

01129
54



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

"SENSOR DE SOL PARA DETECCIÓN DE ORIENTACIÓN DE UN SATÉLITE."

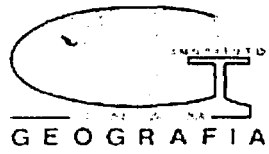
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:

DANIEL RUIZ ZAVALA

DIRECTOR DE TESIS:

M. en I. JORGE PRADO MOLINA



MÉXICO, D.F., ENERO DE 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIAS

A Dios, que me permitió concluir mis estudios y alcanzar la titulación

A mis adorados Padres Roberto y Teresita, por haberme apoyado incondicionalmente durante toda mi preparación académica y la elaboración de esta tesis, haciendo posible la culminación de mi carrera.

A mis hermanos Beto, Chelin, Ali, Lúlus, Moni y Anita a quien tanto quiero, por que me apoyaron siempre y en todo momento; por que nunca me dejaron solo.

A mi Abuelí por que siempre me animó a seguir adelante.

A Marce Mesinas por el gran apoyo y los consejos, que día a día me da, para seguir adelante. Por estar junto a mi brindándome su amor y alegrando mi existencia. Por motivarme y permitirme ver la vida de una forma tan hermosa.

A Mrs. Laura, Tere, Yame, Devi y el buen Agus, quienes han convivido conmigo y me han ayudado siempre.

Y a mis inigualables amigos que siempre han estado conmigo: Marce, Nadia, Angélica, Yezmín, Cris, Fabysc, Alma, Luisillo, Rafa y Noelas.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio la oportunidad de llegar a ser un profesionista de la Facultad de Ingeniería.

Al Instituto de Geografía que me abrió las puertas con este proyecto.

A Jorge Prado por el apoyo que me dio durante el tiempo que realicé esta tesis, por los consejos que recibí de él, pero sobre todo por su amistad, confianza y buen humor que hicieron más amena mi estancia en el instituto.

Al Ing. Salvador Zamora Alarcón por sus consejos y la ayuda que me prestó para la programación del microcontrolador

Al Ing. Antonio Arredondo por brindarme los conocimientos necesarios y la paquetería para hacer uso de las rutinas de punto flotante.

Al Ing. Antonio Salvá Calleja por su contribución y apoyo en el manejo de su tarjeta del microcontrolador MCHC11F1, FÁCIL_11 y FÁCIL_11B, así como del software PUMA_11.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
RECONOCIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iii
RESUMEN	v

	<i>Página</i>
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Satélites de órbita baja.	1
1.1.1. Satélites meteorológicos y de percepción remota (PR).	1
1.1.2. Satélites experimentales.	2
1.2. Sensores de orientación.	2
1.2.1. Sensores de Tierra.	2
1.2.2. Sensores de Sol.	3
1.2.3. Magnetómetros.	3
1.3. Sensores de Sol.	4
1.3.1. Diferentes tipos de sensores solares.	4
1.3.1.1. Sensores analógicos.	4
1.3.1.2. Sensores digitales.	8
1.4. El medio ambiente espacial.	9
1.4.1. Compensación contra variaciones ambientales.	9
2. SENSOR SOLAR EN DOS EJES.	10
2.1. Sensor solar con celdas en arreglo cruzado.	10
2.1.1. Características principales del sensor solar	11
2.2. Curvas de respuesta.	12
2.2.1. A diferentes alturas de la máscara.	12
2.2.2. A diferentes coberturas.	13
2.2.3. Variando la intensidad de la fuente luminosa.	14
2.2.4. Variando la temperatura de las fotoceldas.	14
2.3. Diseño mecánico del sensor.	16
2.3.1. Determinación de las dimensiones definitivas.	16
2.3.2. Maquinado.	17
2.4. Fotoceldas utilizadas.	18
2.5. Montaje de las celdas solares.	19
2.6. Circuitos de amplificación y acondicionamiento.	20
2.7. Diseño del circuito impreso.	21
2.8. Localización de los sensores de Sol en el satélite.	22

3. FILTRADO DIGITAL.	24	
3.1. Filtrado, estimación y ajuste a una curva de primer grado.	24	
3.1.1. Diseño de un filtro.	25	
3.2. Ajuste a una curva de primer orden.	26	
3.2.1. Mínimos cuadrados.	26	
3.2.2. Proceso de ajuste a una curva de primer grado.	27	
3.3. Microcontrolador.	30	
3.3.1. Criterios de selección.	30	
3.3.2. Características del microcontrolador MC68HC11F1	31	
3.3.3. Modos de operación.	32	
3.3.4. Modo expandido.	33	
3.4. Programación del microcontrolador.	34	
3.4.1. Operación en punto flotante.	34	
3.5. Algoritmo de filtrado y compensación	35	
4. CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE SOL.	36	
4.1. Necesidades de calibración y compensación durante la misión.	36	
4.2. Calibración del sensor solar.	37	
4.2.1. Compensación por la degradación de las celdas solares	37	
4.2.2. Compensación contra variaciones de intensidad solar.	38	
4.2.3. Compensación contra temperatura.	41	
4.3. Algoritmos para compensar las variaciones en la respuesta del sensor.	41	
4.3.1. En la computadora de a bordo.	42	
4.3.2. Con un microcontrolador (sistema autónomo).	44	
4.4. Calificación para vuelo orbital.	45	
4.4.1. Órbita propuesta de operación.	46	
4.4.2. Pruebas de calificación para vuelo orbital.	46	
5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES		
5.1. Funcionamiento del algoritmo de filtrado.	47	
5.2. Pruebas finales de funcionamiento en Tierra.	48	
5.3. Conclusiones y recomendaciones.	50	
APÉNDICE A	SUBROUTINAS DE PUNTO FLOTANTE.	51
APÉNDICE B	FUNCIONAMIENTO AUTÓNOMO DEL MICROCONTROLADOR EN MODO EXPANDIDO.	52
APÉNDICE C	PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO DE COMPENSACIÓN PARA EL SENSOR DE SOL	53
APÉNDICE D	DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL CIRCUITO IMPRESO.	68
APÉNDICE E	VALORES DE LAS RESISTENCIAS DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO.	71
REFERENCIAS		72

RESUMEN

SENSOR DE SOL PARA DETECCIÓN DE ORIENTACIÓN DE UN SATÉLITE.

Se presenta el diseño, la construcción y las pruebas de funcionamiento realizadas a un sensor de Sol, que será utilizado para detectar la orientación de un satélite pequeño, de tipo experimental, que estará localizado en órbita baja.

Bajo la coordinación del IPN, se lleva a cabo la construcción del satélite. Al Laboratorio de Percepción Remota y Tecnología Alternativa, del Instituto de Geografía de la UNAM, se le ha encargado el diseño y la construcción de cuatro sensores de Sol, como el aquí propuesto.

El diseño de este dispositivo está basado en cuatro fotoceldas en un arreglo en cruz, lo que permite obtener información en dos ejes independientes. Las salidas analógicas de cada par de celdas son acondicionadas y restadas entre sí, para determinar la desviación de cada eje, con respecto a los ejes coordenados del satélite, filtradas digitalmente para eliminar el ruido y procesadas mediante un algoritmo específicamente diseñado, para contrarrestar la variabilidad en la respuesta de las celdas a lo largo del tiempo y así mantener su precisión nominal de operación.

La calibración inicial debe mantenerse durante el tiempo que dure la misión; con base en la órbita donde trabajará el sensor, atendiendo principalmente a las variaciones de temperatura, la potencia luminica por unidad de área y la radiación ionizante presente. Para ello fue necesario diseñar y construir un sistema, empleando materiales y componentes calificados para vuelo espacial, que nos permitiera alcanzar el siguiente objetivo:

- Diseñar, construir y calibrar un sensor de Sol para determinar la orientación de un satélite.

En este satélite se encuentra, entre otros experimentos, una carga útil de percepción remota, por lo que existe la necesidad de determinar la orientación y mantener apuntado continuamente una de las caras del satélite hacia la Tierra, para su correcto funcionamiento. Una de las formas más directas de medir la orientación de un satélite, con respecto a su propio marco de coordenadas, es utilizando sensores de Sol, de Tierra y un magnetómetro. La información de estos sensores será alimentada a un sistema de ecuaciones de Euler para cuerpo rígido y a una matriz de rotación, para obtener la orientación del satélite con respecto a un juego de ejes fijos al centro de la Tierra.

Se desarrolló la programación, la circuitería y se llevaron a cabo diferentes pruebas de funcionamiento con este sistema, por lo que podemos resumir que los alcances logrados, y que se enlistan a continuación, resultaron satisfactorios:

- La revisión de un diseño previo de sensor de Sol.

- La obtención de las curvas de respuesta cobertura vs. resolución, para determinar el máximo campo de vista, con una resolución de por lo menos ± 0.15 grados, manteniendo una respuesta lineal.
- La determinación de las dimensiones y circuitos de acondicionamiento definitivos del sensor.
- El maquinado y montaje de las fotoceldas en el sensor.
- El desarrollo e implementación, en un microcontrolador y en la computadora de a bordo del satélite, de los algoritmos de filtrado digital y de compensación contra variaciones en la respuesta de las celdas a lo largo del tiempo.
- El diseño de circuitos impresos.
- La calibración definitiva y pruebas de funcionamiento en Tierra.

INTRODUCCIÓN

Indudablemente los satélites pequeños constituyen una herramienta muy interesante, no sólo para proporcionar servicios de comunicaciones y percepción remota, sino también para llevar a cabo investigaciones científicas en el espacio. No obstante, presentan limitaciones de tamaño, peso, energía disponible y severas restricciones en el diseño de algunos de sus subsistemas.

1.1. Satélites de órbita baja.

La mayoría de los satélites pequeños, se encuentran localizados en órbita baja. Ésta va aproximadamente de 640 [km] a 1,600 [km], ubicándose entre la región de densidad atmosférica constante y los cinturones de Van Allen. Algunos sistemas de comunicaciones móviles hacen uso de satélites pequeños, en órbita baja [1].

Desde la década de los 80's, los satélites pequeños han sido utilizados para diferentes misiones en el espacio, su intervalo de precisión ha tenido una amplia variedad, desde un burdo apuntamiento, hasta décimas de grado. Los sistemas de control basados en diferentes configuraciones, tales como: ruedas inerciales o volantes de reacción, bobinas magnéticas y gradiente gravitacional, empiezan a ser ampliamente utilizados en satélites pequeños, debido a que proveen alta fiabilidad, duración y capacidad para proveer alta precisión en el control de la orientación.

1.1.1. Satélites meteorológicos y de percepción remota (PR).

Los satélites se han vuelto indispensables para el hombre, además, de las muchas aplicaciones en telecomunicaciones, se utilizan en un área no menos interesante: en la percepción remota; que nos permite obtener imágenes del planeta para que a través de ellas se obtenga información estadística de los recursos naturales o llevar un registro de la evolución de las concentraciones urbanas en algún territorio, sólo por citar algunos ejemplos. Con las imágenes procesadas y manejadas por sistemas de información geográfica, se tiene acceso a bases de datos históricas pero, sobre todo actualizadas, que permiten a quienes toman las decisiones, poder llevar a cabo su trabajo de una manera objetiva. Los satélites de percepción remota tienen como función principal la de obtener imágenes de la superficie terrestre y enviarlas a una estación para su recepción, corrección geométrica y distribución. A pesar de que la adquisición de imágenes puede realizarse por medio de fotografía o video con barridos desde naves aéreas, esta tarea

resultaría laboriosa y tardada cuando se trata de realizar estudios en áreas muy extensas, por lo que no es práctico llevarla a cabo con estas técnicas.

1.1.2. Satélites experimentales.

Existe una clase de satélites pequeños que están siendo desarrollados principalmente por algunas universidades y centros de investigación en varios países: los microsátélites, que tienen como principales características su bajo peso, bajo costo de construcción y de lanzamiento, además son generalmente de tipo experimental.

Los satélites pequeños constituyen una oportunidad de desarrollo de equipo espacial a bajo costo, y presentan una serie de ventajas muy interesantes, ya que es posible llevar a cabo en ellos experimentos no sólo en el campo de las comunicaciones, que es donde se encuentran algunas de sus aplicaciones principales, sino también en otras áreas del conocimiento como son la astronomía, la física, la percepción remota, entre otras.

La puesta en órbita de un equipo espacial, constituye en sí misma una oportunidad muy importante para la realización de experimentos. La diversidad y complejidad de éstos se ve reducida al no contar con un sistema que permita mantener la orientación de la nave de manera continua hacia la Tierra, algún otro planeta o astro del sistema solar o hacia el espacio. La inclusión de un sistema de orientación, fijo al cuerpo del satélite, como parte integral del mismo, permite ampliar de manera significativa la cantidad de experimentos que es posible llevar a cabo en órbita terrestre a bordo de estas naves, ya que mediante el empleo de coordenadas relativas, se podrá conocer la posición exacta de la nave durante su vida útil.

1.2. Sensores de orientación.

Los sensores, se valen de las propiedades físicas y de la naturaleza de las señales que llegan hasta ellos, para proporcionar una medida de algún fenómeno que nos interese medir. Así, los elementos transductores que son utilizados para convertir estas señales dependen de, por ejemplo, la incidencia de la luz del Sol, de la radiación infrarroja térmica de la Tierra, de los vectores del campo magnético terrestre, o del efecto inercial de cuerpos giratorios, etc.

Dicha información es recibida y clasificada dada su importancia en ese momento, así, la información del sensor de Sol no es importante cuando el satélite se encuentra en la etapa de eclipse, por lo tanto, se hace uso de otros recursos o métodos de sensado de la orientación. Existe una gran variedad de sensores que le permiten al satélite conocer con cierta exactitud su orientación.

1.2.1. Sensores de Tierra.

Con estos dispositivos se detectan los ángulos de alabeo (X) y de cabeceo (Y). Su principio de funcionamiento está basado en el aprovechamiento de la emisión térmica de la Tierra, o mejor aún, se hace uso de la capa de CO₂ de la atmósfera ($\lambda=14-16$ [μm]) [2], lo que permite tener una mejor resolución al medir en una zona más pequeña. Dada la cercanía de la Tierra, se obtiene una gran amplitud de campo de visión al rastrear los

horizontes a 120° aproximadamente (dependiendo de la altura de la órbita). Se necesitan detectar los horizontes sobre los ejes del satélite para conocer la desviación, es por ello que se requiere una gran visión angular. Existe la modalidad de colocar dos sensores giratorios o rotativos montados sobre el eje de cabeceo de la nave, cada uno de ellos proporcionará un pulso al venir barriendo el espacio frío y encontrarse con la emisión infrarroja de la Tierra. Al analizar la ocurrencia de los pulsos y compararlos con la base tiempo del satélite, es posible determinar la desviación. Estos sensores presentan la desventaja de contar con partes mecánicas móviles. Por otra parte, es posible utilizar un arreglo de sensores estáticos que tenga la suficiente cobertura del planeta, aunque en este caso el número de componentes se incrementa, y es necesario construir la óptica adecuada para captar la proyección de la radiación infrarroja terrestre sobre los sensores.

1.2.2. Sensores de Sol.

Una forma de determinar la orientación de una nave espacial, es medir el ángulo que forma su sistema de ejes propio, con respecto a una referencia conocida; como puede ser la posición del Sol. Por tanto, si se quiere contar con el Sol como referencia de orientación se requiere un dispositivo capaz de indicar la dirección en la que éste se encuentra.

El sensor solar puede tener distintas configuraciones [3]. En todas sus formas se detecta la desviación, en grados. Algunos son de tipo analógico y otros de tipo digital, sin embargo, casi todos proporcionan la orientación de dos ejes independientes. El intervalo de operación está definido por el campo de visión (la porción visible detectable por el sensor, medible en grados). En la sección 1.3.1. se proporciona información más detallada de los tipos de sensores solares. La selección de éste dispositivo debe basarse en el análisis de sus características, ventajas y desventajas.

1.2.3. Magnetómetros.

Dado que en la Tierra se genera un campo magnético y que se han desarrollado algunos modelos matemáticos que describen su comportamiento, ha sido posible determinar sus valores de intensidad y de dirección, tanto en su superficie como a diferentes alturas. A través de mediciones directas es posible detectar, en forma burda, la orientación en los tres ejes ortogonales de referencia del satélite. La medición del campo magnético llevada a cabo por el magnetómetro en una órbita dada, se compara con el modelo geomagnético y se determina de esta manera la desviación. Puesto que la variación en forma e intensidad del campo de la Tierra se presenta por diversas causas; la principal es el viento solar, sólo se puede hacer una estimación aproximada de la orientación del satélite, esto significa que la precisión del dispositivo no resulta tan eficaz: de aproximadamente ± 2.3 grados.

Para el uso del magnetómetro es necesario conocer un modelo del campo magnético, para así poder dar una interpretación a sus lecturas. Los parámetros a considerar para tal labor es la trayectoria de la órbita, horario de la lectura y modelo estimado del campo para tal punto. Aunque hay muchas posibilidades de encontrar lecturas similares en tres ejes en algunos otros puntos de la trayectoria orbital, éstos se descartan por las efemérides del satélite, y de esta manera la orientación es determinada sin mayores dificultades.

Éstos son los sensores más utilizados para la detección con respecto a un sistema inercial de referencia montado en el cuerpo de la nave. Para los fines de esta tesis, se desarrollaron los sensores de Sol.

1.3. Sensores de Sol.

Es uno de los sensores más utilizados debido a la precisión y utilidad de sus lecturas en la detección de orientación del satélite. Dado que existen muchos tipos de sensores de Sol, se debe elegir el método más conveniente para su empleo en el proyecto. Para este trabajo se llevó a cabo una búsqueda acerca de los diferentes tipos de sensores solares [2,3] y se seleccionó un diseño que cumple con las características de precisión y cobertura necesarias. Se realizaron algunas modificaciones, la principal fue el permitir variar el ángulo de cobertura o campo de vista, para obtener una mayor flexibilidad operativa durante el desarrollo de las diferentes opciones o esquemas de orientación que pretenden cubrirse en el proyecto. Se desarrollaron varios prototipos, de los cuales se describen sus principales características, tanto de diseño como de funcionamiento. En las siguientes secciones se explican aquellos parámetros que deben considerarse para elegir un dispositivo de detección de orientación solar.

1.3.1. Diferentes tipos de sensores solares.

Existen varias formas de detección de la desviación con respecto al vector solar. Nos encontramos con sensores de Sol analógicos y digitales, en forma general. A continuación se explican las consideraciones básicas para tratar con ambos tipos de sensores.

1.3.1.1. Sensores analógicos

Las celdas fotovoltaicas constituyen un tipo de sensor muy interesante, debido a sus características de linealidad. Si una cantidad de radiación constante (luz) incide en su superficie, la respuesta del detector dependerá del ángulo de incidencia; ésta disminuye a medida que se incrementa el ángulo. De forma más precisa, la respuesta varía su amplitud con el coseno del ángulo como se ilustra en la figura 1.1

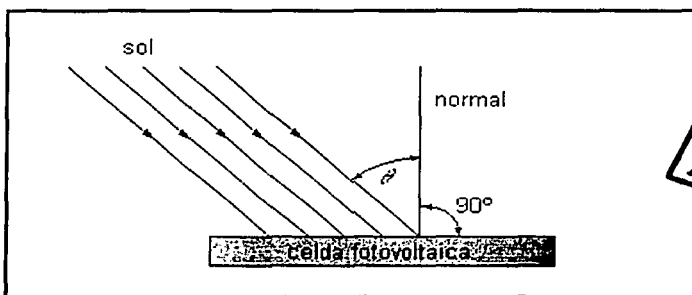


Figura 1.1. Ángulo de incidencia de rayos solares en una celda fotovoltaica.

Puesto que la corriente de salida de la celda fotovoltaica está en función de la energía recibida, en forma de radiación electromagnética, por unidad de área; la corriente de salida del detector es igual a la corriente máxima por el coseno del ángulo de incidencia [4], esto es:

$$I_s = I_{m\acute{a}x} \cos \theta$$

Los métodos para la detección de la desviación del vector solar están dados por diferentes categorías. Éstos se diferencian por la forma de arreglar los sensores, los hay con detectores internos o externos. Los primeros son los más utilizados por que los elementos detectores se encuentran protegidos contra la radiación directa.

Para tener una mejor idea del funcionamiento de los sensores de Sol externos, analicemos la figura 1.2.

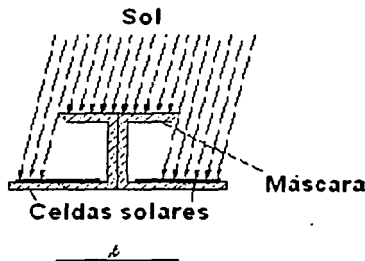
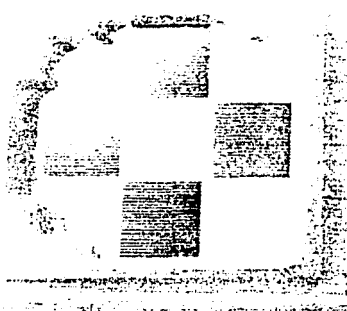


Figura 1.2. Esquema de un sensor de Sol con detectores externos.

Podemos observar que es utilizada una máscara superior que intercepta los rayos solares en una longitud "l" igual a la distancia media entre las superficies de las celdas solares. Esto es válido para un eje, pero es posible ampliarlo para dos si se colocan cuatro celdas como por ejemplo, en el arreglo que se muestra en la figura 1.3.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 1.3. Arreglo de cuatro celdas para lograr la detección en dos ejes.

También existe otra forma de arreglar las fotoceldas en forma interna. Se pueden colocar, en forma de cruz o en un arreglo cuadrado. En las figuras 1.4 y 1.5 se muestran estos dos tipos de arreglos.

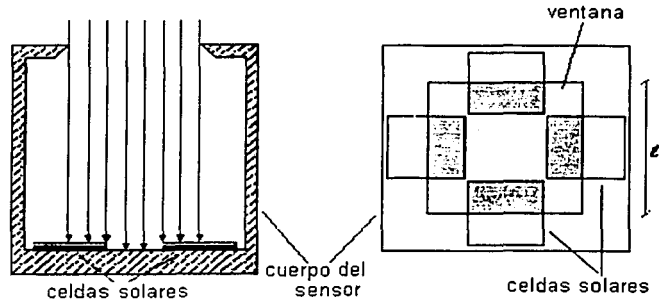


Figura 1.4. Esquema de un sensor de Sol de tipo interno en arreglo cruzado.

Se puede apreciar que existe en la parte superior una ventana cuadrada de longitud " l " utilizada como máscara, ésta permite que la iluminación en las dos celdas de cada eje, sea la misma cuando el Sol se encuentra perpendicular a las mismas. La electrónica utilizada, está calibrada para que en esta condición, la salida de voltaje tenga un valor intermedio, y a medida que el ángulo se incrementa o disminuye, el voltaje varía proporcionalmente al ángulo de desviación y de manera lineal.

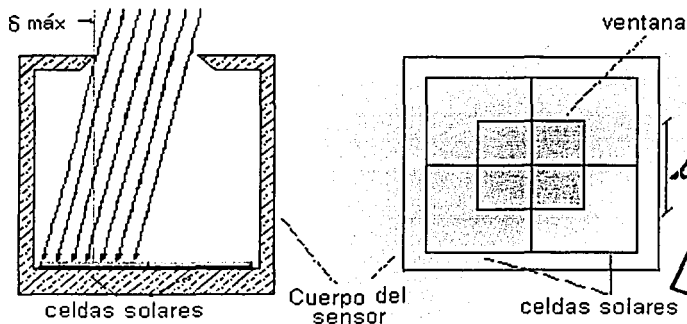


Figura 1.5. Esquema de un sensor de Sol de tipo interno en arreglo cuadrado.

Para lograr una resolución muy fina (menor a 0.1 grados), la configuración más adecuada es la que se logra al proyectar, por métodos ópticos, un pequeño disco solar sobre una superficie prismática como se muestra en la figura 1.6.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

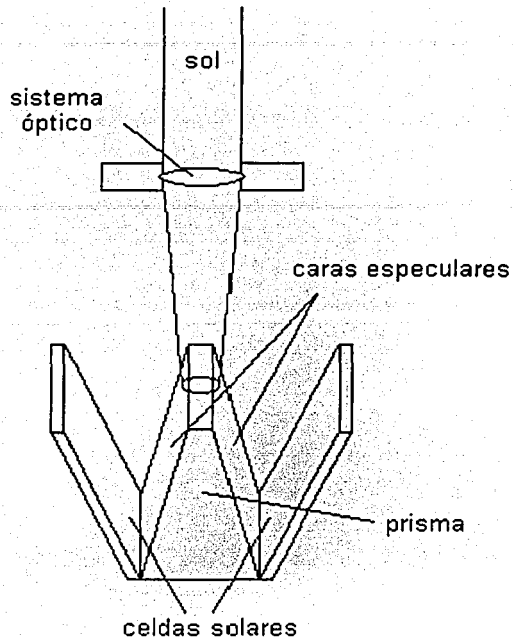


Figura 1.6. Esquema de un sensor fino de Sol de campo visual reducido.

Una ligera desviación en el apuntamiento provoca que el pequeño disco proyectado, tienda a iluminar más uno de los dos espejos del prisma, por lo que la señal en la celda solar correspondiente es incrementada con relación a la otra. Estando el disco centrado en el vértice de los espejos, sólo una pequeña porción es reflejada por ambos espejos a sus respectivas celdas solares, provocando una señal idéntica en ambas, y por tanto, la anulación de las mismas por la electrónica, indicando un ángulo de apuntamiento cero. La desventaja principal de este método de detección es el limitado campo de visión del dispositivo, pero tiene la ventaja de proporcionar una alta resolución.

También es posible detectar la desviación con respecto al vector solar con un esquema similar al utilizado con celdas solares en un arreglo cuadrado, pero reemplazándolas por conjuntos de diodos en una distribución también cuadrada. Para este caso es utilizado un sistema óptico para enfocar el disco solar sobre la unión central de los fotodiodos. Esto posibilita que las cuatro secciones de detectores "vean" parte del disco solar. Se utiliza electrónica similar para proveer dos señales de voltaje proporcionales a los ángulos de desviación en los ejes de rotación y cabeceo. El arreglo de los fotodiodos y la óptica se muestran en la figura 1.7.

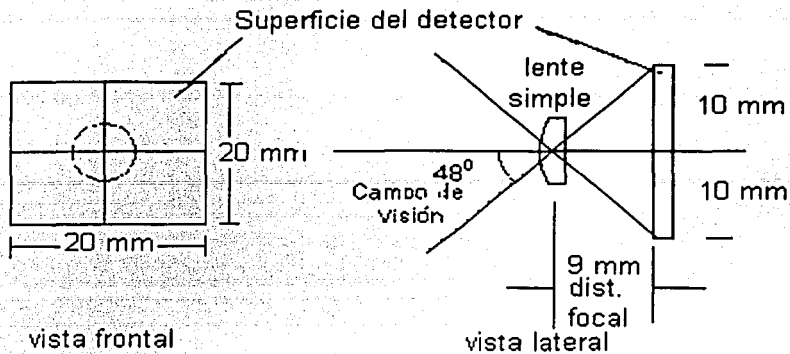


Figura 1.7. Esquema de un sensor de Sol de tipo interno con fotodiodos en arreglo cuadrado y sistema óptico de enfoque.

1.3.1.2. Sensores digitales.

En los sensores digitales se obtiene directamente una lectura en formato binario, esto es, la desviación del vector solar en un eje es detectada por varios sensores dispuestos en forma tal que proporcionan directamente desde el bit más significativo, hasta el menos

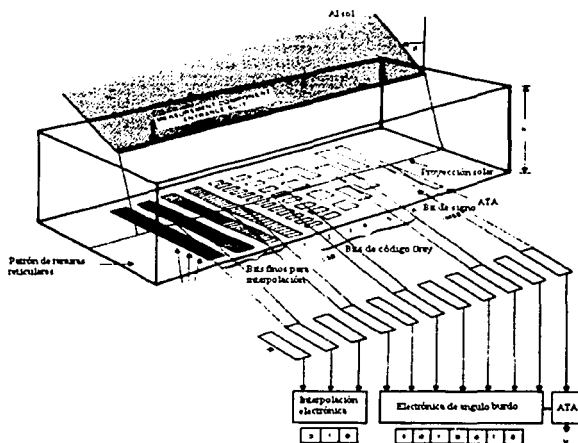


Figura 1.8. Sensor de Sol de tipo digital.

significativo; es decir, contiene máscaras que permiten el paso de la iluminación solar y ésta genera estados altos y bajos en las celdas solares. Este concepto es ilustrado en la figura 1.8.

Puesto que la luz incidente entra por una ranura, ésta debe estar dispuesta a lo largo del eje de referencia del cual se desee conocer la desviación. Por lo tanto, se tiene la desventaja de detectar la desviación del vector solar sólo en uno de los ejes (en este tipo particular de sensor). También se debe tener especial cuidado al construir las máscaras de cada una de las celdas solares y si se requiere conseguir mayor resolución de lectura, ya que el bit menos significativo requerirá mayor número de máscaras (tantas como diferentes combinaciones requiera la lectura). Esto es una desventaja desde el punto de vista de manufactura para resoluciones altas.

1.4. El medio ambiente espacial.

Fuera de la atmósfera terrestre, la cantidad de radiación solar es de una magnitud promedio de $1353 \text{ [W/m}^2\text{]}$ sobre una superficie perpendicular a la propagación. Este valor es conocido como *constante solar*. Debido a la absorción y desviación de energía en la atmósfera, a nivel del mar ésta energía se reduce a $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$. Los factores que influyen en esta reducción de energía son: los gases atmosféricos, el vapor de agua y el polvo, entre otros.

Las condiciones ambientales que imperan en órbita, como son los gradientes de temperatura, así como la radiación ionizante, el alto vacío y el viento solar, son factores de gran importancia en el diseño de los sensores, y deben ser tomados en cuenta durante las pruebas de funcionamiento y la operación.

1.4.1. Compensación contra variaciones ambientales

Las variaciones tan pronunciadas en la temperatura, la iluminación del Sol y la radiación ionizante, hacen necesario realizar una compensación para cada una de estas variables que influyen directamente sobre nuestros sensores solares, tales como: la temperatura, que puede variar de -80 a $+120 \text{ [}^\circ\text{C]}$; la intensidad de los rayos solares y la degradación por radiación, que disminuye la relación de voltaje de entrada contra salida, en función del tiempo que se tenga en órbita. Para realizar este ajuste es necesario desarrollar un algoritmo para compensar los cambios que ocurren en el corto y en el largo plazo. La estrategia utilizada en este proyecto es descrita detalladamente en el capítulo 4.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SENSOR SOLAR EN DOS EJES

El sensor solar que ha sido seleccionado para determinar la orientación de un satélite pequeño, el cual será colocado en órbita baja y es desarrollado bajo la coordinación del Instituto Politécnico Nacional, es aquel compuesto por cuatro fotoceldas en un arreglo en cruz; que nos proporciona dos ángulos de orientación independientes en los ejes de alabeo (X) y cabeceo (Y).

2.1. Sensor solar con celdas en arreglo cruzado.

Nuestras necesidades para la orientación son determinantes para elegir el sensor de Sol que mejor se adapte a las condiciones de operación. Se requiere una cobertura máxima en el campo de visión y una resolución aproximada en la lectura de $\pm 0.1^\circ$. El tipo de sensor que puede proporcionarnos esta resolución, sin grandes problemas, y la cobertura en un amplio campo de visión, es el que cuenta con un arreglo de celdas solares en forma cruzada. Además de permitirnos variar el campo de vista, nos proporciona el ángulo de apuntamiento en dos ejes independientes, lo que es una ventaja en la determinación de la orientación tri-axial del satélite.

La forma del sensor de Sol se muestra en la figura 2.1. El análisis geométrico se muestra a continuación.

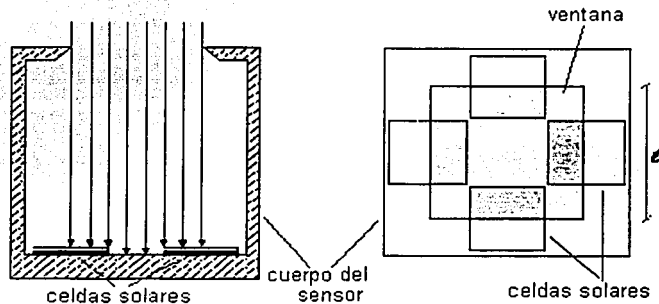


Figura 2.1 Esquema del sensor solar seleccionado (de tipo interno con arreglo cruzado).

La ventana superior es utilizada como máscara que proyecta los rayos solares al arreglo de fotoceldas. Con un apuntamiento centrado hacia el Sol, la luz incidente es repartida de igual

forma en cada una de las celdas. Una desviación en el apuntamiento en cualquiera de los ejes provoca una iluminación desbalanceada en las parejas de detectores, cuantificable por comparación electrónica.

La cobertura o campo de vista, está limitada por un ángulo máximo $\pm \delta_{\text{máx}}$, que está en función de la altura de la máscara y de las dimensiones de las celdas y proporciona la máxima y mínima iluminación en una pareja de fotoceldas. Las dimensiones de las celdas solares están determinadas por el fabricante, sin embargo, podemos tomar el campo de visión $\pm \delta_{\text{máx}}$, como punto de partida para determinar la altura L, con la fórmula 2.1:

$$\delta_{\text{máx}} = \pm \tan^{-1} \left[\frac{l}{L} \right] \quad \text{ecuación 2.1}$$

donde: δ es el ángulo máximo de cobertura.
 l es la dimensión de la celda solar.
 L es la altura, de las fotoceldas a la máscara.

La lectura a la salida del sensor de Sol, está en función de sus parámetros físicos y las ganancias en los amplificadores y comparadores de señal. Si consideramos que el ángulo de desviación, con respecto al vector solar, es proporcional a la diferencia en las señales de salida de cada pareja de detectores, podemos encontrar una ecuación para determinar la señal de error en la orientación, ésta es:

$$e = \delta(2KJ_l ILA) \quad \text{ecuación 2.2}$$

donde:

$$KJ_l = K_1 J_{l,1} = K_2 J_{l,2}$$

K es la constante de amplificación y J_l la densidad de corriente de cortocircuito de las celdas solares.

2.1.1. Características principales del sensor.



El sensor de Sol presenta una disminución equitativa en la sensibilidad de las celdas solares del mismo eje, es decir, que no se altera la capacidad del sensor de indicar el error de apuntamiento. Por otra parte, las variaciones de temperatura y la degradación en las celdas solares son indeseables, puesto que afectan la precisión en la respuesta de la lectura, es por ello que en su utilización deben emplearse métodos o técnicas que permitan compensar ambos efectos, así como los cambios en la intensidad solar.

Es necesario, además del sensor de Sol, contar con un sistema burdo de detección de la orientación del vector solar. El sistema de control necesita conocer el apuntamiento al Sol, aún cuando éste no se encuentre dentro de su campo de visión. Puesto que no es necesario contar con una lectura precisa del apuntamiento para conducir al satélite al campo de visión, es suficiente colocar una celda solar en cada una de sus caras. Esto permite que las celdas solares, en las caras oscuras del satélite, no emitan señal, mientras que las caras iluminadas producen las señales de detección del Sol. Con un algoritmo de control adecuado, puede

calcularse la secuencia y tiempo de activación de los actuadores para llevar al correcto apuntamiento del satélite, al campo de visión del sensor, o a una orientación burda del satélite.

Los detectores en las caras del satélite estarían dispuestos de tal forma que envíen información de presencia o ausencia de luz solar. La única calibración posible en dichas celdas es el punto de corte en la electrónica para la discriminación de albedo producido por otros cuerpos reflejantes de luz, como la Tierra o la Luna.

2.2. Curvas de respuesta.

Se realizaron diferentes pruebas para conocer el comportamiento de algunas variables de interés para el dispositivo. Los experimentos consisten en variar: la altura de la máscara, el ángulo de incidencia de los rayos solares, la intensidad de la luz y la temperatura de las fotoceldas.



Figura 2.2 Fotografía del sensor de Sol en un banco de pruebas.

2.2.1. A diferentes alturas de la máscara.

Se determinó primeramente la altura a la cual debe ser colocada la máscara, o filtro, que permite que los rayos solares se distribuyan de manera uniforme sobre cada una de las cuatro fotoceldas. Esta curva, obtenida de las ecuaciones del modelo de cobertura del sensor, nos indica cual es la altura de la máscara y su correspondiente ángulo de visión. Para este proyecto necesitamos cobertura máxima aún sacrificando resolución, pues la

idea es poder orientar el satélite aún en condiciones adversas de pérdida total del control del apuntamiento de la nave.

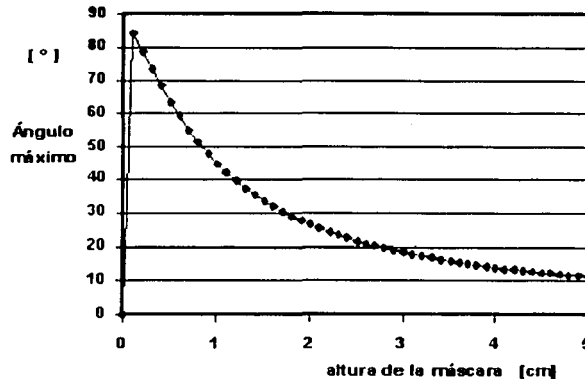


Figura 2.3. Ángulo de cobertura en función de la altura de la máscara

2.2.2. A diferentes coberturas.

Con ayuda de la curva de la figura 2.3, y las gráficas de respuesta, obtenidas en las pruebas de inclinación vs. voltaje, para diferentes intensidades luminicas, mostradas en la figura 2.4, se logró establecer que la altura a la cual debe colocarse la máscara es de 2 [cm]. Para seleccionarla, se consideró, en primera instancia, la linealidad de la respuesta y en segundo lugar, el ángulo de cobertura.

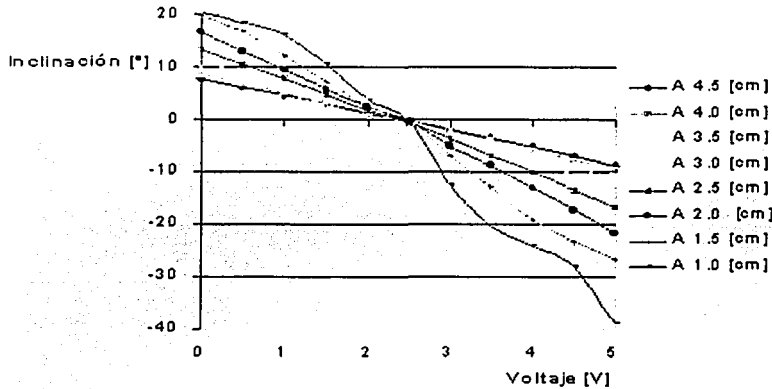


Figura 2.4. Respuesta del sistema al variar la altura de la máscara.

La figura anterior nos muestra como al disminuir la altura, la linealidad de la respuesta desaparece. El comportamiento del intervalo de cobertura en función de la máscara es: a menor altura mayor cobertura. Debe notarse que se pierde la simetría que debe existir con respecto al eje X (volts). La altura óptima seleccionada fue de 2 [cm], con este valor la linealidad se mantiene y la cobertura alcanza aproximadamente ± 23 grados.

2.2.3. Variando la intensidad de la fuente luminosa.

Continuamos con las pruebas de funcionamiento del sensor solar, y pudimos apreciar que el comportamiento a la salida del circuito presentaba un cambio de pendiente, al variar la intensidad de la fuente luminosa. Esto se hizo además cambiando el ángulo de inclinación con que incide la luz sobre las fotoceldas. Este comportamiento se identificó como un problema en la respuesta del sensor, ya que durante su operación en órbita el cambio de intensidad del flujo solar estará siempre presente, lo que significará que la respuesta del sensor dependerá de las variaciones de la intensidad de la energía radiante que reciba.

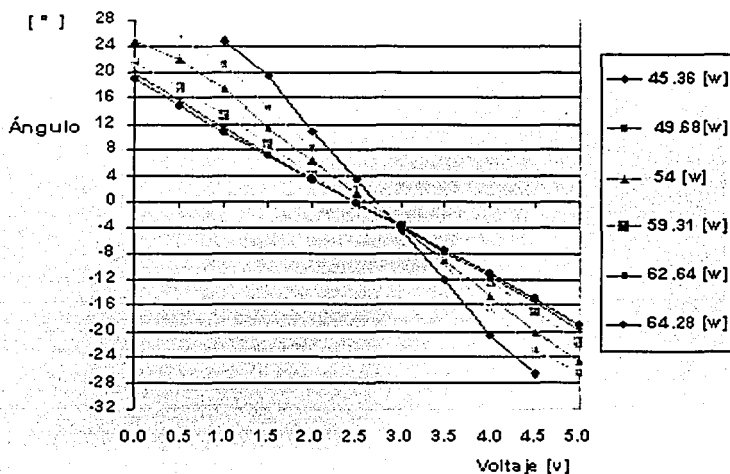


Figura 2.5. Respuesta del sensor a cambios de la intensidad de la fuente de iluminación..

2.2.4. Variando la temperatura de las fotoceldas.

En la figura 2.6 se puede observar el comportamiento del sistema al variar la temperatura de las celdas solares en un rango de 18 a 52 [°C]. Se entiende que el efecto que causa la temperatura, puede definirse como un cambio en la ordenada al origen, de la recta voltaje contra inclinación, donde se mantiene constante la pendiente. Esto resulta muy útil y aprovechable al realizar la compensación.

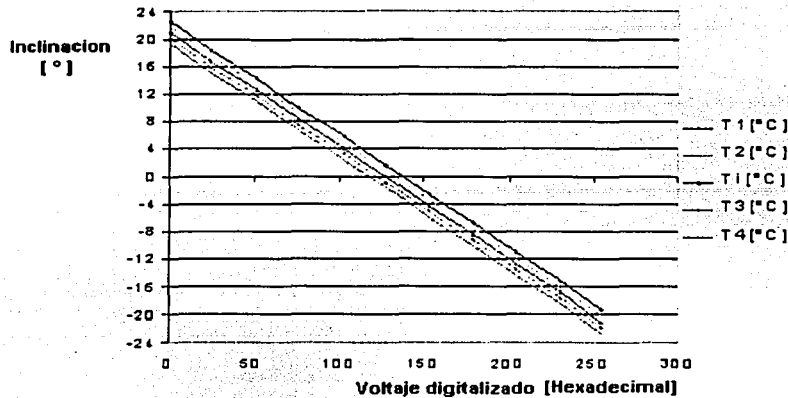


Figura 2.6. Respuesta del sensor a cambios de temperatura en las celdas solares.

Una vez establecida la altura de la máscara y sabiendo del cambio de pendiente que ocurrirá al variar la intensidad de la luz, se tenía que conocer el comportamiento de la respuesta del circuito de acondicionamiento y amplificación, al hacer variar el ángulo de inclinación con que inciden los rayos solares sobre las fotoceldas, a la altura de 2 [cm]. En la siguiente figura se muestra la respuesta, notándose claramente la linealidad de la misma.

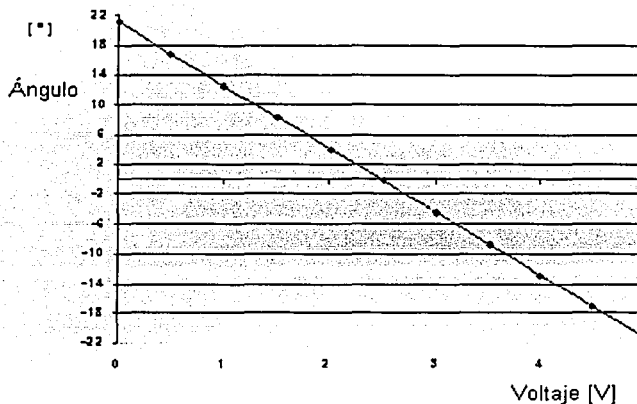


Figura 2.7 Respuesta del sistema al variar el ángulo de incidencia.

Cabe mencionar que se realizó un ajuste en las ganancias del circuito de acondicionamiento (calibración), para lograr una mejor simetría con respecto al eje X, así como una mejor respuesta del dispositivo en general, obteniéndose una cobertura final de ± 22 [°]. La linealidad en la respuesta nos permitirá realizar los algoritmos de compensación de una manera más sencilla.

2.3. Diseño mecánico del sensor.

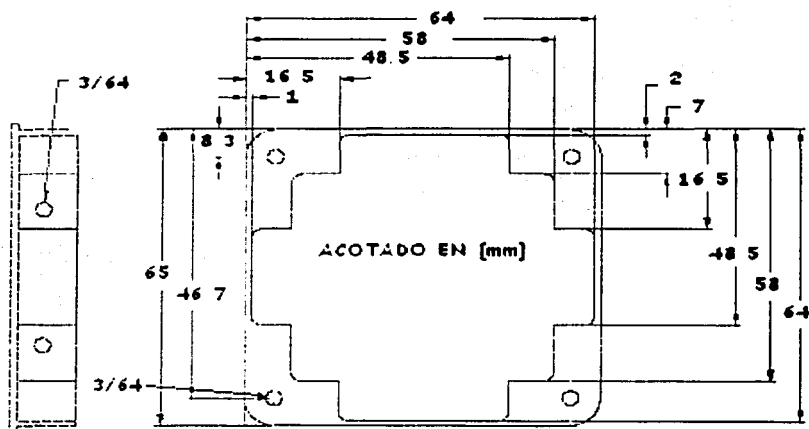


Figura 2.8. Dimensiones de la base o tapa del sensor de Sol.

El diseño mecánico es bastante simple, básicamente permite contener las fotoceldas en un compartimento donde van a ser firmemente adheridas y proporciona la máscara que permite el paso de los rayos solares hacia las fotoceldas.

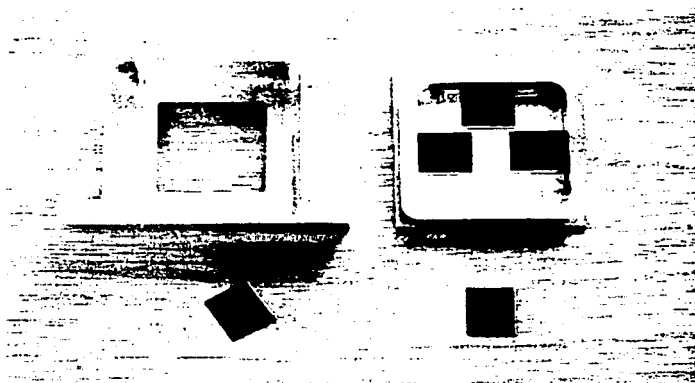


Figura 2.9. Sensor de Sol con inclinación de 90°

2.3.1. Determinación de las dimensiones definitivas.

El arreglo de fotoceldas utilizado, como se mencionó en la sección 1.3.1, es en forma de cruz. La dimensión de cada foto celda es de 2x1.9 [cm]. Todo el arreglo, compuesto por

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cuatro celdas, se encuentra montado sobre un chasis metálico en forma de prisma rectangular, la base es cuadrada y tiene 7.16 [cm] por lado, (2.755 [in]) mientras que la altura total, incluyendo el espesor de las celdas, es de 2.8 [cm].

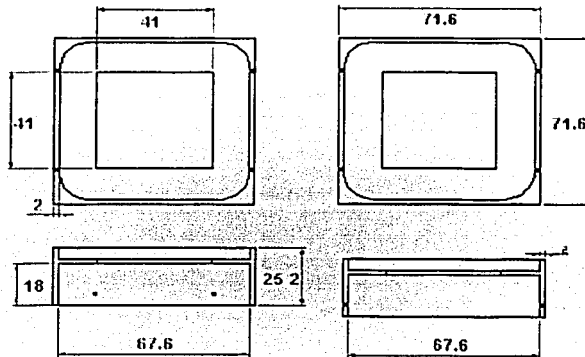


Figura 2.10. Dimensiones finales, en [mm], del sensor. Vista superior.

En la figura anterior se observa que en la tapa superior del chasis se encuentra la máscara, o pantalla, de forma cuadrada, que tiene una dimensión de 4.1 [cm] por lado (1.58 [in]), esta se encuentra situada a 2 [cm] por encima de la superficie de las fotoceldas y su sombra permite saber si el Sol se encuentra exactamente en la vertical, o si existe alguna desviación en alguno de los dos ejes de referencia del satélite.

2.3.2. Maquinado.

El arreglo en cruz de las fotoceldas en este sensor solar, es desde el punto de vista dimensional, muy poco práctico, sin embargo, dado que: su altura es muy reducida (2.8 [cm]), que su diseño permite tener caras muy delgadas, y que pesa 70 [g], no se espera que pueda causar problemas de exceso de masa en el satélite. Las medidas máximas del arreglo, que irá montado sobre un chasis metálico en forma de prisma rectangular, son de 6.76 [cm] por lado. El sensor de Sol está diseñado para soportar las condiciones ambientales del espacio, por esta razón, se construyó con aluminio aeroespacial de la serie 2023 y se le dio un acabado anodizado negro, con la finalidad de evitar reflejos espurios en su interior y lograr una resistencia contra la corrosión causada por el oxígeno monoatómico presente en órbita. El método de fabricación se llevó a cabo mediante un proceso de desbaste de un bloque macizo con una fresadora, quedando de dos piezas únicamente: el cuerpo y la base.

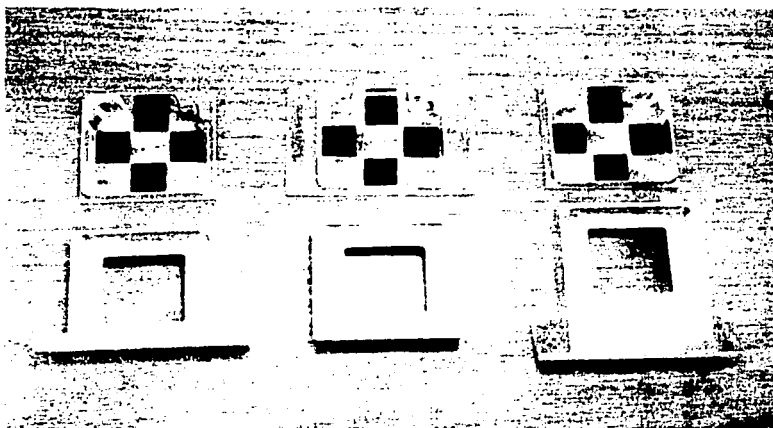


Figura 2.11. Sensores solares a 0°, 45° y 90°.

2.4. Fotoceldas utilizadas

Las fotoceldas utilizadas han sido manufacturadas por Spectrolab [5], modelo *Silicon K4710 Solar Cells*, y sus características principales son: alta eficiencia de conversión, alta confiabilidad, temperatura de funcionamiento optimizada, utilización en aplicaciones espaciales y bajo costo.

Especificaciones técnicas:

Resistividad	10 [Ω /cm]
Juntura	0.15 micrones
Metalización frontal	Ti Pd Ag
Metalización posterior	Al Ti Pd Ag
Capa antirreflectiva	Múltiples capas
Tamaño	2 x 1.9 [cm]
Superficie reflectora posterior	Aluminio

Parámetros eléctricos (intensidad del Sol 135.3 [mW/cm²], 28 [°C]):

$V_{mp} = 0.454$ [V]
 $P_{mp} = 16.6$ [mW / cm²]
 $V_{DC} = 0.545$ [V]
 Eficiencia promedio mínima 12.3%.

Coeficientes térmicos:

$V_{oc} = -2.2$ [mV / °C]
 $V_{mp} = -2.33$ [mV / °C]

Pruebas de Calificación:

3000 ciclos térmicos de -180 a 80 [°C], 5 ciclos de choque térmico de 140 a -185 [°C]. Soporta una tensión a 90 [°] de 250 [g].

Degradación por radiación:

	Cantidad de radiación en [MeV]			
	5×10^{13}	1×10^{14}	1×10^{15}	2.5×10^{15}
V_{oc} / V_{oc0}	0.99	0.98	0.94	0.91

2.5. Montaje de las celdas solares.

Para mantener las celdas solares firmemente unidas a la base del sensor, se ha empleado un adhesivo (RTV de volatilidad controlada) que proporciona una firme sujeción, pero que a la vez es flexible para evitar que las fotoceldas sufran alguna ruptura, especialmente durante el lanzamiento. La alineación se hizo de manera cuidadosa, aunque no es tan crítica, debido a que una pequeña variación por el cambio en el ángulo de inclinación, o cobertura de la máscara, es posible compensarla con la electrónica de acondicionamiento. Se utilizó un cautín de 20 [W] y soldadura con aleación de plata de 2 [mm] de diámetro, para poder soldar cables con recubrimiento de teflón en los bornes de salida de cada celda y enviarlos hacia la tarjeta electrónica.

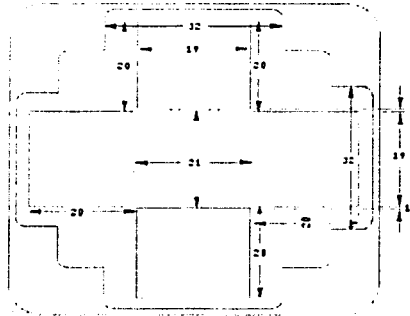


Figura 2.12 Dimensiones, en [mm], del arreglo en cruz de las fotoceldas.

2.6. Circuitos de amplificación y acondicionamiento.

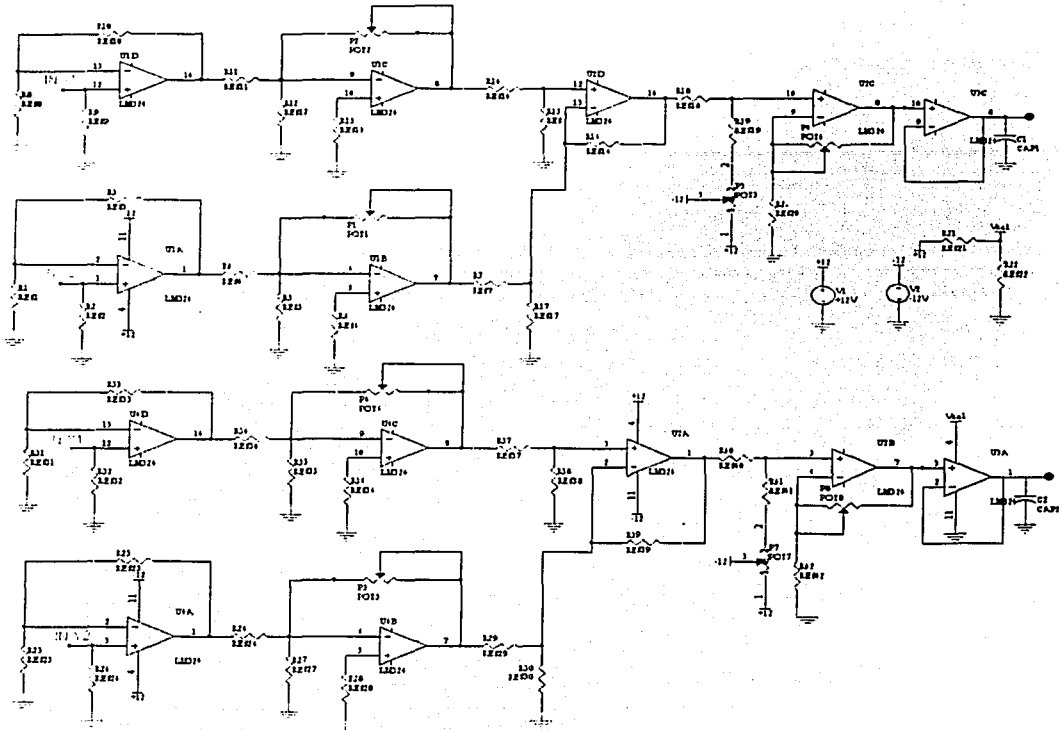


Figura. 2.13. Diagrama esquemático del sensor de Sol para un eje.

El circuito que se encarga de manejar las señales de las fotoceldas se muestra en la figura anterior. Las corrientes de las celdas de cada eje son convertidas a señales de voltaje a la entrada del circuito, comparadas, amplificadas y se les añade una componente de DC. Así se obtiene un voltaje proporcional al ángulo de desviación, con respecto a la vertical local del satélite. Para su construcción se emplearon componentes militares, como el amplificador operacional LM124, que pueden soportar temperaturas extremas de operación (-55 a $+125$ $^{\circ}\text{C}$), aunque cabe mencionar que la electrónica estará resguardada dentro de una caja metálica, en el interior del satélite.

Las señales de los sensores serán enviadas a la computadora de a bordo, donde serán filtradas y sus valores de voltaje interpretados y corregidos mediante un procedimiento de compensación que será descrito en el capítulo 4.

2.7. Diseño del circuito impreso.

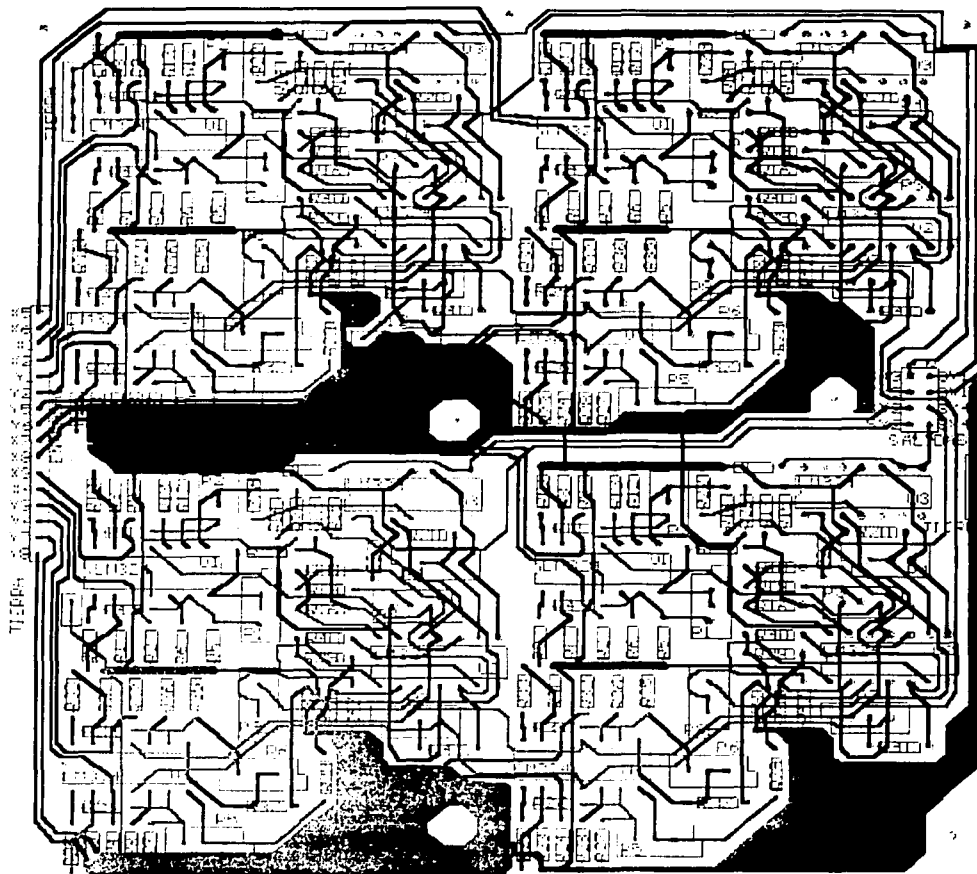


Figura 2.14. Circuito impreso para contener la electrónica de 4 sensores de Sol.

En la figura 2.14 puede observarse el circuito impreso, o PCB, realizado para albergar la electrónica de acondicionamiento que utilizará el sensor de Sol. Fue realizado haciendo uso de un programa de diseño de circuitos electrónicos, llamado PROTEL SE99. El impreso es de dos caras y se trató de utilizar el menor espacio posible dada su aplicación espacial. Se tienen dieciséis entradas y ocho salidas analógicas, provenientes de las ocho parejas de fotoceldas que componen a los cuatro sensores de Sol realizados.

En la siguiente figura podemos observar, por separado, las pistas ubicadas tanto en la capa superior, como en la capa inferior.

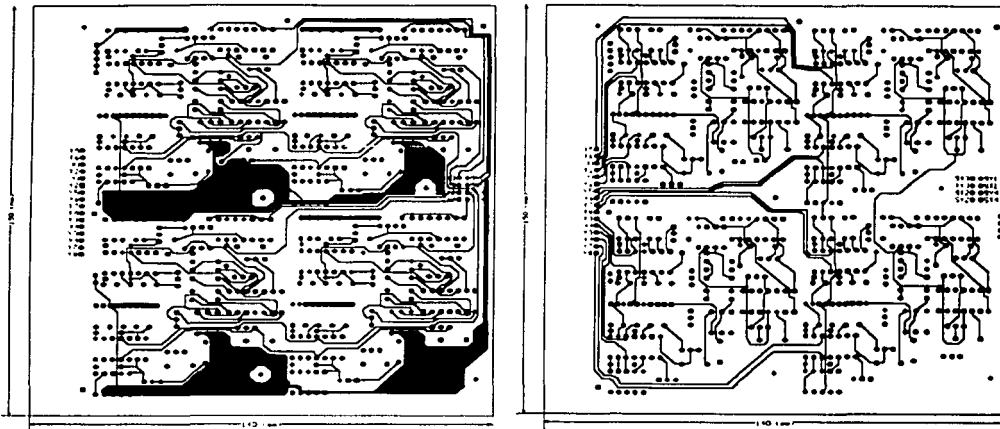


Figura 2.15. Capas superior e inferior, respectivamente, del circuito impreso.

2.8. Localización de los sensores de Sol en el satélite.

Con la finalidad de obtener una cobertura óptima, sobre todo inmediatamente después de la separación del satélite del cohete portador, se ha propuesto un arreglo como el mostrado en la figura 2.16. Este arreglo pretende lograr una cobertura lo más amplia posible, que será de gran importancia en las primeras horas de vida del satélite [6], donde es imprescindible conocer con exactitud la orientación para establecer el momento apropiado para desplegar la extensión telescópica (gravity boom), que cambiará los momentos de inercia del satélite y lo forzará a apuntar una de sus caras hacia la Tierra.

Número de sensor	Inclinación [°]	Orientación
1	0	Cero
2	45	Opuesto
3	90	Espaciados a 180 grados

Tabla 2.1. Cobertura de los sensores de Sol.

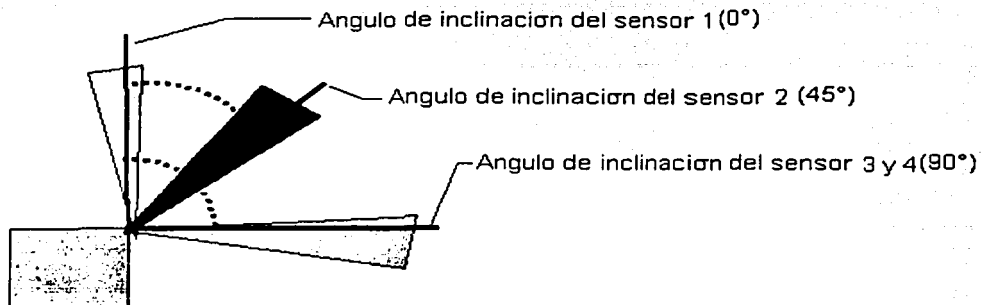


Figura 2.16. Ángulos de inclinación de los sensores de Sol.

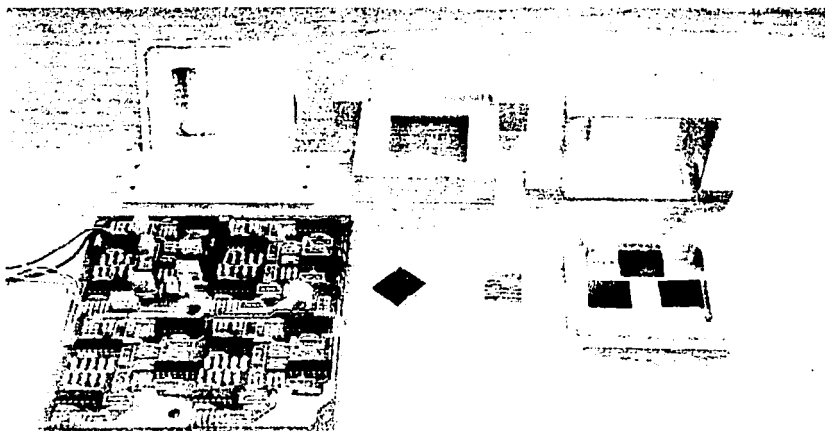


Figura 2.17. Sensores de Sol adaptados a los diferentes ángulos de inclinación y circuito impreso con la electrónica de acondicionamiento.

FILTRADO DIGITAL

En la adquisición de datos de un sistema que va a ser controlado, es necesario asegurar que la información recibida sea confiable para que el proceso de control se realice adecuadamente. La señal de entrada puede estar influenciada por fuentes de ruido externas o internas. En los sensores de orientación, la desviación del valor real de dichas señales puede ser provocada por factores del medio ambiente en el que se encuentran trabajando estos dispositivos, tales como incidencia de radiación, tormentas electromagnéticas, ruido inducido por corrientes cercanas, cambios bruscos en la temperatura, etc. Por todas estas razones, se requiere un método para eliminar las señales no deseadas, ya que su presencia resulta un inconveniente para la etapa de control, puesto que las señales de los sensores son una de las referencias de la orientación del satélite

Las exigencias en un ambiente orbital dificultan las cosas. En estas condiciones, los circuitos electrónicos son susceptibles a fallas a causa del ruido. La telemetría del sistema de comunicaciones es un factor de riesgo para la operación de los sensores externos, debido a la emisión electromagnética que están produciendo. Ante la eventualidad de alguna falla en un circuito, los filtros analógicos no pueden ser modificados en órbita, en cambio, los filtros digitales si pueden reprogramarse al enviarse por comandos, un nuevo programa, esto los hace más fáciles de manejar y modificar, además que no ocupan un espacio físico y su masa es despreciable. Por estas razones en este proyecto, es utilizado un sistema de filtrado digital, que no es más que un programa dedicado a discriminar las frecuencias no deseadas en los datos adquiridos, que provocan efectos adversos para los propósitos de procesos posteriores.

Una buena elección del método de filtrado es indispensable para que se ajuste a las capacidades del lenguaje de programación y del equipo que lo soportan. Muchos de éstos métodos ofrecen capacidad operativa, pero son exigentes con los recursos del sistema, con los cuales funciona. Así pues, existen filtros digitales simples con requerimientos exigentes de memoria, múltiples operaciones y demasiado tiempo de proceso. También los hay con manejo de pocos recursos de programación y equipo, pero con una complicada implementación según las variables consideradas [7]. Existen muchos métodos disponibles para ser utilizados como eliminadores de ruido, incluso hay algunos que se especializan en la predicción de valores. Éstos últimos son utilizados para sistemas en los cuales se necesita saber con anticipación un valor estimado según el estado de los valores actuales.

3.1. Filtrado, estimación y ajuste a una curva de primer grado.

Cuando se miden dos variables x y y en un intervalo de valores, y se desea obtener una expresión analítica simple para y como una función de x , el tipo más simple de relación

es una función lineal, sin embargo es muy problemático el encontrar la mejor función lineal para un conjunto de datos que tienen un alto grado de dispersión. Se puede resolver el problema con rapidez al graficar los puntos en papel y dibujar una línea recta que los incluya aproximadamente. El método de los mínimos cuadrados proporciona una forma más confiable de obtener una mejor relación funcional que el anterior intento de graficar, además de permitirnos aproximar las muestras a una curva de cualquier grado deseado [8].

3.1.1. Diseño de un filtro.

Como hemos mencionado, los métodos de reducción del ruido son variados, sin embargo, funcionan con principios similares. La técnica de filtrado de señales opera bajo la regla de tomar el promedio de las lecturas, es decir, tomar una cantidad de datos, asignar un peso a cada una de las muestras (multiplicar por coeficientes calculados) y sumarlos, para posteriormente dividirlos entre el número de muestras tomadas. Para ello pueden utilizarse datos directos de la entrada o datos tomados de resultados anteriormente calculados. A este tipo de procedimientos se le conoce como filtrado no recursivo y filtrado recursivo respectivamente, y la forma de operación se observa en la figura 3.1.

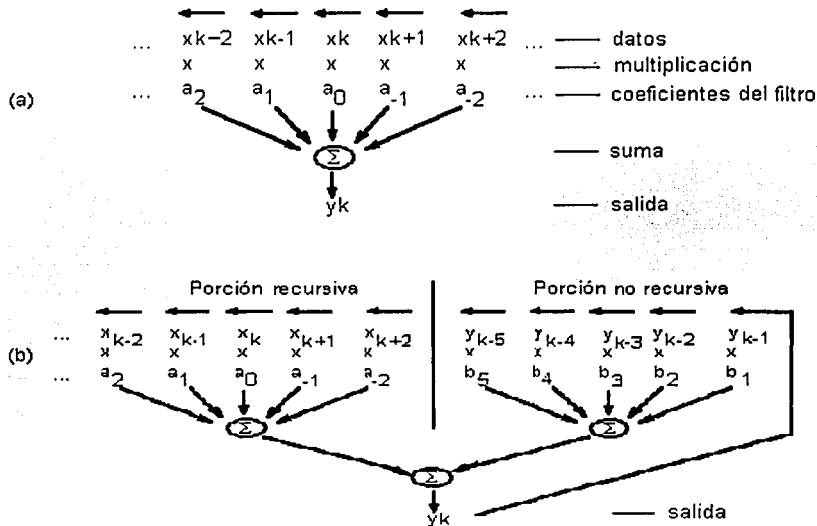


Figura 3.1 Esquema de la operación de un filtro digital no recursivo(a) y recursivo(b).

El método de estimación se basa en la predicción de los posibles valores que tomará una señal, a partir de los últimos valores de entrada. Si se desea que la señal de entrada sea procesada para conocer una estimación del valor futuro, se deben aplicar técnicas matemáticas y probabilísticas. Así, un método muy utilizado en la estimación de señales

es el denominado filtro Khalman [7]. Aunque no es un filtro estrictamente hablando, sino un estimador, se obtienen resultados similares. La diferencia radica en que en el filtrado se procesa un conjunto de datos de entrada para generar un valor sin ruido, en sustitución del último dato obtenido. A lo largo de este trabajo se le denomina filtro al proceso de eliminación de ruido, independientemente del método utilizado.

Un estimador procesa la señal en función de los últimos datos de entrada y genera una estimación del valor que posiblemente tomará el siguiente dato. La desventaja de éste último método es que se necesitan conocer las condiciones de trabajo de la señal de entrada, es decir, no es suficiente determinar una frecuencia de corte, sino el comportamiento de las variables del sistema considerado, para poder aplicar el diseño del estimador por medio de procesos estocásticos de predicción.

El método utilizado para el desarrollo de este trabajo es el de ajuste de datos a una curva. La concepción del método es bastante sencilla y efectiva, por lo que para su utilización en el filtrado de las señales provenientes de los sensores de Sol, es conveniente su implementación. El proceso consiste en la búsqueda de una curva de cierto orden a la cual se ajusten los datos adquiridos. El ajuste se realiza minimizando el cuadrado de la distancia de cada uno de los puntos a la curva. La representación de la curva se lleva a cabo por medio de una ecuación de grado tal, que convenga a la curva de respuesta del diseño. Esta puede ser de primer grado (línea recta) o grados subsecuentes. El algoritmo de la señal se complica para curvas cuyas ecuaciones son de altos grados, puesto que el diseño involucra mayor número de operaciones.

3.2. Ajuste a una curva de primer orden.

Para un conjunto de datos, es necesario determinar cual es el mejor ajuste a una ecuación de grado conocido. El método utilizado busca cuales son los coeficientes que se deben aplicar a una ecuación de primer grado para posteriormente calcular el ajuste del último valor obtenido de la serie de datos.

3.2.1. Mínimos cuadrados.

Durante la realización de mediciones de cualquier experimento es normal que todos los datos contengan errores. Con un cuidado apropiado, estos errores pueden ser evitados y si se usa un modelo matemático adecuado, se puede obtener una compensación para los errores sistemáticos. Un método correcto para tratar estos errores es conocido como: ajuste por mínimos cuadrados. Los mínimos cuadrados no son un método nuevo, el matemático alemán Karl Gauss lo usó a principios del siglo XVIII.

La condición fundamental que se debe cumplir en los mínimos cuadrados es que la suma de los cuadrados de los residuos sea minimizada. Esta condición, la cual ha sido desarrollada a partir de la ecuación de la curva de la distribución normal, nos da el valor más probable para el valor ajustado.

El ajuste por mínimos cuadrados nos permitirá encontrar la mejor función para un conjunto de datos que pueden estar dispersos en un grado considerable.

3.2.2. Proceso de ajuste a una curva de primer grado.

A continuación se explica el procedimiento de diseño del filtro con ajuste a una curva de primer grado.

Consideramos un error definido por $y(x_i) - y_i$, llamado e_i , para una $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Este error es considerado el ruido de la señal de entrada, por lo que se dice que la señal corregida corresponde a la curva a la que se quiere ajustar. Para cada una de las muestras existe un error hacia el valor de la curva. Como el método exige minimizar los errores de las muestras a los puntos de la curva, se toma el cuadrado del error. Con ello aseguramos que se obtengan valores positivos, cuya suma se minimizará. Además la minimización de la suma de los errores por igualación a cero de su derivada, exige que

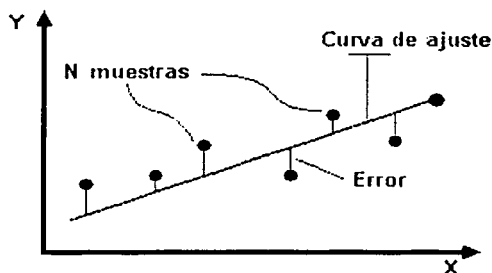


Figura 3.2 Ajuste de N muestras a una recta.

se considere el cuadrado de los errores, pues en el proceso no se elimina la variable con respecto a la cual se deriva. Esto es:

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N [y(x_i) - y_i]^2 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Si la curva a la que se van a ajustar los valores de las muestras es de primer grado, entonces la ecuación que la define está dada por:

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Dado que los coeficientes a y b son desconocidos, para obtener la ecuación se requiere igualar a cero cada una de las derivadas parciales con respecto a cada uno de los coeficientes considerados:

$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n [y(x_i) - y_i]^2 = \sum [y_i - (ax_i + b)]^2 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

al realizar estas operaciones, se obtiene:

$$nb + a \sum x_i = \sum y_i, \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$b \sum x_i + a \sum x_i^2 = \sum x_i y_i, \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Con el sistema de 2 ecuaciones y de 2 incógnitas (a y b), es posible encontrar los coeficientes de la ecuación de primer grado, que modelará el sistema, especificando el número de muestras de entrada. Simplificando la notación nos queda:

$$\begin{aligned} bN + aR &= S \\ bR + aT &= U \end{aligned} \quad \text{Ecuaciones 3.6}$$

donde:

N = Número de muestras

$$R = \sum x_i$$

$$S = \sum y_i$$

$$T = \sum x_i^2$$

$$U = \sum x_i y_i$$

La solución al sistema de ecuaciones en notación simplificada es:

$$a = \frac{NU - RS}{NT - R^2} \quad b = \frac{ST - UR}{NT - R^2}$$

Dado un número de muestras de entrada para ser filtradas, la variación entre los valores de los puntos es suavizada; encontrando la curva de ajuste. Es por ello que se dice que el ruido es la distancia de los puntos de la curva a su correspondiente muestra. Para un número bajo de muestras, el ruido de la señal de entrada tiene mucha trascendencia a la salida del filtro, esto es, la curva es ajustada con pocos datos y sufrirá en mayor grado la variación en el valor de cada una de las muestras. En el caso contrario, con un número muy grande de muestras, el ajuste a una curva de primer grado se ve más forzado que con un número de muestras no tan grande.

El proceso de implementación de un filtro por ajuste a una curva, fue desarrollado conforme a la necesidad de encontrar un valor preciso del último dato adquirido. Con ello se logra obtener un valor corregido desplazado en el tiempo. Para un período de muestreo pequeño no es significativo el retardo en el ajuste del dato, puesto que las frecuencias de interés son de bajo valor.

En seguida se presentan algunos ejemplos de cómo funciona un filtro digital y cómo influye el número de muestras [9] en los resultados que podemos obtener de él.

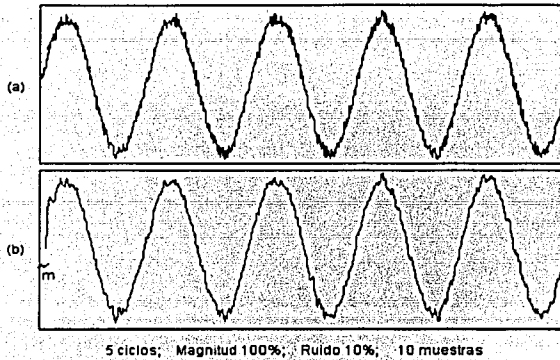


Figura 3.3 Aplicación del filtro con ajuste a una curva de segundo grado con 10 muestras a una señal senoidal con 10% de ruido; entrada al filtro(a) y salida del filtro(b).

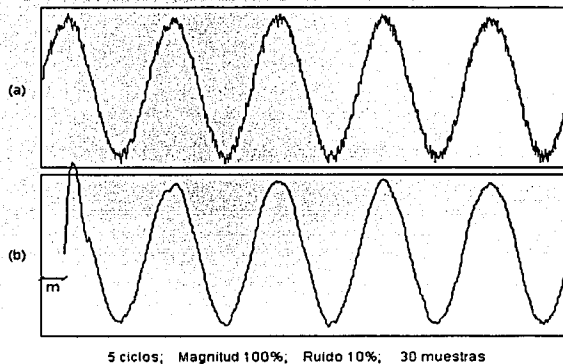


Figura 3.4 Aplicación del filtro con ajuste a una curva de segundo grado con 30 muestras a una señal senoidal con 10% de ruido; entrada al filtro(a) y salida del filtro(b).

La inclusión de la forma de onda senoidal en el programa de filtrado se generó de forma artificial, con amplitud y frecuencia variables y magnitud de ruido ajustable en diferentes porcentajes. De la señal de entrada es tomada una cierta cantidad de valores (diez muestras por ejemplo, como en la figura 3.3); por esta razón el primer punto calculado, se aleja del valor de la señal de entrada, una cantidad de muestras m . Los siguientes puntos son continuos con separación de tan sólo una muestra. En la figura 3.4, al inicio de la señal filtrada, la forma senoidal se distorsiona puesto que no se tiene aún la suficiente

información. A medida que el filtrado se lleva a cabo y el proceso se cumple periódicamente a baja frecuencia, se tiende a seguir a la señal original.

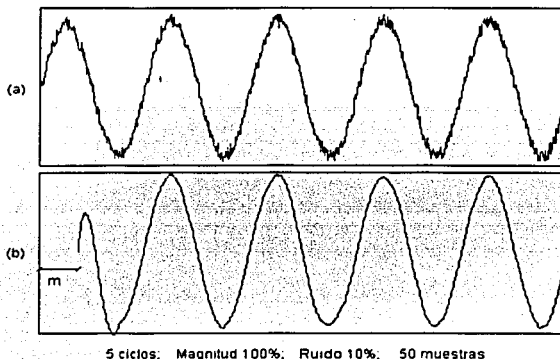


Figura 3.5 Aplicación del filtro con ajuste a una curva de segundo grado con 50 muestras a una señal senoidal con 10% de ruido; entrada al filtro (a) y salida del filtro (b).

Se mostró, a manera de ejemplo, cómo opera un filtro ajustado a una curva de segundo grado. Para este trabajo de tesis, debido al comportamiento lineal del sistema, el ajuste se realizó con una curva de primer grado. El efecto de distorsión no será un inconveniente, puesto que las pruebas finales en la adquisición de datos de los sensores de orientación, generan un número ilimitado de valores por su carácter de muestreo continuo durante toda la misión.

3.3. Microcontrolador.

Un microcontrolador es un circuito integrado que incorpora una unidad central de proceso (CPU) y una serie de recursos internos. La CPU permite que el microcontrolador pueda ejecutar instrucciones almacenadas. Los recursos internos son: memorias RAM, ROM, y EEPROM; puerto serie, puertos de entrada/salida, temporizadores y comparadores.

Los requisitos que impone el desarrollo de un sistema de sensado y filtrado digital de señales se ajustan a los recursos ofrecidos por estos dispositivos, por tanto, la elección del microcontrolador a utilizar depende de la calidad y cantidad de funciones y de su costo. En el mercado existen muchos tipos de microcontroladores con características especiales para cada aplicación. Entre los más comerciales se encuentran el 68HC11 de Motorola, el 8096 de Intel y la serie AT89xxxx de Atmel, etc.

3.3.1. Criterios de selección.

La operación de adquisición de datos, el filtrado y la compensación por cambios de temperatura e intensidad solar, así como por la disminución de la respuesta de las celdas solares debido a la degradación por radiación ionizante, se realizan con un

microcontrolador, esto permite la disminución de espacio, masa y energía. Para su implementación se ha empleado un módulo de desarrollo llamado FÁCIL_11; lo que ha representado un ahorro considerable de tiempo. Las funciones que permite llevar a cabo un sistema implementado con un microcontrolador son muy variadas y flexibles, esto hace muy conveniente su utilización. Otorga la posibilidad de manejar datos en puertos de entrada y salida, la ampliación de memoria para casos de programas como el de filtrado con mucho código, en ocasiones la posibilidad de comunicación serial con otros equipos, velocidades de operación en el orden de los [MHz] y variedad de operaciones aritméticas ya incluidas.

3.3.2. Características del microcontrolador MC68HC11F1

La facilidad de manejo del 68HC11F1 y los recursos desarrollados alrededor de él, lo hacen el más adecuado para el sistema de adquisición de datos de los sensores de Sol [10,11]. Contiene un procesador de 8 bits con registros que nos pueden entregar el resultado de multiplicación hasta con 16 bits, dos acumuladores de 8 bits que operan independientes o unidos como uno sólo de 16 bits. Cuenta con tres puertos paralelos de 8 bits entrada/salida programables, dos puertos paralelos de 8 bits de sólo salida, un puerto de entrada con 8 canales con convertidor analógico-digital de 8 bits, posee un puerto de comunicaciones seriales, síncrono y asíncrono, además de una salida de reloj para el control de otro microcontrolador, tiene una capacidad de direccionamiento de memoria total de 64 kbytes, una memoria RAM interna de 1 kbyte y una EEPROM interna de 512 bytes.

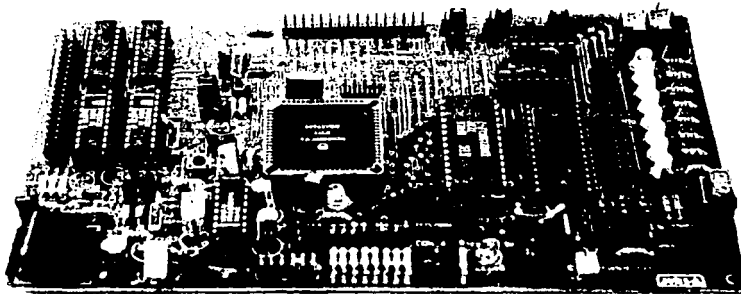


Figura 3.6 Tarjeta desarrolladora FÁCIL_11.

Es un microcontrolador calificado como de alto desempeño, bajo consumo de energía y con alta inmunidad al ruido, debido a que está fabricado con tecnología HCMOS (metal-óxido semiconductor complementario de alta densidad); además, éste es el único microcontrolador de la familia MC68HC11 que posee un bus de direccionamiento y datos no multiplexado, es decir, que no requiere de un multiplexor externo para el control del bus, ya sea para el direccionamiento de una localidad de memoria externa o para el manejo de los datos que se escriben o se leen desde la misma. Además posee un selector inteligente que realiza una conexión sencilla a una memoria externa de programa.

En este proyecto casi todos los recursos del microcontrolador son utilizados por el sistema de adquisición de datos, aunque no a su máxima capacidad; ya que se requiere: del convertidor analógico-digital, adquisición y salida de datos por puertos, la explotación de las operaciones aritméticas internas, operaciones en punto flotante, el uso de memoria externa en modo expandido y el puerto de comunicación serie asíncrona.

3.3.3. Modos de operación

El microcontrolador MC68HC11F1 posee cuatro diferentes modos de operación, los cuales pueden ser seleccionados por medio de los pines de selección de modo. Estos son denotados por MODA y MODB; los valores lógicos que estas entradas presenten durante el proceso de arranque o de reset del microcontrolador, determinarán su modo de operación. En la siguiente tabla se muestran las diferentes opciones.

MODA	MODB	MODO DE OPERACIÓN
1	0	Single chip
1	1	Expandido
0	0	Bootstrap
0	1	Prueba

Tabla 3.1 Modos de operación de los microcontroladores de la familia 68HC11.

Normalmente el microcontrolador opera en single chip y en el expandido; el bootstrap y de prueba, se usan para operaciones especiales. Las características de cada uno de ellos se presentan a continuación:

Single chip.

Sólo se usan los recursos internos del microcontrolador, no tiene conectados los buses externos de direccionamiento y de datos. Todos los puertos se encuentran disponibles para comunicación (entrada y salida de datos).

Expandido.

El microcontrolador puede tener acceso a memorias externas o a dispositivos periféricos direccionándolos vía un bus de datos y uno de direcciones. Se tiene un direccionamiento externo de 64 kbytes, incluyendo la memoria interna usada en el modo single chip.

Bootstrap.

Es una variación del modo single chip, en el que los vectores de interrupción se encuentran en una ROM llamada de arranque; al iniciar en este modo, automáticamente comienza a ejecutarse el programa BOOTSTRAP, el cual permite cargar programas a través de la interfaz SCI (Serial Communications Interface) del propio microcontrolador, a la RAM interna para su posterior ejecución

Prueba.

Puede tener acceso a fuentes internas del microcontrolador. Es una variación del modo expandido, que es usado principalmente durante el proceso de prueba interna en la producción, y muy pocas veces por el usuario.

3.3.4. Modo expandido

Al operar la tarjeta FÁCIL_11 en modo expandido se pueden configurar dos mapas de memoria denominados EA y EB, para cada uno de ellos deberá haberse cargado el *firmware* correspondiente, a partir de la dirección \$FE00, que será el origen de la EEPROM para este modo [12], esto permite operar sin memoria EPROM, desarrollando las aplicaciones en memoria RAM de manera más ágil.

El mapa de memoria que nos ofrece más recursos para el uso de operaciones con punto flotante, es el EB. Sus características principales son: 28.90625 kbytes [kb] de RAM externa, 1 [kb] de RAM interna, 31.5 de EPROM y 0.5 de EEPROM con el firmware FWFCLEB residente. Para configurarlo se deben colocar los puentes J7, J13, J14, J16 y J19; además de que el archivo FWFCLEB.BLM deberá haber sido programado en la EEPROM interna.

El vector de reset principal apunta al origen de la EEPROM interna (\$FE00) y todos los demás hacia direcciones de la página cero. El submapa de puertos está definido en un intervalo de 1[kb] (de la dirección \$1800 a la \$1BFF) dividido en ocho subintervalos de 128 direcciones cada uno, contiene 2 puertos de entrada y 2 de salida.

\$FFFF	VECTORES DE RESET
\$FFCO	EEPROM INTERNA PARA USUARIO
\$FFBF	BOOTLOADER PARA MODO EXPANDIDO
\$FEA0	EPROM EXTERNA PARA USUARIO
\$FE9F	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$FE00	SUBMAPA ALTERNO DE PUERTOS
\$F0FF	SUBMAPA DE PUERTOS
\$8000	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$7FFF	REGISTROS DE CONTROL
\$2000	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$1FFF	REGISTROS DE CONTROL
\$1C00	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$1BFF	REGISTROS DE CONTROL
\$1800	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$17FF	REGISTROS DE CONTROL
\$1060	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$105F	REGISTROS DE CONTROL
\$1000	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$0FFF	REGISTROS DE CONTROL
\$0400	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$03FF	REGISTROS DE CONTROL
\$03E0	RAM EXTERNA PARA USUARIO
\$03DF	REGISTROS DE CONTROL
\$0100	RAM INTERNA PARA USUARIO
\$00FF	REGISTROS PARA PUNTO FLOTANTE
\$0000	

Figura 3.7 Mapa de memoria EB de la tarjeta FÁCIL_11 en modo expandido.

3.4. Programación del microcontrolador.

El lenguaje de programación ensamblador del MC68HC11F1 posee una gran variedad de instrucciones dentro de las cuales podemos encontrar: carga, almacenamiento y transferencia de datos; operaciones aritméticas como son: suma, resta, comparaciones, multiplicación y división, operaciones lógicas, prueba de datos, manipulación de bits, corrimientos y rotaciones; instrucciones de control de programa como son: brincos, llamadas a subrutinas, interrupciones, etc. En total son 145 instrucciones de programación, además de seis diferentes tipos de direccionamiento para acceder a la memoria. También el MC68HC11F1 posee un bloque de 96 bytes de registros de control los cuales manejan, desde los modos de operación, hasta la configuración y el funcionamiento de los diferentes puertos del microcontrolador.

Con la ayuda de un programa para los microcontroladores de la familia HC11, se escriben las instrucciones que se utilizarán para realizar las tareas necesarias por la rutina que controlará el sistema y la configuración de los recursos internos y periféricos necesarios para dicho control.

El programa que utilizamos es el IASM11, que se encarga de ensamblar los mnemónicos y pasarlos a un lenguaje de máquina, posteriormente a través del programa PCBUG11 se carga el programa al microcontrolador.

3.4.1. Operación en punto flotante.

El microcontrolador MC68HC11F1 puede configurarse para realizar operaciones con punto flotante, para ello, es necesario cargar en el microcontrolador un paquete llamado FPOINT11.ASM. Necesita un espacio de 2[kb] de memoria RAM externa y sólo los primeros diez bytes de la página cero de la memoria RAM interna. Éstos 10 bytes son usados por los acumuladores del paquete de punto flotante, el FPACC1 y el FPACC2. Los cinco bytes del acumulador son repartidos de modo que: un byte es de exponente, tres de mantisa y otro que es usado para indicar el signo de la mantisa.

El byte de exponente se usa para indicar la posición del punto binario, este nos permite manejar números con exponente dentro de un intervalo de $1 \times 10 \pm 38$ (en decimal).

La mantisa consiste de tres bytes (24 bits) y se usa para guardar la porción entera del número con punto flotante. Se asume que la mantisa está siempre normalizada, es decir, el bit más significativo del byte con mayor peso debe ser 1. Un byte separado se usa para indicar el signo de la mantisa. Un valor positivo se indica con este byte en cero (\$00), uno negativo se indica con este byte a -1 (\$FF).

Trabajar el microcontrolador con operaciones de punto flotante resulta más sencillo de lo que parece, pues básicamente se trata de llamar subrutinas ya establecidas que son las que se encargan de hacer las operaciones. De modo resumido el proceso para trabajar con operaciones en punto flotante es:

- Se generan los datos de entrada escritos como una palabra en código ASCII,
- Se llama a la subrutina que convierte de ASCII a formato de punto flotante,

- Se mandan llamar las subrutinas adecuadas para realizar las operaciones del algoritmo; aquí también se puede hacer uso de subrutinas para manejo de datos en acumuladores y memoria,
- Se lee el resultado en la dirección correspondiente, y por último,
- Se convierte nuevamente de formato de punto flotante a ASCII y se despliega el resultado como se desee.

3.5. Algoritmo de filtrado y compensación

En el capítulo 4 se hace una descripción detallada de las funciones realizadas por el microcontrolador. También se describen las dos tendencias que se han manejado para la solución de este problema. Una de ellas es un sistema totalmente autónomo del satélite, donde un microcontrolador se encarga de todo el procedimiento de lectura de voltajes de los circuitos de acondicionamiento, el filtrado de las señales y la realización de la compensación de las variaciones de temperatura, intensidad del Sol y la disminución en la respuesta de las fotoceldas, debido a la degradación ocasionada por la radiación ionizante. La otra considera que las señales son dirigidas a un número igual de filtros analógicos, para pasar a los convertidores A/D y hacia la computadora de a bordo para allí efectuar la compensación con el mismo algoritmo.

Ambas tendencias fueron manejadas debido a que en un principio no se contaba con información suficiente sobre la disponibilidad de espacio y energía para el microcontrolador, aunque el uso de éste permitiría a la computadora de a bordo el dedicarse a otras tareas durante la misión.

CALIBRACIÓN DEL SENSOR SOLAR.

Para poder realizar pruebas de funcionamiento definitivas del sensor de Sol, sería indispensable exponerlo a las condiciones orbitales en que se encontraría durante su operación. Dado que la atmósfera terrestre bloquea una proporción de la radiación total proveniente del Sol, en Tierra solamente es posible calibrar los sensores si se cuenta con una fuente luminosa que emule las características de potencia solar y que tenga un intervalo espectral compatible con el de las celdas solares (de 0.45 a 1.05 μm). Como no se cuenta con un simulador solar, entonces se hace necesario contar con una estrategia que permita efectuar las pruebas de calibración en Tierra.

Un simulador solar es un dispositivo que nos proporciona una fuente de luz cuyas características son muy semejantes a las que emite el propio Sol. Hay simuladores que emiten de manera continua o en forma pulsante. Son de gran utilidad para probar la eficiencia de las celdas solares, revestimientos ópticos, térmicos, pinturas, etc. Como fuente luminosa estos equipos utilizan una lámpara de xenón de 3 [kW]. Un mecanismo elevador maneja el ajuste del ancho del haz de luz de salida, que comúnmente es de 33 [cm] y tiene formas variadas. Nos proporciona una intensidad que puede variar entre 0.23 a 2 constantes solares y tiene un espectro de emisión entre 0.25 y 2.7 micras.

En este capítulo se hace una descripción detallada de los procedimientos que se han establecido para lograr contrarrestar los efectos ambientales imperantes fuera de la atmósfera terrestre y conseguir que los sensores mantengan su capacidad de resolución a lo largo del tiempo que dure la misión.

4.1. Necesidades de calibración y compensación durante la misión.

Como se mencionó anteriormente, debido a las condiciones extremas existentes en órbita terrestre, entre otras, a los gradientes de temperatura, a la variación de la intensidad solar y la degradación que sufren las fotoceldas por la radiación; es necesario realizar un ajuste continuo a los sensores, en función de las variaciones que presentan estos fenómenos, que permita obtener datos más confiables y precisos, para de esta manera disminuir la posibilidad de errores.

Para esto, es necesario llevar a cabo un estudio de dichos parámetros, determinar los modelos matemáticos que definen de manera adecuada su comportamiento y el desarrollar algoritmos, que nos permitan manejar las relaciones de las variables y así, proceder a la compensación [14].

4.2. Calibración del sensor solar.

Como fuente de iluminación hemos utilizado el propio Sol y su potencia luminosa ha sido medida con un espectro-radiómetro, cuyas lecturas se encuentran directamente en $[W/m^2]$. Este dispositivo nos permitió obtener algunas curvas de calibración a diferentes intensidades. En cada medición, el aparato dispara un rayo láser que indica el punto exacto donde se está efectuando el muestreo de la reflectancia del objeto y lo almacena en su memoria. Cuenta con una superficie patrón Lambertiana que se toma como referencia para calibración de las mediciones. Para recuperar esta información y hacerla útil, es necesario auxiliarse de un paquete de cómputo llamado GER1500 v.1.3 y una interfaz RS-232. El programa descarga los datos y los muestra de forma tabular o gráfica.

Debido a que no es posible contar con las curvas arriba de $1,000 [W/m^2]$, por la atenuación atmosférica, la estrategia de calibración estará basada en la interpolación y extrapolación y será llevada a cabo por programación. Esta ha sido la razón primordial por la cual se estableció la restricción de mantener lineal la respuesta del sensor, para no sobrecargar las tareas del microcontrolador o de la computadora de a bordo, teniendo que efectuar cualquiera de ellos únicamente operaciones lineales.

4.2.1. Compensación por la degradación de las celdas solares.

Debido a la degradación que sufren las fotoceldas por efecto de la radiación ionizante, es necesario realizar un ajuste continuo de la respuesta de los sensores solares, para compensar estas variaciones, y que la información de la orientación sea confiable.

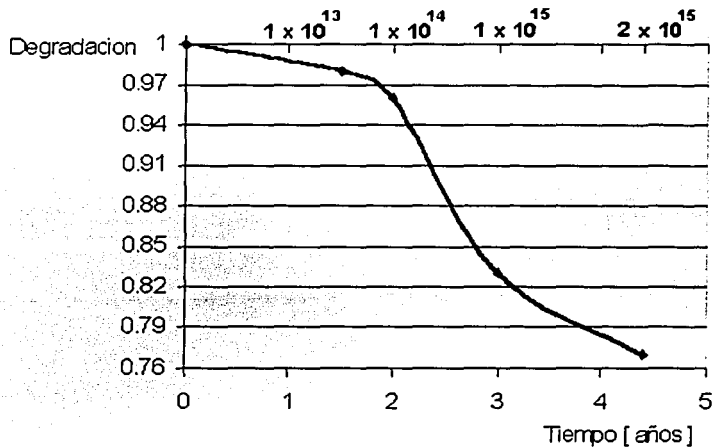


Figura 4.1. Curva que relaciona el porcentaje de disminución en la respuesta de las celdas (K4710), con la degradación producida por la radiación ionizante a lo largo del tiempo.

La radiación ionizante es un efecto acumulativo que va dañando la estructura interna de las celdas fotovoltaicas, disminuyendo su respuesta a lo largo del tiempo. La figura 4.1. muestra la curva de degradación para una órbita de 750 [km] de altura y una inclinación de 80 grados. Para construir esta gráfica se tomaron en cuenta los datos de degradación por radiación proporcionados por el fabricante [5] y un modelo de eventos de ocurrencia de partículas ionizantes en órbita terrestre generado por Stassinopoulos y King [13].

Es pertinente aclarar, que debido a que no se cuentan con los datos precisos de la órbita donde operará el satélite, ni la fecha probable de lanzamiento, esta gráfica tendrá que ser actualizada en su momento para que los datos sean los correctos y cumpla su función de compensación de manera correcta. Los pasos seguidos para realizar la programación en el microcontrolador fueron los siguientes:

El mes y el año recibidos desde la computadora de a bordo, con un formato similar a este: dd/mm/aa, se transforman a sus equivalentes hexadecimales. Por medio de comparaciones iterativas, se identifica el año en que se encuentra la misión, una vez obtenido éste, también por comparaciones, se determina el mes del año de operación. Al encontrar el mes, el programa salta a una rutina específica donde encuentra el factor de compensación por degradación, luego, el voltaje leído se divide entre este factor. De esta manera se corrige la respuesta del sensor por disminución en la respuesta de las celdas solares debido a este fenómeno.

4.2.2 Compensación contra variaciones de intensidad solar.

En el capítulo 2, cuando se analizó el comportamiento del sensor de Sol ante cambios en la intensidad de la fuente de iluminación, se hizo notar que para cada valor de intensidad existía un cambio en la pendiente de la curva de respuesta. Para poder compensar contra cambios de intensidad, es necesario saber qué pendiente tendrá que considerarse

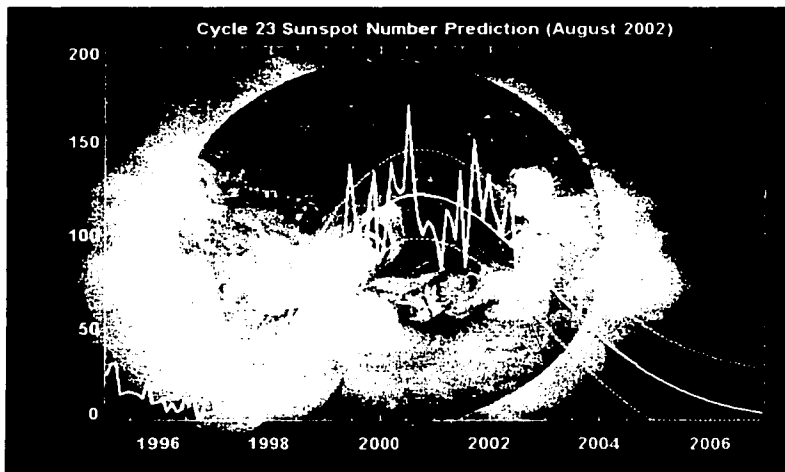


Figura 4.2. Fluctuaciones de la intensidad del Sol a lo largo del tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cuando el sensor se encuentre operando fuera de la atmósfera terrestre, a una constante solar, es decir, aproximadamente $135.3 \text{ [mW/cm}^2\text{]}$. En un principio se pensó utilizar un modelo de predicción de la intensidad solar para conocer su magnitud y saber que valor de pendiente le correspondía a la curva de voltaje vs. grados. Sin embargo, dado que la intensidad del Sol es un fenómeno fluctuante (ver figura 4.2), y el tomar los datos directamente del modelo de predicción de la intensidad a lo largo del tiempo, introduciría errores importantes, debido a la dispersión tan grande que tienen sus valores, se consideró utilizar, en su lugar, la medición directa de la intensidad del Sol.

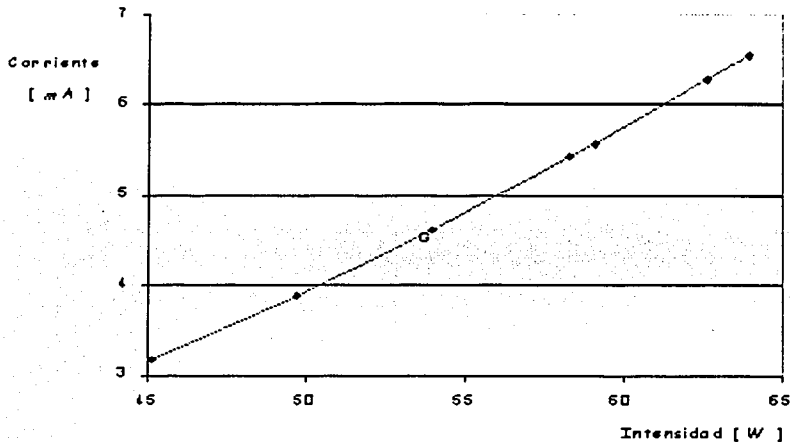


Figura 4.3. Relación entre la intensidad luminosa y la corriente de las celdas.

La variación de la intensidad luminosa puede expresarse como un cambio en la pendiente de las rectas de voltaje vs. grados, como se observa en la figura 2.5. En la figura 4.3 se aprecia la relación que existe entre la corriente y la intensidad solar, donde cada intensidad produce una única corriente.

La medición de la intensidad se hace por medio de un dispositivo diseñado especialmente para este fin. Está constituido por una celda solar, una resistencia y una entrada del convertidor (CAD). El diagrama electrónico se muestra en la figura 4.4. y opera de la siguiente manera: La corriente que produce la fotocelda se transforma, por medio de la resistencia R_T , a un voltaje proporcional, éste entra al CAD y es transformado a un dato hexadecimal. Aprovechando la relación lineal que existe, entre la intensidad luminosa y la corriente de la celda (figura 4.3.), el dato hexadecimal corresponde a un valor proporcional a la intensidad del Sol.

La resistencia R_T se calcula en función de la máxima corriente proporcionada por la celda y el voltaje máximo del convertidor, estos datos se obtuvieron de las hojas de especificaciones de los componentes.

$$R_L = \frac{V_m}{I_m} = \frac{5[V]}{0.40[A]} = 12.5[\Omega]$$

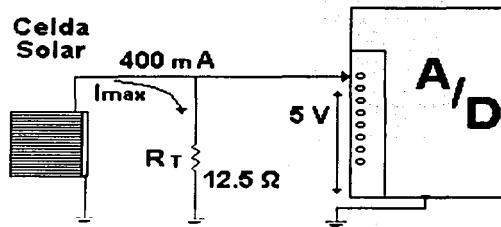


Figura 4.4. Circuito para medir la intensidad solar.

Para ingresar esta información al programa de compensación, se calculó la ecuación de una curva que relaciona las pendientes de cada una de las rectas, voltaje vs. grados, con su intensidad. La ecuación fue calculada por medio del método de mínimos cuadrados con ajuste a una curva de segundo grado. Ésta se muestran en seguida y su curva en la figura 4.5.

$$m = 0.000039065I^2 - 0.0124829I + 0.761475$$

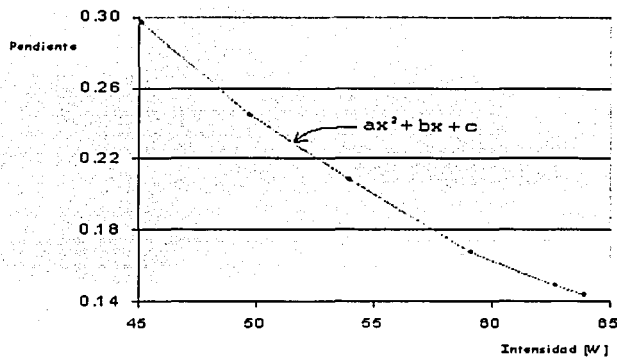


Figura 4.5. Curva de pendiente relacionada con la intensidad.

Una vez obtenida esta curva, se lee la intensidad, de la memoria, y se sustituye en la ecuación anterior para obtener la pendiente de la recta de respuesta del sensor, voltaje vs. grados. Este valor se guarda en la memoria para su uso posterior.

4.2.3. Compensación contra temperatura.

La estrategia a seguir para realizar la compensación contra temperatura, partió de encontrar el punto de intersección de la curva de respuesta con el eje de voltaje (x_0), para ello, se calcula el incremento en el voltaje que causa el cambio de temperatura, de la siguiente manera: la temperatura de las fotoceldas del sensor, se resta de la temperatura de calibración [Ti], ésta, es la temperatura a la cual se calibró el sistema, (28[°C]). El resultado, un incremento de temperatura ΔT , se multiplica por el coeficiente de temperatura: $-2.2[mV/^{\circ}C]$, que nos dice que: por cada grado que aumente la temperatura, la tensión en la fotocelda cae $2.2[mV]$. Debido a que se está trabajando con datos digitales, el producto se divide entre 0.019607, que es la resolución del convertidor, de esta forma, se obtiene el incremento que se le agregará al voltaje, (en hexadecimal), correspondiente a la calibración inicial, es decir, $2.5[V]$ o 127 decimal. Éste será el punto x_0 .

Como se observó en la figura 2.6, la influencia de la temperatura sobre el sistema se refleja en el cambio de la ordenada al origen de la recta, manteniendo su pendiente constante. Contamos con la pendiente, obtenida a partir de la compensación de intensidad, por lo que ahora podemos encontrar la ecuación de la recta por medio de la ecuación punto-pendiente, ya que conocemos el punto donde la curva de respuesta cruza al eje X (voltaje), se puede calcular la recta de la siguiente manera:

Conocemos la pendiente m y el punto $P(x_0, y_0)$.

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$
$$x_0 = 127 + \frac{\Delta T(-0.0022)}{0.19607}$$
$$y_0 = 0$$
$$y - 0 = m(x - x_0)$$
$$y = mx - mx_0$$

donde:

$$b = -mx_0$$
$$b = -m\left(127 + \frac{\Delta T(-0.0022)}{0.019607}\right)$$

Una vez obtenidas m y b , el voltaje filtrado y compensado por degradación, se multiplica por la pendiente y se suma a la ordenada, para obtener el ángulo de inclinación, directamente en grados.

4.3. Algoritmos para compensar las variaciones en la respuesta del sensor.

Debido a las necesidades del proyecto, para hacer la compensación de las variaciones del sensor solar, se han formulado dos soluciones. Una se realiza mediante la conexión e interacción directa a la computadora de a bordo del satélite, y la segunda se realiza con la ayuda de un microcontrolador HC11. A continuación se describen los procedimientos que han sido implementados para estas dos soluciones.

4.3.1. En la computadora de a bordo.

En esta solución, las tareas que se realizan para efectuar la obtención de la orientación son las siguientes: el sensor de Sol entrega las señales, provenientes de las fotoceldas, a la tarjeta del circuito de acondicionamiento, donde la señal analógica es acondicionada y restringida en un intervalo de 0 a 5 volts, (donde 0 [V] es el ángulo máximo negativo, 2.5 [V] equivalen a 0 [°] y 5 [V] es el ángulo máximo positivo). Las señales analógicas de 3 de los 8 sensores entran a una etapa de multiplexado, con 3 sensores de intensidad solar. El multiplexor será controlado desde la computadora de a bordo con sólo un canal de selección; el diagrama electrónico se muestra en la figura 4.7. La señal de un sensor entra a una etapa de filtrado analógico, para después ser leída por el convertidor analógico-digital de 12 bits de la computadora de a bordo. Los datos digitales pasan primeramente al proceso de compensación por degradación, a continuación al ajuste de intensidad solar y finalmente al de temperatura. El dato obtenido al final del proceso está listo, para cuando la rutina de determinación de la orientación o el algoritmo de control de orientación del satélite lo requiera.

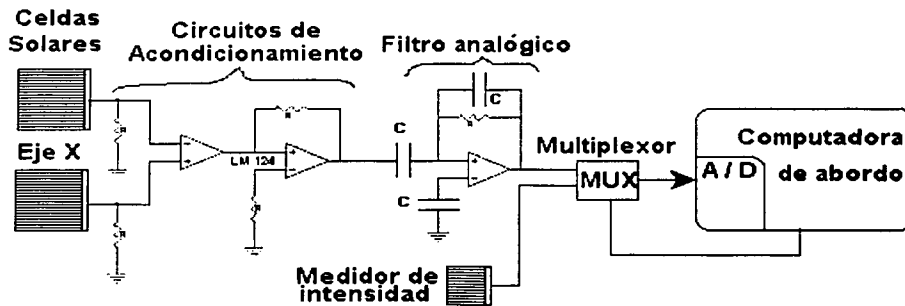


Figura 4.6. Diagrama de bloques del sensor y su interfaz con la computadora de a bordo.

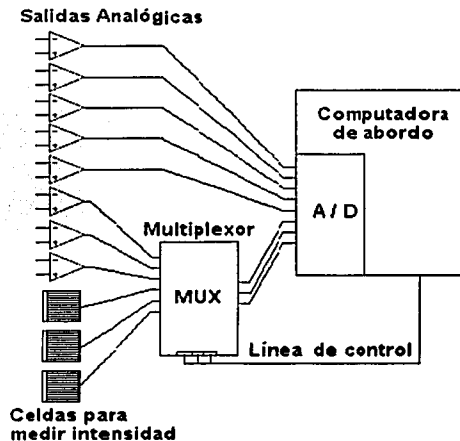


Figura 4.7. Diagrama del multiplexor de señales.

Enseguida se muestra el diagrama de flujo, del procedimiento de compensación de la respuesta de los sensores solares llevado a cabo con la computadora de a bordo de manera exclusiva.

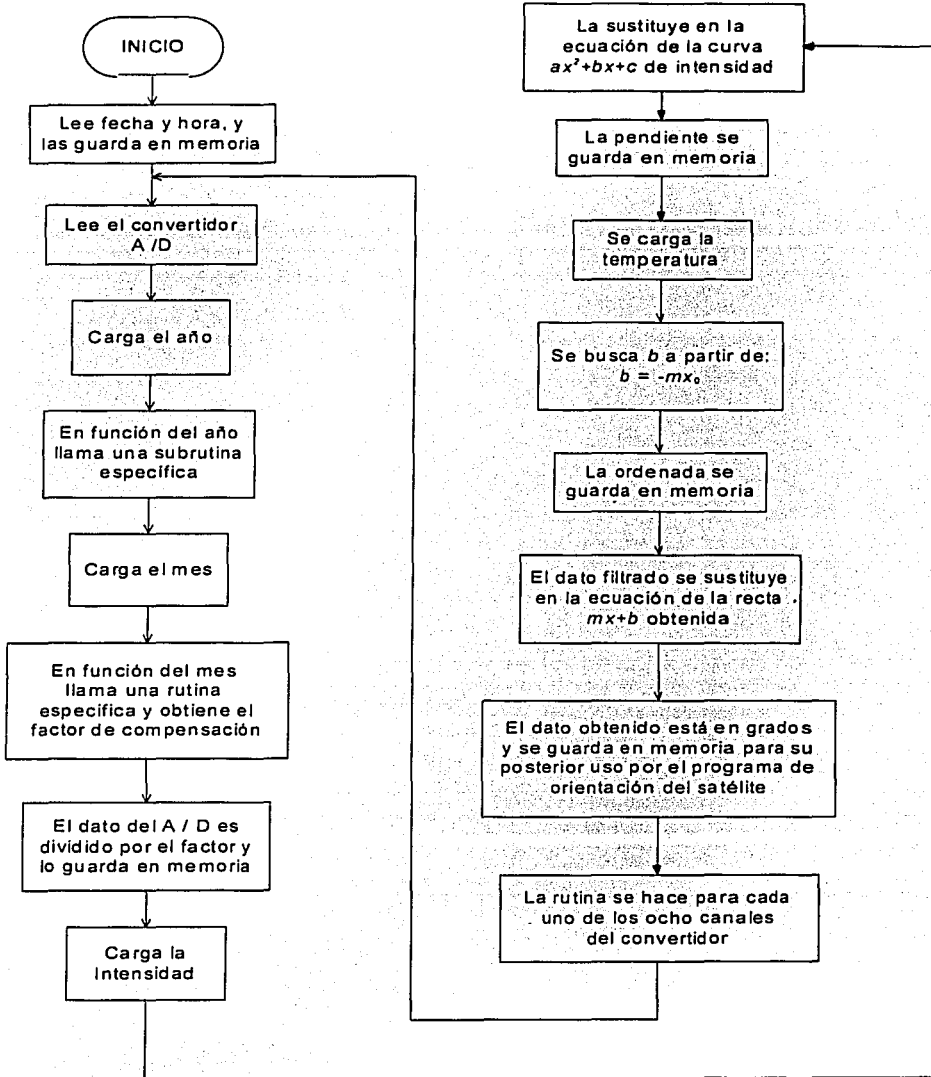
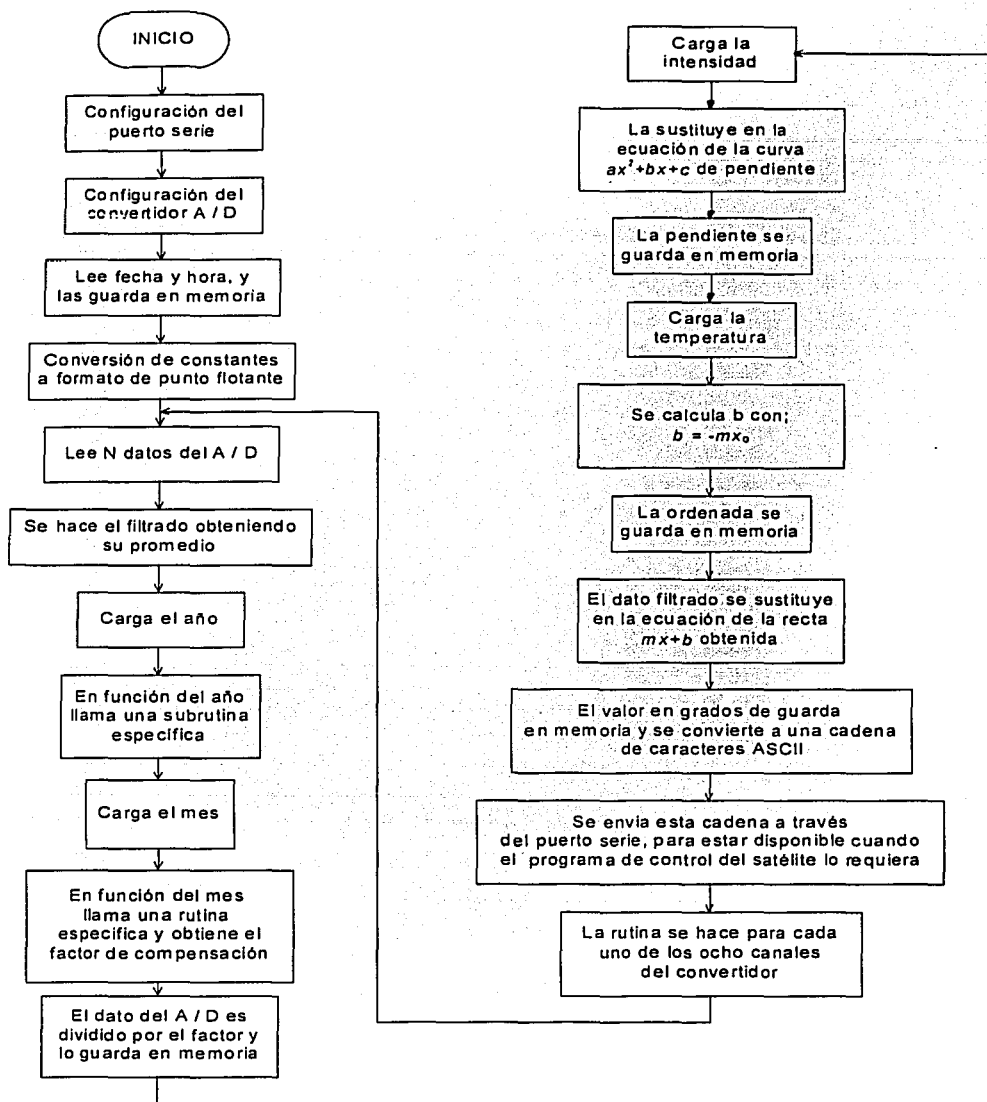


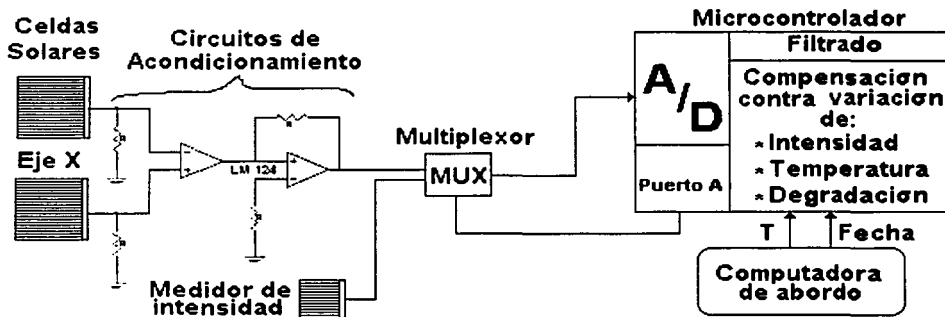
Figura 4.8. Diagrama de flujo del algoritmo de compensación cuando se emplea únicamente la computadora de a bordo.

4.3.2. Con un microcontrolador (sistema autónomo).



4.9. Diagrama de flujo del algoritmo de compensación con un microcontrolador.

En la segunda solución, un microcontrolador se encarga de ejecutar los algoritmos de compensación. Tiene comunicación con la computadora de a bordo por medio del puerto serie asíncrono y los pasos que realiza, se describen a continuación: Las señales que entregan los sensores de Sol, entran al circuito de acondicionamiento, 3 salidas analógicas están conectadas a un multiplexor, para seleccionar la señal que se requiera, ya sea la inclinación del sensor o la intensidad del Sol; las otras 5 se conectan directamente a los pines del convertidor analógico-digital de 8 bits, del microcontrolador, donde son transformadas. Con ayuda de operaciones en punto flotante, se realiza el filtrado digital, que es prácticamente el promedio de n muestras. Enseguida, a través del puerto serie, se hace la petición a la computadora de a bordo de la fecha y la temperatura, se hace la petición también de la intensidad luminosa, y todos estos datos se guardan en memoria. En primer lugar se realiza la compensación por degradación, en función de la fecha de operación; en segundo lugar se hace la compensación por intensidad, calculando la pendiente de la ecuación de la recta, para dichas condiciones y finalmente se compensa la temperatura calculando la ordenada al origen. Al sustituir los datos en sus correspondientes algoritmos, se genera un valor en grados, en formato de cadena ASCII, la cual es enviada a través del puerto serie hacia la computadora de a bordo, quien a su vez la remite hacia las rutinas de detección de orientación y control.



4.10. Diagrama de bloques del sensor de Sol y su interfaz con un microcontrolador y la computadora de a bordo.

4.4. Calificación para vuelo orbital.

Todos los equipos que son enviados a orbitar el espacio circundante a la Tierra, deben estar calificados para poder operar satisfactoriamente en las difíciles condiciones ambientales ahí existentes. Entre los criterios de calificación para vuelo espacial se menciona que los equipos que ya han estado en órbita y han cumplido exitosamente su misión, están aceptados para algún vuelo futuro. Los dispositivos y circuitos, que siendo de clase industrial, pasan por las pruebas de calificación necesarias y suficientes, pueden ser reclasificadas a espaciales. Otra forma de utilizar componentes que no son de uso espacial, es colocándolos en contenedores sellados, protegidos por cajas metálicas. Un recurso más, muy utilizado, es construir dos modelos del mismo equipo, uno de prueba, al

que se le somete a los ensayos más rigurosos, y otro, llamado modelo de vuelo, al que se le aplican pruebas de aceptación, que son menos severas que las primeras, así, queda calificado. De esta manera, el modelo de vuelo no es sometido a vibración, fatigas y temperaturas extremas, que en alguna forma causan esfuerzos excesivos en el sistema que se pondrá en órbita.

4.4.1. Órbita probable de operación.

Para poner en órbita un satélite pequeño de percepción remota es necesario que éste se encuentre girando en órbita baja, por eso, se tiene la necesidad de tener al satélite a una altura contemplada de entre aproximadamente 500 y 1 000 [km].

Nuestro satélite se encontrará girando en una órbita ubicada a 775 [km], con una inclinación de 89 [°], y tardará entre 99 y 101 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra.

4.4.2. Pruebas de calificación para vuelo orbital.

Las pruebas de calificación de los componentes, dispositivos, subsistemas y equipos se aplican dependiendo de las condiciones orbitales en las que se va a operar y también del tiempo de duración de la misión. Para cada misión en específico, se tiene una serie de pruebas específicas, y debido a que no siempre se tienen las mismas condiciones ambientales, no se pueden aplicar los mismos criterios y pruebas de calificación para diferentes misiones.

En el caso particular de los sensores solares, no se anticipa que pueda ser sometido a pruebas de calificación debido a que no se tiene acceso por el momento a sistemas de termo-vacío y vibración. Para asegurar su funcionamiento en órbita se han empleado componentes y materiales de calidad espacial y militar, como son los aluminios de la serie 2023, celdas solares utilizadas en diferentes misiones espaciales, circuitos electrónicos militares (LM124), cable con recubrimiento de teflón y adhesivos con muy bajos índices de gasificación. Esto nos garantiza en cierta medida un funcionamiento confiable de los componentes en las condiciones extremas que se presentan en el espacio exterior.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

5.1. Funcionamiento del algoritmo de filtrado.

El filtrado que se realizó es, básicamente, la aproximación del comportamiento del fenómeno a una línea recta, debido a que la respuesta real del sistema es prácticamente lineal. A continuación se muestra la gráfica que compara: la respuesta real del sistema, y la respuesta después de pasar por el proceso de filtrado. Puede observarse que la corrección y el ajuste se hacen satisfactoriamente, y que el rango de cobertura, en términos prácticos, se mantiene constante.

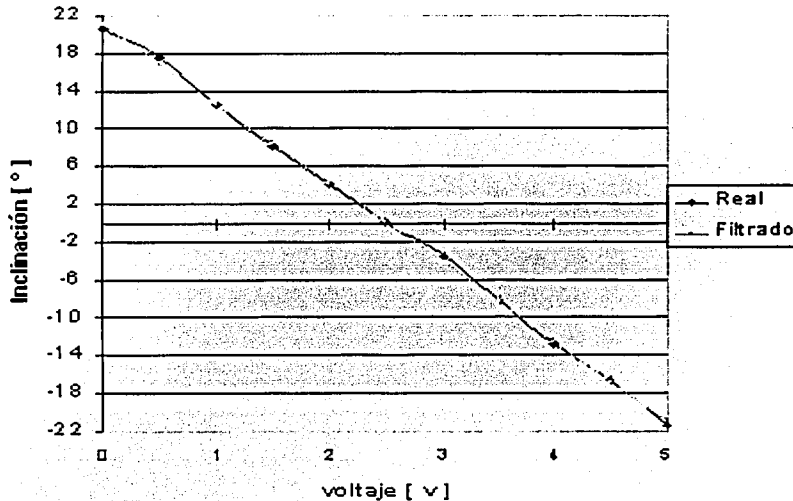


Figura 5.1. Comparación del sistema real y con filtro.

5.2. Pruebas finales de funcionamiento en Tierra.

Las pruebas realizadas en Tierra fueron, prácticamente, para asegurar que el sensor de Sol funcione de acuerdo a lo estipulado en el diseño, para su funcionamiento en órbita. Algunas de las pruebas que se realizaron y sus resultados se enuncian a continuación:

- *Calibración del circuito de acondicionamiento para resistir potencias del orden de $1000 [W/m^2]$:* Para que el circuito de acondicionamiento no se saturara, debido a la gran cantidad de intensidad luminosa emitida por el Sol, fue necesario rediseñar el circuito y calibrar las ganancias de manera adecuada. Para la calibración final se tendrá que someter el circuito a la intensidad aproximada del Sol, en la órbita de operación, por medio de un simulador solar, y el reajuste final, estará constituido, sólo por el ajuste de las ganancias de las etapas de amplificación.

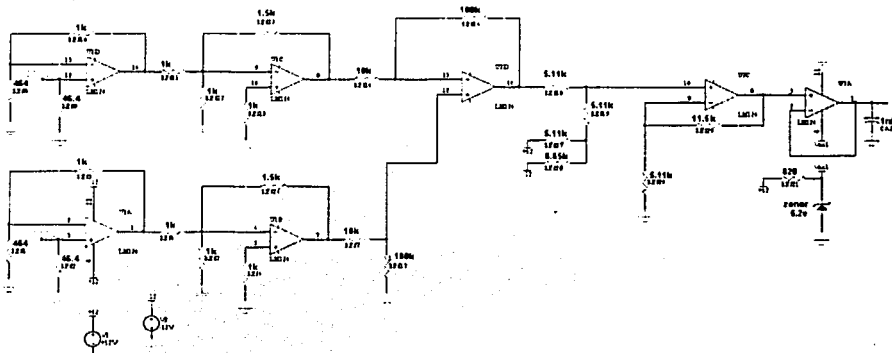


Figura 5.2. Circuito de acondicionamiento calibrado para un eje.

- *Obtención de las curvas a diferentes intensidades:* Las curvas reales de intensidad se obtuvieron de las pruebas de voltaje vs. inclinación, que se realizaron a cielo abierto, cuando, debido a las condiciones ambientales, se recibían diferentes intensidades luminosas; ésto fue posible gracias al medidor solar, que nos proporciona la intensidad directamente en $[W/m^2]$.
- *La brújula electrónica y el espectrofotómetro como equipos auxiliares de medición:* Para poder realizar la calibración del sistema, nos apoyamos en equipos de medición especiales, como son: la brújula electrónica, que nos proporcionó la inclinación real de la plataforma de prueba del sensor de Sol, para compararlo con los voltajes de salida de la etapa de acondicionamiento, y así lograr su calibración; el otro instrumento, el espectrofotómetro, nos permitió conocer la intensidad luminica en un punto dado, a la longitud de onda deseada, con esto comprobamos la compatibilidad del espectro de las celdas solares y la luz de la lámpara de prueba.

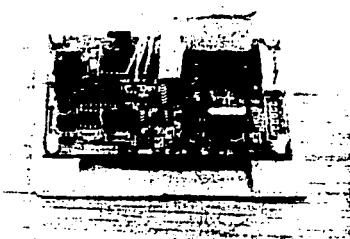


Figura 5.3. Brújula electrónica EZ-COMPASS-3.

El experimento final consistió en exponer el sistema directamente al Sol que recibe la superficie terrestre, se le conectó la electrónica de acondicionamiento y el microcontrolador que realiza la compensación y el filtrado. Las condiciones iniciales de fecha, temperatura e intensidad, fueron dadas aleatoriamente en cada prueba. El ángulo recibido se comparó con los datos leídos directamente de la brújula, y aunque las condiciones de operación de ambos sistemas, para fines prácticos, no era el mismo, los datos tenían el mismo comportamiento, y en cada prueba, se alcanzó un rango de operación muy próximo al esperado. Las características finales de operación se enuncian en la sección de conclusiones.

A continuación se muestra un experimento, en el cual se grafica la información proporcionada por la brújula electrónica y los datos que arrojó el programa de compensación.

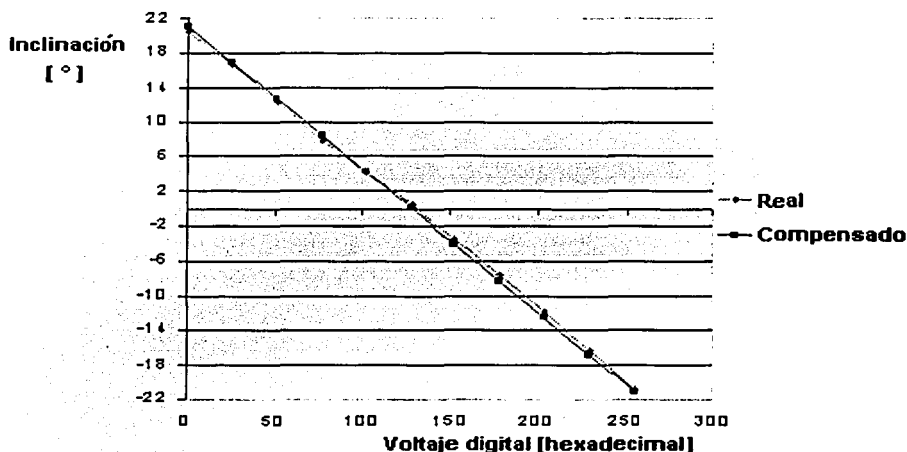


Figura 5.4. Experimento de funcionamiento del algoritmo de compensación.

5.3. Conclusiones y recomendaciones.

A partir del desarrollo del presente trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado, construido y probado un sensor de Sol para satélites pequeños, que se empleará en la detección de su orientación.
- Se desarrolló y probó un sistema para detección de orientación, basado en el apuntamiento del vector solar con celdas solares, el cual proporciona información con una resolución de $\pm 0.18 [^\circ]$, limitado por el convertidor A/D de 8 bits y la cobertura de visión de $\pm 22 [^\circ]$ en cada eje.
- Se diseñó, manufacturó y probó, un circuito impreso para la electrónica de acondicionamiento de las señales proporcionadas por las fotoceldas.
- Se ha determinado un método de filtrado sencillo, confiable y adaptable a los recursos del sistema, por tal razón, se optó por el ajuste de datos a una curva de primer grado, con posibilidad de variar el número de muestras.
- Se desarrolló y probó un algoritmo de punto flotante, para el microcontrolador HC11F1, que realizará la compensación del sistema, utilizando el paquete de subrutinas proporcionadas por Motorola.

Para dar continuidad a este trabajo y llevarlo a fines prácticos, es pertinente hacer las siguientes recomendaciones:

- Realizar pruebas de funcionamiento de los sensores dentro de un laboratorio con condiciones y equipo de iluminación calificados, como el simulador de Sol.
- Utilizar una plataforma de prueba balanceada, que permita calibrar los sensores tanto en el eje de referencia X como en el Y.
- Diseñar y manufacturar una tarjeta propia para el HC11F1 en modo expandido, con el fin de reducir el espacio que ocupa ésta.
- Utilizar convertidores A/D externos de mayor resolución, para obtener una mayor precisión en los datos de orientación.
- Actualizar los datos y las gráficas de acuerdo al tiempo en que será el lanzamiento.



A

CARGA DE LAS SUBROUTINAS DE PUNTO FLOTANTE

Para trabajar el microcontrolador (MCU) con rutinas de punto flotante por medio del PCBUG11, pueden seguirse las siguientes instrucciones:

- Arrancar el MCU en modo *bootstrap*.
- Teclar los siguientes comandos de configuración.
 - ✓ > EEPROM ERASE ENABLE
 - ✓ > EEPROM \$FE00 \$FFFF
 - ✓ > MS \$1035 \$00
- Cargar el *talker*: *talkerf1.s19* así: > *loads c:\ruta\talkerf1.s19*
- Salir del PCBUG11 y reiniciar el micro en modo expandido con la opción *talkeree*.
- Cargar el programa con origen en la RAM así: > *loads c:\ruta\programa.s19*

El *talker* reside en la EEPROM y la página cero queda libre para ser ocupada por los acumuladores de punto flotante.

Estructura de un archivo con aplicación de punto flotante.

La estructura del archivo con rutinas que manejan punto flotante, es un poco diferente a los que normalmente utilizamos, la diferencia radica sólo en que debe incluirse una directiva que le indique al CPU que cargue también estas subrutinas. La línea que debe teclearse siempre al inicio del programa es:

```
$include " c:\ ruta del directorio donde se almacena el archivo \ fpoint11.asm "
```

Esta instrucción permite cargar, además del programa fuente, las rutinas de punto flotante. Éstas se encuentran a partir de su origen (\$2000), sin embargo pueden ser reubicadas dentro del mapa de memoria.

FUNCIONAMIENTO AUTÓNOMO DEL MICROCONTROLADOR, EN MODO EXPANDIDO

Una vez que se tiene el programa completo, es necesario que el MCU trabaje de manera autónoma, es decir, sin depender directamente de una PC, quedando así libre el puerto serie. Para realizar esta tarea, es necesario llevar a cabo la configuración de la tarjeta FÁCIL_11; se colocan los *jumpers* J11 y J16, además de que el origen del programa fuente deberá ser el mismo que el de la EPROM (\$8000), en la cual tendrá que haberse grabado previamente en el programa.

Quemado de la EPROM.

Para quemar la EPROM es necesario utilizar el software PUMA_11, del M.I. Antonio Salvá Calleja, en modo bootstrap y poner como origen del programa la dirección \$8000. Para polarizar la tarjeta durante el quemado, debe utilizarse una fuente de aproximadamente 14 volts. En el menú *Memoria* seleccionamos *grabar eprom*, nos pide conectar el voltaje de programación (casi 12 [V]), esto es, conectar el J32. Una vez concluido el proceso se desconecta el J32 y se lleva a la fuente a 7.5 [V]. Con esto la EPROM ya contiene el programa.

Para un quemado exitoso, es necesario tomar en consideración algunas recomendaciones:

- Tener grabado el firmware del mapa de memoria EB en la EPROM.
- Todas las tareas que involucran la EPROM deben realizarse con el microcontrolador en modo bootstrap.
- Cuando se trabaja en bootstrap es necesario quitar de la tarjeta los circuitos 74HC573.
- No olvidar colocar los circuitos anteriores, para trabajar en modo expandido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO DE COMPENSACIÓN PARA EL SENSOR DE SOL.

El siguiente listado muestra el código, en ensamblador, del programa que realiza la adquisición de datos a través del convertidor analógico digital, el filtrado, la compensación por temperatura, intensidad y degradación del sensor solar y la transmisión de la información de forma serial.

Este programa inicia en la dirección \$8000, (inicio de la EPROM), en el se incluye el paquete que contiene las rutinas de punto flotante, necesarias para realizar las operaciones aritméticas que requiere el algoritmo.

```
SINCLUDE "C:\DAH\FP11B000.ASM"
```

```

PORTA          EQU          $00
DDRA           EQU          $01
BAUD           EQU          $2B
SCCR1          EQU          $2C
SCCR2          EQU          $2D
SCSR           EQU          $2E
SCDR           EQU          $2F
OPTION         EQU          $39
ADCTL          EQU          $30
ADR1           EQU          $31
ADR2           EQU          $32
ADR3           EQU          $33
ADR4           EQU          $34
N_DATOS        EQU          $3250
CELDA1         EQU          $3251
CELDA2         EQU          $3252
CELDA3         EQU          $3253
PORT1          EQU          $1900
TEMPE          EQU          $00
FECHA_MES      EQU          $03
FECHA_AÑO      EQU          $0B
MES_HEX        EQU          $3254
AÑO_HEX        EQU          $3255          ; BANDERAS

ORG            $9000          ; ORIGEN DEL PROGRAMA
LDS            #3FF          ; INICIO DEL STACK
LDX            #1000         ; INICIO DEL REGISTRO DE ÍNDICE

*                *****CONFIGURACIÓN DEL CONVERTIDOR A/D*****

LDAA          #590
STAA          OPTION,X      ; ENCENDEMOS EL C A/D
LDAB          #57F
CON_ON        DECB
BNE           CON_ON        ; RETARDO DE ENCENDIDO
LDAA          #30
STAA          ADCTL,X       ; CONVERSIÓN CONTINUA DE 4 CANALES

*                *****LECTURA DE LA INTENSIDAD*****

LDAA          #5FF          ; CONFIGURA EL PUERTO A
STAA          DDRA,X        ; COMO PINES DE SALIDA
LDAA          #501          ; HABILITA LA SEÑAL DE LAS

```

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

```

CELDAS      STAA      PORTA,X      ;FOTOCELDAS DE INTENSIDAD
            BRCLR    ADCTL,X,$80,CELDAS ;CONVIERTE 4 CANALES
            LDAA     ADRI      ;CARGA LOS DATOS
            STAA     CELDA1
            LDAA     ADR2
            STAA     CELDA2      ;CONVERTIDOS Y LOS
            LDAA     ADR3
            STAA     CELDA3      ;GUARDA EN MEMORIA
            LDAA     #500      ;HABILITA PERMANENTEMENTE LAS
            STAA     PORTA,X    ;SEÑALES DE LOS SENSORES

```

****CONFIGURA EL SCI CON 8 BITS Y 9600 BAUDS

```

LDAA      #530
STAA      BAUD,X      ;CONFIGURA EL SCI A 9600 BAUDS
LDAA      #500
STAA      SCCR1,X     ;8 BITS DE DATOS

```

****RECIBE FECHA****

```

REINICIO    JSR      SCI_TRANSM
MES_ERROR   LDAA     #'F'      ;CARGA UNA F
ENVIA_F     BRCLR    SCSR,X,$80,ENVIA_F ;ESPERA A QUE ESTE LISTO
            STAA     SCDR,X   ;PARA ENVIAR EL DATO
F_WAIT      BRCLR    SCSR,X,$80,F_WAIT ;ESPERA QUE SE MANDE
            JSR      SCI_RECEP ;ENCIENDE RECEPCIÓN
MES1        BRCLR    SCSR,X,$20,MES1 ;ESPERA RECIBIR DATO
            LDAA     SCDR,X   ;TRAE LA FECHA CON FORMATO
            CMPA     #'/'     ;DD/MM/AA, ESPERA RECIBIR
            BNE     MES1     ;LA DIAGONAL PARA IR GUARDANDO
            LDY     #$32D0   ;DATO A DATO EN MEMORIA
MES2        BRCLR    SCSR,X,$20,MES2
            LDAA     SCDR,X
            STAA     FECHA_MES,Y ;LO GUARDA EN MEMORIA
DIAGONAL    BRCLR    SCSR,X,$20,DIAGONAL
            LDAA     SCDR,X
            STAA     FECHA_MES,Y
MES_ANO     BRCLR    SCSR,X,$20,MES_ANO
            LDAA     SCDR,X
            CMPA     #'.'
            BNE     MES_ERROR
            LDY     #$32D0
ANO1        BRCLR    SCSR,X,$20,ANO1 ;ESPERA RECIBIR DATO
            LDAA     SCDR,X   ;TRAE EL DATO
            STAA     FECHA_ANO,Y
            INY
ANO2        BRCLR    SCSR,X,$20,ANO2
            LDAA     SCDR,X
            STAA     FECHA_ANO,Y ;LO GUARDA EN MEMORIA
            JSR      SCI_OFF  ;APAGA EL PUERTO SERIE
            PSHX
            JSR      CLRFPAC1 ;CONVIERTE LA
            JSR      CLRFPAC2 ;CADENA RECIBIDA
            LDY     #MES     ;A VALORES HEXADECIMALES
            JSR      ASC_HEX  ;UTILIZANDO LAS
            LDD     $0016    ;RUTINAS DE PUNTO FLOTANTE
            STAB    MES_HEX
            LDY     #ANO
            JSR      ASC_HEX
            LDD     $0016
            STAB    ANO_HEX
            PULX

```

*****RECIBE TEMPERATURA*****

```

DATE_ERROR  JSR      SCI_TRANSM ;ENCIENDE TRANSMISOR
            LDAA     #'T'     ;CARGA T Y ESPERA QUE
ENVIA_T     BRCLR    SCSR,X,$80,ENVIA_T ;ESTE LISTO PARA
            STAA     SCDR,X   ;ENVIAR EL DATO

```

```

T_WAIT      BRCLR   SCSR,X,$80,T_WAIT ;ESPERA QUE SE MANDE
            JSR     SCI_RECEP
            LDY     #TEMPER      ;INICIALIZAMOS EN CERO
TMPR1       BRCLR   SCSR,X,$20,TMPR1 ;ESPERA DATO: TEMPERATURA
            LDAA   LDAA         ;TRAE LA TEMPERATURA
            STAA   SCDR,X      ;Y LA GUARDA EN MEMORIA
            INY     TEMPE,Y     ;INCREMENTA Y
TMPR2       BRCLR   SCSR,X,$20,TMPR2 ;ESPERA DATO: TEMPERATURA
            LDAA   LDAA         ;TRAE LA TEMPERATURA
            STAA   SCDR,X      ;Y LO GUARDA EN MEMORIA
            INY     TEMPE,Y     ;INCREMENTA Y
TMPR3       BRCLR   SCSR,X,$20,TMPR3 ;ESPERA DATO: TEMPERATURA
            LDAA   LDAA         ;TRAE LA TEMPERATURA
            STAA   SCDR,X      ;Y LO GUARDA EN MEMORIA
            INY     TEMPE,Y     ;INCREMENTA Y
TMPR4       BRCLR   SCSR,X,$20,TMPR4 ;ESPERA DATO: TEMPERATURA
            LDAA   LDAA         ;TRAE LA TEMPERATURA
            STAA   SCDR,X      ;Y LO GUARDA EN MEMORIA
            INY     TEMPE,Y     ;INCREMENTA Y
TMPR5       BRCLR   SCSR,X,$20,TMPR5
            LDAA   SCDR,X      ;RECIBE OTRO DATO
            STAA   TEMPE,X
            JSR     SCI_OFF    ;APAGA PUERTO

            PSHX
            LDX     #TEMPER
            JSR     ASCFLT
            LDX     #TEMPERATURA ;PASA LA TEMPERATURA
            JSR     PUTFPAC1    ;DE ASCII A FPOINT
            PULX

```

** *****CONVERSIÓN DE CONSTANTES (FACTORES) ASCII A FPOINT*****

```

PSHX
LDX     #F100      ;ESTAS INSTRUCCIONES LEEN
JSR     ASCFLT    ;LOS FACTORES DE DEGRADACIÓN,
LDX     #FACT_100 ;LOS TRANSFORMAN A FORMATO
JSR     PUTFPAC1 ;DE PUNTO FLOTANTE Y LOS
LDX     #F99      ;GUARDA EN MEMORIA.
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_99
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F98
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_98
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F97
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_97
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F96
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_96
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F94
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_94
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F90
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_90
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F86
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_86
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F83
JSR     ASCFLT
LDX     #FACT_83
JSR     PUTFPAC1
LDX     #F82

```

```

JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_82
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F81
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_81
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F80
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_80
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F79
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_79
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F78
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_78
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F77
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_77
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F76
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_76
JSR      PUTFPAC1
LDX      #F75
JSR      ASCFLT
LDX      #FACT_75
JSR      PUTFPAC1
LDX      #T_CALIB
JSR      ASCFLT
LDX      #TEMP_CALIB
JSR      PUTFPAC1
LDX      #T_COEF
JSR      ASCFLT
LDX      #COEF_TEMP
JSR      PUTFPAC1
LDX      #SRESOL_CAD
JSR      ASCFLT
LDX      #RES_CONV
JSR      PUTFPAC1
LDX      #HEX_127
JSR      ASCFLT
LDX      #CALIB_127
JSR      PUTFPAC1
LDX      #SIGNO_MENOS
JSR      ASCFLT
LDX      #NEGATIV
JSR      PUTFPAC1

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

*****TRANSFORMACIÓN DE CONSTANTES (DE LAS RECTAS) ASCII A FPOINT*****

```

LDX      #PEND_A      ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANS-
JSR      ASCFLT      ;FORMAN LOS COEFICIENTES
LDX      #A_M        ;DE LA CURVA DE PENDIENTE
JSR      PUTFPAC1    ;A PUNTO FLOTANTE.
LDX      #PEND_B      ;DICHAS CONSTANTES
JSR      ASCFLT      ;SON CARGADAS
LDX      #B_M        ;EN MEMORIA,
JSR      PUTFPAC1    ;EN FORMATO HEXADECIMAL,
LDX      #PEND_C      ;PREVIAMENTE.
JSR      ASCFLT
LDX      #C_M
JSR      PUTFPAC1
PULX

```

*****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DE CANAL 0 *****

```

JSR      DATO      ;CONVERTIMOS 1er DATO

```



```

LDAB      ADRI,X      ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR       SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR1 JSR       DATO_2    ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
LDAB     ADRI,X      ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
JSR     SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
BNE     CICLOADR1   ;VE SI SON 50 MUESTRAS

JSR     ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
PSHX    ;GUARDA X
LDX     #SENSOL_1   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
LDX     #SENSGRA1   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
FSHY
LDY     #SENSOL_1
JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
PULX    ;SACA X
PULY

```

****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 1 ****

```

JSR     DATO        ;CONVERTIMOS 1er DATO
LDAB    ADR2,X     ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR     SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR2 JSR     DATO_2    ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
LDAB    ADR2,X     ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
JSR     SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
BNE     CICLOADR2  ;VE SI SON 50 MUESTRAS

JSR     ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
PSHX    ;GUARDA X
LDX     #SENSOL_2   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
LDX     #SENSGRA2   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
FSHY
LDY     #SENSOL_2
JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
PULX    ;SACA X
PULY

```

****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 2 ****

```

JSR     DATO        ;CONVERTIMOS 1er DATO
LDAB    ADR3,X     ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR     SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR3 JSR     DATO_2    ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
LDAB    ADR3,X     ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
JSR     SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
BNE     CICLOADR3  ;VE SI SON 50 MUESTRAS

JSR     ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
PSHX    ;GUARDA X
LDX     #SENSOL_3   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
LDX     #SENSGRA3   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
FSHY
LDY     #SENSOL_3
JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
PULX    ;SACA X
PULY

```

****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 3 ****

```

JSR     DATO        ;CONVERTIMOS 1er DATO
LDAB    ADR4,X     ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR     SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

```

```

CICLOADR4      JSR      DATO_2      ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
                LDAB     ADR4,X      ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
                JSR      SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
                BNE     CICLOADR4   ;VE SI SON 50 MUESTRAS

                JSR      ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
                PSHX     ;GUARDA X
                LDX     #SENSOL_4   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
                JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
                LDX     #SENSGRA4   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
                JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
                PSHY     ;SE GUARDA EN MEMORIA
                LDY     SENSOL_4
                JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
                PULX     ;SACA X
                PULY

*****
***** CONFIGURACIÓN DEL CONVERTIDOR PARA LEER LOS SIGUIENTES
***** CUATRO CANALES

                LDAA     #S34
                STAA     ADCTL,X     ;CONVERSIÓN CONTINUA DE 4 CANALES

*               *****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 4 *****

                JSR      DATO        ;CONVERTIMOS 1er DATO
                LDAB     ADR1,X      ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
                JSR      SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR5      JSR      DATO_2      ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
                LDAB     ADR1,X      ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
                JSR      SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
                BNE     CICLOADR5   ;VE SI SON 50 MUESTRAS

                JSR      ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
                PSHX     ;GUARDA X
                LDX     #SENSOL_5   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
                JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
                LDX     #SENSGRA5   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
                JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
                PSHY     ;SE GUARDA EN MEMORIA
                LDY     #SENSOL_5
                JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
                PULX     ;SACA X
                PULY

*               *****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 5 *****

                JSR      DATO        ;CONVERTIMOS 1er DATO
                LDAB     ADR2,X      ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
                JSR      SUBR1      ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR6      JSR      DATO_2      ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
                LDAB     ADR2,X      ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
                JSR      SUBR2      ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
                BNE     CICLOADR6   ;VE SI SON 50 MUESTRAS

                JSR      ALGORITMO   ;VA AL ALGORITMO
                PSHX     ;GUARDA X
                LDX     #SENSOL_6   ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
                JSR     FLTASC      ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
                LDX     #SENSGRA6   ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
                JSR     PUTFPAC1    ;SE GUARDA EN MEMORIA
                PSHY     ;SE GUARDA EN MEMORIA
                LDY     #SENSOL_6
                JSR     ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
                PULX     ;SACA X
                PULY

```

****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 6 ****

```

JSR      DATO      ;CONVERTIMOS 1er DATO
LDAB    ADR3,X    ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR     SUBR1     ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR7 JSR      DATO_2  ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
LDAB    ADR3,X    ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
JSR     SUBR2     ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
BNE     CICLOADR7 ;VE SI SON 50 MUESTRAS

JSR     ALGORITMO ;VA AL ALGORITMO
PSHX   ;GUARDA X
LDX    #SENSOL_7 ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
JSR    FLTASC    ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
LDX    #SENSGRA7 ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
JSR    PUTFPAC1  ;SE GUARDA EN MEMORIA
PSHY
LDY    #SENSOL_7
JSR    ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
PULX   ;SACA X
PULY

```

****CONVERSIÓN DE INFORMACIÓN DEL CANAL 7 ****

```

JSR      DATO      ;CONVERTIMOS 1er DATO
LDAB    ADR4,X    ;CARGAMOS DATO CONVERTIDO
JSR     SUBR1     ;PASA DATO A FPOINT

CICLOADR8 JSR      DATO_2  ;RECIBE LOS SIGUIENTES DATOS
LDAB    ADR4,X    ;CARGA DATOS CONVERTIDOS
JSR     SUBR2     ;PASA A FPOINT Y SUMA LOS DATOS
BNE     CICLOADR8 ;VE SI SON 50 MUESTRAS

JSR     ALGORITMO ;VA AL ALGORITMO
PSHX   ;GUARDA X
LDX    #SENSOL_8 ;ESTAS INSTRUCCIONES TRANSFOR-
JSR    FLTASC    ;MAN EL RESULTADO EN UNA CADENA
LDX    #SENSGRA8 ;ASCII PARA SU VISUALIZACIÓN Y
JSR    PUTFPAC1  ;SE GUARDA EN MEMORIA
PSHY
LDY    #SENSOL_8 ;SACA X
JSR    ENVIA_ANGULO ;MANDA POR EL SCI EL RESULTADO
PULX
PULY

JMP     REINICIO  ;INICIA EL PROCESO NUEVAMENTE
          ;VOLVIENDO A LEER LA FECHA Y LA
          ;TEMPERATURA

```

*****ESTA SUBRUTINA RECIBE EL PRIMER DATO CONVERTIDO*****

```

DATO     BRCLR    ADCTL,X,$80,DATO ;LA CONVERSIÓN
        PSHX    ;GUARDA EL STACK
        JSR    CLRFPAC1
        JSR    CLRFPAC2 ;LIMPIA FPAC1 Y 2
        PULX   ;SACA X
        CLRA   ;LIMPIA A
        RTS    ;REGRESA

```

****SUBRUTINA PARA CONVERTIR EL 1er DATO A FPOINT Y CUENTA LA 1a MUESTRA

```

SUBR1    PSHX    ;GUARDA X
        STD    FPACC1MN+1
        JSR    UINT2FLT ;PASA EL DATO A FPOINT

        CLR    N_DATOS ;INICIALIZA EL # DE MUESTRAS
        INC    N_DATOS ;REGISTRA LA 1er MUESTRA
        JSR    TFR1TO2 ;PASA FPAC1 A 2
        PULX   ;SACA X
        RTS    ;REGRESA

```

```

DATO_2      BRCLR      ADCTL,X,$80,DATO_2 ;CONVIERTE LOS DATOS
            INC        N_DATOS ;INCREMENTA LAS MUESTRAS
            PSHX      ;GUARDA X
            JSR        CLRFPAC1 ;LIMPIA FPAC1
            PULX      ;SACA Y
            CLRA      ;LIMPIA A
            RTS        ;REGRESA

* PASA A FPOINT TODAS LAS MUESTRAS, HACE LA SUMATORIA Y LAS CUENTA HASTA 50

SUBR2      PSHX      ;GUARDA X
            STD        FPACC1MN+1
            JSR        UINT2FLT ;CONVIERTE A FPOINT
            JSR        FLTADD ;HACE LA SUMATORIA
            LDX        #save_suma
            JSR        PUTFPAC1 ;GUARDA EN MEMORIA LA SUMA EN FP

            JSR        TFR1TO2 ;PASA 1 A 2
            PULX      ;SACA X
            LDAA      #$32
            CMPA      N_DATOS ;VE SI SON 50 MUESTRAS
            RTS        ;REGRESA

```

* SUBROUTINA PARA EL FILTRADO Y LA COMPENSACION DEL SISTEMA

```

**
*****FILTRADO*****

ALGORITMO  PSHX      ;GUARDA X
            JSR        CLRFPAC1 ;LIMPIA FPAC1
            PULX      ;SACA X
            CLRA      ;LIMPIA A
            LDAB      N_DATOS ;CARGA EL # DE MUESTRAS
            PSHX      ;GUARDA X
            STD        FPACC1MN+1
            JSR        UINT2FLT ;PASA LAS MUESTRAS A FPOINT
            LDX        #save_muestras
            JSR        PUTFPAC1 ;GUARDA EL NUMERO DE MUESTRAS EN FP
            JSR        CLRFPAC1
            JSR        CLRFPAC2 ;LIMPIA FPAC1 Y 2
            LDX        #SAVE_SUMA
            JSR        GETFPAC1 ;TRAE LA SUMATORIA
            LDX        #SAVE_MUESTRAS
            JSR        GETFPAC2 ;TRAE EL # DE MUESTRAS
            JSR        FLTDIV ;DIVIDE SUMA / # DE MUESTRAS
            JSR        TFR1TO2 ;PASA EL RESULTADO A FPAC2
            LDX        #PROMEDIO ;GUARDA SUMA/N
            JSR        PUTFPAC2

```

*****COMPENSACION POR DEGRADACION*****

```

E2003      JSR        CLRFPAC1 ;LIMPIA FPAC1 Y 2
            JSR        CLRFPAC2
            LDAA      ANO_HEX ;CARGAMOS EL AÑO
            CMPA      #503 ;ES EL AÑO 2003?
            BNE      E2004 ;NO, SERA EL 2004?
            LDAA      MES_HEX ;CARGA EL MES
            CMPA      #50D ;SOLO HAY 12 MESES
            BEQ      ERROR2K3 ;PARA 13 O MAS MESES
            BPL      ERROR2K3 ;MARCA ERROR
            CMPA      #506 ;ES JUNIO O ANTES?
            BMI      FACTOR_100 ; DIVIDE POR 1 ANTES DE JUNIO
            BEQ      FACTOR_100 ; DIVIDE POR 1 SI ES JUNIO
            JSR        FACTOR99 ;ARRIBA DE JULIO DIVIDE POR 0.99

FACTOR_100 JMP        COMP_DEGRAD
            JSR        FACTOR100
            JMP        COMP_DEGRAD

ERROR2K3   JSR        ERROR_FECHA

E2004      CMPA      #504 ;ES EL AÑO 2004?
            BNE      E2005 ;NO, SERA EL 2005?

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

```

LDAA      MES_HEX      ;CARGA EL MES
CMPA      #S0D         ;SOLO HAY 12 MESES
BEQ       ERROR2K4     ;PARA 13 O MAS MESES
BPL       ERROR2K4     ;MARCA ERROR
CMPA      #S06         ;ES JUNIO O ANTES?
BMI       FACTOR_98    ; DIVIDE POR 1 ANTES DE JUNIO
BEQ       FACTOR_98    ; DIVIDE POR 1 SI ES JUNIO
CMPA      #S09         ;ARRIBA DE JULIO HASTA SEPTIEMBRE
BEQ       FACTOR_97    ; DIVIDE POR .97
BMI       FACTOR_96    ;HASTA DICIEMBRE DIVIDE ENTRE 0.96
JSR       FACTOR96
JMP       COMP_DEGRAD
JSR       FACTOR98
JMP       COMP_DEGRAD
JSR       FACTOR97
JMP       COMP_DEGRAD

FACTOR_98
FACTOR_97
ERROR2K4   JSR       EPRGR_FECHA
E2005      CMPA      #S05         ;ES EL AÑO 2005?
           BNE       E2006         ;NO, SERA EL 2006?
           LDAA      MES_HEX      ;CARGA EL MES
           CMPA      #S0D         ;SOLO HAY 12 MESES
           BEQ       ERROR2K5     ;PARA 13 O MAS MESES
           BPL       ERROR2K5     ;MARCA ERROR
           CMPA      #S03         ;ES MARZO O ANTES?
           BMI       FACTOR_94     ;DIVIDE POR .94 ANTES DE MARZO
           BEQ       FACTOR_94     ;DIVIDE POR .94 SI ES JUNIO
           CMPA      #S06         ;ES JUNIO O ANTES?
           BMI       FACTOR_90     ; DIVIDE POR .9 ANTES DE JUNIO
           BEQ       FACTOR_90     ; DIVIDE POR .9 SI ES JUNIO
           CMPA      #S09         ;ES SEPTIEMBRE O ANTES?
           BMI       FACTOR_86     ; DIVIDE POR .86 ANTES DE SEPTI
           BEQ       FACTOR_86     ; DIVIDE POR .86 SI ES SEPTIEM
           JMP       FACTOR83      ; DIVIDE POR .83 HASTA DICIEM
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_94  JSR       FACTOR94
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_90  JSR       FACTOR90
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_86  JSR       FACTOR86
           JMP       COMP_DEGRAD

ERROR2K5   JSR       ERROR_FECHA
E2006      CMPA      #S06         ;ES EL AÑO 2006?
           BNE       E2007         ;NO, SERA EL 2007?
           LDAA      MES_HEX      ;CARGA EL MES
           CMPA      #S0D         ;SOLO HAY 12 MESES
           BEQ       ERROR2K6     ;PARA 13 O MAS MESES
           BPL       ERROR2K6     ;MARCA ERROR
           CMPA      #S03         ;ES MARZO O ANTES?
           BMI       FACTOR_82     ; DIVIDE POR .82 ANTES DE MARZO
           BEQ       FACTOR_82     ; DIVIDE POR .82 SI ES JUNIO
           CMPA      #S06         ;ES JUNIO O ANTES?
           BMI       FACTOR_81     ; DIVIDE POR .81 ANTES DE JUNIO
           BEQ       FACTOR_81     ; DIVIDE POR .81 SI ES JUNIO
           CMPA      #S09         ;ES SEPTIEMBRE O ANTES?
           BMI       FACTOR_80     ; DIVIDE POR .80 ANTES DE SEPTI
           BEQ       FACTOR_80     ; DIVIDE POR .80 SI ES SEPTIEM
           JMP       FACTOR79      ; DIVIDE POR .79 HASTA DICIEM
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_82  JSR       FACTOR82
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_81  JSR       FACTOR81
           JMP       COMP_DEGRAD
FACTOR_80  JSR       FACTOR80
           JMP       COMP_DEGRAD

ERROR2K6   JSR       ERROR_FECHA

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

```

E2007          CMPA          #S07          ;ES EL AÑO 2007?
SAT_IS_DEAD    BNE          SAT_IS_DEAD ;YA FALLECIO EL SATELITE
               LDA          MES_HEX    ;CARGA EL MES
               CMPA        #S0D        ;SOLO HAY 12 MESES
               BEQ         ERROR2K7    ;PARA 13 O MAS MESES
               BPL         ERROR2K7    ;MARCA ERROR
               CMPA        #S0J        ;ES MARZO O ANTES?
               BMI         FACTOR_78   ; DIVIDE POR .78 ANTES DE MARZO
               BEQ         FACTOR_78   ; DIVIDE POR .78 SI ES JUNIO
               CMPA        #S06        ;ES JUNIO O ANTES?
               BMI         FACTOR_77   ; DIVIDE POR .77 ANTES DE JUNIO
               BEQ         FACTOR_77   ; DIVIDE POR .77 SI ES JUNIO
               CMPA        #S09        ;ES SEPTIEMBRE O ANTES?
               BMI         FACTOR_76   ; DIVIDE POR .76 ANTES DE SEPTI
               BEQ         FACTOR_76   ; DIVIDE POR .76 SI ES SEPTIEM
               JSR         FACTOR75    ; DIVIDE POR .75 HASTA DICIEM
               JMP         COMP_DEGRAD
FACTOR_78      JSR         FACTOR78
               JMP         COMP_DEGRAD
FACTOR_77      JSR         FACTOR77
               JMP         COMP_DEGRAD
FACTOR_76      JSR         FACTOR76
               JMP         COMP_DEGRAD
ERROR2K7       JSR         ERROR_FECHA
               JSR         COMP_DEGRAD
COMP_DEGRAD    JSR         CLRFPAC1    ;LIMPIA FPAC1
               JSR         CLRFPAC2    ;LIMPIA FPAC2

```

*****COMPENSACIÓN POR INTENSIDAD*****

```

LDX           #TEMPERATURA
JSR           GETFPAC1    ;CARGO T EN FPAC1 Y 2
LDX           #TEMPERATURA
JSR           GETFPAC2
JSR           FLT MUL    ;OBTENGO T^2
LDX           #A_M
JSR           GETFPAC2    ;CARGO LA CONSTANTE a
JSR           FLT MUL    ;MULTIPLICO ax^2
LDX           #SAVE_AT_2
JSR           PUTFPAC1    ;SALVO EL MONOMIO
JSR           CLRFPAC1
LDX           #B_M
JSR           GETFPAC1    ;CARGO LA CONSTANTE b
JSR           FLT MUL    ;MULTIPLICO bx
JSR           CLRFPAC2
LDX           #C_M
JSR           GETFPAC2    ;TRAIGO LA CONSTANTE c
JSR           FLT ADD    ;SUMO bx + c
JSR           CLRFPAC2    ;LIMPIO FP2
LDX           #SAVE_AT_2
JSR           GETFPAC2    ;CARGO ax^2
JSR           FLT ADD    ;SUMO ax^2 + bx + c
LDX           #PENDIENTE
JSR           PUTFPAC1    ;GUARDO LA PENDIENTE
JSR           CLRFPAC1
JSR           CLRFPAC2

```

****COMPENSACIÓN POR TEMPERATURA****

```

LDX           #TEMPERATURA
JSR           GETFPAC2    ;CARGA TEMPERATURA DE LAS CELDAS
LDX           #TEMP_CALIB
JSR           GETFPAC1    ;CARGA TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN
JSR           FLT SUB    ;OBTIENE AT
LDX           #COEF_TEMP
JSR           GETFPAC2    ;TRAJE EL COEFICIENTE DE TEMPERATURA
JSR           FLT MUL    ;MULTIPLICA AT* -0.0022
LDX           #RES_CONV
JSR           GETFPAC2    ;TRAJE LA CONSTANTE 0.019607

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

```

JSR      FLTDIV      ;HACE LA DIVISION AT*.0022/.019607
LDX      #CALIB 127 ;TRAE EL 127
JSR      GETFPAC2
JSR      FLTADD      ;SUMA 127 + (AT*CT)/RCAD
LDX      #PENDIENTE ;CARGA LA PENDIENTE
JSR      GETFPAC2
JSR      FLTMUL      ;MULTIPLICA mx0
LDX      #NEGATIV    ;TRAE EL SIGNO MENOS
JSR      GETFPAC2    ;CARGA EN -1
JSR      FLTMUL      ;OBTENEMOS -mx0
LDX      #ORDENADA   ;ORDENADA
JSR      PUTFPAC1

```

*****PAPA EL SENSOL vm + b *****

```

LDX      #PENDIENTE ;CARGA LA PENDIENTE
JSR      GETFPAC1
LDX      #SAVE_VHEX ;CARGA EL VOLTAJE DEGRADADO
JSR      GETFPAC2
JSR      FLTMUL      ;MULTIPLICA m * v filtrada
JSR      CLRFPAC2

LDX      #ORDENADA   ;CARGA LA ORDENADA
JSR      GETFPAC2
JSR      FLTADD      ;SUMA (m * x) + b
PULX
RTS

```

SUBROUTINA DE ENCENDIDO DEL TRANSMISOR

```

SCI_TRANSM  LDAA      #508      ;ACTIVA TRANSMISOR SIN
             STAA      SCCR2,X  ;INTERRUPCIONES
             RTS           ;REGRESA

```

SUBROUTINA DE ENCENDIDO DEL RECEPTOR YA APAGADO DEL TRANSMISOR

```

SCI_RECEP   LDAA      #504      ;DEACTIVA EMISOR Y ACTIVA
             STAA      SCCR2,X  ;RECEPTOR SIN INTERRUPCIONES
             RTS           ;REGRESA

```

SUBROUTINA DE APAGADO DEL SCI

```

SCI_OFF     CLRA      ;APAGA TRANSMISOR Y
             STAA      SCCR2,X  ;RECEPTOR
             RTS

```

SUBROUTINA DE FALLA DE FECHA

```

ERROR_FECHA JMP      DATE_ERROR

```

SUBROUTINA PARA DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACION

```

ATEPORVH   JSR      GETFPAC2 ;TRAE EL FACTOR
             LDX      #PROMEDYO
             JSR      GETFPAC1 ;TRAE VH
             JSR      FLTDIV   ;DIVIDE VH ENTRE EL FACTOR
             LDX      #SAVE_VHEX ;GUARDA EL VH YA ATENUADO
             JSR      PUTFPAC1 ;COMO VHEX
             RTS

```

SUBROUTINAS DE MULTIPLICACION POR FACTORES

```

FACTOR100  LDX      #FACT_100 ;TRAE EL FACTOR 1
             JSR      ATEPORVH ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACION
             RTS

```

```

FACTOR99   LDX      #FACT_99 ;TRAE EL FACTOR .99
             JSR      ATEPORVH ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACION
             RTS

```

```

FACTOR98   LDX      #FACT_98 ;TRAE EL FACTOR .98

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

	JSR RTS	ATEPORVH	;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR97	LDX JSR RTS	#FACT_97 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .97 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR96	LDX JSR RTS	#FACT_96 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .96 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR94	LDX JSR RTS	#FACT_94 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .94 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR90	LDX JSR RTS	#FACT_90 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .9 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR86	LDX JSR RTS	#FACT_86 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .86 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR83	LDX JSR RTS	#FACT_83 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .83 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR82	LDX JSR RTS	#FACT_82 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .82 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR81	LDX JSR RTS	#FACT_81 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .81 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR80	LDX JSR RTS	#FACT_80 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .80 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR79	LDX JSR RTS	#FACT_79 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .79 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR78	LDX JSR RTS	#FACT_78 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .78 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR77	LDX JSR RTS	#FACT_77 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .77 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR76	LDX JSR RTS	#FACT_76 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .76 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN
FACTOR75	LDX JSR RTS	#FACT_75 ATEPORVH	;TRAE EL FACTOR .75 ;VA A DIVIDIR VH ENTRE EL FACTOR DE COMPENSACIÓN

***** RUTINA PARA EL ENVÍO DE LOS DATOS POR EL SCI ***

ENVIA_ANGULO	JSR	SCI_TRANSM
SIG_DATO	LDAA	0,Y
	CMPA	#','
	BEQ	PUNTO_1ER
ENVIAGRA	BRCLR	SCSR,X,\$80,ENVIAGRA
	STAA	SCDR,X
	INY	
	JMP	SIG_DATO
PUNTO_1ER	BRCLR	SCSR,X,\$80,PUNTO_1ER
	STAA	SCDR,X

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**


```

      INY
      LDAA      0,Y
      CMPA     #'.'
      BEQ      FIN_CADENA
      JMP      ENVIAGRA
FIN_CADENA  RTS

```

***** DISPLAY EN MONITOR Y MEMORIAS RESERVADAS PARA CARGAR *****
 ***** Y GUARDAR RESULTADOS *****

```

SENSOL_1   ORG      $3000
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020 ;VISUALIZACIÓN
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020 ;DE RESULTADOS

SENSOL_2   ORG      $3010
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020 ;EN EL MONITOR
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_3   ORG      $3020
            FDB      $2D30,$2E31,$3635,$3220
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_4   ORG      $3030
            FDB      $3231,$2E31,$3230,$3920
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_5   ORG      $3040
            FDB      $4752,$4144,$4F53,$2020
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_6   ORG      $3050
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_7   ORG      $3060
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

SENSOL_8   ORG      $3070
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020

```

*****AQUI SE GUARDA EN FORMATO DE PUNTO FLOTANTE:

```

SAVE_SUMA  ORG      $3080
            FDB      $2020,$2020 ; LA SUMATORIA DE N MUESTRAS
            FDB      $2020,$2020 ; EL # DE MUESTRAS
SAVE_MUESTRAS
            FDB      $2020,$2020 ; EL VOLTAJE COMPENSADO
SAVE_VHEX  FDB      $2020,$2020 ; EL VOLTAJE PROMEDIO
PROMEDIO   FDB      $2020,$2020

SAVE_AT_2  ORG      $3090
            FDB      $2020,$2020 ; EL MONOMIO aT^2
            FDB      $2020,$2020
PENDIENTE  ORG      $30A0
            FDB      $2020,$2020 ; LA PENDIENTE
ORDENADA   FDB      $2020,$2020 ; LA ORDENADA

A_M        ORG      $30A0
            FDB      $2020,$2020 ; LOS COEFICIENTES DE LAS
B_M        FDB      $2020,$2020 ; CURVAS ax^2+bx+c DE ORDENADA
C_M        FDB      $2020,$2020 ; Y dx^2+ex+f DE PENDIENTE

TEMPERATURA ORG      $30B0
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020 ; LA TEMPERATURA

```

*** RESERVA MEMORIA PARA DISPLAY DE:

```

DEGRAD     ORG      $30C0
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020
            FDB      $2020,$2020,$2020,$2020 ; DEGRADACIÓN

```

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TEMPER	ORG	\$30D0	
	FDB	\$2020, \$2020, \$2020, \$2020	
	FDB	\$2020, \$2020, \$2020, \$2020	; TEMPERATURA
* *** AQUÍ SE GUARDA EN FORMATO DE PUNTO FLOTANTE:			
SENSGRA1	ORG	\$30E0	
SENSGRA2	FDB	\$2020, \$2020	
SENSGRA3	FDB	\$2020, \$2020	
SENSGRA4	FDB	\$2020, \$2020	; EL RESULTADO EN GRADOS ; DE CADA UNO DE LOS
SENSGRA5	ORG	\$30F0	
SENSGRA6	FDB	\$2020, \$2020	; CANALES DEL CONVERTIDOR
SENSGRA7	FDB	\$2020, \$2020	; ES DECIR, PARA CADA EJE
SENSGRA8	FDB	\$2020, \$2020	; DE LOS CUATRO SENSORES.
PEND_A	ORG	\$3100	
	FDB	\$302E, \$3030, \$3030, \$3339	; AQUÍ SE CARGAN LOS
	FDB	\$3036, \$3520, \$2020, \$2020	; COEFICIENTES DE LAS
PEND_B	ORG	\$3110	
	FDB	\$2D30, \$2E30, \$3132, \$3438	; CURVAS DE PENDIENTE
	FDB	\$3239, \$2020, \$2020, \$2020	; Y ORDENADA CALCULADAS
PEND_C	ORG	\$3120	
	FDB	\$302E, \$3736, \$3134, \$3735	
	FDB	\$2020, \$2020, \$2020, \$2020	
MES	ORG	\$3130	
	FDB	\$3030, \$3030, \$3030	; AQUÍ SE ALMACENA
			; LA FECHA RECIBIDA
ANO	ORG	\$3138	
	FDB	\$3030, \$3030, \$3030	; DEL PUERTO SERIE
* *** AQUÍ SE CARGAN LOS FACTORES DE DEGRADACIÓN Y SON:			
F100	ORG	\$3140	
F99	FDB	\$312E, \$3030, \$2020, \$2020	; 1.00
	FDB	\$302E, \$3939, \$2020, \$2020	; 0.99
F98	ORG	\$3150	
F97	FDB	\$302E, \$3938, \$2020, \$2020	; 0.98
	FDB	\$302E, \$3937, \$2020, \$2020	; 0.97
F96	ORG	\$3160	
F94	FDB	\$302E, \$3936, \$2020, \$2020	; 0.96
	FDB	\$302E, \$3934, \$2020, \$2020	; 0.94
F90	ORG	\$3170	
F86	FDB	\$302E, \$3930, \$2020, \$2020	; 0.90
	FDB	\$302E, \$3836, \$2020, \$2020	; 0.86
F83	ORG	\$3180	
F82	FDB	\$302E, \$3833, \$2020, \$2020	; 0.83
	FDB	\$302E, \$3832, \$2020, \$2020	; 0.82
F81	ORG	\$3190	
F80	FDB	\$302E, \$3831, \$2020, \$2020	; 0.81
	FDB	\$302E, \$3830, \$2020, \$2020	; 0.80
F79	ORG	\$31A0	
F78	FDB	\$302E, \$3739, \$2020, \$2020	; 0.79
	FDB	\$302E, \$3738, \$2020, \$2020	; 0.78
F77	ORG	\$31B0	
F76	FDB	\$302E, \$3737, \$2020, \$2020	; 0.77
	FDB	\$302E, \$3736, \$2020, \$2020	; 0.76
	ORG	\$31C0	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

F75	FDB	\$302E,\$3735,\$2020,\$2020	:0.75
F74	FDB	\$302E,\$3734,\$2020,\$2020	:0.74
*	***	AQUÍ SE GUARDAN LOS FACTORES YA CONVERTIDOS A	
*	***	PUNTO FLOTANTE	
	ORG	\$31D0	
FACT_100	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_99	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_98	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_97	FDB	\$2020,\$2020	
	ORG	\$31E0	
FACT_96	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_94	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_90	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_86	FDB	\$2020,\$2020	
	ORG	\$31F0	
FACT_83	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_82	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_81	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_80	FDB	\$2020,\$2020	
	ORG	\$3200	
FACT_79	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_78	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_77	FDB	\$2020,\$2020	
FACT_76	FDB	\$2020,\$2020	
	ORG	\$3210	
FACT_75	FDB	\$2020,\$2020	
FATC_74	FDB	\$2020,\$2020	
NADA	FDB	\$2020,\$2020	;MEMORIA DISPONIBLE
NADAS	FDB	\$2020,\$2020	;MEMORIA DISPONIBLE
	ORG	\$3220	
T_CALIB	FDB	\$3238,\$2020,\$2020,\$2020	;AQUÍ SE CARGA LA TEMPERATURA INICIAL
T_COEF	FDB	\$2D30,\$2E30,\$3032,\$3220	;CARGA EL COEFICIENTE DE TEMPERATURA
	ORG	\$3230	
RESOL_CAD	FDB	\$302E,\$3031,\$3936,\$3037	;AQUÍ SECARGA LA RESOLUCIÓN DEL CAD
HEX_127	FDB	\$3132,\$3720,\$2020,\$2020	
	ORG	\$3230	
SIGNO_MENOS	FDB	\$2D31,\$2E30,\$2020,\$2020	
TEMP_CALIB	FDB	\$2020,\$2020	
COEF_TEMP	FDB	\$2020,\$2020	
	ORG	\$3240	
RES_CONV	FDB	\$2020,\$2020	
CALIB_127	FDB	\$2020,\$2020	
NEGATIV	FDB	\$2020,\$2020	
	FDB	\$2020,\$2020	
	END		

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL CIRCUITO IMPRESO.

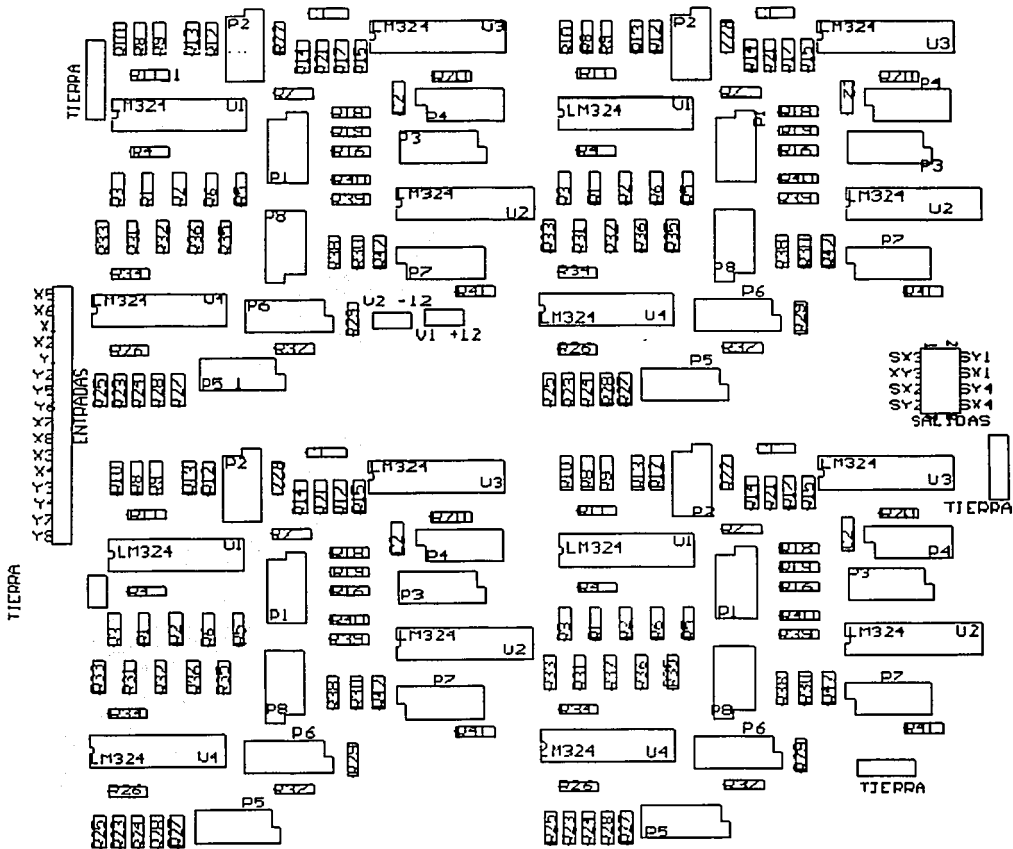


Figura D.1. Ubicación de componentes del circuito impreso.

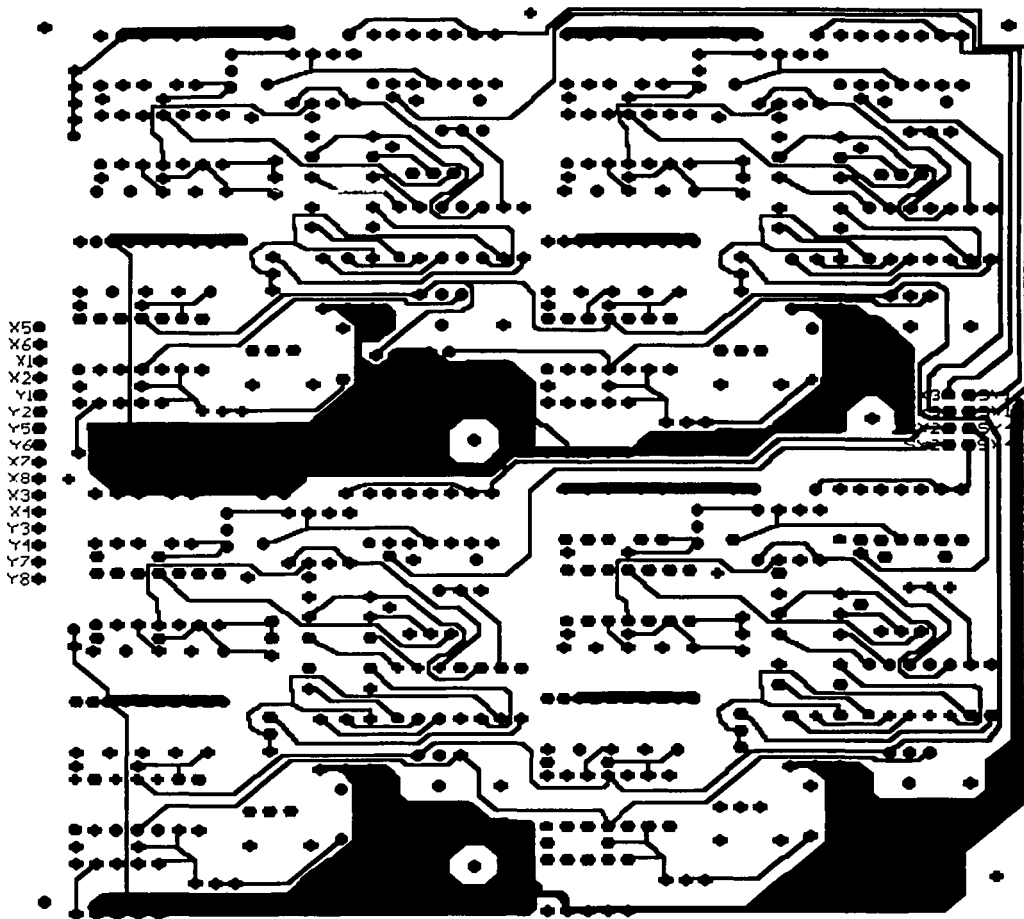


Figura D.2. Capa superior del circuito impreso.

TESIS CON
 F.A. EN

ESTA TESIS NO SALP
 DE LA BIBLIOTEC

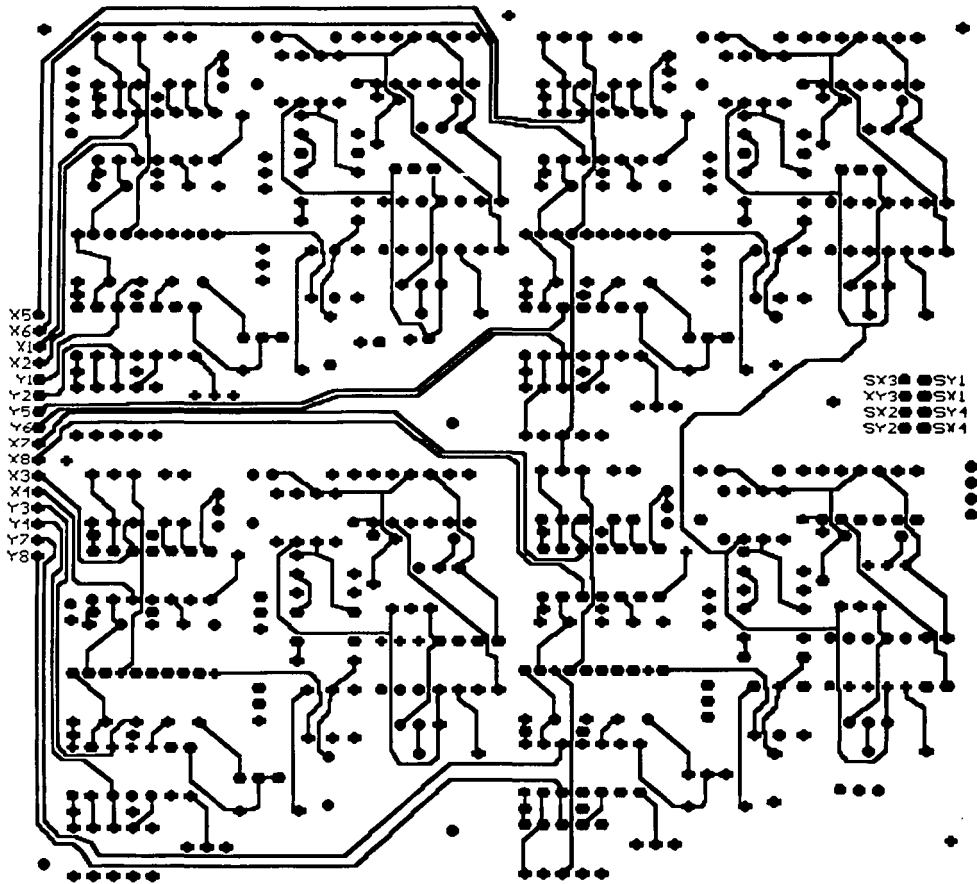


figura D.3. Capa inferior del circuito impreso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VALORES DE LAS RESISTENCIAS DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO.

Las resistencias del circuito de acondicionamiento, calibrado a la intensidad luminica que recibe la Tierra (1000 [W/m²]), se muestran a continuación:

Resistencia	Valores	Resistencia	Valores
RES1	464 [Ω]	RES27	1 [kΩ]
RES2	46.4 [Ω]	RES28	1 [kΩ]
RES3	1 [kΩ]	RES29	332 [kΩ]
RES4	1 [kΩ]	RES30	22.1 [kΩ]
RES5	1 [kΩ]	RES31	464[Ω]
RES6	1 [kΩ]	RES32	46.4[Ω]
RES7	332	RES33	1 [kΩ]
RES8	464[Ω]	RES34	1 [kΩ]
RES9	46.4[Ω]	RES35	1 [kΩ]
RES10	1 [kΩ]	RES36	1 [kΩ]
RES11	1 [kΩ]	RES37	332 [kΩ]
RES12	1 [kΩ]	RES38	22.1 [kΩ]
RES13	1 [kΩ]	RES39	100 [kΩ]
RES14	332 [kΩ]	RES40	5.11 [kΩ]
RES15	22.1 [kΩ]	RES41	5.11 [kΩ]
RES16	100 [kΩ]	RES42	5.11 [kΩ]
RES17	22.1 [kΩ]	POT1	7.18 [kΩ]
RES18	5.11 [kΩ]	POT2	8.17 [kΩ]
RES19	5.11 [kΩ]	POT3	3.95/6.05 [kΩ]
RES20	5.11 [kΩ]	POT4	11.51 [kΩ]
RES21	820[Ω]	POT5	7.18 [kΩ]
RES22	Zéner 6.2[V]	POT6	8.17 [kΩ]
RES23	464[Ω]	POT7	3.95/6.05 [kΩ]
RES24	46.4[Ω]	POT8	11.51 [kΩ]
RES25	1 [kΩ]	CAP1	0.1[ηF]
RES26	1 [kΩ]		

REFERENCIAS

1. <http://www.eveliux.com/fundatel/viasat01.html#ÓRBITAS>
2. R. WERTZ, James. "Spacecraft attitude determination and control". Edited by Microcosm Inc.
3. FONTANA, Anthony. "A photovoltaic solar sensor for use in spacecraft control orientation systems". NASA technical Note (NASA TN D-3279). Langley Research Center. NASA.
4. RUTHERFORD, James. "Proyect physics".F.
5. SPECTROLAB. "Spectrodata Silicon K4710 solar cells data sheets". Sylmar, California, 1999.
6. TAPIA, M. CIMAT, Guanajuato, Gto. Comunicación personal. Julio 2002
7. GOLD B., ARDER C.M. "Digital Processing of signals". Ed Mc Graw Hill
8. HOLMAN, Jack P. Métodos experimentales para ingenieros. Mc Graw Hill, 4ª. Ed, México, 1986. Capítulo III, pp 91-95.
9. MIRANDA, Victor M. "Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos para detección de orientación y control de estabilización de satélites". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Diciembre 1998.
10. MOTOROLA. "HC11 Reference Manual". Edited by Motorola.
11. MOTOROLA. "HC11 MC68HC11F1 Technical data". Edited by Motorola.
12. SALVA Calleja, Antonio. "Especificaciones de configuración de mapas de memoria y puertos de la tarjeta FACIL 11". Abril 2002.
13. STASSINOPOULOS E.G. , King J.H., "Empirical Solar Proton Model for Orbiting Spacecraft Applications," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-10, No. 4, pp. 442-450, July 1974.
14. PRADO J., Bisiacchi G., Ruiz D. 2002. " Construcción y Calibración De Un Sensor De Sol Para Aplicación Espacial". SOMI XVII Congreso Nacional de Instrumentación. Mérida, Yucatán, México, Octubre 14-18

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**