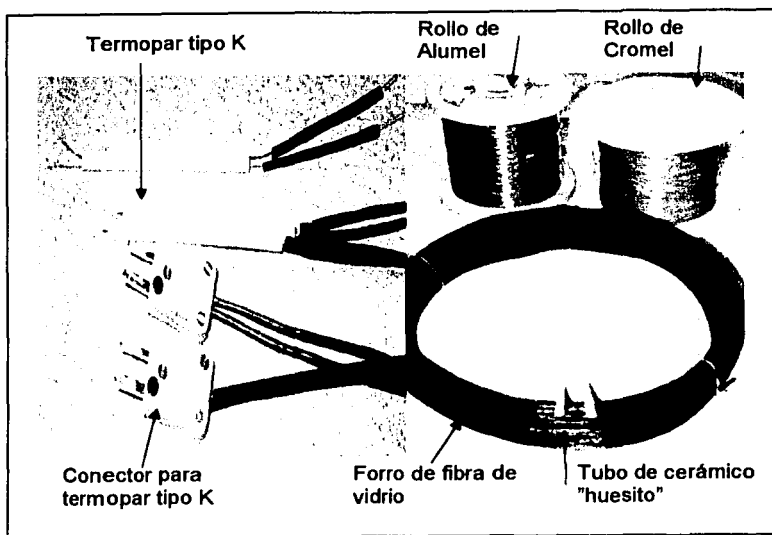


Figura 4.13 Termopares tipo K.

4.3.1 Curvas de temperatura.

Las curvas de enfriamiento se obtienen a partir del metal fundido o aleación del cual se desea conocer su comportamiento térmico, al estar fundido se introducen dos termopares en el metal, una vez que se tiene el metal fundido se procede a tapar el horno para que la pérdida de calor sea muy lenta. En las curvas se observa la transición de la aleación de sólido a líquido y de líquido a sólido. En los puntos de transición en los cuales la temperatura del metal se mantienen prácticamente constantes y luego continúan el enfriamiento normal. El tiempo de muestreo en este proceso es de una muestra cada 10 segundos, en la primer curva de enfriamiento se tomó una muestra cada segundo, con esto se obtuvo una cantidad enorme de datos lo que dificulta su manipulación, por lo cual se decidió tomar una muestra cada 10 segundos obteniéndose los mismos resultados con una cantidad de datos menor y teniendo así una fácil manipulación de ellos.

4.3.2. Curva de aluminio al 99% de pureza.

En la primer curva que se obtuvo se tomó el calentamiento y el enfriamiento del aluminio para comparar las medidas. La curva de enfriamiento del aluminio a 99% de pureza se obtiene de la siguiente manera:

Se introducen los pedazos de Al en el crisol fundiéndose y dejándose enfriar, con la finalidad de que el aluminio tome la forma del crisol. Después se le hacen dos pequeñas perforaciones al metal, para colocar los termopares que sensarán

la temperatura, los termopares previamente calibrados con el termómetro digital y su termopar correspondiente, son el patrón de temperatura.

Se introdujo el crisol en el horno y se inició la lectura de las temperaturas tomando una muestra cada segundo. En la figura 4.14 se puede ver el comportamiento del metal al variar la temperatura, como pasa del estado sólido al líquido. Se observa en la curva los cambios de pendiente en los cuales ocurre la transición de fases. La curva se filtro y derivó como se ve en la figura 4.15, utilizando el software "Easyplot" el cual permite realizar varias operaciones con gráficas, como filtrarlas, derivarlas, integrarlas, etc., de esta forma se obtiene el punto de transición.

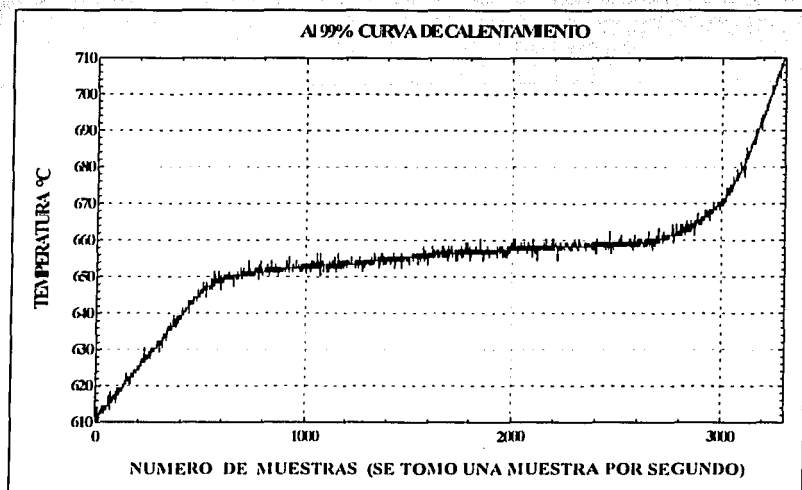


Figura 4.14 Curva de calentamiento.

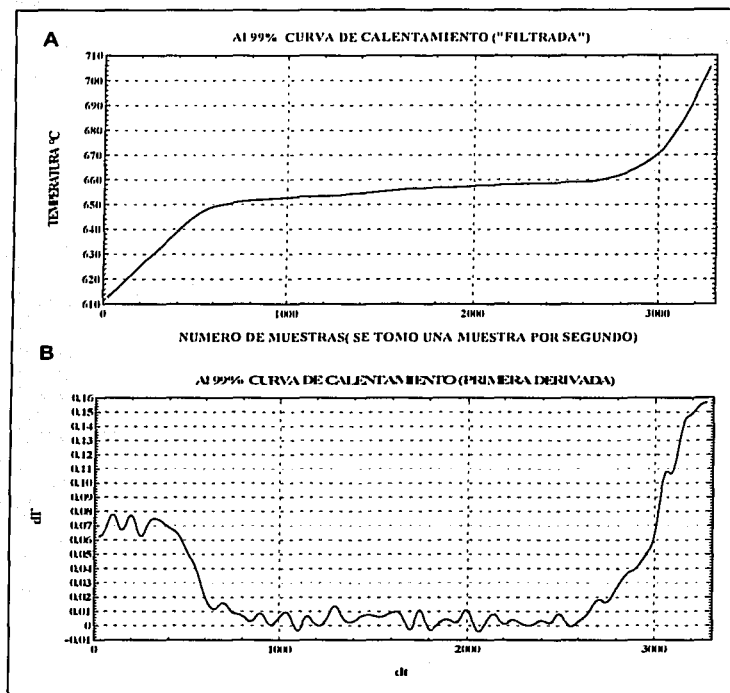


Figura 4.15 Filtrado de la curva(A) y primera derivada(B).

En el punto de transición el material se mantiene a temperatura constante como se observa en la gráfica, lo que ocurre en este instante es que por una parte el metal está perdiendo calor y comienza a solidificar pero la energía cinética de las partículas es la que sigue generando calor el cual se pierde por la disipación del metal al solidificar.

Las curvas de aluminio al 99% de pureza fueron tomadas por dos razones la primera era observar el comportamiento del sistema de adquisición de temperatura y la otra era saber si las medidas eran correctas en condiciones de trabajo.

El resultado fue satisfactorio ya que el punto de transición del aluminio puro es 660°C reportado en la literatura y el valor obtenido por el sistema es de 659°C con lo cual se valida el funcionamiento del sistema.

La primer curva de enfriamiento se observa en la figura 4.16, ésta se tomo sin hacerle los últimos cambios a la etapa de filtrado y la figura 4.17 muestra la curva de enfriamiento de aluminio al 99% con las modificaciones hechas a la etapa de filtrado.

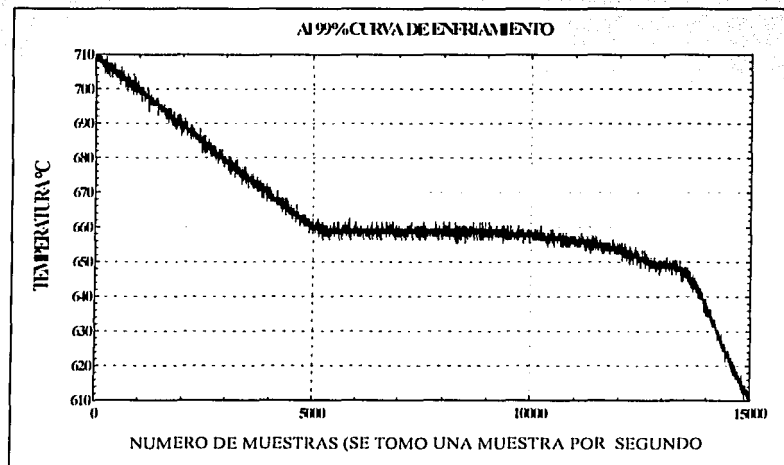


Figura 4.16 Curva de enfriamiento sin cambios en la etapa de filtrado.

Sé observó la diferencia que hay entre una y otra a pesar de que la curva es del mismo material la segunda es más nítida y es una línea delgada, en cambio la primera parece una línea más gruesa debido al ruido de la señal. La limpieza de la señal ayuda a realizar los cálculos para determinar el punto de transición.

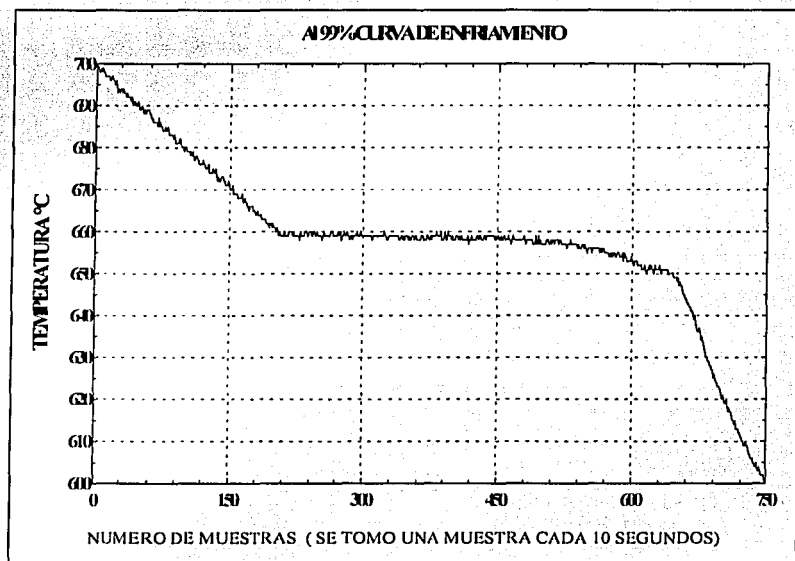


Figura 4.17 curva de enfriamiento con cambios en la etapa de filtrado.

En la figura 4.18 se comparan las curvas ya tratadas con el programa EasyPlot y la diferencia sigue siendo notoria a pesar de que se han atenuado ambas con el software exactamente de la misma manera. Lo mismo pasa cuando se derivan ambas curvas(figura 4.19) con el EasyPlot se puede ver fácilmente la diferencia

que existe entre ambas ya que en la primera se tienen varios cambios de pendiente y en la segunda los cambios de pendiente son mínimos.

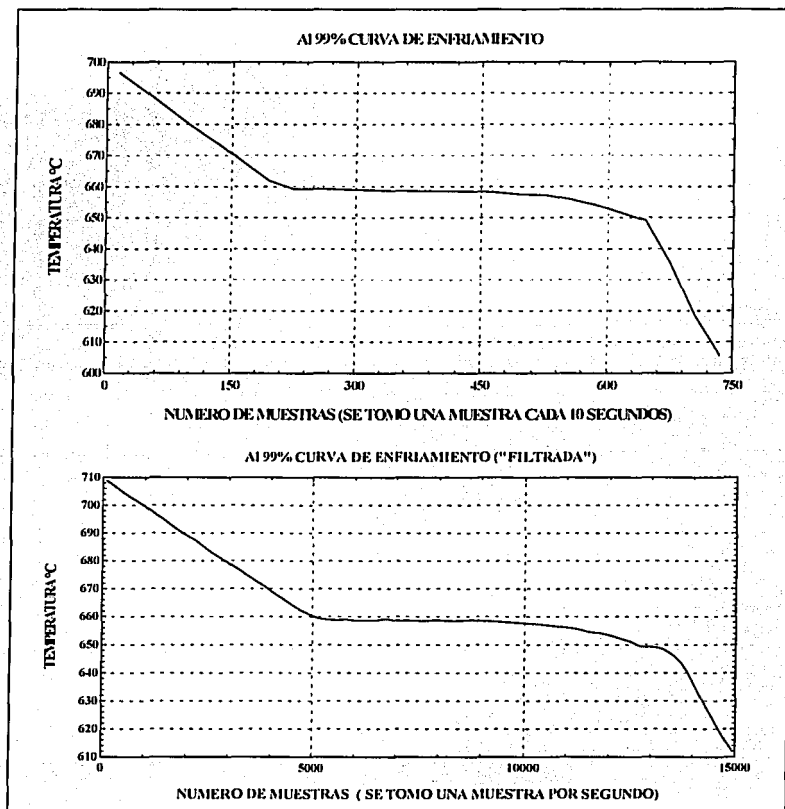


Figura 4.18 comparación de las curvas tratadas con el EasyPlot.

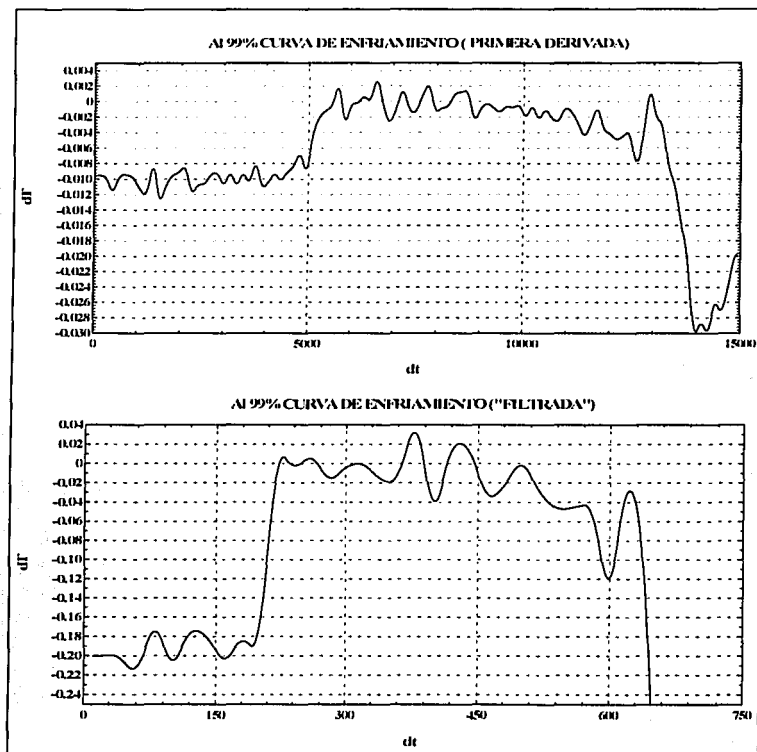


Figura 4.19 Comparación de la primera derivada de la curva de enfriamiento.

4.3.3 Curvas de la aleación base.

Se tomaron las curvas de enfriamiento de una aleación Al-6Si-3Mg que es la aleación base en este proceso de fabricación de espumas. La curva que se observa en la figura 4.20 muestra el comportamiento de la aleación base al

perder calor través del tiempo, en ésta curva se observa dos cambios de pendientes o puntos de transición, el primero ocurre cuando la aleación comienza a solidificar y el segundo es la temperatura de crecimiento del eutéctico.

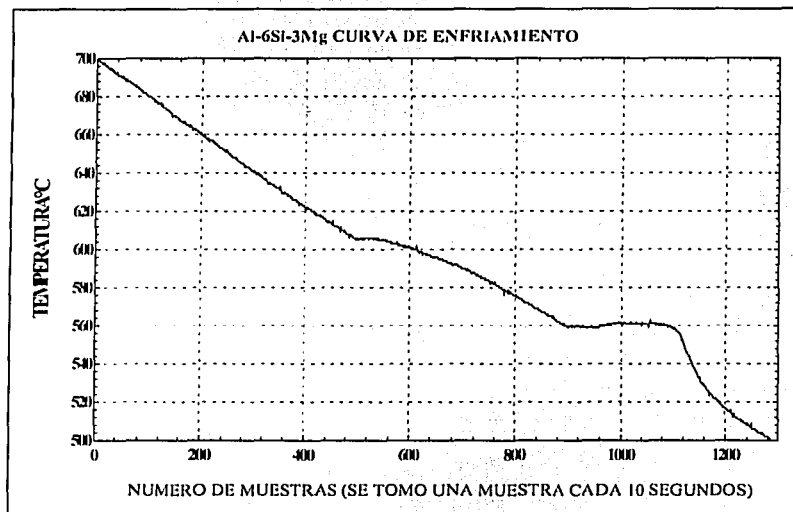


Figura 4.20 Comportamiento de aleación base.

Al derivar la curva se obtienen los puntos de transición de esta aleación como se observa en la figura 4.21, la cual muestra los picos donde la pendiente comienza a cambiar. El primer cambio ocurre a los 605 °C y el segundo a los 560°C. Al determinar dichos puntos se establecieron las temperaturas sobre las cuales se trabajaría para la fabricación de las espumas.

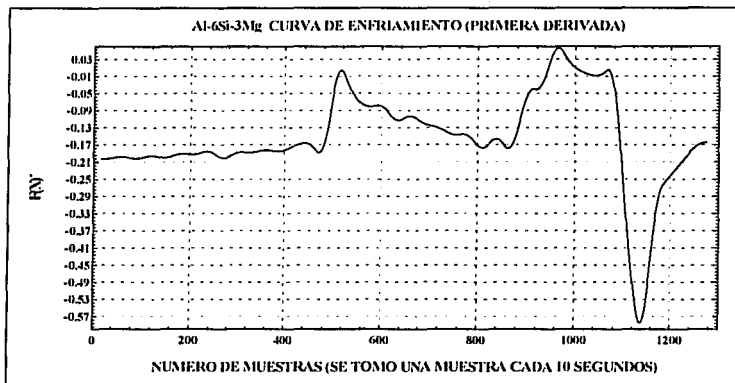


Figura 4.21 Primera derivada de la aleación base.

A ésta aleación se le agregó tres diferentes porcentajes de SiC_p sobre los cuales se trabajó.

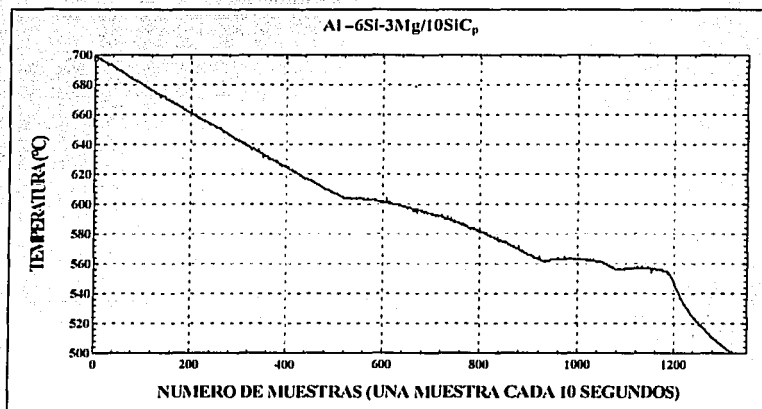


Figura 4.22 Curva con 10% de cerámico.

La figura 4.22 muestra la curva de enfriamiento de una aleación Al-6Si-3Mg/10SiC_p.

En la gráfica (figura 4.23) de la aleación Al-6Si-3Mg/30SiC_p se observan como cambian los puntos de transición a medida que se agrega un mayor porcentaje de partículas cerámicas.

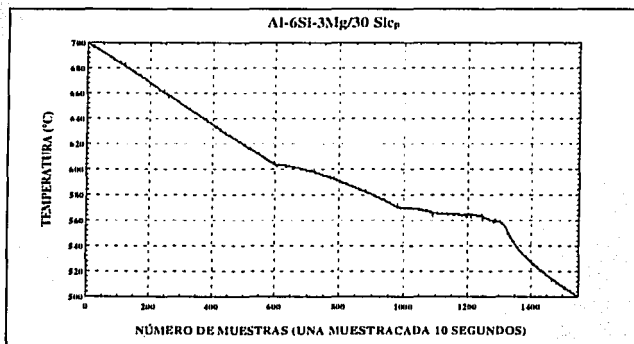


Figura 4.23 Curva con 30% de cerámico

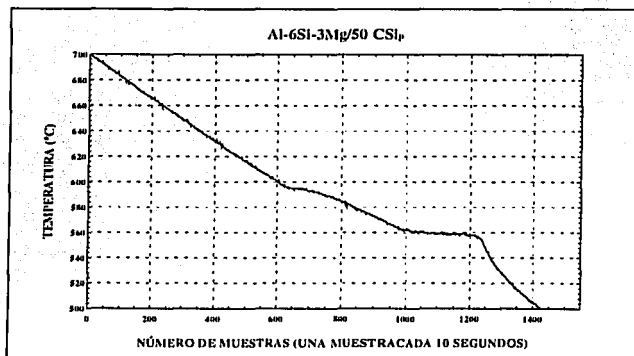


Figura 4.24 Curva con 50% de cerámico

La figura 4.24 muestra la curva con mayor cantidad de partículas cerámicas. Al comparar la curva de la aleación sin cerámico contra las aleaciones con partículas cerámicas, se observó, otro cambio mas de pendiente en la curva al agregar cerámico dicho cambio se va atenuando al aumentar el porcentaje de cerámico en la aleación, la causa de ese cambio es análisis de otro estudio.

Al obtener el comportamiento de las diferentes aleaciones se establecen las temperaturas a las que se inyectara el gas, los cuales se encuentran entre el punto de transición de sólido a líquido y el punto eutéctico, estas temperaturas son 595, 583 y 570°C, para las aleaciones Al-6Si3Mg con 10, 30, 50%de SiCp.

4.4. MEDICIÓN DE FLUJO.

La medición de flujo de gas se hizo con rotámetro para aire y nitrógeno, estos valores se determinaron en función de las escalas de los rotámetros con que se contó. Para el caso del rotámetro de nitrógeno la escala es desde 0.1L/s a 2 L/s, en el caso del rotámetro de aire la escala va desde 0.1 l/s hasta 2.5 l/s, así con estas restricciones debidas al equipo que se adquirió se seleccionaron tres flujos a inyectar en la aleación para cada tipo de gas.

El rotámetro es para 4 diferentes tipos de gas (figura 4.25), con este se pueden mezclar gases si se desea y observar como se comportan las aleaciones con diferentes combinaciones.

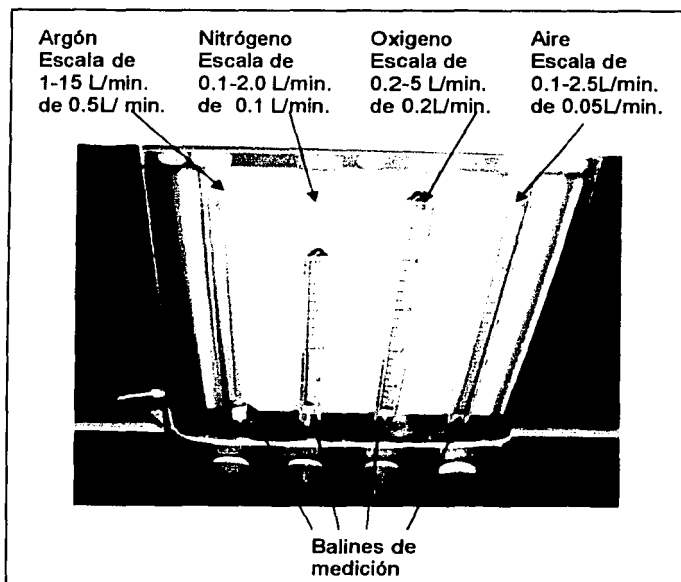


Figura 4.25 Rotámetro.

Los flujos elegidos para la inyección de gas fueron para el nitrógeno 0.1, 1 y 1.8 l/min, para el aire fueron 0.1, 1.2 y 2.4. Con el flujo seleccionado se realizaron las pruebas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.5 ESPUMAS DE ALUMINIO.

Finalmente se obtuvieron las espumas de aluminio, las primeras espumas que se fabricaron se dejaron enfriar dentro del crisol, debido a que no sé tenía un método para extraerlas sin que colapsaran las burbujas. La figura 4.26 muestra la apariencia exterior de la primer espuma obtenida.

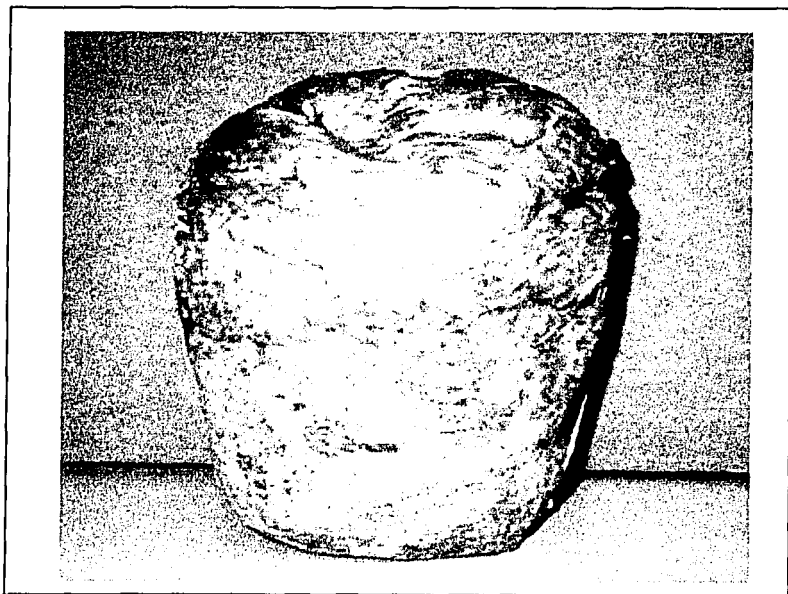


Figura 4.26 Apariencia exterior de la primer espuma.

Desde antes de realizar un corte a esta espuma era notorio que para el volumen que tenía su peso era menor al del metal sólido, así que se procedió a realizar un corte transversal para observar su estructura interna como lo muestra la figura

4.27. En esta figura se puede observar como quedaron atrapadas burbujas de aire en el interior del metal en la parte superior. A pesar de esto todavía existía una cantidad de metal sólido.

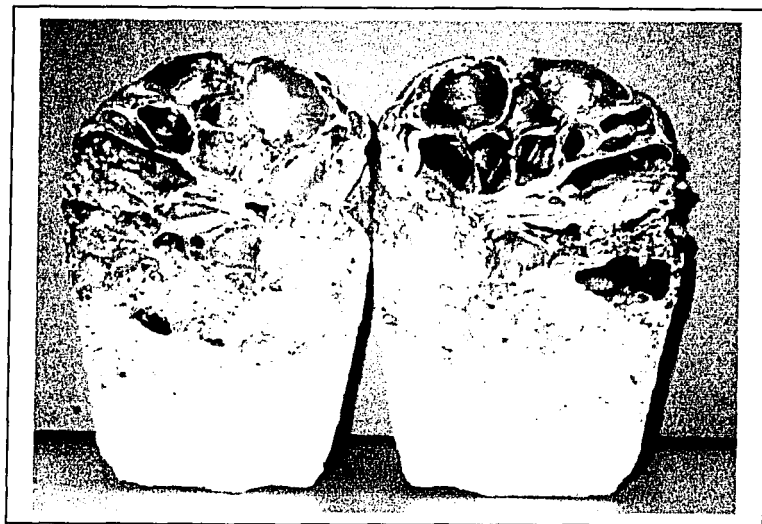


Figura 4.27 Corte de la primer espuma

Al comparar la espuma fabricada (figura 4.28) con una comercial se observan las similitudes con el tamaño de burbuja, aunque también se observan que tienen coloración diferente.

Se continuaron haciendo pruebas con dos fines: uno para perfeccionar el proceso de fabricación y otro para poder tratar de obtener espumas con diferentes aleaciones.

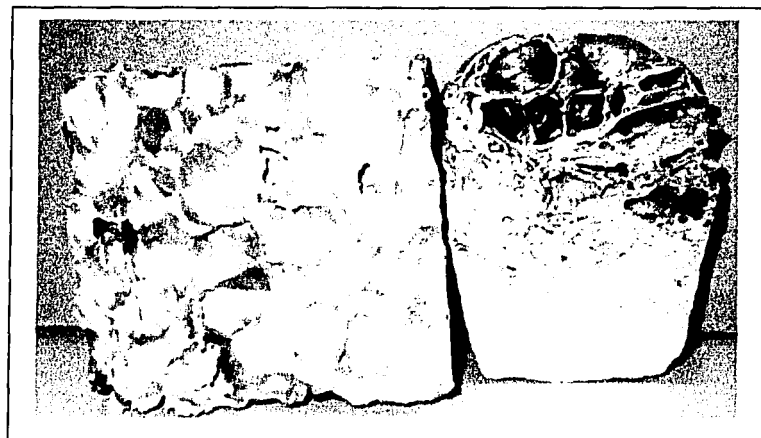


Figura 4.28 Comparación de espumas.



Figura 4.29 Segunda espuma obtenida.

Con la segunda espuma (figura 4.29) y tercer espuma (figura 4.30) se confirmó el proceso de fabricación de las espumas.

Al tener un proceso definido para la fabricación de espumas de una aleación base aluminio, el siguiente objetivo fue tratar de obtener la espuma fuera del crisol para así tener una espuma más parecida a las comerciales.



Figura 4.30 Tercer espuma obtenida.

La manera en que se logró sacar la espuma fue utilizando una malla de acero al carbono, se inyecta el gas a la aleación dentro del crisol, en la parte superior se coloca la malla que tiene una forma cilíndrica y que envuelve al crisol, en el momento en que se empieza a generar la espuma comienza a salir del crisol, la

espuma se adhiere a la malla y se comienza a levantar lentamente la espuma hasta que se logra extraer sin que colapsen las burbujas.



Figura 4.31 Primer espuma extraída del crisol.

La figura 4.31 muestra la espuma extraída del crisol, esta espuma es mas parecida a las comerciales, aunque la coloración es distinta.

Se le hizo un corte a la espuma para observar su estructura interna y observar la distribución de las burbujas. La figura 4.32 muestra el interior de la espuma y se observa la formación de las burbujas.

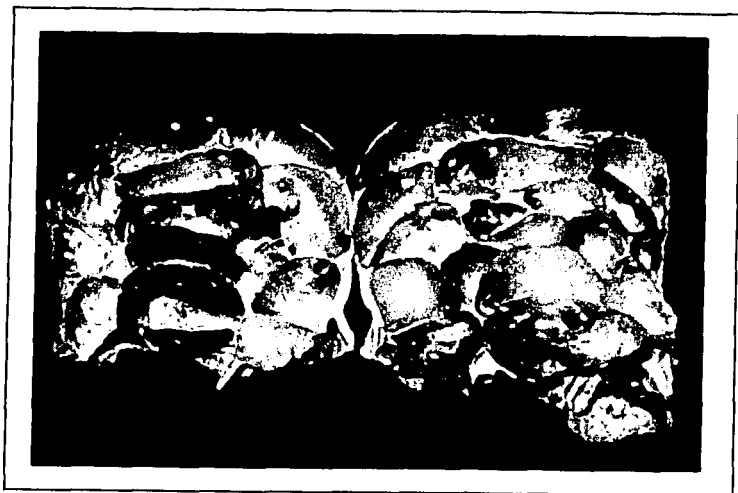


Figura 4.32 Corte de espuma metálica base aluminio.

CONCLUSIONES.

- Con el equipo implementado es posible fundir diferentes materiales a una temperatura no mayor a 1000°C , con un volumen de 2 litros de acuerdo a la cámara del horno vertical.
- Con el sistema de adquisición de datos se pueden obtener curvas de enfriamiento para diferentes aleaciones, además es posible adquirir diferentes tipos de datos como son presión, carga, etc. la programación de la tarjeta es sencilla lo cual permite poder manipular los datos de diversas formas y utilizar diferentes tipos de termopares.
- El sistema de agitación permite versatilidad para hacer mezclas de aleaciones debido a que la propela soporta temperaturas hasta 1000°C , con un rango de velocidad que va desde 0 hasta 3000 r.p.m. En el caso del motor se pretende utilizar en una maquina para medir desgaste ya que el sistema permite ser desmontado facilmente y para la maquina es importante controlar la velocidad y medir la corriente que demanda el motor.
- El sistema de inyección de gas permite hacer diferentes mezclas, se pueden mezclar cuatro gases los cuales son Argón, Oxígeno, Nitrógeno y Aire controlando su flujo se pueden tener combinaciones con diferentes porcentajes de gas.
- Con la implementación de diferentes equipos se logro el objetivo del trabajo la instrumentación y control de un sistema para la fabricación de espumas de una aleación base aluminio, por el método de inyección de gas.

BIBLIOGRAFIA.

- 1 Public Affairs, Office naval Research report, webmaster (1999).
- 2 M.C.Flemings and R.W.Cahn, *Acta Mater*, 48 (2000) 37-383.
- 3 R. Woodward, *The Materials Information Service Profile*, TMI (1996)
Ed.Pressition Printing Co. Ltd.
- 4 R.A.Higgin, in "Engineering Metallurgy P16th Ed", Edward Arnold (1993) Great Britain.
- 5 S.McMurry, "Foams Physics" in Trinity College Dublin (1998).
- 6 Jonh Banhart *Journal JOM* Vol. 52, pp 22-27, (2000).
- 7 A.Juárez-Hernandez, J.D.O.Barceinas-Sanchez, L.D.De ls Rosa canales y C. Gonzalez-Rivera, *Procesos de Manufactura para espumas de Aluminio*, XXIII Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales, Instituto Tecnológico de Saltillo(2001).
- 8 A.M.Kraynik, *Ann Rev Fluid Meck* 20 (1988) 325-357
- 9 <http://www.cienciasmisticas.com.arq/electro/tratemp.htm>
- 10 E.O.Doebelin, *Measurement Systems* (1990) 625-633.
- 11 G.JungWalter *Amplificadores Operacionales Integrados*. Pag. 151-182
- 12 F.Coughlin, F.Driscoll, *Circuitos Integrados Lineales y Amplificadores Operacionales*.
- 13 S.Gowri and F.H. Samuel *Effect of Cooling Rate on the Solidification Behavios of Al-7 Pct Si-SiC_p Metal-matrix Composites*. *Metallurgical Transactions A*.Vol. 23A december 1992 . pp. 3369 –3376.
- 14 Universidad Nacional Autonoma de México Facultad de Química "Aplicación del análisis térmico en el control microestructural de materiales Compuestos Al-Si/SiC_p" Tesis que para obtener el grado de :Maestro en Ciencias Químicas (metalurgia) presenta:IQM Heriberto Torres Garcia México, d.f. 1999.

PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

```
//Program : TEMPERATURA
//Description : 4 CANALES PARA MEDIDA DE TEMPERATURA.
/* FUNCTIONS:
 * InitApplication() - Initializes window data and registers window class
 * InitInstance() - Saves instance handle and creates main window
 * MainWndProc() - Process main window messages
 * ConfigDlgProc() - Process the dialog box messages for configuration
 */
#include <windows.h>
#include <stdlib.h>
#include <dos.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "..\..\..\include\driver.h"
#include "..\..\..\include\os.h"
#include "resource.h"
//DECLARACION DE CONSTANTES
#define MAX_DEVICES 100
//DECLARACION DE VARIABLES GLOBALES
HANDLE hInst;
HWND hMainWnd;
static DEVFEATURES DevFeatures;
static DEVCONFIG_AI DevCfg;
static PT_MAIConfig ptMAIConfig;
static PT_MAIVoltageIn ptMAIVoltageIn;
static PT_MAIVoltageInExp ptMAIVoltageInExp;
static PT_DeviceGetFeatures ptDevFeatures;
static PT_AIGetConfig ptAIGetConfig;
char szErrMsg[80];
LRESULT ErrCde;
DEVLIST DeviceList[MAX_DEVICES];
DEVLIST SubDeviceList[MAX_DEVICES];
LONG DriverHandle = (LONG)NULL; // driver handle
BOOL bRun = FALSE; // flag for running
USHORT gwDevice = 0, gwSubDevice = 0; // Device index
SHORT gnNumOfDevices, gnNumOfSubdevices; // number of installed devices
USHORT gwScanTime = 100; // scan time
DWORD gdwStartTime; // start time
DWORD gdwElapseTime = 0; // elapse time
USHORT gwOverrunCount = 0; // overrun count
FARPROC lpfnConfigDlgProc; // config. dialog procedure
FARPROC lpfnScanDlgProc; // scan dialog procedure
USHORT usStartChan = 0; // start channel
USHORT usStopChan = 0; // stop channel
USHORT usCurrentChan = 0; // Current channel number
USHORT usDasChan[16]; // das Channel array
USHORT usGainIndex[16]; // varied input range index
USHORT usGainCode[16]; // varied input range array
USHORT usBoardID [16];
USHORT usExpFlag = 0; // expansion board flag
USHORT usMaxChannel = 0; // max channel
```

```

CHAR    szExpName[15];           // expansion name
CHAR    szBuf[64];               // temp buffer
char    buffer[128];
FILE    *ptabla;
long    ent1;
int      i, a=0, t=0;
//DECLARACION DE FUNCIONES
BOOL InitApplication(HANDLE hInstance);
BOOL InitInstance(HANDLE hInstance, int nCmdShow);
long FTYPE MainWndProc(HWND, UINT, WPARAM, LPARAM);
int  FTYPE WinMain(HANDLE hInstance, HANDLE hPrevInstance,
    LPSTR lpCmdLine, int nCmdShow);
PRIVATE void AllWindows(HWND hDlg);
PRIVATE void SetChannel(HWND hDlg);
PRIVATE void SetCurrentChan(HWND hDlg, BOOL bflag);
PRIVATE void SetGain(HWND hDlg, BOOL bflag);
PRIVATE void SetExpChan(HWND hDlg, BOOL bflag);
PRIVATE void SetBoardID(HWND hDlg, BOOL bflag);
/.....
FUNCTION: WinMain(HANDLE, HANDLE, LPSTR, int)

    PURPOSE: calls initialization function, processes message loop
    .....

int FTYPE WinMain(hInstance, hPrevInstance, lpCmdLine, nCmdShow)
HANDLE hInstance;           /* current instance */
HANDLE hPrevInstance;       /* previous instance */
LPSTR lpCmdLine;            /* command line */
int nCmdShow;               /* show-window type (open/icon) */
{ MSG msg;                  /* message */
  if (!hPrevInstance)        /* Other instances of app running? */
    if (!InitApplication(hInstance)) /* Initialize shared things */
      return (FALSE);        /* Exits if unable to initialize */
    if (!InitInstance(hInstance, nCmdShow))
      return (FALSE);
    ptabla = fopen ("tabla","w");
    while (GetMessage(&msg, /* message structure */
        (HWND)NULL, /* handle of window receiving the message */
        (UINT)NULL, /* lowest message to examine */
        (UINT)NULL) /* highest message to examine */
    { TranslateMessage(&msg); /* Translates virtual key codes */
      DispatchMessage(&msg); /* Dispatches message to window */
    }
    return (msg.wParam); /* Returns the value from PostQuitMessage */
}
/.....
FUNCTION: InitApplication(HANDLE)

    PURPOSE: Initializes window data and registers window class
    .....
BOOL InitApplication(hInstance)
HANDLE hInstance;           /* current instance */
{ WNDCLASS wc;
  wc.style = CS_HREDRAW | CS_VREDRAW; /* Class style(s). */

```

```

wc.lpfnWndProc = (WNDPROC)MainWndProc; /* window process procedure */
wc.cbClsExtra = 0; /* No per-class extra data. */
wc.cbWndExtra = 0; /* No per-window extra data. */
wc.hInstance = hInstance; /* Application that owns the class.*/
wc.hIcon = LoadIcon(hInstance, "IDI_ICON1");
wc.hCursor = LoadCursor(NULL, IDC_ARROW);
wc.hbrBackground = GetStockObject(WHITE_BRUSH);
wc.lpszMenuName = "MyMenu"; /* Name of menu resource in .RC file. */
wc.lpszClassName = "MyClass"; /* Name used in call to CreateWindow. */
return (RegisterClass(&wc));
}
/*.....
FUNCTION: InitInstance(HANDLE, int)

PURPOSE: Saves instance handle and creates main window
/*.....*/
BOOL InitInstance
( HANDLE hInstance, /* Current instance identifier.
  int nCmdShow /* Param for first ShowWindow() call.
)
{ hInst = hInstance; /* Create a main window for this application instance.
  hMainWnd = CreateWindow(
    "MyClass", /* See RegisterClass() call. */
    "Programa de adquisición de temperatura 3 canales ", /* Window title bar */
    WS_OVERLAPPEDWINDOW, /* Window style. */
    CW_USEDEFAULT, /* Default horizontal position. */
    CW_USEDEFAULT, /* Default vertical position. */
    CW_USEDEFAULT, /* Default width. */
    CW_USEDEFAULT, /* Default height. */
    NULL, /* Overlapped windows have no parent. */
    NULL, /* Use the window class menu. */
    hInstance, /* This instance owns this window. */
    NULL /* Pointer not needed. */
  );
  if (hMainWnd)
    return (FALSE); /* Make the window visible; update its client area; and return "success"
  ShowWindow(hMainWnd, nCmdShow); /* Show the window
  UpdateWindow(hMainWnd); /* Sends WM_PAINT message
  return (TRUE); /* Returns the value from PostQuitMessage
}
/*.....
FUNCTION: ConfigDlgProc(HWND, unsigned, WPARAM, LPARAM)

PURPOSE: Processes dialog box messages for configuration
/*.....*/
BOOL FTYPE ConfigDlgProc
( HWND hDlg, /* window handle
  unsigned message, /* type of message
  WPARAM wParam, /* additional information
  LPARAM lParam /* additional information
)
{ USHORT i;
  DWORD dwIndex;
  int nOutEntries;

```

```

switch (message)
{
case WM_INITDIALOG : // Initialize Device List Combobox
    if ((ErrCde = DRV_DeviceGetNumOfList((SHORT far *)&gnNumOfDevices)) !=
        SUCCESS)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
        return TRUE;
    }
    if (gnNumOfDevices > MAX_DEVICES)
        gnNumOfDevices = MAX_DEVICES;
    if ((ErrCde = DRV_DeviceGetList((DEVLIST far *)&DeviceList[0],
        (SHORT)gnNumOfDevices, (SHORT far *)&nOutEntries)) != (LONG)SUCCESS)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
        return TRUE;
    }
    for (i = 0; i < (USHORT)gnNumOfDevices; i++)
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_DEVICE, CB_ADDSTRING, 0,
            (LPARAM)((LPSTR)DeviceList[i].szDeviceName));
    SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_DEVICE, CB_SETCURSEL, (WPARAM)gwDevice,
        (LPARAM)0);
    gnNumOfSubdevices = DeviceList[gwDevice].nNumOfSubdevices;
    if (gnNumOfSubdevices > MAX_DEVICES)
        gnNumOfSubdevices = MAX_DEVICES;
    if (gnNumOfSubdevices != 0)
    {
        if ((ErrCde = DRV_DeviceGetSubList(
            (DWORD)DeviceList[gwDevice].dwDeviceNum,
            (DEVLIST far *)&SubDeviceList[0],
            (SHORT)gnNumOfSubdevices,
            (SHORT far *)&nOutEntries)) != (LONG)SUCCESS)
        {
            DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
            MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
            return TRUE;
        }
    }
    else
    {
        EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_MODULE), FALSE);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_MODULE, CB_RESETCONTENT, 0,
            (LPARAM)((LPSTR)0));
    }
    // Initialize Input Range List Combobox, it needs to get device
    // features for gain list
    // first : Open Device
    if (gnNumOfSubdevices == 0)
    {
        ErrCde = DRV_DeviceOpen(DeviceList[gwDevice].dwDeviceNum,
            (LONG far *)&DriverHandle);
    }
    else
    {
        ErrCde = DRV_DeviceOpen(
            SubDeviceList[gwSubDevice].dwDeviceNum,
            (LONG far *)&DriverHandle);
    }
}

```

```

if (ErrCde != SUCCESS)
{
    strcpy(szErrMsg,"Device open error !");
    MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
    return 0;
} // second: get device features
ptDevFeatures.buffer = (LPDEVFEATURES)&DevFeatures;
ptDevFeatures.size = sizeof(DEVFEATURES);
if ((ErrCde = DRV_DeviceGetFeatures(DriverHandle,
    (LPT_DeviceGetFeatures)&ptDevFeatures)) != SUCCESS)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
    DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
    return 0;
} // Have AI function support ?
if ((DevFeatures.usMaxAIDiffChl == 0) &&
    (DevFeatures.usMaxAISigChl == 0))
    AllWindows(hDlg);
else
{
    ptAIGetConfig.buffer = (LPDEVCONFIG_AI)&DevCfg;
    ptAIGetConfig.size = sizeof(DEVCONFIG_AI);
    if ((ErrCde = DRV_AIGetConfig(DriverHandle,
        (LPT_AIGetConfig)&ptAIGetConfig)) != SUCCESS)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hMainWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
    if (DevCfg.usChanConfig == DIFFERENTIAL)
        usMaxChannel = DevFeatures.usMaxAIDiffChl;
    else
        usMaxChannel = DevFeatures.usMaxAISigChl;
    if (usCurrentChan > usStopChan)
        usCurrentChan = usStopChan;
    else if (usCurrentChan < usStartChan)
        usCurrentChan = usStartChan;
    SetChannel(hDlg);
    SetCurrentChan(hDlg, TRUE);
    // third: initialize Input Range List Combobox with device features
    if ((DevFeatures.usNumGain != 0) &&
        (DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID == 0) &&
        (DevCfg.usCjcChannel != usCurrentChan))
        SetGain(hDlg, TRUE);
    else
        SetGain(hDlg, FALSE);
} // fourth: close device
DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
return TRUE;
case WM_COMMAND :
    switch (LOWORD(wParam))
    {
        case IDOK :    // get device selection
            if ((dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_DEVICE,

```

```

    CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
    gwDevice = (WORD)dwIndex;
    // get sub-device selection
    if ((dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_MODULE,
        CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
        gwSubDevice = (WORD)dwIndex;
    EndDialog(hDlg, 0);
    return TRUE;
case IDCANCEL :
    EndDialog(hDlg, 0);
    return TRUE;
case IDC_STARTCHAN :
    if (HIWORD(wParam) == CBN_SELCHANGE)
    {
        if ((dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STARTCHAN,
            CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
            usStartChan = (WORD)dwIndex;
        if (usStopChan < usStartChan)
        {
            usStopChan = usStartChan;
            SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN, CB_SETCURSEL,
                usStopChan, 0L);
        }
        if (usCurrentChan > usStopChan)
            usCurrentChan = usStopChan;
        else if (usCurrentChan < usStartChan)
            usCurrentChan = usStartChan;
        // setting usCurrentChan
        SetCurrentChan(hDlg, TRUE);
        if ((DevFeatures.usNumGain != 0) &&
            (DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID == 0) &&
            (DevCfg.usCjcChannel != usCurrentChan))
            SetGain(hDlg, TRUE);
        else
            SetGain(hDlg, FALSE);
    }
    return TRUE;
case IDC_STOPCHAN :
    if (HIWORD(wParam) == CBN_SELCHANGE)
    {
        if ((dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN,
            CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
            usStopChan = (WORD)dwIndex;
        if (usStopChan < usStartChan)
        {
            usStopChan = usStartChan;
            SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN, CB_SETCURSEL,
                usStopChan, 0L);
        }
        if (usCurrentChan > usStopChan)
            usCurrentChan = usStopChan;
        else if (usCurrentChan < usStartChan)
            usCurrentChan = usStartChan;
        SetCurrentChan(hDlg, TRUE);
        if (DevCfg.usNumExpChan > 0 && DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID
            && usCurrentChan != DevCfg.usCjcChannel &&
            DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID != (DWORD)BD_PCLD8115)

```

```

        SetExpChan(hDlg, TRUE);
    else
        SetExpChan(hDlg, FALSE);
    if (DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID == (DWORD)BD_PCLD788)
        SetBoardID(hDlg, TRUE);
    else
        SetBoardID(hDlg, FALSE);
    // third: initialize Input Range List Combobox with device features
    if ((DevFeatures.usNumGain != 0) &&
        (DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].dwBoardID == 0) &&
        (DevCfg.usCjcChannel != usCurrentChan))
        SetGain(hDlg, TRUE);
    else
        SetGain(hDlg, FALSE);
}
return TRUE;
case IDC_INPRANGE :
    if (HIWORD(wParam) == CBN_SELCHANGE)
    { if (dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_INPRANGE,
        CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
        usGainIndex[usCurrentChan] = (WORD)dwIndex;
    }
    return TRUE;
case IDC_BOARDID :
    if (HIWORD(wParam) == CBN_SELCHANGE)
    { if ((dwIndex = SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_BOARDID,
        CB_GETCURSEL, 0, 0)) != CB_ERR)
        usBoardID[usCurrentChan] = (WORD)dwIndex;
    }
    return TRUE;
}
break;
}
return FALSE;
}
}

```

FUNCTION: ScanDlgProc(HWND, unsigned, WPARAM, LPARAM)

PURPOSE: Processes dialog box messages for scan time settings

```

BOOL FTYPE ScanDlgProc
(   HWND    hDlg,           // window handle
    unsigned message,       // type of message
    WPARAM  wParam,         // additional information
    LPARAM  lParam          // additional information
)
{   char    szBuffer[40];
    switch (message)
    {case WM_INITDIALOG :
        itoa(gwScanTime, szBuffer, 10);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_SCAN, EM_REPLACESEL, 0,
            (LPARAM)((LPSTR)szBuffer));
        return TRUE;
    case WM_COMMAND :

```

```

switch (LOWORD(wParam))
{ case IDOK :
    if (SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_SCAN,
        EM_GETMODIFY, 0, 0))
    { SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_SCAN,
        WM_GETTEXT, 10, (LPARAM)(LPSTR)szBuffer);
        gwScanTime = atoi(szBuffer);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_SCAN,
            EM_SETMODIFY, FALSE, 0);
    }
    case IDCANCEL :
        EndDialog(hDlg, 0);
        return TRUE;
    }
    break;
}
return FALSE;
}
}
.....
FUNCTION: MainWndProc(HWND, unsigned, WPARAM, LPARAM)
PURPOSE: Processes messages
MESSAGES:
    WM_CREATE - create window
    WM_COMMAND - application menu (About dialog box)
    WM_DESTROY - destroy window
...../
long FTYPE MainWndProc
(   HWND    hWnd,           // window handle
    unsigned message,       // type of message
    WPARAM  wParam,         // additional information
    LPARAM  lParam          // additional information
)
{   USHORT    i;
    static HANDLE hInstance;
    HMENU      hMenu;
    HDC        hdc;
    char        szBuffer[120];
    RECT        rect;
    float       fVoltage[16], d=0, a;
    DWORD       dwCurrentTime;
    DWORD       dwErrorTime;
    BOOL        bTimerOverrun;
    switch (message)
    {   case WM_CREATE:
        usStartChan = 1;
        usStopChan = 12;
        for (i = 0; i < 16; i++)
        { usGainIndex[i] = 4;
        }
        hMenu = GetMenu(hWnd);
        EnableMenuItem(hMenu, IDM_STOP, MF_BYCOMMAND | MF_GRAYED);
        hInstance = ((LPCREATESTRUCT) lParam)->hInstance;
        lpfnConfigDlgProc = MakeProcInstance (ConfigDlgProc, hInstance);
        lpfnScanDlgProc = MakeProcInstance (ScanDlgProc, hInstance);
    }
}

```

```

    return 0;
case WM_COMMAND: /* message: from application menu */
    hMenu = GetMenu(hWnd);
    switch (LOWORD(wParam))
    { case IDM_SETTING :
        DialogBox (hInstance, MAKEINTRESOURCE(IDD_SETTING),
            hWnd, lpfnConfigDlgProc) ;
        return 0;
      case IDM_SCAN :
        DialogBox (hInstance, MAKEINTRESOURCE(IDD_SCAN),
            hWnd, lpfnScanDlgProc) ;
        return 0;
      case IDM_STOP :
        KillTimer(hWnd, 1);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        bRun = FALSE;
        EnableMenuItem(hMenu, IDM_STOP, MF_BYCOMMAND | MF_GRAYED);
        EnableMenuItem(hMenu, IDM_START, MF_BYCOMMAND | MF_ENABLED);
        return 0;
      case IDM_START :
        if (gnNumOfSubdevices == 0)
            ErrCde = DRV_DeviceOpen(
                DeviceList[gwDevice].dwDeviceNum,
                (LONG far *)&DriverHandle);
        else
            ErrCde = DRV_DeviceOpen(
                SubDeviceList[gwSubDevice].dwDeviceNum,
                (LONG far *)&DriverHandle);
        if (ErrCde != SUCCESS)
        { strcpy(szErrMsg,"Device open error !");
          MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Device Open",MB_OK);
          return 0;
        }
        ptDevFeatures.buffer = (LPDEVFEATURES)&DevFeatures;
        ptDevFeatures.size = sizeof(DEVFEATURES);
        if ((ErrCde = DRV_DeviceGetFeatures(DriverHandle,
            (LPT_DeviceGetFeatures)&ptDevFeatures)) != SUCCESS)
        { DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
          MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
          DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
          return 0;
        }
        usExpFlag = 0;
        for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
            if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID != 0)
                usExpFlag = 1;
        }
        if(usExpFlag == 0)
        {
            ptMAIConfig.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
            ptMAIConfig.StartChan = usStartChan;
            for (i=0 ; i< ptMAIConfig.NumChan ; i++)
                usGainCode[i+usStartChan] =
                    DevFeatures.giGainList[i+usStartChan].usGainCde;
        }
    }
  }

```

```

    ptMAIConfig.GainArray = (USHORT far *) &usGainCode[usStartChan];
    if ((ErrCde = DRV_MAIConfig(DriverHandle,
        (LPT_MAIConfig)&ptMAIConfig)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde, (LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hWnd, (LPCSTR)szErrMsg, "Driver Message", MB_OK);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
}

EnableMenuItem(hMenu, IDM_STOP, MF_BYCOMMAND | MF_ENABLED);
EnableMenuItem(hMenu, IDM_START, MF_BYCOMMAND | MF_GRAYED);
if (SetTimer(hWnd, 1, gwScanTime, NULL) == (UINT) NULL)
{
    MessageBox(hWnd, "Couldn't create timer.", "Notice!",
        MB_OK);
    DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
    return 0;
}

bRun = TRUE;
gdwStartTime = GetTickCount();
gwOverrunCount = 0;
return 0;
}

return 0;

case WM_TIMER:
    dwCurrentTime = GetTickCount();
    gdwElapseTime = gdwElapseTime + (DWORD)gwScanTime;
    dwErrorTime = dwCurrentTime - gdwElapseTime - gdwStartTime;
    if (dwErrorTime > (DWORD)40) // maximum 40 ms scan time
    {
        gdwElapseTime = dwCurrentTime - gdwStartTime;
        gwOverrunCount ++;
        if (gwOverrunCount >= 10)
        {
            bTimerOverrun = TRUE;
            gwOverrunCount = 0;
        }
        else
            bTimerOverrun = FALSE;
    }
    else
    {
        bTimerOverrun = FALSE;
        gwOverrunCount = 0;
    } // reads an analog input channel
    usExpFlag = 0;
    for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
    {
        if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID != 0)
            usExpFlag = 1;
    }

    if (usExpFlag == 0)
    {
        ptMAIVoltageIn.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
        ptMAIVoltageIn.StartChan = usStartChan;

        for (i=0 ; i < ptMAIVoltageIn.NumChan ; i++)
            usGainCode[i+usStartChan] =

```

```

    DevFeatures.giGainList[usGainIndex[i]+usStartChan]].usGainCde;
    ptMAIVoltageIn.GainArray = (USHORT far *) &usGainCode[usStartChan];

    ptMAIVoltageIn.TrigMode = 0;          // internal trigger
    ptMAIVoltageIn.VoltageArray = (FLOAT far *)&fVoltage[usStartChan];

    if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageIn(DriverHandle,
        (LPT_MAIVoltageIn)&ptMAIVoltageIn)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
        KillTimer(hWnd, 1);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
}
else
{
    for (i = usStartChan ; i <= usStopChan ; i++)
    {
        usDasChan[i] = i;
    }
    ptMAIVoltageInExp.NumChan = usStopChan - usStartChan + 1;
    ptMAIVoltageInExp.DasChanArray = (USHORT far *)&usDasChan[usStartChan];
    ptMAIVoltageInExp.DasGainArray = (USHORT far *)&usGainIndex[usStartChan];
    ptMAIVoltageInExp.VoltageArray = (FLOAT far *)&fVoltage[usStartChan];
    if ((ErrCde = DRV_MAIVoltageInExp(DriverHandle,
        (LPT_MAIVoltageInExp)&ptMAIVoltageInExp)) != 0)
    {
        DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
        MessageBox(hWnd,(LPCSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
        //KillTimer(hWnd, 1);
        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
        return 0;
    }
}

// Display Data
hdc = GetDC(hWnd);
GetClientRect(hWnd, &rect);
InvalidateRect(hWnd, NULL, TRUE);
UpdateWindow(hWnd);
if (bTimerOverrun == FALSE)
{
    for (i=usStartChan; i <= usStopChan ; i++)
    {
        if (i=5)
        {
            if (d=1)
            {
                fprintf (ptabla, "%t%4.2f", (fVoltage[i]/0.000305176)-37+a);
                sprintf(szBuffer, "data[%d] = %10.0f", i, (fVoltage[i]/0.000305176)-37+a);
                TextOut(hdc, 200, 20*i, szBuffer, 20);
            }
            if (i=7)
            {
                if (d=0)
                {
                    fprintf (ptabla, "%t%4.2f", (fVoltage[i]/(0.000305176))-129+a);
                    sprintf(szBuffer, "data[%d] = %10.0f", i, (fVoltage[i]/(0.000305176))-129+a);
                    TextOut(hdc, 200, 20*i, szBuffer, 20);
                }
            }
            if (i=9)

```

```

    if (d=1)
    { fprintf (ptabla, "\t%4.2f", (fVoltage[i]/(0.000305176))-8+a);
      sprintf(szBuffer, "data[%d] = %10.0f", i, (fVoltage[i]/(0.000305176))-8+a);
      TextOut(hdc, 200, 20*i, szBuffer, 20);
    }
    if (i!=11)
    { fprintf (ptabla, "\t%4.2f \n", (fVoltage[i]/(0.000305176))/0.01);
      sprintf(szBuffer, "data[%d] = %10.0f", i, (fVoltage[i]/(0.000305176))/0.01);
      TextOut(hdc, 200, 20*i, szBuffer, 20);
      a= fVoltage[i]/0.01;
      d=1;
    }
  }
}
ReleaseDC(hWnd, hdc);
return 0;
case WM_DESTROY:
if (bRun == TRUE)
{ KillTimer(hWnd, 1);
  DRV_DeviceClose((LONG far *)&DriverHandle);
}
PostQuitMessage(0);
break;
default:
return (DefWindowProc(hWnd, message, wParam, lParam));
}
return ((LONG)NULL);
}

PRIVATE void AllWindows(HWND hDlg)
{ EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_STARTCHAN), FALSE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_STOPCHAN), FALSE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_CURRENTCHAN), FALSE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_INPRANGE), FALSE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_EXPCHAN), FALSE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_BOARDID), FALSE);
}

PRIVATE void SetChannel(HWND hDlg)
{ // this subroutine use variable usMaxChannel, usStartChan, usStopChan
  USHORT i;
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_STARTCHAN), TRUE);
  EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_STOPCHAN), TRUE);
  SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STARTCHAN, CB_RESETCONTENT, 0, 0L);
  SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN, CB_RESETCONTENT, 0, 0L);
  // setting dialog box for start channel setting
  for (i=0; i< usMaxChannel; ++i)
  { wsprintf(szBuf, "%d", i);
    if (i == DevCfg.usCjcChannel) // CJC channel
    { lstrcat(szBuf, " (CJC Channel)");
    }
    else if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID!=0L) // exp. board exist
    { lstrcat(szBuf, " (");
      DRV_BoardTypeMapBoardName(DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID,

```

```

        (LPSTR)szExpName);
    lstrcat(szBuf, szExpName);
    lstrcat(szBuf, "");
}
SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STARTCHAN, CB_ADDSTRING, (WPARAM) -1,
    (LPARAM) (LPSTR) szBuf);
} // setting dialog box for end channel setting
for (i=0; i< usMaxChannel; i++)
{
    wsprintf(szBuf, "%d", i);
    if (i == DevCfg.usCjcChannel) // CJC channel
    { lstrcat(szBuf, " (CJC Channel)");
    }
    else if (DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID!=0L) // exp. board exist
    { lstrcat(szBuf, " ("");
        DRV_BoardTypeMapBoardName(DevCfg.Daughter[i&0xf].dwBoardID,
            (LPSTR) szExpName);
        lstrcat(szBuf, szExpName);
        lstrcat(szBuf, "");
    }
    SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN, CB_ADDSTRING, (WPARAM) -1,
        (LPARAM) (LPSTR) szBuf);
} // set usStartChan & usStopChan
if (usStopChan < usStartChan)
    usStopChan = usStartChan;
SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STARTCHAN, CB_SETCURSEL, usStartChan, 0L);
SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_STOPCHAN, CB_SETCURSEL, usStopChan, 0L);
}

```

```

PRIVATE void SetCurrentChan(HWND hDlg, BOOL bflag)
{
    USHORT i;
    if (bflag == TRUE) // Enable current chan setting for Varied
    {
        EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_CURRENTCHAN), TRUE);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_CURRENTCHAN, CB_RESETCONTENT,
            0, (LPARAM) ((LPSTR) 0));
        for (i = usStartChan; i <= usStopChan; i++)
        {
            wsprintf(szBuf, "%d", i);
            SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_CURRENTCHAN, CB_ADDSTRING, 0,
                (LPARAM) (LPSTR) szBuf);
        }
        wsprintf(szBuf, "%d", usCurrentChan);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_CURRENTCHAN,
            CB_SELECTSTRING, (WPARAM) (-1), (LPARAM) ((LPSTR) szBuf));
    }
    else
    { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_CURRENTCHAN), FALSE);
    }
}

```

```

PRIVATE void SetGain(HWND hDlg, BOOL bflag)
{
    USHORT i;
    if (bflag == TRUE) // Enable gain setting
    {
        EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_INPRANGE), TRUE);
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_INPRANGE, CB_RESETCONTENT,
            0, (LPARAM) ((LPSTR) 0));
        for (i = 0; i < DevFeatures.usNumGain; i++)

```

```

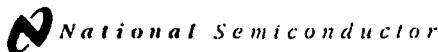
        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_INPRANGE, CB_ADDSTRING, 0,
        (LPARAM)((LPSTR)(DevFeatures.gfGainList[i].szGainStr)));

        SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_INPRANGE,
        CB_SELECTSTRING, (WPARAM)(-1),
        (LPARAM)((LPSTR)(DevFeatures.gfGainList[usGainIndex[usCurrentChan]].szGainStr)));
    }
    else
    { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_INPRANGE), FALSE);
    }
}

PRIVATE void SetExpChan(HWND hDlg, BOOL bflag)
{ USHORT i;
  if (bflag == TRUE) // Enable expansion channel
  { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_EXPCHAN), TRUE);
    SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_EXPCHAN, CB_RESETCONTENT,
    0, (LPARAM)((LPSTR)0));
    for (i=0; i<DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].usNum; ++i)
    { wsprintf(szBuf, "%d", i);
      SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_EXPCHAN, CB_ADDSTRING, (WPARAM)-1,
      (LPARAM)(LPSTR)szBuf);
    }
  }
  else
  { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_EXPCHAN), FALSE);
  }
}

PRIVATE void SetBoardID(HWND hDlg, BOOL bflag)
{ USHORT i;
  if (bflag == TRUE) // Enable PCLD-788 board ID setting
  { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_BOARDID), TRUE);
    SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_BOARDID, CB_RESETCONTENT, 0, 0L);
    for (i=0; i<DevCfg.Daughter[usCurrentChan&0xf].usCards; ++i)
    { wsprintf(szBuf, "%d", i);
      SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_BOARDID, CB_ADDSTRING, (WPARAM)-1,
      (LPARAM)(LPSTR)szBuf);
    }
    SendDlgItemMessage(hDlg, IDC_BOARDID, CB_SETCURSEL,
    usBoardID[usCurrentChan], 0L);
  }
  else
  { EnableWindow(GetDlgItem(hDlg, IDC_BOARDID), FALSE);
  }
}
}

```



December 1985

TL081 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The TL081 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The TL081 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

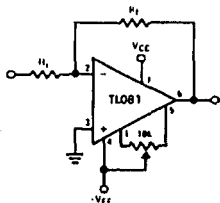
The TL081 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements

are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply current is important, however, the TL081C is the better choice.

Features

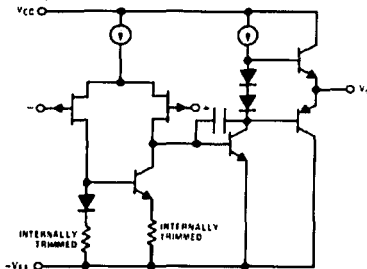
- Internally trimmed offset voltage 15 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10¹²Ω
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ VP-p, $BW = 20$ Hz–20 kHz <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



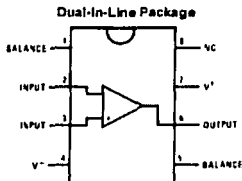
TL/H/8358-1

Simplified Schematic



TL/H/8358-2

Connection Diagram



Order Number TL081CP
See NS Package Number N08E

TL/H/8358-4

TL081 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	± 18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to + 70°C
T _J (MAX)	115°C
Differential Input Voltage	± 30V

Input Voltage Range (Note 2)	± 15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	- 65°C to + 150°C
Lead Temp. (Soldering: 10 seconds)	260°C
ESD rating to be determined.	120°C/W

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	TL081C			Units
			Min	Typ	Max	
V _{OS}	Input Offset Voltage	R _S = 10 k Ω , T _A = 25°C Over Temperature		5	15 20	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	R _S = 10 k Ω		10		$\mu V/^{\circ}C$
I _{OS}	Input Offset Current	T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J = 70°C		25	100 4	pA nA
I _B	Input Bias Current	T _J = 25°C, (Notes 3, 4) T _J = 70°C		50	200 8	pA nA
R _{IN2}	Input Resistance	T _J = 25°C		10 ¹²		Ω
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S = ± 15V, T _A = 25°C V _O = ± 10V, R _L = 2 k Ω Over Temperature	25	100		V/mV V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S = ± 15V, R _L = 10 k Ω	± 12	± 13.5		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S = ± 15V	± 11	± 15 - 12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R _S = 10 k Ω	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I _S	Supply Current			1.8	2.8	mA

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	TL081C			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	V _S = ± 15V, T _A = 25°C		13		V/ μs
GBW	Gain Bandwidth Product	V _S = ± 15V, T _A = 25°C		4		MHz
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	T _A = 25°C, R _S = 100 Ω , f = 1000 Hz		25		nV/ $\sqrt{Hz}$
i _n	Equivalent Input Noise Current	T _J = 25°C, f = 1000 Hz		0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on a thermal resistance of 12°C/W (junction to ambient for H package).

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for V_S = ± 15V and 0°C < T_A < 70°C. V_{OS}, I_{OS} and I_B are measured at V_{CM} = 0.

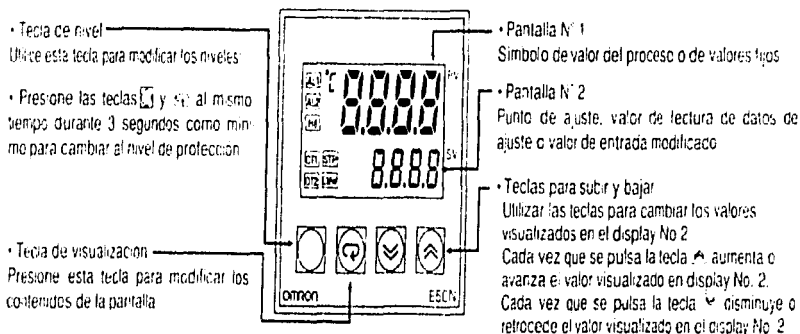
Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation. P_D, T_J = T_A + θ_{JA} P_D where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice from V_S = ± 5V to ± 15V.

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

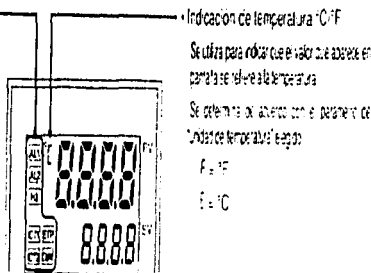
CONTROLADOR DE TEMPERATURA.

Nombres de los componentes del panel frontal

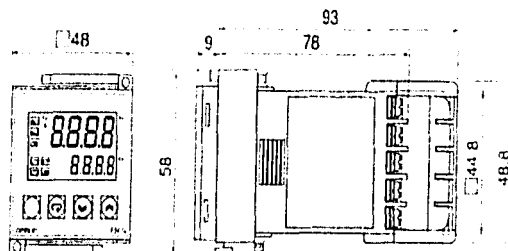


Indicadores de operación

- AL 1 alarma 1
Se ilumina mientras la alarma 1 está en operación
- AL 2 alarma 2
Se ilumina mientras la alarma 2 está en operación
- HB quemadura de calefactores
Se ilumina para indicar que se ha producido la quemadura del calefactor
- OT*
Se ilumina cuando el proceso está activado. Se apaga cuando el proceso está desactivado. Los LEDs [] y [] indican el estado
- OT2
Se ilumina cuando el control de proceso 2 está activo. Se apaga cuando el control de proceso 2 está desactivado
- STP
Se ilumina cuando la operación se ha detenido
Se ilumina durante las operaciones de control para indicar que la entrada de evento o la acción de detención ha configurado para detener. Se mantendrá encendido en todos los casos
- CANV* control de "escritura" por comunicaciones
Se ilumina cuando se activa la función de "escritura" y se desactiva cuando se desactiva esta función

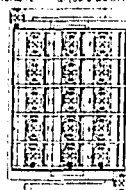


Dimensiones (mm)



En el envase

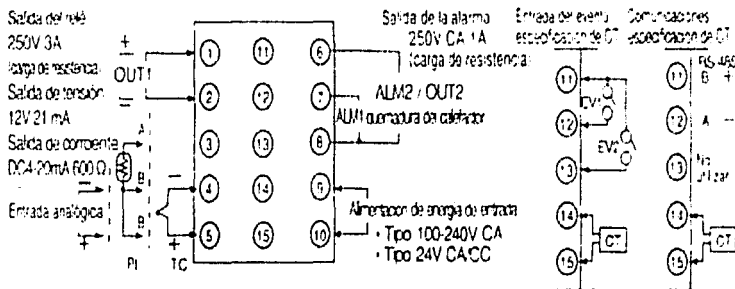
- Unidad principal
- Envase impermeable
- Adaptador
- Manual de instrucciones
- Cubierta terminal (tipo ESCN - C 50)



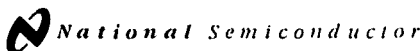
Tamaño del terminal sin soldadura: M 3.5
Cubierta del terminal: ESS-COV10

* Para efectuar el mantenimiento, es posible extraer la unidad principal sin desconectar los cables terminales.

Conexiones



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 1^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 μA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range ($\sim 10^\circ\text{C}$ with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^\circ\text{C}$ (Celsius (Centigrade))
- Linear $+10.0\text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\text{ }\mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\text{ }\Omega$ for 1 mA load

Typical Applications

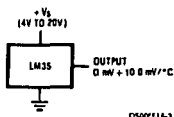
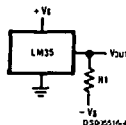


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

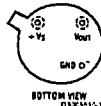


Choose $R_1 = -V_{out}/60\text{ }\mu\text{A}$
 $V_{out} = +1.500\text{ mV at } +150^\circ\text{C}$
 $= +250\text{ mV at } +25^\circ\text{C}$
 $= -350\text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

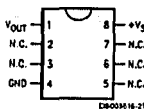
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60 °C to +180 °C
TO-92 Package,	-60 °C to +150 °C
SO-8 Package,	-65 °C to +150 °C
TO-220 Package,	-65 °C to +150 °C

Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300 °C

TO-92 and TO-220 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	260 °C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215 °C
Infrared (15 seconds)	220 °C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}	
LM35, LM35A	-55 °C to +150 °C
LM35C, LM35CA	-40 °C to +110 °C
LM35D	0 °C to +100 °C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25 °C$	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	$T_A = -10 °C$	±0.3			±0.3			°C
	$T_A = T_{MAX}$	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0	±1.0	°C
	$T_A = T_{MIN}$	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	+10.0	+9.0, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 < I_L < 1$ mA	$T_A = +25 °C$	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25 °C$	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	$4V_{IN} < V_{IN} < 30V$	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_{IN} = +5V, +25 °C$	56	67		56	67		µA
	$V_{IN} = +5V$	105		131	91		114	µA
	$V_{IN} = +30V, +25 °C$	56.2	68		56.2	68		µA
	$V_{IN} = +30V$	105.5		133	91.5		116	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V_{IN} < V_{IN} < 30V, +25 °C$	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	$4V_{IN} < V_{IN} < 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_A = T_{MAX}$ for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C