

01129
40



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Sistema Digital Para La Etapa De Baja
Frecuencia Del Radiointerferometro
Solar De Base Pequeña**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICO Y ELECTRONICO**

AREA DE COMUNICACIONES

P R E S E N T A

MARIO NUÑEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO LARA SÁNCHEZ.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA . 2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Sistema Digital Para La Etapa De Baja Frecuencia
del Radiointerfeometro Solar de Base Pequeña

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi Madre por su amor, cuidado,
consejos y fuerza para lograr todas aquellas
cosas que deseé hacer

TEBIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi Abuela por su paciencia y cariño, con
los que me crió y educó

A mis queridos Tios Julian, Manuel, Jesus
y a los pequeños Alberto y Jesus, por ser
mi familia y mis seres más queridos, a mi
madrina Guadalupe por su apoyo
incondicional y fe en mi.

Quiero agradecer al Dr. Alejandro Lara Sanchez, por su apoyo ilimitado al desarrollo de este trabajo, en mi persona y en mi desarrollo como Universitario.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Quiero agradecer al Instituto de Geofísica,
al Laboratorio de Radiointerferometría
Solar, a Filiberto Matias, a Samuel por sus
consejos valiosos, al Departamento de
Geomagnetismo y Exploración Geofísica, al
Departamento de Física Espacial, a
Ernesto Aguilar, Ernesto Andrade,
Thomas Edwards, Dra Silvia Bravo †, a los
futuros Ingeniero Jonattan y Carlos, Al
Departamento de Cómputo, Miguel, Ivan y
Hector, A mis Amigos incondicionales
Adres Reyes Zamorategui, Alethia Patricia
Estrella Ruiz, Oscar Osorio Peralta, Silvia
Linares, a Ileana Alavid Cardenas por su
apoyo en la revisión de este trabajo, a la

Facultad de Ingeniería, a mis Abogados Lic. Esther Figueroa Vargas, Lic. Rogelio Ruiz, a mis amigos del primer semestre de la carrera, a mi cuate Alberto Mata y nuestros amigos del Baloncesto, a mis amigos de CCH Azcapo, a mis queridísimas Tías del rancho (San Jose Atlan Hgo) Sirenia y Feliciano, mi Tía Enriqueta †, a mis amigos Cuahutemoc, Israel e Ivan, y en especial a Lalo por su apoyo invaluable en el capítulo de programación, a Jose Luis Duran, al Terry †, a la Pelusa †, a Star †, PaTiTaS †, el Cachorro †, la Gallinita Sagrada †, Missie †, el pillitye, Los Gatikyés (Tommy y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diana), amis vecinos, y a todas las personas que algun día me dieron una palabra de aliento para continuar en esta maravillosa carrera que es la Ingeniería.

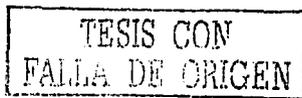
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

This Thesis has been made in $LaTeX$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice general

1. Introducción	14
2. Historia de la Radioastronomía	16
2.1. Orígenes	16
2.2. Descubrimiento De Las Ondas De Radio	18
2.3. Las Señales De Radio Solares	21
2.4. EL Efecto De Una Teoría	27
2.5. Nacimiento De La Radioastronomía	29
2.6. Tiempos Modernos	37
3. Radio-Interferómetro De Base Pequeña	39
3.1. Descripción	42
3.2. Antenas	42
3.3. Receptor	48
4. Tarjeta	61
4.1. Tarjeta NiQ-DaQ.	61
4.2. Descripción.	61
4.2.1. La Configuración De La Tarjeta.	63
4.3. Bus De Interface.	63



ÍNDICE GENERAL

10

4.4. Localidades Analógicas De Entrada y Salida.	63
4.5. Conexiones De Señal.	65
4.6. Configuración De Entrada.	68
4.7. Consideraciones Para Conexiones Diferenciales.	68
4.8. Conexiones Diferenciales a Tierra Para Fuentes De Señal.	69
4.9. Conexiones De Entrada De Señal Analógica.	69
4.10. Tipos De Fuentes De Señal.	70
4.10.1. Fuente De Señal Flotante.	70
4.10.2. Fuentes De Señal Referenciadas a Tierra	71
4.11. Conexiones Diferenciales Para Fuentes De Señal	71
4.12. Conexiones Diferenciales Para Fuentes De Señal Flotantes	71
5. Programación.	73
5.1. Diseño De Interfaz de Usuario	73
5.2. Software	77
5.3. Toma De Muestras	78
6. Conclusiones	85

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice de figuras

2.1. Diagrama del aparato con el que Hertz demostró la existencia de las ondas electromagnéticas.	20
2.2. Aparato de Nordmann para la captación de ondas radio solares. Se probaron dos cohesores; el primero era un simple tubo de limaduras de níquel, y el segundo, era un tubo conteniendo 30 bolas de acero, con un tornillo en un extremo para el ajuste de presión entre las bolas.(Según C. Nordmann) . .	26
2.3. Una muestra del registro del silbido estático observado por Jansky en Febrero de 1932.	30
3.1. Diagrama a bloques del radiointerferómetro.	43
3.2. Gráfica polar de la energía relativa recibida por una antena direccional.	44
3.3. La geometría del interferómetro.	46
3.4. Canal De Intensidad	50
3.5. Canal De Polarización	55
3.6. Canales Interferométricos	57
4.1. Lab-Pc+ Diagrama	62

ÍNDICE DE FIGURAS

12

5.1. Panel Frontal	74
5.2. Panel de Programación	75
5.3. Lab-PC+	76
5.4. Pruebas con generadores de ruido captadas en el registrador del Instrumento	79
5.5. Pruebas con generadores de ruido captadas en la PC	80
5.6. Paso del Sol a través del registrador.	81
5.7. Paso del Sol a través de la PC	82
5.8. Imagen tomada por los satélites GOES 8 y 10.	83
5.9. Imagen tomada por el satélite SOHO (Solar Heliospheric Ob- servatory.)	84

Capítulo 1

Introducción

La interferometría es la técnica utilizada para obtener un gran poder de resolución a partir de un arreglo de telescopios relativamente pequeños y separados entre sí por grandes distancias y observando simultáneamente a un afuente. Básicamente, la interferometría es el efecto exhiben dos trenes de ondas. Cuando se encuentran y se suman, se observa un incremento o una cancelación de las ondas en determinados lugares o tiempos. Por ejemplo, esta técnica provee a dos telescopios pequeños que tienen una distancia entre sí de 100 metros una resolución similar la de un telescopio gigante de 100 metros.

Un interferómetro de radio consiste en por lo menos un par de antenas direccionales que se posicionan para recibir emisiones de radio de una fuente deseada de RF. Las señales de los receptores se correlacionan (multiplicando y acumulando) para producir una correlación cruzada del mismo frente de onda, este patrón se puede analizar para obtener información, que en el caso de grandes arreglos en dos dimensiones, consiste en una imagen del objeto astronómico distante que se está observando.

La radio interferometría explota una ventaja de la radiación en longitudes de onda mucho más grandes que la de la luz como las ondas de radio, esto es que los detectores pueden medir la fase tan bien como la intensidad de ondas de radio recibidas.

Si en la tierra, un par de telescopios observa una fuente pequeña, la salida combinada oscila con tiempo. Como consecuencia de la rotación de la tierra, la fase relativa de las señales recibidas por los dos platos varía mientras que las distancias de la fuente a cada plato agregaría "n" veces un incremento en la fase y produciría una señal grande que resultaría "n" veces fuera de la fase, dando como resultado una señal pequeña, dependiendo de las distancias levemente diversas del objeto a cada plato. La interferometría utiliza la adición constructiva y la destructiva de la radiación determinada sobre la intensidad y tamaño del objeto observado.

Capítulo 2

Historia de la Radioastronomía

“Que es la historia sino una fábula convencional”

NAPOLEÓN

2.1. Orígenes

Nadie puede decir con certeza cuando empezó la Astronomía, nadie sabe quien fue el primero en mirar al cielo y hacerse preguntas acerca de los misterios de las estrellas. Probablemente ya desde los mismos albores de la Humanidad, los seres humanos tuvieron cierta conciencia de que la luz que ilumina la tierra que habitamos procede del espacio exterior.

Durante milenios, los seres humanos han tratado de comprender, con mayor o menor fortuna, el movimiento de los astros, las fuerzas que los gobiernan, el origen de la luz que nos envían, e incluso su influencia en la evolución de nuestro planeta y de las especies vivientes que lo han habitado.

Yo no imagino un mundo sin computadoras, faxes y teléfonos celulares, en sí, todos aquellos artículos electrónicos que participan en nuestra vida diaria. Nosotros no podemos desconocer ello, pero algo semejante ocurre hoy en el mundo de la Radio Astronomía, mucho tiempo atrás se vivía en los tiempos de los pre-orígenes de la tecnología moderna, la gran similitud en la revolución tecnológica ocurre alrededor de las transformación de las herramientas que los astrónomos usan para llevar acabo su labor.

Consideremos el primer astrónomo que aprovechó el Telescopio, instrumento inventado por el Holandés Han Lippershey en 1608 y usado por Galileo, quién un año después usando este instrumento descubriría el planeta Júpiter.

Desde entonces, han pasado algo así como 400 años en que los astrónomos contruyen telescopios cada vez más poderosos pero siempre basados en el mismo y fundamental principio. Posicionar dos piezas de vidrio de forma especial en una distancia precisa entre uno al otro. Se usa este dispositivo para que a los ojos del observador los objetos parezcan más grandes.

2.2. Descubrimiento De Las Ondas De Radio

Casi a mitad del siglo pasado, el teórico británico J. Clerk Maxwell comenzó un estudio de los fenómenos electromagnéticos que iba a convertirse en una piedra miliar de la Física clásica.

En gran parte, la labor de Maxwell tenía sus raíces en los experimentos brillantes y la acertada intuición de su compatriota Michael Faraday, quien se alinea netamente entre los grandes experimentadores de todos los tiempos. Faraday, sin embargo, no tenía inclinación por las matemáticas y jamás había expresado sus ideas en el lenguaje preciso del matemático.

Maxwell, durante el proceso de dar forma matemática a los sumamente útiles conceptos de los campos eléctricos y magnéticos, llegó a la conclusión de que un cambio en un campo eléctrico tiene que originar un campo magnético, en tanto que, a la inversa, un cambio en un campo magnético debe crear un campo eléctrico. Todavía más asombrosa fue la comprobación de que esos campos variables se alimentarían efectivamente uno de otro y se propagarían a través del espacio en forma de una *onda*, oscilando las fuerzas eléctricas y magnéticas formando ángulos rectos entre sí y con la dirección de la propagación.

Las ecuaciones de Maxwell incluso predecían la rapidez de esa perturbación que, cosa curiosa, resultó ser igual al número de unidades electrostáticas de carga contenidas en una unidad electromagnética de carga. Ahora bien, la proporción de estas unidades había sido medida en el laboratorio unos años antes, y Maxwell pudo, entonces predecir que sus ondas se propagarían a través del espacio vacío a una rapidez de $3,1 \times 10^{10}$ cm/seg,¹ aproximadamente, que era, dentro del error experimental, la rapidez hasta

¹ Radioexploración del Sol, Alex G. Smith, Van Nostrand Momentum Books, Pág 2.

entonces conocida, de la luz. A Maxwell le parecía evidente que la pregunta largamente debatida "¿Qué es la luz?", por fin había sido resuelta: la luz tenía que ser una onda electromagnética.

Sin embargo, muchos otros científicos continuaban totalmente escépticos, e incluso en el momento de la muerte prematura de Maxwell en 1879, su teoría electromagnética estaba haciendo, cuando más, un lento progreso hacia la aceptación general.

Felizmente, la teoría recibió un nuevo y poderoso apoyo con los experimentos de un joven físico alemán, Heinrich Hertz quien, en 1888, logró producir ondas electromagnéticas en el laboratorio con tan sólo, medios eléctricos.

El aparato de Hertz, estaba basado en el descubrimiento del Norteamericano Josep Henry de que una descarga por medio de una chispa produce una corriente oscilante. En el transmisor de Hertz se formaba un circuito resonante mediante la capacitancia de las placas PP 2.1 y la inductancia de las varillas rectas RR. Cada vez que el alto voltaje de la bobina de inductancia producía una chispa para brincar la separación G, el circuito oscilaba con una frecuencia de muchos millones de ciclos por segundo (Mc/seg), hasta que toda la energía había sido irradiada en forma de ondas electromagnéticas o consumida en la resistencia eléctrica de circuito. Para captar las ondas emitidas, Hertz hizo un anillo de varilla metálica de aproximadamente 0.3 m de diámetro. Los extremos de la varilla no estaban en contacto, dejando una estrecha separación que exhibía una corriente de diminutas chispas cuando se exponía el circuito a la radiación electromagnética.

Con este sencillo receptor, Hertz fue capaz de demostrar que su transmisor radiaba energía al espacio circundante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

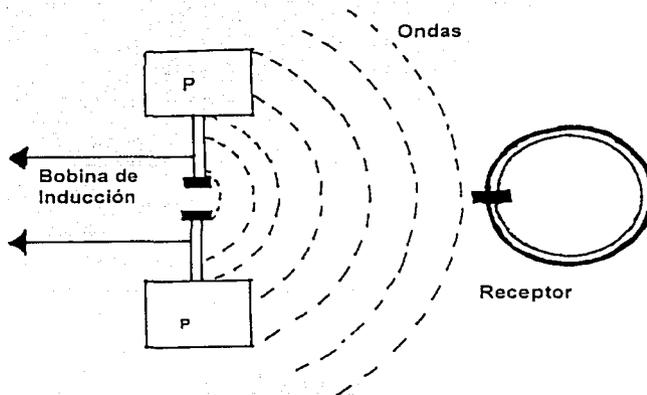


Figura 2.1: Diagrama del aparato con el que Hertz demostró la existencia de las ondas electromagnéticas.

Mostró, además que la radiación tenía propiedades ondulatorias inconfundibles. Cuando se colocaba una lámina grande de metal como reflector a cierta distancia frente al transmisor, las ondas radiadas y reflejadas interferían entre sí produciendo una imagen de *ondas confinadas* o regiones alternas de máxima y mínima intensidad de campo eléctrico, y midiendo la distancia entre estas regiones Hertz halló que la longitud de onda de su radiación era de unos 5 m. Igualmente, las ondas mostraron estar *polarizadas*, es decir, el campo eléctrico vibraba en un solo y bien definido plano, ya que el detector mostraba una respuesta máxima cuando el plano del anillo estaba paralelo a las varillas del transmisor, como lo vemos en la figura, y ninguna respuesta cuando este plano estaba perpendicular a las varillas. Había en estos experimentos una obvia analogía de nuevo con las ondas de luz cuyos efectos de polarización se habían reconocido y estudiado hacía tiempo. La investigación de Hertz proporcionó una base experimental firme para la teoría del electromagnetismo de Maxwell; incluso más importante, establecía los cimientos de una vasta y nueva área de la ciencia y la tecnología, porque sus ondas se ubican en aquella parte del espectro electromagnético que ahora asociamos con la radio y televisión.

2.3. Las Señales De Radio Solares

El ímpetu que dieron los experimentos de Hertz a la investigación básica está evidentemente demostrado por el hecho de que a los doce años de su descubrimiento, por lo menos tres grupos de científicos habían intentado captar *ondas Hertzianas* del Sol, que parece haber tenido una inmediata atracción como probable origen natural de señales de radio. Es posible que la primera búsqueda de estas señales fuera propuesta en una carta escri-

ta en 1890 por el profesor A. E. Kenelly, un asociado del famoso inventor americano Thomas Edison:

"Puedo mencionar que el señor Edison, quien no se limita a una sola línea de pensamiento o acción, ha decidido últimamente aprovechar una masa de mineral de hierro en New Jersey, explotada comercialmente, dedicándola a la investigación de la Física Solar ... Juntamente con las perturbaciones electromagnéticas que recibimos del Sol, las que desde luego, usted sabe que reconocemos como luz y calor... no está fallo de razón suponer que habrá perturbaciones de mucha mayor longitud de onda. Si es así, podríamos transformarlas en sonido. El plan del señor Edison es tender sobre postes en torno de la masa principal del mineral, un cable de siete alambres cuidadosamente aislados, cuyas terminales se conectarán a un teléfono u otro aparato. Es entonces posible que las violentas perturbaciones de la atmósfera solar pudieran cambiar la intensidad electromagnética normal de energía que recibimos, o la distribución normal de fuerzas magnéticas en este planeta, como para llevar a cabo un cambio apreciablemente grande en la intensidad de la inducción magnética abarcada por las espiras de cable..."²

No existe registro alguno de los resultados de este experimento y de la carta de Kenelly no se desprende claramente que Edison estuviera realmente pensando en las ondas de radio.

En Inglaterra, Sir Oliver Lodge duplicaba y ampliaba las observaciones de Hertz. Lodge, sustituyó el detector de separación de chispa relativamente insensible, por un cohesor mucho más efectivo que él había inventado. Éste dispositivo estaba basado en el singular descubrimiento de que la elevada resistencia eléctrica resultante del contacto defectuoso entre conductores

²Kennelly, A.E., citado en J. Astron. Soc. Pacific.(1958).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

metálicos, podría reducirse bruscamente mediante su exposición a ondas electromagnéticas. Una forma común de cohesor no era sino un tubo de vidrio de pocas pulgadas de largo, lleno de rebabas o limaduras metálicas sueltas, y taponados los extremos con contactos de metal. La resistencia de ese tubo podía disminuir desde varios miles de ohmios, a unos cuantos cuando se activaba un transmisor de chispa próximo, captándose el cambio por medio de un galvanómetro sensible conectado en serie con el cohesor y una batería. Constituía un problema el hecho de que solamente se podía reintegrar el dispositivo a su estado original disponiéndolo para una nueva captación, mediante el proceso bastante tosco de golpear mecánicamente el tubo.

En 1894, los cohesores de Lodge eran capaces de captar descargas de chispa a media milla de distancia, y él se sintió alentado a expresar en una conferencia pública sobre ondas de radio: *"Espero depurar radiaciones de onda larga del Sol, eliminando por filtración las bien conocidas ondas ordinarias mediante pizarra u otra sustancia suficientemente opaca"*.

En una nota posterior informaba de los resultados de ese experimento: *"No tuve éxito en esto, porque un cohesor sensible en un cobertizo exterior que no está protegido por los espesos muros de un edificio sólido, no puede mantenerse en calma durante mucho tiempo. Encontré que su punto luminoso está sujeto a frecuentes desplazamientos débiles más veces y ocasionalmente violentos otras, y no pude asociar ninguna de ellas a la influencia del Sol. Evidentemente en una ciudad como Liverpool existían demasiadas fuentes terrestres de perturbación para hacer posible el experimento... Indiscutiblemente, para tener éxito, la instalación tiene que ser altamente*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

sensible."³

Aunque Lodge no lo dijo, es probable que su cohesor fuese de la mayor sensibilidad a la radiación de 10 o 20 cm de longitud de onda, ya que mencionó longitudes de onda de este orden en conexión con varios otros experimentos.

Un experimento similar, pero más refinado, fue realizado en Potsdam por los alemanes J. Wilsing y J. Scheiner. Como cohesor, Wilsing y Scheiner utilizaron un pedazo de alambre de acero de unos centímetros de largo, colocado libremente encima de dos alambres semejantes conectados a un galvanómetro y a una batería. Para eliminar la interferencia, todo el aparato estaba encerrado en una caja de metal y la radiación que iba a medirse era introducida a través de una abertura. Después de que una serie de pruebas de laboratorio había indicado que su receptor era muy sensible a ondas eléctricas generadas artificialmente, ambos científicos pusieron atención en el Sol.

Durante ocho días, en junio y julio de 1896, expusieron su cohesor a la radiación solar reflejada dentro de la caja por un espejo cubierto con papel negro para eliminar la radiación óptica. Finalmente, Wilsing y Scheiner se vieron obligados a informar que. "Estos experimentos no dieron resultados positivos." Sin embargo, continuaban convencidos de la probable "presencia de radiación eléctrica en el complejo de rayos enviados a nosotros por el Sol", y se inclinaban a atribuir el fracaso de su experimento a la atmósfera de la Tierra que, pensaban, podía haber servido de pantalla para impedir que las señales solares llegasen a la Tierra.⁴

³Lodge, O. J., *Signalling Across Space Without Wires* ("The Electrician" Printing and Publishing Company, Ltd., London 1906)

⁴Wilsing, J. y Scheiner, J., "On an Experiment to Prove the Existence of an Electro-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta advertencia no pasó desapercibida para Charles Nordmann, un estudiante graduado en la Universidad de París, que emprendió el perfeccionamiento del trabajo de los dos alemanes. Con objeto de eliminar, hasta donde fuera posible, los efectos molestos de la atmósfera, Nordmann instaló su propio equipo en un glaciar, a una altura de 3100 metros, alardeando con que solamente el mal tiempo le había impedido trabajar en la cima del mismo Mont Blanc. Su receptor, más bien convencional, constaba de la batería, el galvanómetro y el cohesor.

Sin embargo, Nordmann hizo una importante adición que podía haber conducido al éxito donde otros habían fracasado; unió al cohesor un largo alambre de antena de 175 metros que atravesaba horizontalmente el glaciar, el circuito estaba parcialmente sumergido en mercurio durante el ajuste para blindar el cohesor y poner en cortocircuito la antena.⁵

Cuando se iba a hacer una medición se hacía bajar el nivel de mercurio exponiéndose el cohesor sensible y activando la antena.

Contra lo esperado, Nordmann únicamente hizo observaciones un sólo día, el 19 de septiembre de 1901; y los resultados del experimento fueron totalmente negativos. Es especialmente difícil de comprender el manifiesto apresuramiento de Nordmann puesto que es evidente según su posterior declaración que no esperaba una emisión continua de radio del Sol sino, antes bien, violentas erupciones asociadas con tormentas solares. Con previsión verdaderamente notable predijo que esas tormentas tienen que estar relacionadas con la aparición de las manchas solares y lamentaba el hecho de que el año 1901 caía en el punto mínimo del bien conocido ciclo de 11 años

dynamic Radiation from the Sun". Ann. Phys. Chem 59, 728-792(1896).

⁵Nordmann, C., "*Essai Sur le Role des Ondes Hertziennees en Astronomie Physique*"(Gauthier-Villars, París, 1903), pp 6-11.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

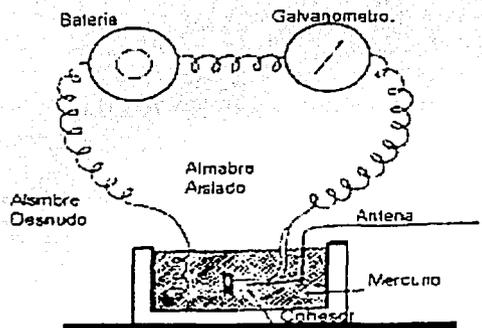


Figura 2.2: Aparato de Nordmann para la captación de ondas radio solares. Se probaron dos cohesores; el primero era un simple tubo de limaduras de níquel, y el segundo, era un tubo conteniendo 30 bolas de acero, con un tornillo en un extremo para el ajuste de presión entre las bolas. (Según C. Nordmann)

COPIA CON
FALLA DE ORIGEN

de actividad de manchas solares. Considerando lo sucedido, parece posible que si Nordmann hubiese utilizado su equipo sin apresuramiento durante un período próximo de máximo de manchas solares, podría haber captado algunas de las más fuertes erupciones solares de radio y haber conquistado así, fama como el primer radioastrónomo triunfante en el mundo.

2.4. EL Efecto De Una Teoría

Al año siguiente del experimento de Nordmann, el físico alemán Max Plank anunció una nueva teoría que, por primera vez, describía correctamente cómo la energía radiada por un cuerpo caliente varía con la longitud de onda.

La nueva teoría era la de los Cuantos y, como sabemos todos, demostró ser de enorme importancia para tratar con los fenómenos en la escala atómica. Capacitó también a los científicos para calcular la cantidad de radio energía térmica que podía esperarse del Sol, y el resultado fue completamente desalentador. Como escribió más tarde el técnico precursor de radio G. C. Southworth: *"La perspectiva para muchos años no era, sin embargo, prometedora. Los cálculos basados en la teoría de Plank indicaron que incluso en las más elevadas radio frecuencias, y con las antenas de la más alta direccionabilidad entonces existentes, las intensidad estaría, probablemente, muy por debajo del nivel de ruido prevaleciente en el radio receptor local"*⁶

La historia de la ciencia proporciona numerosos ejemplos del efecto paralizador que el empleo inadecuado de una teoría puede tener sobre la experi-

⁶Southworth, G. C., *Forty Years of Radio Research*, (Gordon and Breach, New York, 1962), pp. 249-250.

mentación. Puede ser que la teoría de Plank desalentase posteriores intentos serios de observar el Sol durante cuatro décadas, en las que se estuvo perfeccionando el equipo capaz de captar las erupciones de radio solares. La dificultad no estaba en la teoría misma, sino en la presunción equivocada de que el Sol solamente emite radiación térmica.

Como veremos, Charles Nordmann estaba absolutamente en lo cierto al predecir poderosas emisiones de radio *no térmicas* originadas en tormentas solares pasajeras, y ahora sabemos que esas erupciones pueden ser millones de veces más intensas que la simple radiación de térmica de la teoría de Plack.

En los primeros tiempos de la radio comercial, incontables operadores, tanto aficionados como profesionales, tienen que haber escuchado el *crecimiento* de una erupción de ruido solar sin sospechar su origen. Durante la década de los años 30 experimentadores atentos descubrieron que, con frecuencia, a una perturbación visible en la faz solar seguía una completa extinción de la recepción de onda corta, y conjeturaron, correctamente, que éste tenía que deberse al bombardeo de la ionosfera de la Tierra por alguna forma de radiación solar reforzada. En varias ocasiones, los observadores informaron que esos desvanecimientos habían sido precedidos por un intervalo de aumento de ruido de radio, indicando, sin saberlo, que habían escuchado la erupción de radio solar que con frecuencia anuncia una grave perturbación ionosférica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.5. Nacimiento De La Radioastronomía

En 1931 el Ingeniero en radio, Karl Jansky, que trabajaba para *Bell Telephone Laboratories*, estaba a cargo de encontrar solución al problema de la interferencia ó estática en las comunicaciones a grandes distancias.

La suposición era que la estática era causada por tormentas, y que interferían con el equipo eléctrico, y los aviones que generaran ondas de radio y éstas a su vez intervienen en las comunicaciones telefónicas y de ondas electromagnéticas.

Jansky construyó un instrumento capaz de detectar esta interferencia de ondas de radio, mientras él detectaba el origen, halló un debil silbido estático del cual no identifico en ese momento.

En las primeras mediciones realizadas en cuanto al movimiento del Sol, obtuvo una ganancia cerca de cuatro minutos, la misma cantidad como de las estrellas. Así que el concluyó que la fuente debía residir más allá del sistema solar.

Jansky construyó un polarizador vertical unidireccional, la antena tenía unos 305 m de largo por 3.6 m de alto, estaba montada en cuatro ejes circulares rodantes en dirección horizontal, sobre rieles, por lo tanto la antena rodaba con la ayuda de un motor. La antena operaba a una longitud de onda de 14.6m ó 20.5 Mc y estaba conectada a un graficador con una constante de tiempo determinada.

Por ahí de 1932, él concluye que las emisiones provenían de la constelación de Sagitario, que como era sabido, se considera el centro de la galaxia. Estos primeros resultados fueron el nacimiento de la Radioastronomía.

En una publicación de Diciembre de 1932, por la revista *Proceedings Of The Institute of Radio Engineers* Jansky reportó los primeros resultados de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para localizar una fuente natural de radio, se observa claramente que cuando se dirige la antena hacia alguna parte, la mejor respuesta se obtiene cuando se alinea hacia el centro de la fuente de emisión de radio. Con esto se obtiene la ubicación de la fuente.

Cerca de un tercio de las fuentes naturales de radio extragalácticas son identificadas como galaxias. Otra tercera parte son Cuasares y Pulsares.

Por ejemplo, en 1937, J. H. Dellinger escribió: *"Lo súbito de los desvanecimientos de la radio ha asombrado a muchos radio-observadores, operadores, y aficionados. Las señales de radio que se estaban recibiendo, comenzaron súbitamente a disminuir y la intensidad bajó a cero, habitualmente en un minuto. En algunas ocasiones, el efecto es precedido por un breve período de desvanecimiento desacomodadamente violento, ecos, y ruido"*⁷

Nueve años después del descubrimiento de Jansky, Grote Reber empezó a experimentar con ondas cortas de $\lambda=9\text{cm}$, desgraciadamente él no pudo obtener gran cosa con el uso de ondas cortas, pero al usar ondas largas (ligera mente menores que dos metros), él localizó fuertes zonas de radiación proveniente del cielo. Esto le permitió tener a grandes rasgos el mapa de contorno de igual intensidad de la Vía Láctea.

En los primeros años de la Radio Astronomía, los instrumentos se adecuaron para longitudes de onda pequeñas, más aún las observaciones se fueron extendiendo dentro del intervalo de longitud de onda centimétricas.

Pero cuando se hacen las observaciones por debajo de los 2 cm de longitud de onda, pueden ocurrir grandes interferencias. Por lo tanto, cuando se trata de tomar mediciones de ondas inferiores a los 2 cm, es necesario hacer las mediciones en lugares altos, como las montañas, esto evita la absorción

⁷Dellinger, J. H., "Sudden Disturbances of the Ionosphere", J. Res. Natl. Bur. Std 19 pp 111-141(1937).



atmosférica, debida al vapor de agua.

En la longitud de onda larga se acaban la mayoría de las dificultades de observación, esto sucede en las longitudes de 10-20 mts, y también dependerá de las condiciones de la ionósfera y la fase que tenga el ciclo de manchas solares, aún teniendo el equipo de recepción más adecuado, la principal dificultad viene de la interferencia hecha por el hombre, debido a que usa ondas de radio para comunicaciones.

El 26 de febrero de 1942, por la tarde, varios equipos de radar británicos empezaron a experimentar una fuerte interferencia de naturaleza desacomtumbrada. Durante los siguientes dos días completos persistió la perturbación en lugares ampliamente separados en la banda entera de radar, entre 55 y 80 Mc/seg. Como la flota alemana se había mostrado activa en el Canal de la Mancha, precisamente unos días antes, existía considerable recelo entre los ingleses de que los alemanes pudieran estar "bloqueando" los radares como preludio de una ofensiva importante. Apresuradamente, fue llamado para investigar el problema un equipo de investigación bajo la dirección del joven científico Stanley Hey.

Hey emprendió inmediatamente la tarea de determinar el ángulo de dirección o en el lenguaje del radar, la *marcación*- desde donde estaba llegando la interferencia. Algún tiempo más tarde, describió con sus propias palabras el resultado, totalmente inesperado:

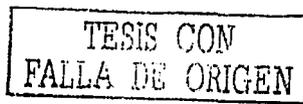
"Los operadores determinaron la orientación de acuerdo con la práctica normal para hallar la dirección de una fuente de interferencia. Se halló que las direcciones cambiaban en el curso del día y que siempre se encontraban a pocos grados de la del Sol. Los resultados más sorprendentes provinieron de dos puntos separados unos ~240 km, en los que también se midió la

elevación. Los observadores en esos puntos pudieron seguir continuamente la fuente de ruido en dirección y elevación, y las observaciones a través del equipo telescópico confirmaron que sus equipos estaban dirigidos al Sol... El ruido no se percibía por la noche en ninguna estación. Estos resultados muestran que el ruido tiene que haber sido causado por la propagación directa de radiaciones electromagnéticas de ruido desde el Sol.”³

Las palabras de Hey, escritas en el lenguaje tranquilo y preciso de los científicos, señalaron el fin de una investigación que había comenzado medio siglo antes. Se dio cuenta rápidamente de que la perturbación observada no podía haber sido la débil señal térmica predicha por la teoría de Plank, ya que era “del orden de 10^5 veces más que la correspondiente a la radiación del cuerpo negro calculada”. Hey incluso imaginaba que “esta intensidad desacostumbrada... parece haber estado asociada con la aparición de un gran destello solar que se informó estar en posición central el 28 de febrero de 1942. Tras un lapso de 41 años, se atribuyó la emisión de fuerte ruido de radio a perturbaciones solares.

Cuatro meses después G.C. Southworth y A. P. King, de los Laboratorios de Teléfonos Bell, captaron independientemente ondas de radio solares. Como una faceta del inmenso esfuerzo pro-radar de tiempo de guerra, los dos científicos estaban consagrados a desarrollar receptores sensibles para la región de las microondas. Cálculos basados en la teoría de Plank sugirieron a Southworth que esos receptores “podrían” ser capaces de captar radiación térmica del Sol, y como más tarde escribió: “Después de haber preparado un receptor de doble sensibilidad para que registrase un bajo ruido inicial de captación, era casi natural que debíamos apuntar la antena hacia el

³ Appleton, Sir E. y Hey, J. S., “Solar Radio Noise”, Phyll. Mag. 37, 73-84 (1946).



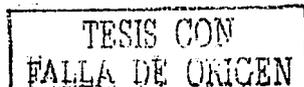
Sol.. Encontramos, como lo esperábamos, que el ruido solar representaba un pequeño aumento en la producción total de ruido". Este experimento inicial fue llevado a cabo en una frecuencia de 9400 Mc/seg, con la pequeña, en comparación, antena de disco parabólico de 1.1 5 metros.

Al principio, Southworth creía que sus mediciones habían confirmado la temperatura de 6000⁰K que los astrónomos ópticos habían citado durante largo tiempo para la superficie del Sol. No obstante, se encontró un error en sus cálculos y la radiotemperatura corregida resultó ser de cerca de los 20000⁰K.

En 1946, Robert Henry Dicke inventó el radiómetro diferencial de microondas, un instrumento altamente sensible capaz de detectar tipos de radiación cósmica. Lo utilizó para explorar el cielo, y llegó a la conclusión de que, cualquiera que fuese la radiación de fondo, su temperatura era menor de 20°C. En ese momento sólo buscaba cualquier tipo de radiación proveniente del cielo profundo, no una radiación cosmológica que fuese una reliquia del Big Bang. En 1964 el físico norteamericano Dicke había señalado que los radiotelescopios detectan ondas electromagnéticas de eventos sucedidos en el pasado y debido a la distancia tan lejana captan las ondas un tiempo después de dichos eventos.

En este caso veríamos la gran explosión a tal distancia y, por consiguiente, la fuente de alejaría de nosotros tan rápidamente que los fotones energéticos liberados no se verían en su verdadera luz. Habría un gigantesco corrimiento al rojo que los desplazaría a la región de las microondas. Además puesto que veríamos la gran explosión si buscásemos lejos en el espacio en cualquier dirección, las microondas deberían llegarnos de todas partes del cielo por igual como una débil radiación de fondo.

Dicke capitaneaba un grupo de cosmólogos D. Wilkinson y P.J.E Peebles



que trabajaban en la Universidad de Princeton y que estudiaban diversos problemas del Big Bang. Estos astrofísicos conocían las hipótesis de Gamow y en concreto, habían refinado los cálculos de Alpher y Herman acerca de la temperatura del "mar de fotones", y se habían convencido que podría ser detectable y servir de confirmación a la teoría.

Fueron ellos quienes hicieron la aproximación entre el "ruido de fondo" del firmamento y la teoría según la cual el Universo debería haber pasado una fase cálida (en torno a $10\,000^{\circ}\text{K}$) inmediatamente, comenzaron a diseñar el detector adecuado.

Simultáneamente, el equipo de Gamow seguía profundizando en el asunto y también estaban muy cerca de la solución, al igual que varios investigadores soviéticos.

En 1965 A. Penzias y Robert W. Wilson, dos físicos americanos de los Bell Telephone Laboratories, publicaron un trabajo en el número 142, pág. 419 de la prestigiosa revista norteamericana de Astrofísica y Astronomía *The Astrophysical Journal* con el título de: *Una medición del exceso de temperatura en las antenas a 4080 Mhz.*

Este artículo hubiera atraído muy poco la atención si no hubiese sido por un trabajo acompañante que apareció con él en la página 414 del mismo número de la revista. En este trabajo acompañante, los astrofísicos americanos Robert H Dicke, J.J.E. Peebles, Peter G. Roll y David T. Wilkinson explicaban la importancia fundamental de estas medidas para la cosmología; y que llevaba un título más dramático: *Radiación Cósmica de cuerpo Negro.*

La portada del "New York Times" del 21 de Mayo de 1965 informaba: *"Científicos de los Laboratorios Bell han observado lo que un grupo de investigadores de la Universidad de Princeton consideraban el recuerdo de la explosión que dio origen al universo"*. Más tarde, Wilson reveló que no

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

había apreciado la importancia de su descubrimiento hasta que vio la noticia publicada en la primera página del Times.

Esta radiación es la que efectivamente descubrieron los investigadores americanos A. Penzias y R. Wilson en el año 1965, por lo que en el 1978 fueron galardonados con el premio Nobel. Después del descubrimiento, con gran rapidez se multiplicaron las observaciones de esa radiación en diferentes longitudes de onda. Este descubrimiento significaba que la radiotelescopía no sólo ha llegado al extremo del Universo en el espacio, sino también al comienzo del Universo en el tiempo.

Descubrieron la existencia de una radiación electromagnética, de origen cósmico, que incide sobre la Tierra, desde todas las direcciones con igual intensidad. Recibe el nombre de radiación de fondo o radiación de tres grados Kelvin o radiación fría procedente del espacio. En su contribución a la cosmología, el descubrimiento de la radiación de microondas de fondo tiene el mismo rango que el descubrimiento de Hubble de la reacción entre desplazamientos hacia el rojo de las galaxias y sus distancias.

2.6. Tiempos Modernos

Tenemos la necesidad de expandir los límites del radiotelescopio tradicional, la necesidad de innovar tecnológicamente con todos los recursos existentes y encontrar tecnologías nuevas.

Ahora se desarrollan radiotelescopios de gran tamaño y de gran resolución, de tal forma que en lugar de construir una antena muy grande es preferible construir dos o más antenas de menor tamaño, pero unidas entre sí, que se operan al mismo tiempo, como por ejemplo podemos decir que que nuestra visión cuando vemos, es una imagen binocular, pero al final se combinan y obtenemos una sola imagen.

Este sencillo principio es aplicable a los radio interferómetros modernos (interferometría = sumar señales u ondas), cuando se hace esto posible dicha técnica puede reconstruir los datos obtenidos por computadora.

Las típicas antenas usadas para este tipo de técnicas tiene una tolerancia algo así como un $\frac{1}{10}\lambda$ donde λ es la longitud de onda de radio.

Ahora es posible construir series de antenas con tolerancias ópticas muy finas ($\frac{1}{1000}$), más o menos el grosor de un cabello, estos arreglos que hasta ahora fueron unos prototipos en Monte Palomar y Monte Wilson, ahora son aplicables y desarrollados en varias partes del mundo, como en Australia y Francia. Con ello se busca encontrar el tamaño de estrellas, formas, lugares, atmósferas, constitución, etc. Los avances de la tecnología en estudios Físicos y Espaciales al igual que en Astronomía deben seguir ciertos patrones o modelos al igual que nuestro Sol.

Cuando las fuentes que se quieran detectar son tan débiles que estos arreglos de antenas no las resuelven adecuadamente, se desarrollan nuevas

tecnologías como el SIM (Space Interferometry Mission), que pretenden expandirse más allá del suelo terrestre, su principio de operación se basa en el principio de "Distribuidores Ópticos", que se basa a su vez en el sencillo procedimiento de que en vez de traer la luz a un foco que utiliza dos espejos, se utilizan más espejos pequeños, los cuales se posicionan por computadora.

Esta combinación traerá imágenes 4 veces más claras que el Hubble y 40 veces más de mejor calidad que este mismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

Radio-Interferómetro De Base Pequeña

Así como el astrónomo utiliza telescopios para ver el cielo, el radioastrónomo necesita de radio telescopios para “escuchar” las ondas de radio extra terrestres. Básicamente un radiotelescopio consiste en una antena que recoge las débiles señales de radio fuentes lejanas, un receptor que amplifica dichas señales a niveles adecuados para poder analizarlas, y un sistema que registra las señales amplificadas para su posterior analisis y estudio.

Puesto que la resolución angular de un radiotelescopio es proporcional a la longitud de onda dividida por la máxima dimensión de la antena, para el caso de frecuencias no excesivamente altas (pocos GHz) el tamaño de la antena debe ser demasiado grande (hasta varios kilómetros), para obtener alta resolución.¹

¹Tomando en cuenta la ecuación del ancho de haz de media potencia HPBW donde

$$\bar{R}_{res} = \frac{\lambda}{D} \quad (3.1)$$

Que es la resolución del plato, sustituyendo;

$$\bar{R}_{res} = \frac{4cm}{110cm} = 0,03636_{rad} \quad (3.2)$$

Una solución simple a este problema se encuentra al colocar otra antena similar a una distancia adecuada de la primera para formar un radio interferómetro con una resolución que dependerá de la longitud de onda, ahora dividida por la distancia entre las antenas.

$$\bar{R}_{res} = \frac{4cm}{520cm} = 0,00769230_{rad} \quad (3.3)$$

Que es la resolución del radiointerferómetro.

Los observatorios instalados sobre la superficie de la Tierra sólo pueden registrar las señales electromagnéticas provenientes del espacio exterior en dos bandas de frecuencia. Una de ellas, llamada la ventana óptica, comprende todo el rango de luz visible, un poco del ultravioleta y un poco del infrarrojo (de $\lambda \sim 3000 \text{ \AA}$ a $\lambda \sim 140000 \text{ \AA}$). La otra banda, llamada ventana de radio, abarca desde $\lambda \sim 1 \text{ mm}$ hasta $\lambda \sim 30 \text{ m}$, cubriendo todo el rango de microondas (1mm - 1m), y parte de las ondas de radio cortas.

La energía que se recibe en la Tierra en forma de ondas de radio es tan pequeña que, suele decirse que si se reúne toda la que se ha recibido en $\bar{f}(\theta, \varphi) = \bar{F}(\theta, l) f_{\xi}(\theta, l)$, donde $f_{\xi}(\theta, l) = 1 + e^{2kr l \cos \theta}$ donde D_a es el diámetro de la antena, $\lambda = 4\text{cm}$, de la ecuación de la directividad $Dir = (4\pi/\lambda^2)(\pi D_a^2) \cdot 75$ y $\Delta\Theta = (32000/Dir)^{1/2}$, programando se obtiene que nuestro ancho de haz de potencia media es $\Delta\Theta = 0,22^\circ$, donde la fórmula fue tomada del libro *Markov, G. Antenas, Ed. Mir URSS 1967*.



todos los radiotelescopios desde el nacimiento de la radiotelescopía, resulta una energía menor que la empleada en recoger una hoja de papel de una mesa. Así, las radioemisiones suelen tener sus propias unidades, llamadas "Jansky"; 1 Jansky es igual a 10^{-26} watt/m²Hz y representa la potencia por unidad de área, por unidad de ancho de banda emitida por una radiofuente.

En la parte superior de la superficie del Sol que se observa a simple vista (la forósfera) se encuentran regiones de plasma poco denso permeado por campos magnéticos (cromósfera y corona) en las que se generan intensas señales de radio. Estas señales varían desde la emisión altamente variable, que es igualmente variable en otras bandas, en las cuales la intensidad cambia por factores hasta de 10^3 en unos cuantos minutos, hasta la señal relativamente estacionaria proveniente de llamado Sol quieto.

Entre las señales de radio variables del Sol, está la llamada *componente lentamente variable*, o componente S (*de "slowly varying component"*). Esta cambia con el período de rotación del Sol, aproximadamente de 27 días, que es también el período de rotación de las manchas solares. Parte de la componente S esta compuesta por radiación térmica que corresponde a la intensidad y distribución esperada a una temperatura entre 10^6 y 10^7 K. Sin embargo, las emisiones con longitudes de onda del orden de centímetros tienen un origen magnético (radiación sincrotrónica) debido a la presencia de campos del orden de 1000 gauss en las manchas solares.

Así pues, el uso de un instrumento como un radio interferómetro solar es importante para estudiar la aparición, evolución y la desaparición de las regiones activas, las ráfagas o fulguraciones solares que son uno de los eventos más intensos de la actividad solar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1. Descripción

El Radiointerferómetro solar de $\lambda=4$ cm de base pequeña, del Instituto de Geofísica de la UNAM, es de fabricación Soviética. Es un instrumento de alta precisión para el estudio de regiones activas en el Sol. Su gran utilidad reside en el hecho de que la base del radiointerferómetro es lo suficientemente grande como para que el disco del Sol se vea como una fuente extensa con eliminación total de lóbulos interfenciales, pero lo suficientemente pequeña para que no se destruyan los lóbulos inteferenciales de las fuentes locales. De esta manera la emisión proveniente de la curva correspondiente al Sol quieto queda eliminada y puede observarse únicamente la componente variable proviniente de las regiones activas.

El instrumento consta de dos antenas parabólicas de 1m de diámetro cada una montadas en un eje polar común que determina la dirección de la base del interferómetro. Opera a una frecuencia de 7500 MHz. La separación entre las antenas es de 5.24 m que corresponde a 131 longitudes de onda. El eje del aparato está orientado a lo largo del eje polar y un motor sincrónico lo gira de Este a Oeste (girando las antenas), siguiendo el movimiento aparente del Sol. Cada antena tiene además un desplazamiento independiente en declinación entre $\pm 25^{\circ}$.

3.2. Antenas

Una antena puede ser definida como la región de transición entre una onda en el espacio libre y una onda guiada. En un radiotelescopio la antena actúa como un colector de ondas de radio. La antena es el análogo de los espejos o lentes de un telescopio óptico, sólo que un reflector parabólico

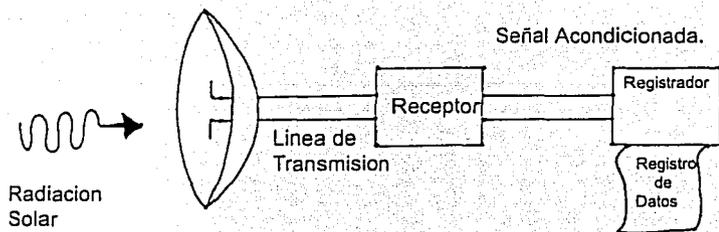


Figura 3.1: Diagrama a bloques del radiointerferómetro.

de un radiotelescopio no necesita pulirse como un espejo, sólo es necesario que sea de metal. Es más fácil evaluar las características de una antena cuando transmite que cuando recibe o capta señal, pero por el teorema de reciprocidad se sabe que las características son las mismas en ambos casos, así que la mayoría de los parámetros usados en la descripción de las antena se evalúan en el modo de transmisión.

La respuesta de una antena en función de la dirección se conoce como el patrón de antena, que generalmente consiste en cierto número de lóbulos. El Lóbulo Mayor se llama lóbulo principal y los menores lóbulos laterales.

El ancho del lóbulo mayor o ancho de haz está dado (en radianes) aproximadamente por: $\theta = \lambda/D$ donde λ es la longitud de onda y D es el diámetro de la antena. Para un interferómetro se sigue cumpliendo la relación anterior pero en ese caso, D es la separación entre las antenas.

De esta forma, en el interferómetro tenemos que, en la dirección Este-

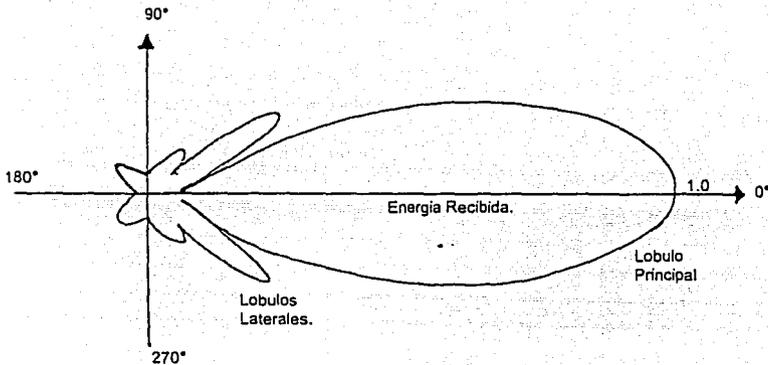


Figura 3.2: Gráfica polar de la energía relativa recibida por una antena direccional.

Oeste se tiene un ancho de haz:

$$\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{3,9cm}{114cm} = 1^{\circ}57',6 \quad (3.4)$$

En la dirección Norte-Sur se tiene un ancho de haz

$$\theta = \frac{\lambda}{D} = \frac{3,9cm}{524cm} = 25',4 \quad (3.5)$$

Para tener un patrón de interferencia constructiva en el radiointerferómetro, las señales de las dos antenas, Sur y Norte, deben llegar en fase al anillo híbrido donde se hace la suma de ambas señales. Esto es, las dos antenas deben captar porciones del mismo frente de onda y además, se debe lograr que el camino (ó tiempo) que recorre la señal desde cada antena hasta el anillo híbrido sea el mismo para las dos antenas.

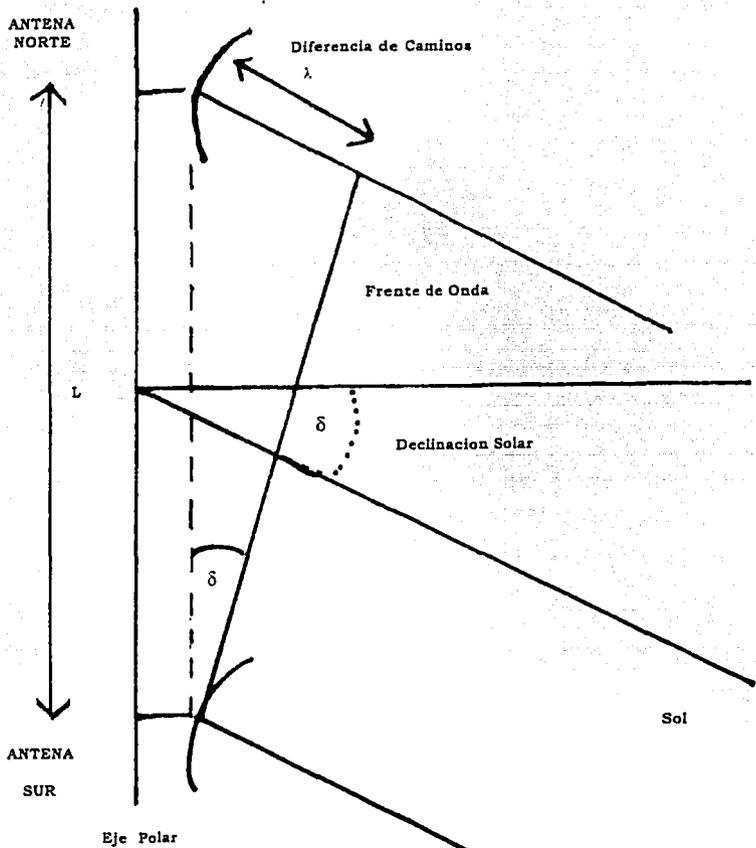
MONTURA. La montura del radiotelescopio es ecuatorial. Esta montura nos permite seguir el camino diario del Sol variando únicamente la declinación de los platos reflectores. Además se puede conocer fácilmente la geometría del sistema que a su vez nos permite conocer la diferencia de caminos ópticos de la señal en las dos antenas.

COMPENSACIÓN DE CAMINOS. Como se puede ver en la figura 3.3, los frentes de onda no llegan al mismo tiempo a las dos antenas, solamente lo hacen cuando la declinación Solar es igual a cero. Para compensar la difencia de caminos ópticos se hizo lo siguiente:

1. Se diseñó el instrumento de tal forma que uno de los brazos, en este caso el sur, sea de longitud fija. El otro brazo, el Norte, es de longitud variable, de tal manera que se pueda compensar el retraso ó adelanto de los frentes de onda provenientes de las dos antenas, solamente variando la longitud de camino recorrido por la señal de la antena norte.



CAPÍTULO 3. RADIO-INTERFERÓMETRO DE BASE PEQUEÑA 45



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. - El ajuste de la longitud de la guía de onda Norte se hace por medio de una guía de onda variable, el "émbolo". Para conocer dicha longitud se procede de la siguiente forma:

- a) Se debe conocer las longitudes de las guías de onda que conducen la señal proveniente de las dos antenas. Las longitudes son:

$G_n=275$ cm. Guía de onda de la antena norte. $G_s=390$ cm. Guía de onda de la antena sur. $G_e=153$ cm. Guía de onda del émbolo (valor máximo).

- b) Se debe conocer la diferencia que existe en el camino de un frente de onda entre las dos antenas. Para lograrlo, se usa la geometría del instrumento y el ángulo de declinación del Sol δ . Tenemos que la diferencia de caminos es simplemente

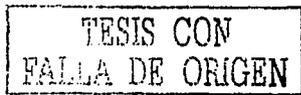
$$l = L \text{ sen } \delta$$

donde "L" es la longitud de la base o la separación entre las antenas $L=528.5$ cm. De esta forma conocemos "l" que es la longitud que debemos añadir o quitar, dependiendo del signo de δ , a la guía de onda norte para igualar los caminos de las dos antenas.

- c) Como la velocidad de las ondas no es la misma en el aire, en donde el índice de refracción " n_a " es igual a uno, que dentro de la guía de onda ($n_g=0.726$) usamos la diferencia en tiempo en lugar de la diferencia en distancia. Tenemos que la diferencia de tiempo es:

$$t = \frac{L \text{ sen } \delta}{c}$$

y el tiempo que se debe retrasar la señal dentro de la guía de onda es:



$$t = \frac{d}{v}$$

donde "d" es la distancia que debemos aumentar a la guía de onda para que la señal que viaja con velocidad "v", se retrase un tiempo "t". Igualando ecuaciones tenemos:

$$\frac{L \cdot \text{sen} \delta}{c} = \frac{d}{v}; d = L n_g \text{sen} \delta$$

- d) Como $G_s > G_n$ con $G_s - G_n = 115$ cm, entonces la distancia total, " l_t ", que debemos aumentar o disminuir a la guía de onda de la antena norte es:

$$l_t = d + 115$$

Además, se tiene que la señal recorre dos veces la longitud de las guías de onda del émbolo, entonces la longitud de las guías de onda del émbolo debe ser:

$$l_{emb} = \frac{l_t}{2}$$

- e) Por último se calcula la distancia " l_v " que se debe introducir la varilla del émbolo dentro de las guías, ésta es simplemente:

$$l_v = G_e - l_{emb}$$

El émbolo se debe ajustar diariamente puesto que la declinación solar varía rápidamente.

3.3. Receptor

El receptor del radio-interferómetro es del tipo Dickie y está formado por las siguientes secciones:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

- Sección de alta frecuencia.
- Sección de intensidad total.
- Sección de polarización.
- Sección de interferometría.

SECCIÓN DE ALTA FRECUENCIA. El receptor se construyó en base al esquema de amplificación directa con tres etapas de amplificación de bajo ruido, usando tecnología GaAs-FET, con una ganancia de 20 dB cada una. La señal amplificada pasa por un filtro de microondas, para evitar distorsiones por ruido. Después viene un detector que a su salida entrega solamente la envolvente, es decir, baja la frecuencia. Enseguida hay un preamplificador de baja frecuencia, que amplifica la señal para ser enviada por cable coaxial hacia el laboratorio donde se amplifica por última vez, con su respectivo registro. La sección de alta frecuencia se encuentra en el conjunto de las antenas.

CANAL DE INTENSIDAD. En el canal de intensidad se obtiene un registro de la radiación de $\lambda=4$ cm. proveniente de la totalidad del disco solar. La estructura a bloques de este canal se puede ver en la figura siguiente.

Como se mencionó antes, el receptor es del tipo Dickie, esto significa que, el receptor cuenta con un sistema que ayuda a eliminar las variaciones de ganancia de los amplificadores debidas, por ejemplo, a variaciones de temperatura o de voltaje. El funcionamiento es simple; se hace una resta de la señal captada por las antenas menos una señal constante conocida, en este caso llamada "ruido 2", y como las dos señales varían igual al cambiar la ganancia de los amplificadores, al restarlas se eliminan estos cambios de ganancia.

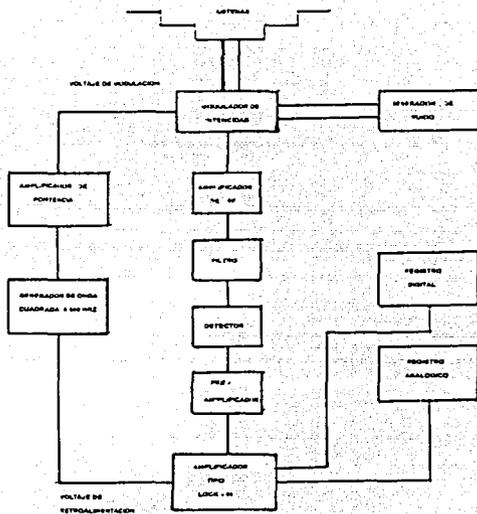


Figura 3.4: Canal De Intensidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 3. RADIO-INTERFERÓMETRO DE BASE PEQUEÑA 50

La potencia entregada por el receptor al conectarse a la antena es:

$$W_A = k(T_A + T_{sis})G \Delta f$$

donde " T_A " es la temperatura de antena, T_{sis} es la temperatura del sistema de amplificación, " G " es la ganancia, " Δf " el ancho de banda, y " k " es la constante de Boltzmann.

La potencia entregada por el receptor cuando se conecta al generador de ruido es:

$$W_R = k(T_R + T_{sis})G \Delta f$$

A la salida del receptor, la diferencia de estas dos señales es medida por un detector sensible a la fase (amplificador tipo lock-in). Se tienen:

$$W_A - W_R = k(T_A - T_R)G \Delta f$$

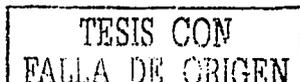
donde " T_{sis} ", el ruido propio del sistema, ya no aparece.

El proceso se lleva a cabo de la siguiente forma:

1. La señal proveniente de las antenas se transporta en guía de onda, se suma en el anillo híbrido (fig 3.4) y llega al modulador de intensidad con polarización lineal (su vector de campo eléctrico es paralelo al lado corto de la guía de onda).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. La señal del generador de ruido 2 es enviada al modulador de intensidad a través de una guía de onda perpendicular a la guía anterior. Por lo tanto, las dos señales, de la antena y del generador de ruido, se encuentran en el modulador de intensidad solo que con polarización lineal perpendicular una con respecto a la otra.
3. En la salida del modulador de intensidad, que en realidad es una guía de onda circular, se coloca una guía de onda reactangular alineada con la guía de onda que transporta la señal de ruido 2, de tal manera que la señal de ruido 2 pase directamente a la salida. Se usa el efecto Faraday para rotar 90° los ejes de polarización de las dos ondas. Aunque los ejes de las ondas siguen siendo perpendiculares entre sí, ahora el eje de polarización de la señal proveniente de la antena queda paralelo al lado corto de la guía de onda de la salida y, por lo tanto, será ésta la señal que pase hacia los amplificadores.
4. Para producir el campo magnético del efecto Faraday se utiliza una bobina que rodea a la guía de onda circular del modulador de intensidad. Como se requiere que por la salida pasen alternadamente la señal de la antena y la señal del generador de ruido 2, se hace pasar por la bobina una corriente con forma de onda rectangular. Esta corriente es producida por el generador de la señal de modulación de intensidad, GSMI, que proporciona una señal cuadrada de 600 Hz. La señal se amplifica por el amplificador de potencia de modulación de intensidad para pasar finalmente por el embobinado del modulador de intensidad.
5. - La señal producida por el GSMI entra al amplificador sensible a la fase (tipo lock-in) para saber cuándo está recibiendo señal proveniente



de la antena y cuando la señal proveniente del generador de ruido 2. La resta de las señales se logra mediante un circuito formado por dos integradores cuyas entradas se conectan a la señal de antena y al ruido patrón, de acuerdo con la señal del GSMI.

6. La señal que resulta de la resta, entra por un lado al registro analógico para ser graficada en papel en un graficador de intensidad y por otro lado entra al registro digital.

CANAL DE POLARIZACIÓN. El radiointerferómetro capta señal circularmente polarizada, ya sea derecha PCD (Polarización Circular Derecha), ó izquierda PCI (Polarización Circular Izquierda). En un cierto intervalo de tiempo $t_1 + \Delta t$, la antena se hace sensible a la polarización derecha y solamente capta las ondas PCD. Una fracción de tiempo más tarde $t_1 + 2\Delta t$, la antena sólo capta ondas PCI. Luego se restan las dos señales y se obtiene un registro de la polarización circular media. La detección de las dos polarizaciones se lleva de la siguiente figura (ver fig 3.5).

1. La señal que llega a las antenas generalmente está aleatoriamente polarizada, por lo que a la entrada de las guías de onda, podemos considerar que llegan tanto ondas con polarización circular derecha (PCD) como polarización circular izquierda (PCI). Se coloca después del colector de entrada o bocina una placa retardadora de $1/4$ de longitud de onda que tiene por objeto transformar la polarización de la señal de PCD a lineal y de PCI también a lineal pero con su eje de polarización perpendicular a la proveniente de ondas PCD.

Inmediatamente después de la placa retardadora se coloca el modulador de polarización, una guía de onda circular rodeada por una

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

bobina, y en seguida viene la guía de onda rectangular que lleva la señal hacia el anillo híbrido donde se efectúa la suma de las señales provenientes de las antenas. El lado corto de esta guía de onda se coloca a 45° con respecto al eje de la placa retardadora de $1/4$ de λ .

2. En el modulador de polarización se usa nuevamente el efecto Faraday para girar 90° los ejes de polarización de las dos señales que se encuentran en él. De esta forma, la señal que proviene solamente una de ellas pasará cada vez.
3. El control del modulador de polarización se lleva a cabo con un generador de onda cuadrada, actualmente se usa el generador de modulación de intensidad sólo que se divide la frecuencia entre dos, dando como resultado una frecuencia de modulación de 300 Hz. La señal se amplifica en el amplificador de potencia de modulación de polarización y se manda a los moduladores de polarización colocados en las dos antenas.
4. La señal cuadrada del generador, es enviada también al amplificador tipo Lock-In de polarización para poder hacer la resta de las señales PCD y PCI, tal y como se hace en el canal de intensidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 3. RADIO-INTERFERÓMETRO DE BASE PEQUEÑA 54

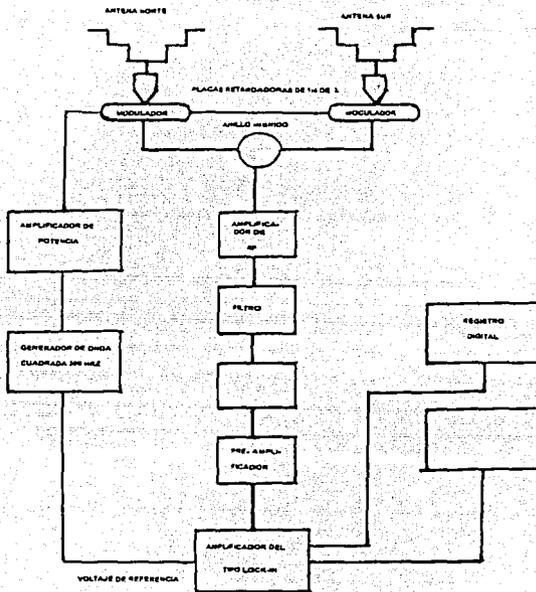


Figura 3.5: Canal De Polarización

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El amplificador tipo lock-in tiene dos salidas de señal una para el graficador analógico y otra para el procesamiento digital de la señal.

De esta forma se obtiene una gráfica de la señal en papel y el registro y almacenamiento de la señal en forma digital en disco.

SECCIÓN DE INTERFEROMETRIA. El interferómetro es de fase conmutada (multiplicación). Esto quiere decir que la fase de uno de los elementos es invertida periódicamente y la salida del receptor es invertida en sincronía. La ventaja de este tipo de instrumento es que reduce el ruido de fondo proveniente del centro de la galaxia.

El proceso se lleva a cabo insertando y quitando media longitud de onda en la guía de onda de transmisión de uno de los elementos. El modulador de fase es el que se encarga de esta tarea, su funcionamiento es el siguiente:

1. La señal proveniente de la antena norte pasa directamente al anillo híbrido donde se hace la suma de las señales. En el trayecto de la señal entre la antena Sur y el anillo híbrido se coloca el modulador de fase, de tal manera que es la señal de la antena Sur a la que se le disminuye (ó aumenta) media longitud de onda para que llegue al anillo híbrido 180° fuera de fase (ó en fase).
2. El modulador de fase funciona de la siguiente forma:
 - a) Se coloca una guía de onda circular entre las guías de ondas rectangulares que transportan la señal de la antena sur, dicha señal está linealmente polarizada. Para simplificar la notación tomamos las componentes del vector eléctrico de dicha señal como E_{ox} y E_{oy} (en realidad $\vec{E}_x = E_{ox} \cos(kz - wt + \phi)$ y $\vec{E}_y = E_{oy} \cos(kz - wt + \phi)$). A la salida de la guía de onda rectangular (entrada circular)

CAPÍTULO 3. RADIO-INTERFERÓMETRO DE BASE PEQUEÑA 56

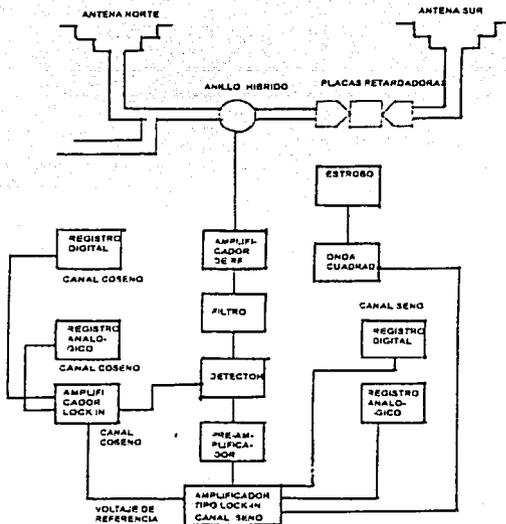


Figura 3.6: Canales Interferométricos

se coloca una placa retardadora de $1/4$ de longitud de onda (placa a), con su eje a 45° con respecto al lado corto de la guía rectangular, de tal forma que la señal que en la guía rectangular venía con polarización lineal $E_{0x} = E_{0y}$, cambia su estado de polarización a circular $E_{0x} = E_{0y} - \pi/2$, es decir: $(\vec{E}_{0x} = E_{0y} \text{sen}(wt + \pi/2))$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- b) Las ondas con polarización circular entran a una placa retardadora de $1/2$ longitud de onda (placa b). El eje de dicha placa se hace girar con una frecuencia constante Ω , de tal manera que cuando coincide con el eje de la placa anterior (placa a) las ondas se desfasan con un retraso de π radianes más, $E_{ox} = E_{oy} + 3\pi/2$, de otro modo $\vec{E}_{ox} = E_{oy} \text{sen}(wt + \theta)$. Pero cuando los ejes de las placas son perpendiculares, las ondas se desfasan nuevamente una cantidad de π radianes, al cruzar la placa de $1/2$ longitud de onda, sólo que ahora el retraso es en la componente E_{ox} , es decir, en este caso $E_{ox} + \pi = E_{oy} + \pi/2$ puesto que la componente E_{oy} no se afecta.
- c) A la salida de la placa retardadora anterior (placa b) se coloca una placa retardadora de $1/4$ de longitud de onda (placa c) con su eje alineado con la primera placa (placa "a"), y por consiguiente a 45° con la guía de onda rectangular que la sigue. El objetivo de esta placa es transformar la polarización de la señal, de circular a lineal, para salir así del modulador de fase. La señal que pasa por esta placa en el momento que los ejes de las tres placas coinciden, sufre un desfase de $\pi/2$ en su componente E_{oy} , es decir, $E_{ox} = E_{oy} + 2\pi = E_{oy}$, y la señal sale del modulador de fase sin cambio alguno. Pero cuando el eje de la placa "b" se encuentra perpendicular a los ejes de las placas a y c, las ondas sufren un retraso en fase de $\pi/2$ en su componente E_{oy} de tal forma que a la salida del modulador de fase tenemos que $E_{ox} + \pi = E_{oy} + \pi$, que es polarización lineal nuevamente pero con un retraso de fase de media longitud de onda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 3. RADIO-INTERFERÓMETRO DE BASE PEQUEÑA 58

3. De esta forma se logra que por cada giro de la placa retardadora de media longitud de onda (placa $\lambda/2$) la señal a la salida del modulador de fase (y a la entrada del anillo híbrido) se encuentre dos veces en fase con la señal de la antena norte y dos veces fuera de fase. De esta manera se produce interferencia constructiva (ondas en fase) e interferencia destructiva (ondas desfasadas media longitud de onda) lo que da como resultado lóbulos interferenciales viajeros. Es decir, no tenemos un patrón de interferencia estático con el cual veríamos sólo una región del Sol (la que abarca el centro del máximo principal), sino un patrón de interferencia que viaja, permitiéndonos de esta forma explorar regiones adyacentes a la región del máximo principal.
4. El patrón de interferencia resultante se ve en la 3.6. Para obtener la información de la intensidad y la posición de los centros de actividad con respecto al centro del disco solar, se registra la señal en diferentes posiciones del patrón. A la posición en que el máximo del patrón coincide con el centro de fase (esta coincidencia ocurriría siempre si no tuvieramos lóbulos viajeros) se le llama *+coseno*, a la posición en que el mínimo del patrón coincide con el centro de la fase se le llama *-coseno*, cuando es la mitad del máximo principal del patrón interferencial la que coincide con el centro de fase se le llama *seno*, *+seno* del lado izquierdo y *-seno* del lado derecho.
5. Se tienen dos canales de interferométricos: Canal *coseno*, que registra la intensidad de la señal proveniente de los centros de actividad. Mediante un amplificador tipo lock-in se hace la resta de las señales *+coseno* menos *-coseno*, para grabarla en el registro correspondiente, y canal *seno* que registra la fase o posición de dichos centros con respecto al

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

centro del disco solar, de la misma forma que en el canal coseno pero con las posiciones *+seno* y *-seno*.

6. Para saber cuál es la fase de la señal que llega al anillo híbrido se coloca una *corona* metálica rodeando la placa giratoria *b* (de $1/2$ longitud de onda) de tal forma que gire con ella. Se forma un estroboscopio haciendo 3 orificios en la corona y colocando dos focos y dos fotodiodos de cada lado de ésta. Un poco antes (45°) de que los ejes de las tres placas coincidan (posición *+coseno*) uno de los orificios de la corona deja pasar luz de un foco para encender al fotodiodo correspondiente, 45° después del alineamiento de los ejes, otro orificio enciende el segundo fotodiodo. Los pulsos así creados regulan la frecuencia de un circuito generador de onda cuadrada. La señal cuadrada se divide en dos y entra como referencia de fase a los amplificadores tipo Lock-In de los canales seno y coseno. La señal sale luego al registro digital analógico de cada canal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4

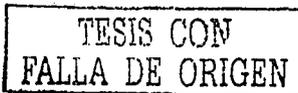
Tarjeta

4.1. Tarjeta NiQ-DaQ.

4.2. Descripción.

La tarjeta DaQ opera bajo características para computadoras ISA o EISA, teniendo un standar de 5000 ks/s y 1Ms/s (samples ó muestras) respectivamente, incluye además buffers y direccionadores de datos que usan sofisticadas técnicas para el tratamiento y administración en la adquisición de datos, de tal forma que podemos adquirir y procesar datos simultáneamente, ya que puede transferir datos usando interrupciones de acceso de memoria directa ó por medio de programación.

La tarjeta es del tipo multifunción analógica-digital y además puede crear su propia medida de tiempo de entrada y salida. El convertidor analógico digital es de 12 bits de aproximación sucesiva y puede muestrear hasta 8 entradas analógicas.



Las entradas analógicas se usan en el análisis de señales y en la toma de datos, el convertidor analógico-digital de 12 bits, es usado para aplicaciones de alta resolución, como la cromatografía, medidas de temperatura, medidas de voltajes DC y AC, etc.

Los canales de salida analógica pueden ser usados para generar señales de control o funciones de señales analógicas, las 24 líneas (TTL) de entrada y salida digitales, pueden ser usadas en eventos sincronizados, como la generación de pulsos, medidas en frecuencia y tiempo.

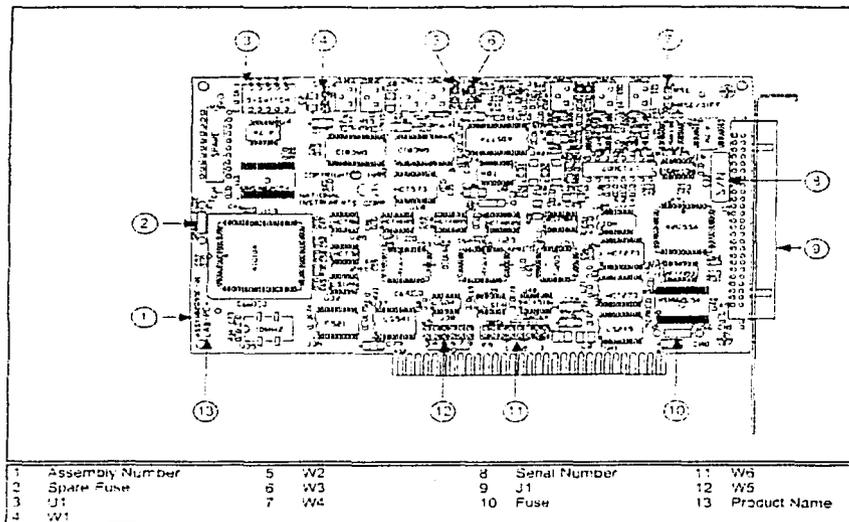


Figura 4.1: Lab-Pc+ Diagrama

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.1. La Configuración De La Tarjeta.

La Lab-PC+ contiene seis pines y un DIP (Dual Inline Package) para configurar el bus de la interface y las direcciones de entrada y salida. El conmutador(DIP) es usado para seleccionar la dirección base de entrada y salida, 2 puentes (jumpers) se usan para seleccionar el número de interrupción y para la dirección de acceso directo a memoria. Los 4 restantes son usados en los cambios de entradas y salidas analógicas del circuito.

4.3. Bus De Interface.

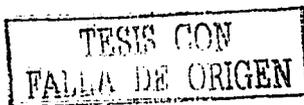
El bus en uso es del tipo ISA el cual maneja un bus de direcciones de 20-bits y un bus de datos de 8-bits. Permite trabajar con la mayoría de las señales de interrupciones de PC, e incluso utilizar los circuitos de direccionamiento directo a memoria (DMA).

La Lab-PC+ está preconfigurada en la dirección base 260H (en Hexadecimal) usa el canal 3 de acceso de memoria y 5 para interrupción.

4.4. Localidades Analógicas De Entrada y Salida.

La Lab-PC+ está preconfigurada con los siguientes parámetros:

- ± 5 V rango de entrada
- Salida analógica bipolar.
- ± 5 V rango de salida



Para la configuración de salidas analógica se tienen dos rangos que son de $\pm 5V$ para salidas bipolares, y de 0 a 10 V para salidas unipolares, dos puentes (jumpers) W1 y W2 son los que controlan dichos canales 0 y 1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.5. Conexiones De Señal.

A continuación se muestran las asignaturas de cada pin, en los conectores:

AC110	1	2	AC111
AC112	3	4	AC113
AC114	5	6	AC115
AC116	7	8	AC117
AISENSE/AGND	9	10	DAC0 OUT
AGND	11	12	DAC1 OUT
DGND	13	14	PA0
PA1	15	16	PA2
PA3	17	18	PA4
PA5	19	20	PA6
PA7	21	22	PB0
PB1	23	24	PB2
PB3	25	26	PB4
PB5	27	28	PB6
PB7	29	30	PC0
PC1	31	32	PC2
PC3	33	34	PC4
PC5	35	36	PC6
PC7	37	38	EXTTRIG
EXT(IND)AD*	39	40	EXTCONV*
OUTB0	41	42	GAIB0
COU1B1	43	44	GAIB1
CLKB1	45	46	OUTB2
GAIB2	47	48	CLKB2
+5V	49	50	DGND

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pines	Tipo de Señal	Descripción
1-8	ACHO ACH7	ENTRADA ANALÓGICA CANALES 0-7
9	AISENSE/AIGGN	ENTRADA DE TIERRA ANALÓGICA.
10	DACOB OUT	VOLTAJE DE SALIDA DEL CANAL 0
11	AGND	TIERRA ANALÓGICA.
12	DAC1 OUT	SALIDA DE VOLTAJE ANALÓGICA DEL CANAL 1.
13	DGND	TIERRA ANALÓGICA DIGITAL(SALIDA)
14-21	PA0 - PA7	LÍNEAS BIDIRECCIONALES PARA EL PUERTO A(DIGITAL),EL PA7 ES EL BIT MÁS SIGNIFICATIVO Y PA0 ES EL MENOS SIGNIFICATIVO.
22-29	PBO-PB7	LÍNEAS BIDIRECCIONALES DE DATOS PARA EL PUERTO B.
30-37	PC0-PC7	LÍNEAS DE DIRECCIONAMIENTO DEL PUERTO C PC7- PC0.
38	EXTTRIG	CONTROL EXTERNO DEL COMIENZO DE LA CONVERSIÓN.
39	EXTUPDATE	CONTROL EXTERNO DE SEÑAL DE SEÑAL SALIDA ACTUALIZADA.
40	EXTCONV*	CONTROL EXTERNO DE SEÑAL QUE ACTIVA LAS CONVERSIONES ANALÓGICAS-DIGITALES (BI-DIRECCIONALES).
41	OUTB0	SALIDA DEL CONTADOR B0.
42	GATB	ENTRADA DEL CONTADOR B0.
43	COUTB1	SALIDA DEL CONTADOR B1.

44	GATB1	CONTADOR B1 (GATE), EN LA ENTRADA.
45	CCLKB1	RELOJ DEL CONTADOR B1.
46	OUTB2	SALIDA DEL CONTADOR B2.
47	GATB2	COMPUERTA (CONTADOR B2) A LA ENTRADA.
48	CLKB2	RELOJ B2.
49	+5	+5V SALIDA. 1A (MáX) A LA SALIDA.
50	DGND	TIERRA DIGITAL SALIDA.

Indica si la señal se encuentra en estado bajo.

Las conexiones de los pines se agrupan en los pines analógicos (I/O) y los digitales (I/O-D).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.6. Configuración De Entrada.

La Lab-PC+ puede ser configurada en tres posibles modos de entrada: Modo no-referenciado simple (NRSE), Modo Referenciado Simple (RSE), o Diferencial (DIF).

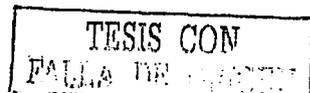
SEÑAL	CONFIGURACIÓN
Referencia a entradas de tierra no separadas y conectadas a instrumentos.	DIFF y NRS
Flotante. (Baterías, Termo acopladores de salida separada).	DIF Con resistencia de paso RSE

4.7. Consideraciones Para Conexiones Diferenciales.

Las conexiones de entrada de señales analógicas poseen señales de referencia o señales de trayectoria de regreso que son usadas cuando la tarjeta está en modo DIFF.

Cada señal de entrada está conectada a la entrada positiva del amplificador de instrumentación, y la señal de referencia o de regreso está conectada a la entrada negativa del amplificador de instrumentación.

Cuando la Lab-PC+ está configurada para entrada diferencial, cada señal usa dos canales del multiplexor de entrada uno para la señal y otro para la señal de referencia. Por lo tanto, solamente 4 canales de entrada analógica están disponibles cuando se usa la configuración DIFF.



La configuración de entrada DIFF puede ser usada cuando alguna de las siguientes condiciones se satisfacen.

- Cuando las señales de entrada son de bajo nivel (menores que 1 V).
- Las conexiones desde la fuente de señal a la tarjeta sean más grandes de 4.5 mts.
- Que alguna señal de entrada requiera un punto de referencia a tierra por separado o que la señal regrese.
- Que la señal de carga viaje a través de un medio ruidoso.

Las conexiones de señales diferenciales reducen el ruido. Con esas conexiones, la señal de entrada puede flotar dentro de los límites del modo común, de la salida del amplificador de instrumentación.

4.8. Conexiones Diferenciales a Tierra Para Fuentes De Señal.

Las conexiones referenciadas a tierra en una fuente de señal a la Lab-PC+ configurada a un modo de entrada diferencial. Con este tipo de conexión, el amplificador de instrumentación rechaza el ruido en modo común en la señal.

4.9. Conexiones De Entrada De Señal Analógica.

Las entradas de señal analógica se hace a través de los pines 1 y 8 para 12 bits Convertidor Analógico Digital (ADC).



El Pin 9 es de señal analógica común, este pin puede ser usado para tierra general de la Lab-PC±.

Los Pines 1 al 8 están enlazados a la octava entrada del modo simple de finalización de los canales analógicos a través de resistencias en serie de $4.7K\Omega$ hasta la entrada del multiplexor.

Los pines 2,4,6 y 8 además están enlazados a la entrada del multiplexor para un modo diferencial.

El pin 40 es el control externo de la señal que activa las conversiones analógicas/digitales y puede ser usado para los disparos de conversión. La conversión ocurre cuando la señal hace una transición de alto a bajo.

Las conexiones de señal de entrada analógica de la tarjeta depende de la configuración que se le de y de la circuitería analógica de entrada y el tipo de fuente. Con las diferentes configuraciones de la tarjeta.

En este caso se usó la conexión diferencial por el tipo de instrumento y de señal que se está usando aparte de las características de una señal analógica a la entrada con una señal de referencia dada por el mismo instrumento.

4.10. Tipos De Fuentes De Señal.

Cuando se configura el modo de entrada de la Lab-PC+ y antes de hacer las conexiones de señal, debemos determinar si la fuente de la señal es de tipo flotante o con referenciada a tierra.

4.10.1. Fuente De Señal Flotante.

Las fuentes de señal flotante son aquellas que no están conectadas en ningún punto del sistema de tierra, por lo que hay que generar el punto de

CON
FALLA DE ORIGEN

referencia, algunos ejemplos de fuentes flotantes de señal son los transformadores, termoacopladores, aisladores ópticos entre otros.

Las tierras de referencia de la señal flotante están conectada a la entrada analógica de la Lab-PC+, como referencia de señal.

4.10.2. Fuentes De Señal Referenciadas a Tierra

Son aquellas fuentes que estan construidas para ser conectadas a un sistema de tierra común.

Suponiendo que la tarjeta esta conectada al mismo sistema de energía. La diferencia de potencial a tierra de dos instrumentos conectados al mismo punto de energización es típicamente de 1 a 100 mV, pero puede ser mucho mayor si los circuitos no están propiamente conectados.

4.11. Conexiones Diferenciales Para Fuentes De Señal

Las conexiones referenciadas a tierra en una fuente de señal a la Lab-PC+ configurada a un modo de entrada Diferencial. Con este tipo de conexión, el amplificador de instrumentación rechaza el ruido en modo común en la señal.

4.12. Conexiones Diferenciales Para Fuentes De Señal Flotantes

La resistencia de 100K Ω crea un retorno de las corrientes del amplificador de instrumentación, si no hubiese este arreglo de resistencia, se gener-

aría capacitancias parásitas, dando como resultado una saturación del amplificador.

El resistor de cada una de las entradas a tierra se puede ver en la figura 2.17, provista de direcciones de corrientes en trayectoria de AC para acoplar una señal de AC en la entrada.

Si la señal de entrada es acoplada DC, entonces solamente el resistor conectado a la señal de entrada negativa a tierra es necesaria. Esta conexión no es de baja impedancia de la entrada analógica de canal.

Siguiendo las especificaciones y el grado de aplicación para las líneas digitales de I/O. El rango absoluto máximo para el voltaje es de ± 5 Vcon respecto a la tierra digital.

Entradas y Salidas Lógicas

Líneas Digitales de I/O	Mínimo	Máximo
Voltaje lógico bajo (entrada)	0 V	.3 V
Voltaje lógico alto (entrada)	2.0 V	5.25 V
Voltaje lógico bajo (salida) Con una corriente de salida de 1.7mA	0.0 V	0.45V
Lectura de corriente en la entrada ($0 < V_{i,n} < 5V$)	-10V	10uA
Corriente de Darlington $R_{ext} = 750\Omega$ $V_{E,XT} = 1.5V$	-1V	-4.mA

En la figura, el puerto esta configurado para una salida digital, y los puertos B y C están configurados para entrada digital.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5

Programación.

La programación del sistema de adquisición de datos fue basada en LabView(Laboratory Virtual Engineering Workbench), el cual es un lenguaje, de programación gráfico(Programación G), se enfoca a los sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabView permite diseñar interfaces de usuario mediante un control interactivo basado en el programa.

5.1. Diseño De Interfaz de Usuario

En LabView existen dos paneles: El Frontal y el Panel de Programación.

Panel Frontal : Es el espacio donde estarán ubicados todos los indicadores y controles que el usuario podrá ver cuando el programa esté en funcionamiento 5.1(ver imagen de panel frontal):

Panel de Programación : Aquí se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan entre sí como funciona el programa, exactamente es la parte donde se realizan las especificaciones

TESIS VI
03/04/03 01:19 PM

Page 1

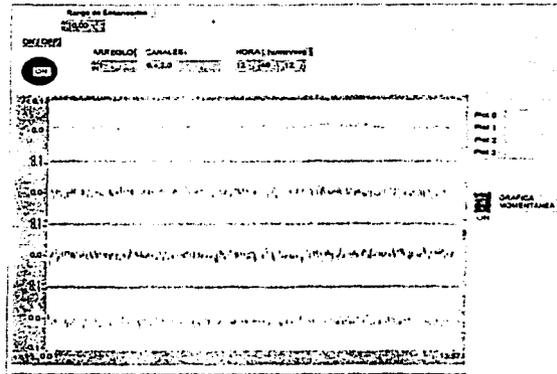


Figura 5.1: Panel Frontal

funcionales 5.2 (ver imagen del panel).

Al diseñar el programa de forma gráfica se hace una programación de flujo de datos, donde se tiene la interpretación de los datos también en forma gráfica (tipo de datos), es decir cada dato tiene una característica diferente y es en sus terminales de color diferente.

El flujo de datos va de izquierda a derecha, en el panel de programación va determinando por las operaciones o funciones que procesan los datos.

En el caso de programación DAQ, las tarjetas DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos a la PC y otros instrumentos donde a su vez están conectados con otros sensores.

Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales, analógicas ó simplemente conteos de ocurrencias digitales tanto de entrada como de

TESIS2.VI
03/06/03 01:19 PM

Page 1

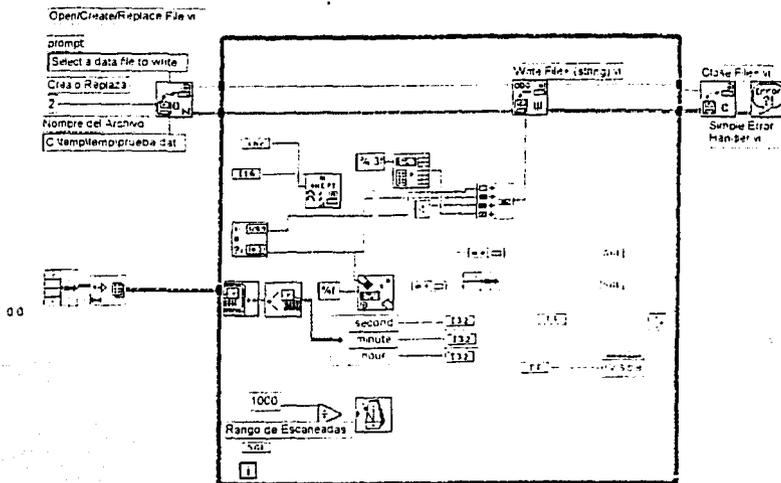


Figura 5.2: Panel de Programación

salida.

Las tarjetas se comportan como si fueran un puerto más en la PC y poseen todo un protocolo, por lo que entender cada tarjeta como su funcionamiento, al igual que cualquier instrumento, requiere tiempo y cuidado.

Existen tarjetas de desempeño alto y de bajo, los de alto son programables y facilitan altos rangos de manejo de información, pues son en cierta forma inteligentes y suficientes tal como un sistema Stand Alone y por lo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

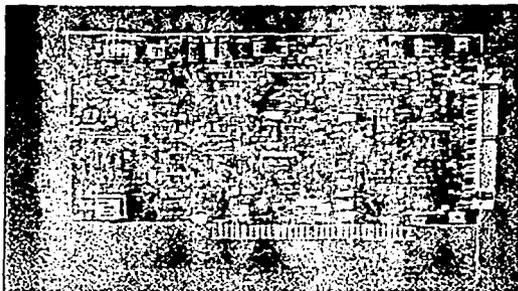


Figura 5.3: Lab-Pc -

tanto no comprometen mucho la velocidad y rendimiento de la PC.

Las tarjetas de bajo desempeño requieren de un control directo de la PC y se ven limitadas por la velocidad de este, por ejemplo Windows es un sistema operativo que no trabaja en tiempo real, para operaciones donde el rango de las muestras es muy alto, como en aplicaciones de audio, radar, video, etc. Aunque en aplicaciones lentas es bueno, como es el caso de controles de hornos. En aplicaciones lentas Windows y las tarjetas simples bastan porque los tiempos perdidos por parte del sistema de interrupción de Windows (Sea para mover el mouse o cualquier cosas) no afectan comparativamente.

Para aplicaciones de alta velocidad y tiempo real se requiere de hardware especial, o sea tarjetas inteligentes que se programen y transfieran los datos a memoria, ya sea por rutinas de DMA (Aceso directo a Memoria), o por rutinas de interrupción al procesador.

Las tarjetas como cualquier otro periférico requieren de sus parámetros de programación y hasta protocolos de comunicación, por lo que se requiere

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de un software Driver, que maneje lo bajo de la programación y deje en la superficie la posibilidad de programar aplicaciones con los beneficios de dichas tarjetas, de una forma sencilla.

5.2. Software

El radiointerferómetro tiene 4 canales ó registro los cuales son salidas de amplificadores y generadores de señal, Se toman 4 canales de entrada analógica, a un rango de 10 datos por segundo en 4 canales diferentes.

-Se toman 8 gráficas simultaneas para 4 canales. un set de 4 gráficas de adquisición inmediata con un rango de hasta 300 datos en cada gráfico.

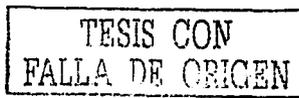
-Historial: Se tienen 4 gráficas de adquisición de hasta 10000 datos acumulados durante el tiempo de observación acumulado hasta 6 Hrs.

Ambas gráficas tienen opción para activarse por individual, en este caso la carátula que presenta el panel de programación es el de selección de canales a ocupar, diseño, número de escaneadas, o datos por segundo, el tiempo y día en el que se está tomado el muestreo.

En el panel frontal se trabaja con las funciones numéricas, arreglos y sentencias, en primer caso se tiene una función "while", como es un programa recurrente (siempre constante).

En primera instancia se ordena al programa crear ó reemplazar el archivo en donde se va a guardar los datos

En segunda instancia y más importante es la función de escaneo, es decir la función que nos sirve de "interfaz" entre la tarjeta y la PC con esta



función seleccionamos los canales de entrada, analógicos ó digitales.

Se hace el arreglo en una hoja de cálculo poniendo los datos en cuatro diferentes celdas para 4 canales, en cada dato se guarda la fecha y hora en que se adquirió.

El cuarto paso se tiene el arreglo de un contador que toma el tiempo de inicio de la prueba, toma el tiempo y se sincroniza con el reloj de la PC para darle a cada dato la fecha y hora.

Es así como se obtiene datos numéricos y datos graficados para ver el comportamiento en toma de datos.

5.3. Toma De Muestras

El Radio-inteferómetro Solar de Base pequeña cuenta con los canales seno, coseno, polarización e intenciudad, de los cuales tomaremos com gráfica de muestra el canal de intenciudad. Dicho canal nos permite ver eventos de la actividad solar.

Podemos observar el paso del Sol atraves del Radio-interferómetro, vemos en la figura 5.4 los registros del Sol en el registrador del Canal de Intensidad, y observamos la gráfica correspondiente a este mismo canal en la pantalla de la computadora.

Aqui en ésta gráfica observamos la calibración del instrumento mediante pruebas de ruido, es decir al momento de que se inicie la toma de muestras el radio pasa por una calibración, generando ruido, es decir la señales prove-

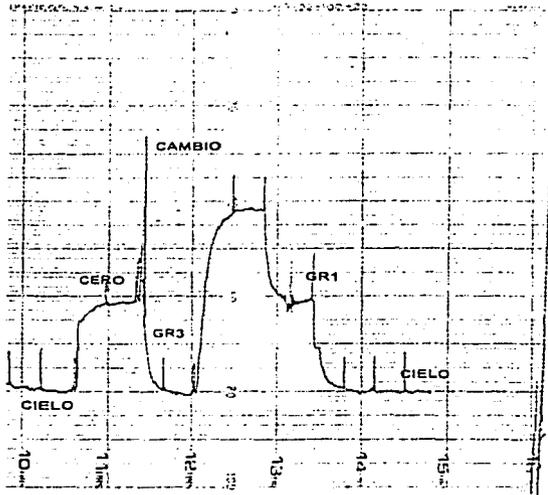


Figura 5.4: Pruebas con generadores de ruido captadas en el registrador del Instrumento

nientes del Sol, llegan al instrumento con una cantidad de ruido grande, ya sea por interferencias de otras señales o de de la generación de ruido de la misma ciudad, estos generadores hacen la vez restarle ruido a la señal para tratar de limpiar un poco estas interferencias.

Debemos mencionar que estos registros en una explosión solar no sólo se tendrán en forma gráfica sino, en cada evento se registra en forma de datos numéricos, éste archivo está cofigurado con extensión .DAT, que cuando se deseen procesar se alojarán en una hoja de cálculo.

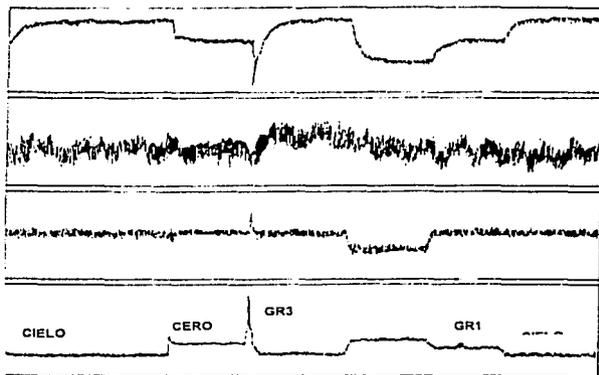


Figura 5.5: Puebas con generadores de ruido captadas en la PC

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EN
DE

En esta gráfica observamos el paso del Sol a través del radiointerferómetro, la prueba consiste en que el instrumento se quede fijo hasta que el Sol lo pase de un extremo a otro, y como una fuente constante que pasa a través de un receptor fijo, se observa el paso del Sol sobre nosotros. Se observa en gráficas del registrador del instrumento y en la gráfica (reducida) de la PC.

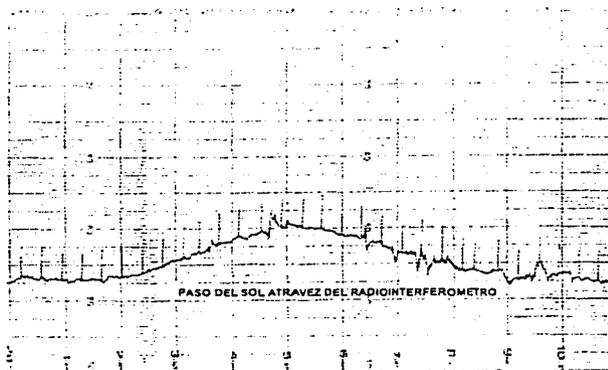


Figura 5.6: Paso del Sol a través del registrador.

Aquí se observa cómo la señal de dos canales de la tarjeta se elevan cuando el Sol pasa a través del interferómetro el canal 4 que corresponde al amplificador del instrumento y el primer canal que es referido a un amplificador del tipo Lock-In (Fase Conmutada).

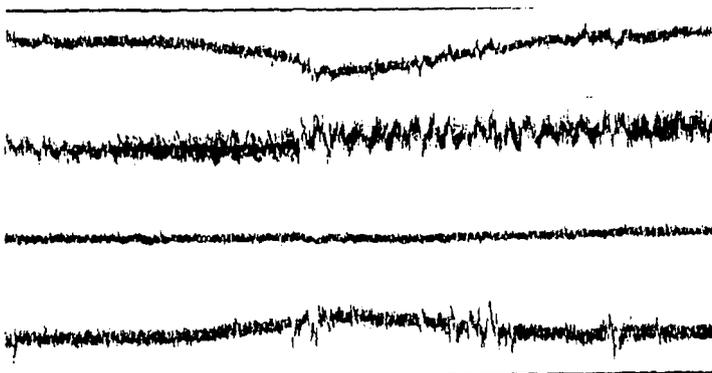


Figura 5.7: Paso del Sol a través de la PC

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Observamos el paso del Sol a través del satélite GOES 8 y 10, se observa el incremento de la señal, cuando pasa de un estado constante a uno activo.

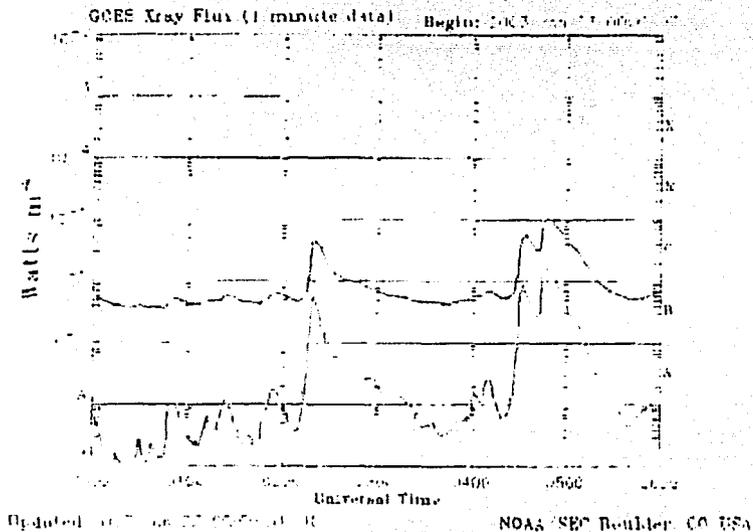


Figura 5.8: Imagen tomada por los satélites GOES 8 y 10.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fotografía de la actividad solar, ráfaga eyección e masa coronal que puede ser detectada por interferómetros activos en la tierra.

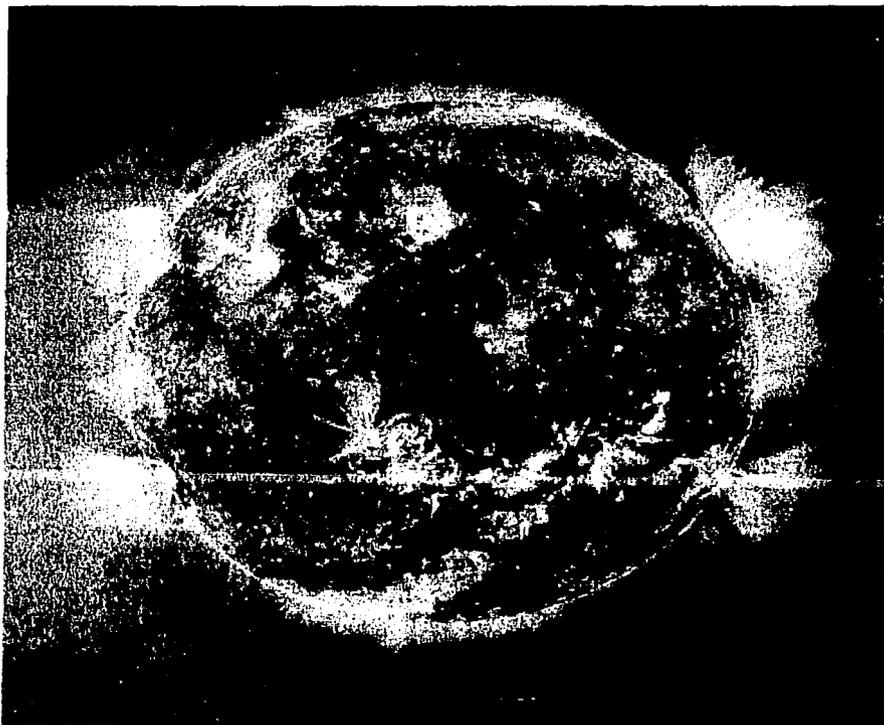


Figura 5.9: Imagen tomada por el satélite SOHO (Solar Heliospheric Observatory.)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 6

Conclusiones

Este trabajo se ha hecho una descripción de un Radiointerferómetro Solar, y se ha trabajado con la obtención de datos en tiempo real. podemos optimizar recursos y mejorar los componentes del instrumento. Por ahora, podemos sustituir los cuatro registradores del radiointerferómetro por un sistema de adquisición de datos, más eficiente debido a la eliminación de ruido electrónico y la eficiencia de obtener datos en archivos en lugar de registros en gráficas de papel, como se había hecho con anterioridad.

El sistema podrá expandirse para poder mandar señales de control en un tiempo futuro, por el momento recibimos señales que la entrada de dicho sistema se acondicionan, amplifican, se convierten de señales analógicas a digitales.

El estudio de los fenómenos naturales como la actividad solar tiene la necesidad de ir a la vanguardia de la tecnología, en este caso si no es posible hacer un nuevo instrumento tenemos la necesidad y la obligación de acondicionar el instrumental ya existente.

En tal caso se presenta este trabajo con el fin de mejorar los recursos de

análisis para el estudio de la actividad solar.

Como resultado podemos mencionar que el trabajo ha cumplido con las expectativas de mantener activo un Radiointerferómetro, que a su vez es de gran ayuda para la comunidad científica.

Bibliografía

- [1] Lara Sánchez, Alejandro. Tesis de Licenciatura "Observación en Microondas de Regiones Activas Solares con El Radiointerferómetro Solar a $\lambda=4\text{cm}$ " Enero 1991.
- [2] Smith Alex, G. Radioexploración del Sol. Van Nostrand Momentum Books. Editorial Reverté Mexicana, S.A.
- [3] Smith Alex G. Carr Thomas, D. Radioexploración del Sistema Planetario. Reverté. 1967
- [4] Hey J.S. The Evolution of Radio Astronomy. N.W.A.P 1973
- [5] Torres, Mendoza Samuel Calibración y evaluación de la sensibilidad del Radiointerferómetro Solar de Base Pequeña. Tesis de Licenciatura. Octubre 2002
- [6] <http://sec.noaa.gov/rt-plots/xray1.m.html>
- [7] <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
- [8] <http://www.jpl.nasa.gov>.
- [9] <http://planetaquest.jpl.nasa.gov/SIM/sim-index.html>.

[10] <http://uspace.lbi.jpl.nasa.gov>.