

76
2 y'



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE
RASTREO Y POSICIONAMIENTO DE UNA ANTENA
DE REFLECTOR PARABOLICO PARA
COMUNICACIONES CON SATELITES
GEOESTACIONARIOS Y ORBITALES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

**JOSE ALEJANDRO HERNANDEZ CRUZ
SAMUEL LEGORRETA GARCIA**

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Ricardo Martínezgarza Fernández

México, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RASTREO Y POSICIONAMIENTO DE UNA ANTENA DE REFLECTOR PARABOLICO PARA COMUNICACIONES CON SATELITES GEOESTACIONARIOS Y ORBITALES.

OBJETIVO: EN UNA ESTACION TERRENA, COLOCAR UNA ANTENA EN LA MEJOR POSICION PARA MANTENER CONFIABLE LA COMUNICACION VIA SATELITE.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I. SATELITES DE COMUNICACIONES

1.1 SATELITES INTERNACIONALES

1.2 SATELITES DOMESTICOS

CAPITULO II. ORBITAS DE LOS SATELITES

2.1 INTRODUCCION

2.2 SATELITES EN ORBITA BAJA

2.3 SATELITES EN ORBITA MEDIA

2.4 SATELITES EN ORBITA GEOESTACIONARIA

CAPITULO III. FUERZAS PERTURBADORAS SOBRE SATELITES

3.1 INTRODUCCION

3.2 FUERZA DE GRAVEDAD DE LA TIERRA

3.3 PRESION DE LA RADIACION SOLAR

CAPITULO IV. TIPOS DE MONTAJE PARA UN REFLECTOR PARABOLICO

4.1 REFLECTOR PARABOLICO

4.2 MONTAJE AZIMUT-ELEVACION

4.3 MONTAJE X-Y

4.4 MONTAJE POLAR

CAPITULO V. RECEPCION DE LA SEÑAL DE RASTREO

5.1 INTRODUCCION

5.2 SEÑAL DE MONITOREO

5.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

CAPITULO VI. RASTREO DEL SATELITE

6.1 INTRODUCCION

6.2 RASTREO PREPROGRAMADO

6.3 RASTREO POR PASOS

6.4 RASTREO MONOIMPULSO

6.5 FUNCIONES DEL SISTEMA

6.5.1 AJUSTE DEL ANGULO DE AZIMUT

6.5.2 AJUSTE DEL ANGULO DE ELEVACION

6.5.3 POSICIONAMIENTO DE UNA ANTENA

6.5.4 PATRON DE RADIACION

6.5.5 CONTROL POR PASOS

6.5.5 CONTROL POR PASOS

6.5.6 CONTROL PREPROGRAMADO

CAPITULO VII. CONCLUSIONES

APENDICES

APENDICE A: CALCULOS DE LA ORBITA

APENDICE B: CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

APENDICE C: DIAGRAMAS ELECTRONICOS

APENDICE D: PROGRAMA ENSAMBLADOR

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION.

Uno de los resultados más notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites de comunicaciones. La llegada de estos aparatos electrónicos complejos ha modificado visiblemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo. Gracias a ellos conocemos con mayor precisión los recursos naturales de la Tierra y los fenómenos meteorológicos; las distancias entre las ciudades y los países se han acortado y ahora pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

Los satélites de comunicaciones son los más comunes y utilizados, permiten establecer enlaces de información entre ciudades y países de todo el mundo.

Los satélites de comunicaciones para su operación son colocados en órbita, la Unión Internacional de Telecomunicaciones es el organismo que autoriza al propietario del satélite la órbita que éste debe seguir. La órbita que el satélite de comunicaciones tiene en el espacio depende de la aplicación para la cual fué diseñado; la mayoría de los satélites de comunicaciones se encuentran en órbita geostacionaria cuyas características hacen que el satélite permanezca "fijo" con respecto a la superficie de la Tierra. Una ventaja de este tipo de satélites es que simplifica el equipo de comunicación en la estación terrena. Otros satélites de comunicaciones son colocados en órbitas bajas debido a que los lugares con los que se quieren comunicar no pueden ser vistos desde la órbita geostacionaria.

Una vez que el satélite se encuentra en órbita, existen algunas fuerzas no deseadas que dificultan que el satélite permanezca con la misma orientación con respecto a la superficie terrestre. El campo gravitacional de la Tierra, la presión de la radiación solar, todas estas fuerzas externas modifican ligeramente la posición y orientación del satélite.

Debido a las fuerzas perturbadoras antes mencionadas, la comunicación de la estación terrena con el satélite puede no ser confiable; en este caso se requerirá de algún sistema de

posicionamiento para mantener la antena de la estación terrena con la mejor orientación tanto para la transmisión como para la recepción de la señal.

En el presente trabajo se expone un sistema de posicionamiento del cual, a continuación, se comentan cada una de las partes que lo componen.

Recepción de la señal de rastreo. En el demodulador de la estación terrena se tiene disponible una señal guía de rastreo, la cual varía proporcionalmente con la potencia de la señal proveniente del satélite.

Unidad de procesamiento. Circuito basado en el microprocesador 8088. Se encarga de procesar la señal guía y calcular la posición que deberá tener la antena en la estación terrena.

Mecanismo de movimiento. La antena es orientada con el movimiento de dos motores que fijan los ángulos tanto de elevación como de azimut. Este movimiento varía de acuerdo a las señales de control que reciba del procesador central.

CAPITULO I. SATELITES DE COMUNICACIONES

1.1 SATELITES INTERNACIONALES

Un satélite de comunicaciones, en esencia, es un repetidor de señales de radio en el espacio. Las señales enviadas por las estaciones terrenas son recibidas por el satélite, son amplificadas y regresadas a la tierra. La característica primordial de un satélite es que puede manejar grandes cantidades de información abarcando grandes regiones de la Tierra.

*Intelsat VA F11
Global Beam*

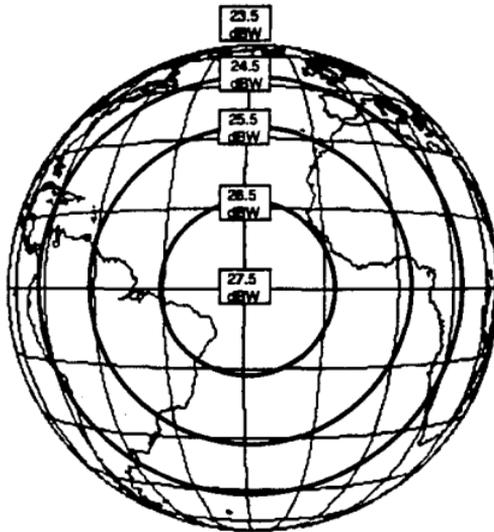


FIGURA 1.1

Tradicionalmente, los satélites han sido utilizados para brindar el servicio de telecomunicaciones internacionales transoceánicas a través de antenas de gran tamaño, conectadas a las redes de comunicaciones de varios países. Los satélites encargados de esta tarea han sido los

INTELSAT colocados en órbita geostacionaria sobre los océanos Pacífico, Atlántico e Indico.

La ventaja de los satélites **INTELSAT** es la gran cobertura que tienen sobre la superficie terrestre.

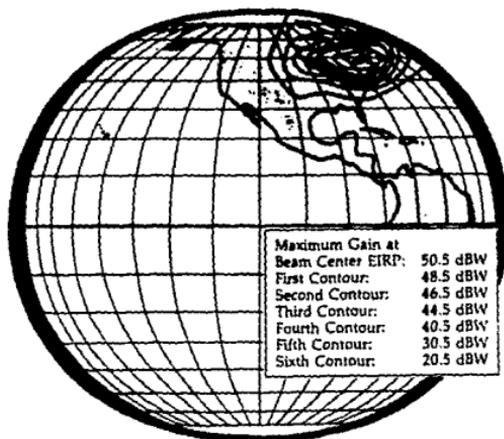
El satélite **INTELSAT VA F11** es utilizado por una agencia de información, el satélite tiene una huella que abarca primordialmente sudamérica y el caribe como se muestra en la figura 1.1

1.2 SATELITES DOMESTICOS

Algunos países estudiaron la posibilidad de lanzar un satélite para servicios de comunicación propios. Existen algunas regiones de países no comunicadas donde los servicios son difíciles de llevar y la comunicación vía satélite es la mejor solución. A este tipo de satélites de comunicación se les llama domésticos. Por ejemplo, los satélites **ANIK** proveen servicios de telefonía de larga distancia y televisión a las regiones del norte de Canada.

FIGURA 1.2

Anik C 1/4-Canada
(east) spot beam.

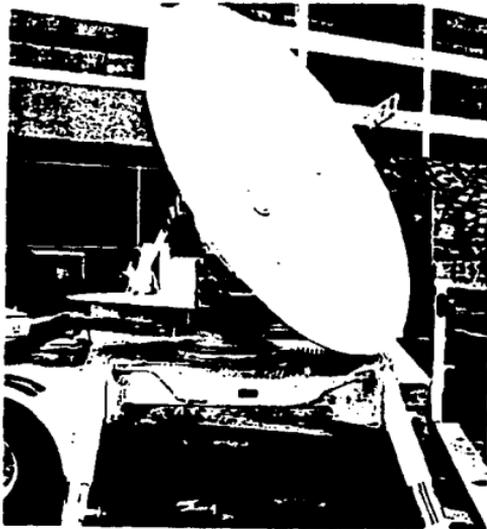


En la figura 1.2 se puede ver la huella de un satélite doméstico ANIK C, los servicios son para el noreste de Canada.

Las comunicaciones vía satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Los satélites de comunicaciones permiten hoy en día establecer enlaces con lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo, se pueden ver en vivo programas de televisión que se estén transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo, transmitir todas las páginas de un periódico a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, etc.

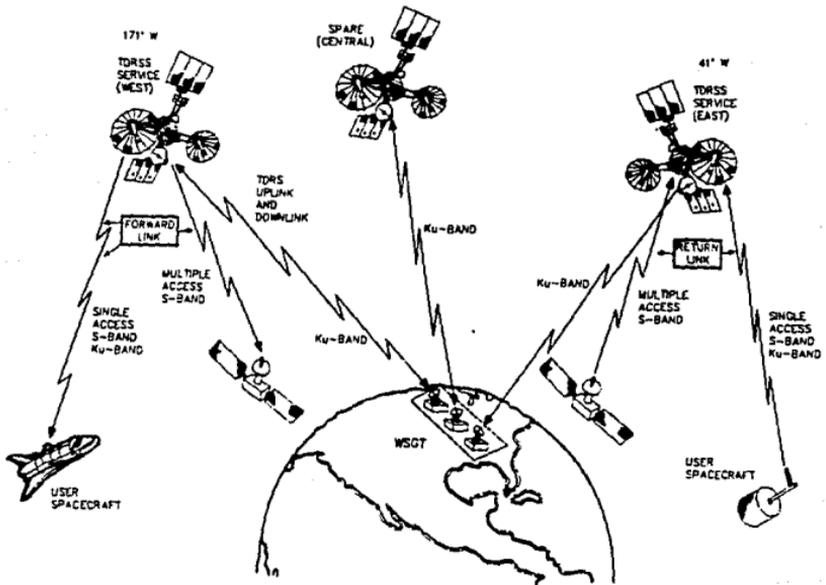
En la figura 1.3 se puede ver una antena de 8 pies que es utilizada para conferencias de trabajo, se transmite y recibe con movimiento completo y color, con transmisión de datos y documentos (facsimile).

FIGURA 1.3



Todas estas nuevas aplicaciones de las comunicaciones vía satélite se han hecho posibles gracias al avance de la tecnología. En el futuro, esto continuará con el procesamiento de señales dentro del satélite, enlaces entre satélites, etc.; en la figura 1.4 puede verse una red de comunicaciones entre satélites.

FIGURA 1.4



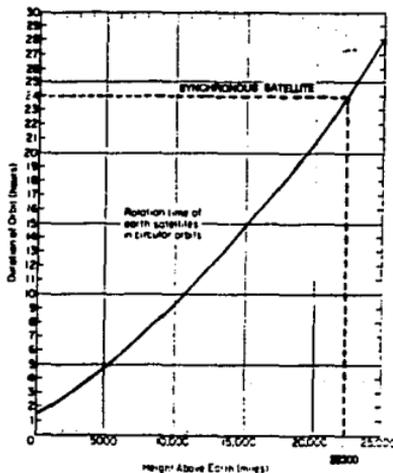
CAPITULO II. ORBITAS DE LOS SATELITES

2.1 INTRODUCCION

Un satélite permanece en órbita alrededor de la Tierra debido a que la fuerza centrífuga causada por la rotación del satélite es de la misma magnitud que la fuerza de atracción de la gravedad de la tierra sobre el satélite.

La velocidad del satélite depende de la altura de la órbita con respecto a la Tierra, entre más cerca esté el satélite de la Tierra, mayor es la fuerza de atracción de la gravedad y en consecuencia a mayor velocidad debe viajar el satélite para evitar caer a la Tierra.

FIGURA 2.1



En la figura 2.1 se muestra una gráfica, la cual, relaciona el tiempo que le lleva a un satélite completar la órbita contra la altura a la que este debe viajar.

En la figura 2.2 se muestran los tres tipos de órbitas en las que puede ser colocado un satélite.

FIGURA 2.2

Orbits and Inclination

Low orbit satellite

e.g., RCA's relay satellites

Height: 100-300 miles

Rotation period: $1\frac{1}{2}$ hours, approx.

Time in line of sight of earth station:

$\frac{1}{4}$ hour or less.

Little or no use for telecommunications



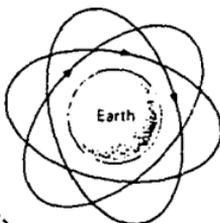
Medium altitude satellite

e.g., the Russian Molniya communication satellites and AT and T's Telstar satellites

Typical height: 6000-12,000 miles

Typical rotation period: 5-12 hours

Typical time in line of sight of earth station: 2-4 hours



Geosynchronous satellite

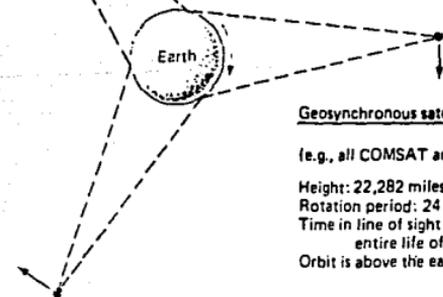
(e.g., all COMSAT and North American satellites)

Height: 22,282 miles

Rotation period: 24 hours

Time in line of sight of earth station: entire life of satellite

Orbit is above the earth's equator



2.2 SATELITES DE ORBITA BAJA

Los satélites de órbita baja viajan a 17500 millas/hora aproximadamente, a esta velocidad les lleva 1.5 horas completar la órbita.

El primer satélite repetidor de radio COURIER fué lanzado en 1960 en órbita baja, tenía la capacidad de almacenar 360000 palabras de teletipo para ser retransmitidas cuando pasaba por las estaciones terrenas a lo largo de su órbita.



The first active radio repeater satellite. It accepted and stored up to 360,000 teletype words as it passed overhead and rebroadcast them to ground stations further along its orbit. It operated for 17 days with 3 watts of output power, 600- to 700-mile orbit.

FIGURA 2.3

Los satélites TELSTAR están en órbita baja y elíptica de 600 a 3800 millas. El apogeo de la elipse está de manera que el satélite este visible en ciertas zonas el mayor tiempo posible. El tiempo que le toma al satélite completar una órbita es 2 horas y 38 minutos.

2.3 SATELITES DE ORBITA MEDIA

Los satélites Rusos también utilizan órbitas elípticas para sus satélites de comunicaciones MOLNIYA, sus órbitas son más largas que las de satélites de órbita baja permitiendo ver al satélite durante más tiempo.

FIGURA 2.4

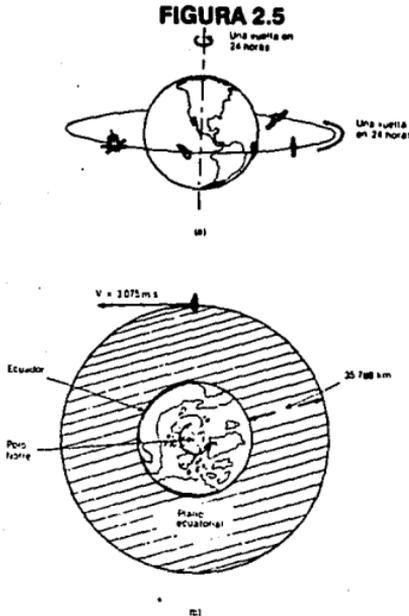


The first of many U.S.S.R. communications satellites all using a high-altitude elliptical orbit.

La desventaja en los satélites de órbita baja y media es que el tiempo efectivo que puede ver una estación terrena al satélite es muy corto; en algunos casos menor a media hora.

2.4 SATELITES EN ORBITA GEOESTACIONARIA

Existe una órbita muy especial en la cual al observar los satélites desde un punto sobre la superficie de la Tierra parece que no se mueven. Los satélites no cambian aparentemente de posición y esto trae consigo grandes ventajas, su operación se simplifica y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduce con respecto a los costos asociados a la utilización de otras órbitas.



La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas, si se coloca un satélite de tal forma que gire circularmente

alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta cada 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo en la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve. Deben cumplirse varios requisitos para que el satélite sea en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir geostacionario. El satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra, para completar una vuelta cada 24 horas debe estar a aproximadamente 36000 Km de altura sobre el nivel del mar, debe tener una velocidad de 3075 metros/segundo siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

CAPITULO III. FUERZAS PERTURBADORAS

3.1 INTRODUCCION

Una vez que el satélite ocupa su órbita final no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él, y por lo tanto debe permanecer con la misma trayectoria y orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

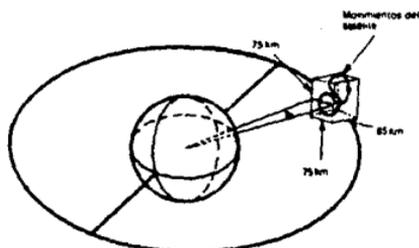


FIGURA 3.1

Es difícil para el satélite cumplir con los requisitos anteriores ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar cambiando su orientación y posición constantemente.

3.2 FUERZA DE GRAVEDAD DE LA TIERRA

La fuerza que más le afecta es el campo gravitacional de la Tierra produciendo un par; esta fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita provocando que el satélite cambie de posición en longitud.

El campo gravitacional de la Tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el

planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo. La Luna también ejerce una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo, como esta última es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra diez veces más lejos del satélite que éste de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial.

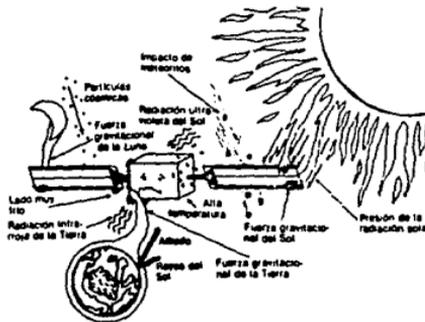


FIGURA 3.2

3.3 PRESION DE LA RADIACION SOLAR

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. Esta fuerza acelera al satélite y debido a la mayor superficie de contacto su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegables o extensibles que sobre satélites de configuración cilíndrica.

Cuando hay una colisión de un micrometeorito con el satélite, el primero le transmite un momento al segundo que modifica ligeramente su posición y orientación.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite.

Por último, la misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite produce una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y está concentrada en un haz de iluminación muy angosto. Esta fuerza origina un giro del satélite por lo que se debe diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa, o bien, el eje de radiación principal de la antena debe contener dicho centro de masa.

Como se ha visto todas las fuerzas perturbadoras antes mencionadas modifican la órbita del satélite afectando el nivel de recepción en las estaciones terrenas.

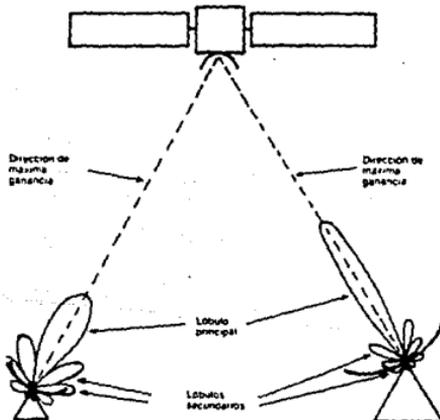
CAPITULO IV. TIPOS DE MONTAJE PARA UN REFLECTOR PARABOLICO

4.1 REFLECTOR PARABOLICO

Las características más importantes de un reflector parabólico son su ganancia y su patrón de radiación.

La ganancia de una antena es la capacidad para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección. El reflector parabólico se posiciona obteniendo la mejor ganancia en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir o en la que se van a transmitir y la mínima en todas aquellas direcciones que no sean de interés, por lo que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sea posible para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites, de sistemas terrestres de microondas o bien para reducir el desperdicio de potencia no transmitiendo en direcciones no autorizadas o innecesarias.

FIGURA 4.1



Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación.

Los factores que determinan el valor de la ganancia son: el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia; asimismo, si su diámetro se conserva fijo, el mismo efecto anterior se obtiene mientras mayor sea la frecuencia de operación, pues eléctricamente hablando, la antena es más grande en términos de longitudes de onda.

Para poder orientar una antena es necesario tener un montaje que permita realizar movimientos del reflector.

Existen tres tipos de montajes que puede tener una antena. Azimut-Elevación, X-Y o Ecuatorial.

4.2 MONTAJE AZIMUT-ELEVACION.

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite con un montaje Azimut-Elevación se realiza ajustando dos ángulos, en elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud) y de la ubicación del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquél formado entre la horizontal y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite; por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra) para que ese mismo eje de simetría pase por la posición en longitud del satélite.

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantenga siempre en comunicación con el mismo satélite, y dependiendo de la aplicación de la estación terrena, también es

necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos; incluso, puede haber casos en los que aunque la estación terrena sea fija, algunas condiciones ambientales ocasionales como la lluvia y el viento modifiquen su orientación y sea necesario realizar pequeñas correcciones de los ángulos de elevación y azimut para garantizar una recepción o transmisión óptima de las señales.

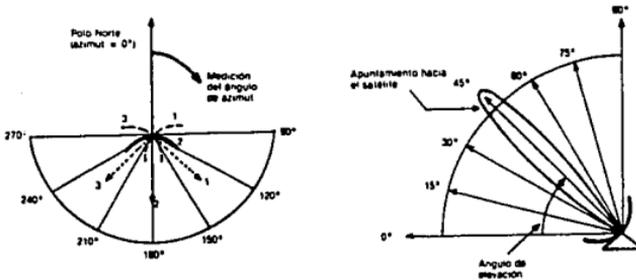


FIGURA 4.2

En el caso del montaje elevación-azimut, la antena tiene su eje primario fijo en la dirección vertical, y al girar alrededor de él se efectúan los cambios del ángulo de azimut, su eje secundario es horizontal y con él se orienta la antena en elevación. El montaje es sencillo y lo utilizan las



FIGURA 4.3

estaciones internacionales Intelsat A (cuyo diámetro es normalmente de 30 metros) y también estaciones domésticas de menor diámetro.

Para realizar los ajustes de orientación se emplean mecanismos de engranajes y gatos de tornillo, y las fuerzas motrices asociadas se generan por medio de motores. El montaje debe ser rígido, y con mayor razón a frecuencias altas como la Ku, en donde los haces de radiación de las antenas son más angostos y el apuntamiento correcto se vuelve más importante; aun expuesto a la lluvia o a fuertes vientos, dicho montaje debe ser capaz de soportar a la antena bien orientada hacia el satélite, pues incluso pequeños movimientos pueden degradar la calidad de la señal.

4.3 MONTAJE X-Y

En el caso del montaje X-Y tiene su eje primario colocado horizontalmente, y el eje secundario es perpendicular a él. La configuración es práctica para rastrear con facilidad a un satélite cuando éste pasa por el cenit, puesto que se evita hacer desplazamientos de la antena tan rápidos como los que se necesitan hacer con el montaje

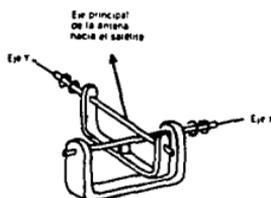


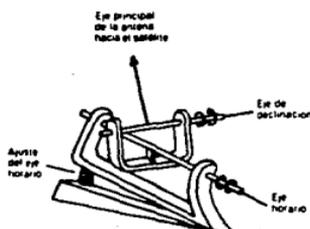
FIGURA 4.4

AZ-EL. El montaje X-Y es más apropiado para las antenas que se comunican con satélites de órbita baja que con satélites geoestacionarios.

4.4 MONTAJE POLAR.

En el montaje ecuatorial el eje primario es paralelo al eje de rotación de la Tierra, y el secundario es un eje perpendicular de declinación; como el eje primario es paralelo al eje polar de la Tierra, a este montaje también se le llama polar. Normalmente este montaje se utiliza para telescopios, pues permite que la antena siga a un objeto celeste con sólo girarla sobre su eje horario.

FIGURA 4.5



CAPITULO V. RECEPCION DE LA SEÑAL DE RASTREO

5.1 INTRODUCCION

Para controlar la posición de la antena en la estación terrena es necesario contar con alguna señal que nos indique el nivel de potencia con que se esta recibiendo.

Los movimientos que tendrá la antena para mejorar la recepción se realizarán dependiendo de los cambios de nivel de la señal de monitoreo.

5.2 SEÑAL DE MONITOREO

El medidor de nivel de recepción es una señal guía de salida del demodulador que varía entre 5 y 10 VCD, la cual es proporcional al nivel de potencia de la señal recibida dentro del ancho de banda.

Por ejemplo, 5 volts implicaría que no existe señal alguna en el receptor (RxIF), y 10 volts implicaría una señal con máxima potencia en el receptor.

La señal de monitoreo es digitalizada para poder ser procesada por la unidad central.

5.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL GUIA

La señal guía es acondicionada para poder ser procesada por el sistema. El convertidor analógico-digital es el elemento que se encarga de acondicionar la señal guía.

La función de un convertidor analógico-digital es generar una palabra digital la cual represente la magnitud de algún voltaje o corriente analógicos. Las características principales de un convertidor analógico-digital son la resolución y el tiempo de conversión. La resolución de un convertidor analógico-digital se refiere al número de

bits que forman la palabra digital de salida. El tiempo de conversión es el tiempo que tarda el convertidor en producir una salida válida para un voltaje de entrada determinado.

CAPITULO VI. RASTREO DEL SATELITE

6.1 INTRODUCCION

El rastreo de un satélite es utilizado para corregir tanto la posición del mismo como de una antena en una estación terrena.

El satélite como se vió en capítulos anteriores se ve afectado en su trayectoria por varias fuerzas perturbadoras que lo hacen salir ligeramente de su órbita.

Para los satélites orbitales es necesario conocer en cada momento la ubicación del mismo para poder orientar la antena en la posición adecuada.

Existen tres tipos de rastreo para un satélite: Rastreo preprogramado, rastreo por pasos y rastreo monoimpulso.

6.2 RASTREO PREPROGRAMADO

El rastreo preprogramado consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena. Las instrucciones necesarias se almacenan y se le van proporcionando al mecanismo de seguimiento para que realice los ajustes de orientación.

6.3 RASTREO POR PASOS

A intervalos regulares la antena detecta la señal guía emitida por el satélite, da un paso alrededor de uno de los ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior; si el nivel baja, entonces se mueve ahora en la dirección opuesta, y si aumenta en ese sentido, continua dando pasos hasta detectar el nivel máximo. Todos estos movimientos por pasos tanto en elevación o azimut si es el tipo de montaje utilizado, son controlados por un procesador, y su precisión de apuntamiento depende del tamaño de los pasos.

6.4 RASTREO MONOIMPULSO

Su forma de operación se origina de la tecnología del radar, pues ahora la búsqueda es por un nivel mínimo de recepción de la señal guía, y para esto la antena parabólica necesita un alimentador especial. Los primeros diseños de sistemas monoimpulso utilizan cuatro antenas de corneta colocadas simétricamente alrededor del foco geométrico de la parábola; éstas reciben simultáneamente la señal guía emitida por el satélite y las detecciones de las cuatro se comparan para determinar señales de error en el apuntamiento y efectuar las correcciones necesarias. Su inconveniente es que conducen al uso de alimentadores aparatosos y complicados.

El sistema propuesto corrige la posición de una antena en una estación terrena de acuerdo a los dos primeros métodos de rastreo con ayuda de las siguientes funciones:

6.5 FUNCIONES DEL SISTEMA

Las funciones que realiza el sistema tienen por objetivo posicionar una antena en una estación terrena y mantener confiable la comunicación vía satélite.

Las funciones que realiza el sistema son:

- Ajuste del ángulo de azimut.
- Ajuste del ángulo de elevación.
- Posicionamiento de una antena.
- Patrón de radiación.
- Control por pasos.
- Control preprogramado.

6.5.1 AJUSTE DEL ANGULO DE AZIMUT

Esta función cambia la posición de una antena variando el ángulo de azimut. Este movimiento puede ser iniciado seleccionando la tecla 0 o la tecla 1 dependiendo si el movimiento se desea en el sentido de las manecillas del reloj o en contra.

Una vez habilitada esta función el motor empezará a girar en el sentido seleccionado, desplegando en cada paso la posición en que se encuentre con respecto al norte geográfico.

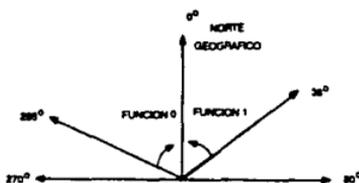
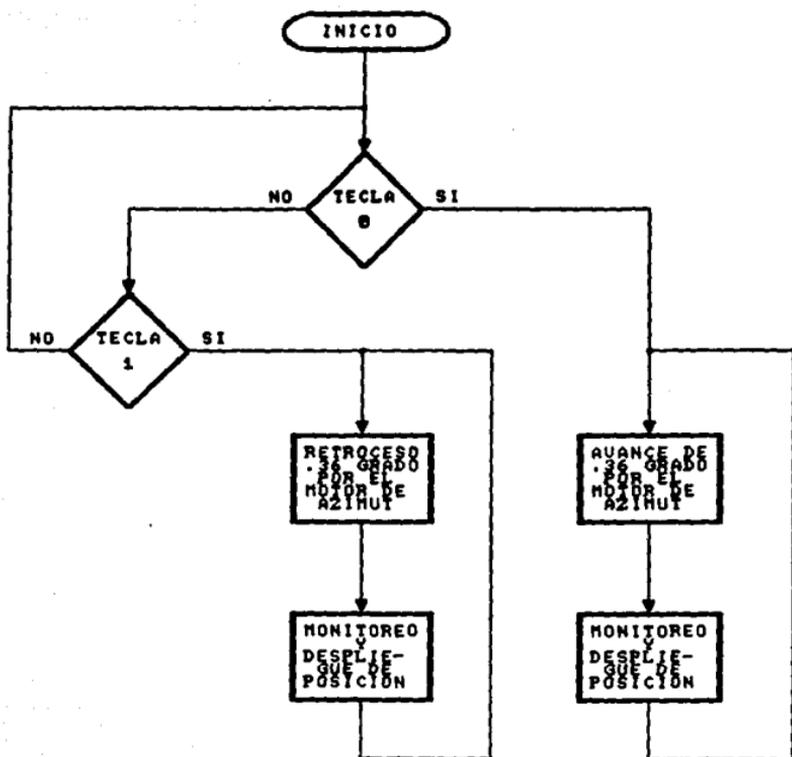


FIGURA 6.1

El monitoreo de la posición se realiza con displays de 7 segmentos. El formato utilizado en el display es xx.xx cuando el número de grados es menor a 100, cuando el valor es mayor a 100 grados el formato utilizado es xxx.x.

Una ventaja del display automático de posición después de cada paso dado por el motor, es orientar manualmente la antena. Esto es, conociendo la posición final en azimut que deberá alcanzar la antena, se habilita el motor y se detiene cuando el display indique la posición deseada.

Por ejemplo, una antena situada en la ciudad de Jalapa orientada al satélite morelos II, debe tener un ángulo de azimut de 227 grados. Dependiendo de la posición inicial se selecciona la función 0 o 1, con ayuda del display de posición se puede detener el motor cuando este haya alcanzado su orientación final.



AJUSTE DEL ANGULO DE AZIMUT

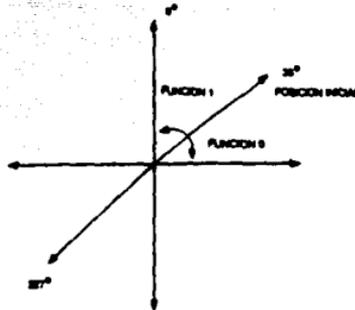


FIGURA 6.2

El programa que ajusta el ángulo de azimut ejecuta básicamente las siguientes instrucciones:

- Lee en el teclado la función a realizar.
- Lee los sensores de posición.
- Despliega la posición actual.
- Llama a la rutina que mueve el motor un paso en el sentido determinado por la tecla seleccionada. La tecla 0 avanza 0.36 de grado al motor, la tecla 1 retrocede al motor 0.36 de grado ambos con respecto al norte geográfico.

6.5.2 AJUSTE DEL ANGULO DE ELEVACION

Esta función cambia la posición de una antena variando el ángulo de elevación. Este movimiento puede ser iniciado seleccionando la tecla 2 o la tecla 3 dependiendo si el movimiento se desea en el sentido de las manecillas del reloj o en contra.

Una vez habilitada esta función el motor empezará a girar en el sentido seleccionado, indicando en cada paso la posición en que se encuentre con respecto a la horizontal.

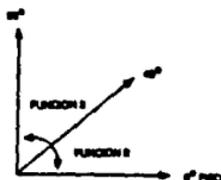
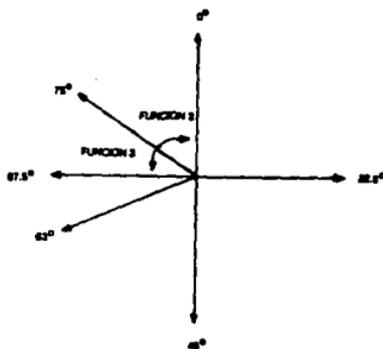


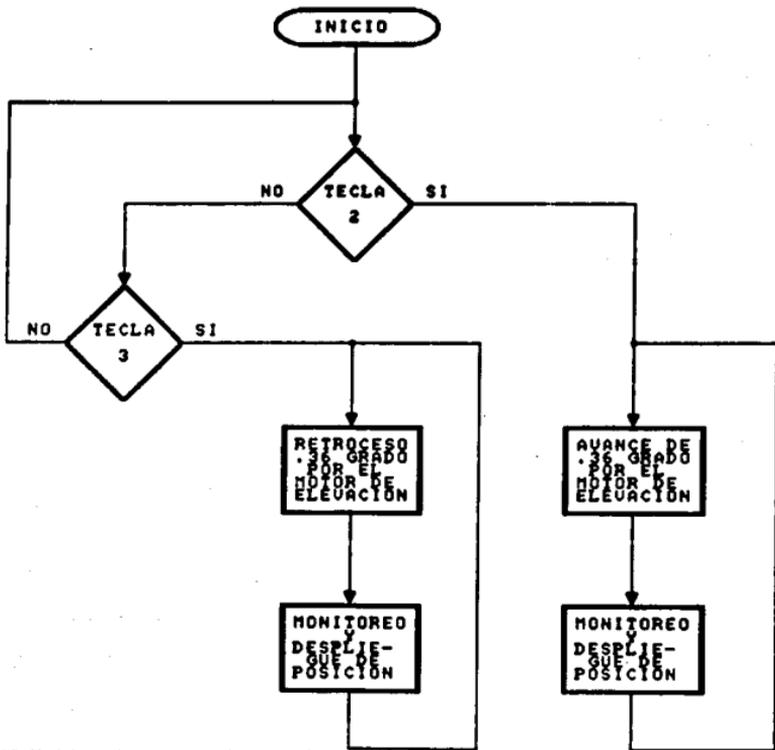
FIGURA 6.3

El monitoreo de la posición se realiza con displays de 7 segmentos. El formato utilizado en el despliegue es XX.XX.

Una ventaja del display automático de posición después de cada paso dado por el motor, es orientar manualmente la antena. Esto es, conociendo la posición final en elevación que debiera alcanzar la antena, se habilita el motor y se detiene cuando el display indique la posición deseada.

FIGURA 6.4





AJUSTE DEL ANGULO DE ELEUACION

Por ejemplo, una antena situada en la ciudad de Jalapa orientada al satélite morelos II, debe tener un ángulo de elevación de 57 grados. Dependiendo de la posición inicial se selecciona la tecla 2 o 3, con ayuda del despliegue de posición se puede detener el motor cuando este haya alcanzado su orientación final.

El programa que ajusta el ángulo de elevación ejecuta básicamente las siguientes instrucciones:

- Lee en el teclado la función a realizar.
- Lee los sensores de posición
- Despliega la posición actual.
- Llama a la rutina que mueve el motor un paso en el sentido determinado por la función seleccionada. La tecla 0 avanza 0.36 de grado al motor, la tecla 1 retrocede al motor 0.36 de grado ambos con respecto a la horizontal.

6.5.3 POSICIONAMIENTO DE UNA ANTENA

El posicionamiento de una antena se selecciona con la tecla 4, la cual tiene por objetivo orientar una antena. La posición final será determinada por la ciudad y el satélite seleccionados.

Existen 256 combinaciones de ciudades y satélites que pueden ser seleccionados. A cada combinación le corresponde un código. Para poder seleccionar una combinación, el código correspondiente debe ser colocado en los dipswitches del circuito.

Previamente fueron cargados en la memoria ROM los valores correspondientes de azimut y elevación para cada una de las combinaciones antes mencionadas.

En el apéndice A aparecen las 256 combinaciones de los datos que se cargaron en este proyecto. (ciudad (latitud, longitud), satélite (longitud), azimut, elevación, código de switches).

Existe la posibilidad de cambiar la ROM dependiendo de la localidad donde se encuentre la estación terrena, para poder tener las 256 combinaciones correspondientes a las ciudades y satélites del lugar.

Las instrucciones que realiza el sistema cuando se selecciona la tecla 4 son:

- El microprocesador busca en los dipswitches el número de la combinación deseada.
- Multiplica el valor seleccionado por cuatro para obtener la dirección de memoria donde se encuentra almacenada la información.
- Carga en el acumulador el valor de azimut.
- Calcula el número de pasos que tiene que dar el motor de azimut para alcanzar el ángulo necesario.
- Lee los sensores de posición del motor de azimut.
- Determina la dirección de movimiento del motor.
- Mueve el motor hasta alcanzar la posición deseada.
- Carga en el acumulador el valor de elevación.
- Calcula el número de pasos que tiene que dar el motor de elevación para alcanzar el ángulo necesario.
- Lee los sensores de posición del motor de elevación.
- Determina la dirección de movimiento del motor.
- Mueve el motor hasta alcanzar la posición deseada.

Por ejemplo:

Seleccionando en los switches la combinación 19 (00010011) correspondiéndole las siguientes características:

No. SWITCHES CIUDAD LONG. LATI. AZIMUT ELEVACION

87654321

19 00010011 JALAPA, VER 96.92 19.55 227.22 57.78

El valor leído por el microprocesador es 19, el cual multiplicado por 4 resulta 4C.

FF800: 8AH

FF801: 46H

FF84C: C1H VALOR DEL ANGULO DE AZIMUT

FF84D: 58H JALAPA, VER - SATELITE MORELOS 2

FF84E: 92H VALOR DEL ANGULO DE ELVACION

FF84F: 16H JALAPA, VER - SATELITE MORELOS 2

En el acumulador se almacena 58C1h, valor que corresponde a 63 pasos para alcanzar el ángulo de 227 grados.

El microprocesador lee los sensores de posición de azimut, suponiendo que el motor se encuentra en el paso 40, el microprocesador determina que la ruta más corta para alcanzar el paso 63 es en el sentido de las manecillas del reloj.

El microprocesador mueve el motor de azimut en el sentido calculado hasta alcanzar la posición final.

De la misma manera el microprocesador guarda en el acumulador el valor 1692h, resultando que el motor tiene que dar 31 pasos para alcanzar el ángulo de 58 grados.

El microprocesador lee los sensores de posición de elevación, suponiendo que el motor se encuentra en el paso 40, el microprocesador

determina que la ruta más corta para alcanzar el paso 31 es en el sentido en contra de las manecillas del reloj.

El microprocesador mueve el motor de elevación en el sentido calculado hasta alcanzar la posición final.

6.5.4 PATRON DE RADIACION

La generación del patrón de radiación en el sistema propuesto, consiste en desplegar el nivel de la señal de monitoreo, alrededor de la posición final que ha alcanzado la antena. El objetivo es conocer el nivel aproximado que tienen los lóbulos laterales con respecto al lóbulo principal.

Esta función debe ser solicitada después de haber colocado la antena en su posición final.

La secuencia de pasos que realiza el sistema después de haber solicitado la función 5, correspondiente a la generación del patrón de radiación es:

- Mover 5 grados al oeste el motor de azimut.
- Mover 10 grados al este el motor de azimut, desplegando el nivel de la señal de monitoreo en cada paso.
- Mover 5 grados al oeste el motor de azimut para regresar a la posición original.
- Mover 5 grados al norte el motor de elevación.
- Mover 10 grados al sur el motor de elevación, desplegando el nivel de la señal de monitoreo en cada paso.
- Mover 5 grados al norte el motor de elevación para regresar a la posición original.

6.5.5 CONTROL POR PASOS

Una vez que el reflector parabólico ha sido orientado para comunicarse con un satélite se puede seleccionar el control de posición por el método de rastreo por pasos.

El rastreo por pasos consiste en comparar el nivel de recepción de la posición actual contra el nivel de recepción de la posición adyacente, optando por colocarse en la posición con mejor nivel de recepción. Esta posición adyacente puede ser un paso en elevación norte-sur o azimut este-oeste.

Las instrucciones que realiza el sistema en el rastreo por pasos son:

- Leer el nivel de la señal de monitoreo en la posición actual.
- Mover un paso el motor de elevación o azimut. - Leer el nivel de la señal de monitoreo en la nueva posición.
- Comparar los dos niveles leídos.
- Colocar el motor en la posición donde se haya detectado mayor nivel. Esta pasa a ser la nueva posición.

El motor busca el mejor nivel con la siguiente secuencia:

- Elevación Norte.
- Azimut Este.
- Elevación Sur.
- Azimut Oeste.

Por ejemplo, si el motor encuentra un mejor nivel después de dar un paso en elevación norte, este seguirá dando pasos en elevación norte hasta que el nivel disminuya.

El sistema funciona en tres modalidades para realizar el rastreo por pasos.

1.- Rastreo en el instante deseado.

Después de presionar la tecla 5 en el circuito, el sistema activa a partir de ese momento el rastreo por pasos durante un tiempo definido.

2.- Rastreo con señal abajo del umbral.

Después de presionar la tecla 6 del circuito, el sistema sensa constantemente la señal de monitoreo. Cuando el nivel de recepción cae por debajo del umbral el sistema automáticamente activa el rastreo por pasos.

3.- Rastreo a intervalos regulares.

Después de presionar la tecla 7 del circuito, el sistema automáticamente a intervalos regulares de tiempo activa el rastreo por pasos.

6.5.6 CONTROL PREPROGRAMADO

La función 8 consiste en controlar la antena por el método de rastreo preprogramado. El sistema reorienta constantemente la antena para comunicarse con un satélite orbital.

El circuito tiene almacenado en ROM los valores correspondientes a los ángulos tanto en elevación como de azimut que debiera tener el reflector parabólico en cada instante para seguir la trayectoria de la órbita del satélite.

En el apéndice B se encuentra el desarrollo de las ecuaciones para obtener los valores de los ángulos en cada instante.

CONCLUSIONES

El sistema tiene la capacidad de funcionar en cualquier estación terrena controlando la posición de un reflector parabólico para comunicarse confiablemente con el satélite seleccionado por el usuario.

El sistema mantiene constantemente orientada la antena hacia el satélite con el que se esté comunicando.

Los satélites con los que se puede comunicar la estación terrena pueden ser tanto geostacionarios como orbitales.

En una instalación normal de una estación terrena con un satélite geostacionario sin considerar el sistema propuesto se deben realizar ciertas operaciones. El instalador debe realizar los cálculos de los ángulos de posicionamiento del reflector para comunicarse con el satélite seleccionado, teniendo que recalcularlo cada vez que el satélite seleccionado sea cambiado. Con los valores calculados se realizan en repetidas ocasiones mediciones de los ángulos con ayuda de brújula e inclinómetro hasta que el reflector quede en la posición adecuada. La precisión y rapidez depende de la habilidad del instalador.

En el caso que el sistema propuesto sea utilizado en la instalación del reflector para comunicación con un satélite geostacionario se tienen las siguientes ventajas:

- El sistema posiciona una antena en una estación terrena, manual o automáticamente.**
- En la forma manual, el usuario debe conocer los ángulos de elevación y azimut que debe tener la antena. Con las funciones 0 a 3 y con ayuda del despliegue de posición se puede detener el mecanismo de movimiento de motores cuando en el display se vea la posición deseada.**
- Cuando el posicionamiento es automático el usuario debe colocar en el circuito el código de switches correspondiente a la ciudad y satélite seleccionados. El sistema calcula los movimientos que debe tener el mecanismo para orientar el reflector parabólico.**

Se debe tener en cuenta que el tiempo de instalación es mucho menor y la versatilidad de cambiar de satélite es muy grande.

El sistema tiene almacenados en ROM 256 combinaciones de ciudades y satélites. Cambiando la ROM se puede tener 256 combinaciones diferentes.

Una vez que el reflector parabólico fué orientado al satélite deseado el sistema trabaja con el reorientamiento del reflector por el método de rastreo por pasos. El rastreo por pasos consiste en comparar la señal guía de la posición actual con la posición adyacente, optando por la posición con mejor nivel.

Si se quisiera reorientar la antena sin el sistema propuesto se tendría que tener a una persona indefinidamente en la antena realizando movimientos al reflector y tomando lecturas de nivel de potencia para poder determinar a donde mover el reflector.

Cuando se trata de comunicarse con satélites orbitales es necesario un sistema de rastreo, se necesita seguir la trayectoria orbital del satélite; lo que implica que no puede ser de forma manual. El sistema de rastreo propuesto realiza las siguientes funciones:

El sistema tiene grabado en ROM los cálculos de la trayectoria de la órbita de dos satélites orbitales.

El sistema posiciona el reflector parabólico continuamente siguiendo la trayectoria previamente calculada. A intervalos regulares el sistema realiza correcciones de posición por el método de rastreo por pasos.

APENDICE A: CALCULOS DE LA ORBITA

CALCULO DE LA ORBITA DEL SATELITE

Para el calculo de la orbita del satelite es necesario conocer los elementos orbitales.

$a := 4.2164765 \cdot 10^4$	Km	EJE SEMI-MAYOR
$e := 0.001181$	GRADOS	EXCENTRICIDAD
$i := 0.802 \cdot \frac{\pi}{180}$	RAD	INCLINACION
$M := 116.636$	GRADOS	ANOMALIA MEDIA
$w := 138.167 \cdot \frac{\pi}{180}$	RAD	ANGULO DE PERIGEIO
$\Omega := 84.178 \cdot \frac{\pi}{180}$	RAD	MODULO ASCENDENTE
$\mu := 3.986135 \cdot 10^5$		CONSTANTE DE KEPLER

LOCALIZANDO EL SATELITE EN LA ORBITA

El periodo orbital T es el tiempo requerido por el satelite para completar una revolucion y viajar 2π rad.

La velocidad angular promedio esta dada por:

$$\eta := \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \quad \eta = 7.29208085 \cdot 10^{-5} \quad \text{rad / s}$$

$$\eta_2 := \eta \cdot \frac{180}{\pi} \quad \eta_2 = 0.00417805 \quad \text{GRADOS / s}$$

El tiempo transcurrido desde el punto de perigeio esta dado por:

$$t_p := \frac{M}{\eta_2} \quad t_p = 2.7916342 \cdot 10^4 \quad \text{s}$$

La coordenada angular del plano orbital esta dada por:

$$\beta := \arccos \left[\frac{a \cdot \frac{1 - e^2}{pe} - 1}{e} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\beta = 116.69752452 \quad \text{GRADOS}$$

Las coordenadas rectangulares del satelite en el plano orbital son calculadas a partir de la coordenada radial y angular del plano orbital.

$$x_0 := r_0 \cdot \cos \left[\beta \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$x_0 = -1.8953833 \cdot 10^4 \quad \text{Km}$$

$$y_0 := r_0 \cdot \sin \left[\beta \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$y_0 = 3.76895587 \cdot 10^4 \quad \text{Km}$$

$$z_0 := 0 \quad \text{Km}$$

Ahora se transforma del sistema de coordenadas rectangulares al sistema de coordenadas geocentricas ecuatoriales que permitan localizar al satelite en un punto de la superficie rotacional de la tierra.

En este sistema de coordenadas el eje z coincide con el eje de rotacion de la tierra, el eje x apunta hacia el espacio en un lugar fijo llamado primer punto de Aries. Las coordenadas x,y contienen el plano ecuatorial.

CALCULOS DE LA ORBITA

La distancia angular medida hacia el este en el plano ecuatorial se le conoce como ascension derecha. Los dos puntos en los cuales la orbita penetra en el plano ecuatorial se les llaman nodos.

Ω es el nodo ascendente de la ascension derecha.

i es la inclinacion, cuyo valor esta dado por el angulo formado por el plano orbital y el plano ecuatorial.

w es el angulo de perigeo medido a lo largo de la orbita, del nodo ascendente al perigeo

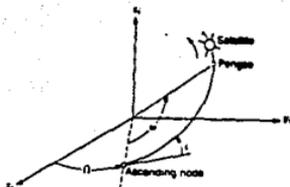
$$v_a := \cos(\Omega) \qquad v_b := \sin(\Omega)$$

$$v_c := \cos(w) \qquad v_d := \sin(w)$$

$$v_e := \cos(i) \qquad v_f := \sin(i)$$

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} v_a \cdot v_c - v_b \cdot v_e \cdot v_d & -v_a \cdot v_d - v_b \cdot v_e \cdot v_c & v_b \cdot v_f \\ v_b \cdot v_c + v_a \cdot v_e \cdot v_d & -v_b \cdot v_d + v_a \cdot v_e \cdot v_c & -v_a \cdot v_f \\ v_f \cdot v_d & v_f \cdot v_c & v_e \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.93922832 \cdot 10^4 \\ -4.01751293 \cdot 10^4 \\ -5.70012597 \cdot 10^2 \end{bmatrix} \quad \text{Km}$$



El sistema Juliano es un sistema de fechas empleado por los astrónomos.

La fecha utilizada como referencia es el 31 de diciembre de 1899

REFYEAR := 1899 REFMONTH := 12

REFDAY := 31 REFHOUR := 12

CALCULOS DE LA ORBITA

Esta fecha corresponde al día Juliano 241 5020.

REFJULDAY := 2415020

La fecha actual es la siguiente:

YEAR := 1978 MONTH := 12

DAY := 27 HOUR := 0

El día Juliano correspondiente es:

vg := (YEAR - REFYEAR) · 365.25

vh := (MONTH - REFRONTH) · 30

vf := DAY - REFDAY

vj := (HOUR - REFHOUR) · 0.04166666

JULDAY := REFJULDAY + vg + vh + vf + vj

JULDAY = 2.44387025 · 10⁶

El valor de Tc es el tiempo en siglos Julianos que ha transcurrido desde el 31 de diciembre de 1890.

$$Tc := \frac{JULDAY - 2415020}{36525}$$

Tc = 0.7898768 SIGLOS JULIANOS

La ascension derecha α del meridiano de Greenwich en la fecha Juliana esta dada por:

$$\alpha := 99.6909833 + 36000.7689 \cdot Tc + 0.00038708 \cdot Tc^2$$

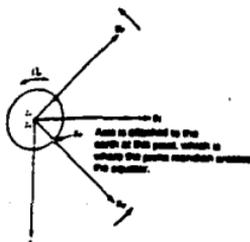
$$\alpha = 2.85358632 \cdot 10^4 \text{ GRADOS}$$

CALCULOS DE LA ORBITA

En el sistema rotacional tenemos la velocidad angular Ω_e y T_e que es el tiempo que ha pasado desde que el eje x_r coincide con el eje x_i .

$$\Omega_e T_e := \text{mod}(\Omega_e T_e, 360)$$

$$\Omega_e T_e = 95.86324287 \quad \text{GRADOS}$$



Las coordenadas en el sistema rotacional están relacionadas con las coordenadas geocéntricas ecuatoriales.

$$v_k := \cos \left[\Omega_e T_e \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$v_l := \sin \left[\Omega_e T_e \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_k & v_l & 0 \\ -v_l & v_k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.39890497 \cdot 10^4 \\ -3.50821393 \cdot 10^4 \\ -5.70012597 \cdot 10^2 \end{bmatrix} \quad \text{KM}$$

El punto de subsatelite es el lugar donde una linea dibujada desde el centro de la tierra cruza la superficie de la misma.
 Representaremos la Latitud norte del punto subsatelite como L_s y la Longitud Oeste con l_s .

$$L_s := 90 - \arcsin \left[\frac{sr}{\sqrt{sr^2 + yr^2 + zr^2}} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

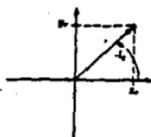
$$L_s = -0.3804315 \quad \text{GRADOS LATITUD NORTE}$$

l_s esta dado en GRADOS longitud oeste

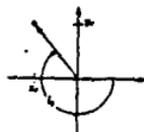
Primer cuadrante, $yr \gg 0$ y $sr \gg 0$

$$l_s := -\arctan \left[\frac{yr}{sr} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

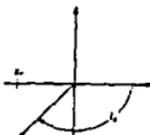
$$l_s = -38.57305491$$



(a) First quadrant



(b) Second quadrant



(c) Third quadrant



(d) Fourth quadrant

CALCULOS DE LA ORBITA

Segundo cuadrante, $y_r \geq 0$ y $x_r \leq 0$

$$ls_2 := 180 + \operatorname{atan} \left[\frac{y_r}{|x_r|} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$ls_2 = 141.42694509$$

Tercer cuadrante, $y_r \leq 0$ y $x_r \leq 0$

$$ls_3 := 90 + \operatorname{atan} \left[\frac{|x_r|}{|y_r|} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$ls_3 = 141.42694509$$

Cuarto cuadrante, $y_r \leq 0$ y $x_r \geq 0$

$$ls_4 := \operatorname{atan} \left[\frac{|y_r|}{x_r} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$ls_4 = -38.57305491$$

Ahora podemos calcular los angulos de posicionamiento para una estacion terrena determinada.

Los datos necesarios de la estacion terrena son la longitud le y la Latitud La .

$$le := 37.22900 \quad \text{GRADOS}$$

$$La := 80.4380 \quad \text{GRADOS}$$

El angulo central T esta dado por:

$$Tl := \cos \left[Le \cdot \frac{\pi}{180} \right] \cdot \cos \left[La \cdot \frac{\pi}{180} \right] \cdot \cos \left[(ls_3 - le) \cdot \frac{\pi}{180} \right] + \sin \left[Le \cdot \frac{\pi}{180} \right] \cdot \sin \left[La \cdot \frac{\pi}{180} \right]$$

$$T2 := \arccos(T1) \cdot \frac{180}{\pi}$$

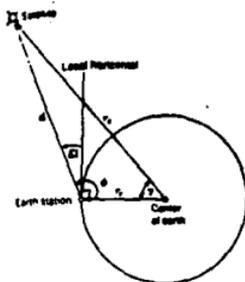
$$T2 = 67.66615207 \quad \text{GRADOS}$$

El radio orbital r_s es igual a:

$$r_s := \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$r_s = 5.62682673 \cdot 10^4 \quad \text{km}$$

El angulo de elevacion que debere tener la antena de la estacion terrena esta dado por:



El radio de la tierra tiene un valor de:

$$r_e := 6370 \quad \text{km}$$

$$EL := \arccos \left[\frac{\sin \left[T2 \cdot \frac{\pi}{180} \right]}{\sqrt{1 + \left(\frac{re}{rs} \right)^2 - 2 \cdot \frac{re}{rs} \cdot \cos \left[T2 \cdot \frac{\pi}{180} \right]}} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

EL = 16.08923115 GRADOS

Para el calculo del angulo de Azimut se tienen que determinar los arcos T, a y c, dependiendo de la posicion relativa de la estacion terrena con respecto al punto de subsatelite variara el valor del angulo de Azimut.

$$a := |Ls3 - Le|$$

$$c := |Le - Ls|$$

$$b := 0.5 \cdot (a + c + T2)$$

$$\alpha := 2 \cdot \arctan \left[\frac{\sin \left[(s - T2) \cdot \frac{\pi}{180} \right] \cdot \sin \left[(s - |Le|) \cdot \frac{\pi}{180} \right]}{\sin \left[s \cdot \frac{\pi}{180} \right] \cdot \sin \left[(s - |Le - Ls3|) \cdot \frac{\pi}{180} \right]} \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

$\alpha = 71.25266116$ GRADOS

El punto subsatelite esta al suroeste de la estacion terrena.

$$AZ1 := 180 + \alpha$$

El punto subsatelite esta al noroeste de la estacion terrena.

$$AZ3 := 360 - \alpha$$

$$AZ3 = 288.74733884 \quad \text{GRADOS}$$

El punto subsatelite esta al noreste de la estacion terrena.

$$AZ4 := \alpha$$

$$AZ4 = 71.25266116 \quad \text{GRADOS}$$

APENDICE B: CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

C O D I G O										CIUDAD	LON	LAT	AZ	EL
S W I T C H														
8	7	6	5	4	3	2	1							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SAN PEDRO MARTIR, B.C.N.	116.50	31.00	180.58	53.89
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	PUERTO MORELOS, Q. ROO	86.84	21.00	238.13	48.21
2	0	0	0	0	0	0	1	0		TEITILAN, GRO.	100.67	17.17	224.41	62.63
3	0	0	0	0	0	0	1	1		TEPIXCO, MOR.	99.23	18.92	224.32	60.08
4	0	0	0	0	0	1	0	0		HAZATLAN, SIN.	106.41	23.20	204.96	60.42
5	0	0	0	0	0	1	0	1		MEXICO, D.F.	99.01	19.35	224.08	59.56
6	0	0	0	0	0	1	1	0		AGUASCALIENTES, AGS.	102.30	21.86	214.78	59.58
7	0	0	0	0	0	1	1	1		CAMPECHE, CAMP.	90.48	19.85	235.53	52.15
8	0	0	0	0	1	0	0	0		CANCUN, Q. ROO	86.86	21.08	238.02	48.18
9	0	0	0	0	1	0	0	1		C. VICTORIA, TAMPS.	99.13	23.75	218.34	55.84
10	0	0	0	0	1	0	1	0		CHETUMAL, Q. ROO	88.28	18.50	239.72	50.98
11	0	0	0	0	1	0	1	1		CHIHUAHUA, CHIH.	106.06	28.65	201.58	54.54
12	0	0	0	0	1	1	0	0		CHILPANCINGO, GRO.	99.50	17.55	225.93	61.40
13	0	0	0	0	1	1	0	1		COLIMA, COL.	103.73	19.23	215.18	62.95
14	0	0	0	0	1	1	1	0		CUERNAVACA, MOR.	99.23	18.92	224.32	60.08
15	0	0	0	0	1	1	1	1		CULIACAN, SIN.	107.40	24.82	201.52	59.12
16	0	0	0	1	0	0	0	0		DURANGO, DGO.	104.67	24.02	207.83	58.76
17	0	0	0	1	0	0	0	1		GUADALAJARA, JAL.	103.38	20.72	214.00	61.32
18	0	0	0	1	0	0	1	0		HERMOSILLO, SON.	100.97	29.07	210.27	51.88
19	0	0	0	1	0	0	1	1		JALAPA, VER.	96.92	19.55	227.22	57.78
20	0	0	0	1	0	1	0	0		LEON, GTO.	101.25	21.07	217.74	59.65
21	0	0	0	1	0	1	0	1		LA PAZ, B.C.S.	110.37	24.15	195.40	60.84
22	0	0	0	1	0	1	1	0		MERIDA, YUC.	89.63	20.93	235.16	50.71
23	0	0	0	1	0	1	1	1		MEXICALI, B.C.N.	115.45	32.65	182.50	51.99
24	0	0	0	1	1	0	0	0		MONTERREY, N.L.	100.30	25.68	214.35	54.79
25	0	0	0	1	1	0	0	1		MORELIA, MICH.	101.18	19.70	219.67	60.83
26	0	0	0	1	1	0	1	0		OAXACA, OAX.	96.73	17.07	231.22	59.48
27	0	0	0	1	1	0	1	1		PACHUCA, HGO.	98.73	20.13	223.47	58.70
28	0	0	0	1	1	1	0	0		PUEBLA, PUE.	98.20	19.03	225.91	59.20
29	0	0	0	1	1	1	0	1		QUERETARO, QRO.	100.41	20.53	219.99	59.57
30	0	0	0	1	1	1	1	0		SALTILLO, COAH.	100.98	25.42	213.43	55.42
31	0	0	0	1	1	1	1	1		SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	100.98	22.15	216.93	58.49
32	0	0	1	0	0	0	0	0		TEPIC, NAY.	104.90	21.52	209.88	61.40
33	0	0	1	0	0	0	0	1		TIJUANA, B.C.N.	117.88	32.52	177.99	52.15
34	0	0	1	0	0	0	1	0		TLAXCALA, TLAX.	95.23	19.32	230.07	56.58
35	0	0	1	0	0	0	1	1		TOLUCA, EDO. MEX.	99.67	19.28	223.03	60.11
36	0	0	1	0	0	1	0	0		TUXCLA GTZ., CHIS.	93.12	16.75	236.69	56.49
37	0	0	1	0	0	1	0	1		VILLAHERMOSA, TAB.	92.95	17.98	235.08	55.55
38	0	0	1	0	0	1	1	0		ZACATECAS, ZAC.	100.58	22.78	216.92	57.65
39	0	0	1	0	0	1	1	1		ACAPULCO, GRO.	99.93	16.83	226.33	62.32
40	0	0	1	0	1	0	0	0		CD. JUAREZ, CHIH.	106.48	31.73	199.10	51.39
41	0	0	1	0	1	0	0	1		COATZACOALCOS, VER.	94.41	18.15	232.91	56.72
42	0	0	1	0	1	0	1	0		MATAMOROS, TAMS.	97.51	25.88	218.72	52.90
43	0	0	1	0	1	0	1	1		TAMPICO, TAMS.	77.85	22.21	244.94	39.35
44	0	0	1	0	1	1	0	0		TAPACHULA, CHIS.	92.26	14.91	240.60	56.78
45	0	0	1	0	1	1	0	1		TORREON, COAH.	103.45	25.53	208.84	56.63

* ENLACE CON EL SATELITE MORELOS II (LONGITUD DE 116.8)

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

C O D I G O							CIUDAD	LON	LAT	AZ	EL	
S W I T C H												
B	7	6	5	4	3	2	1					
46	0	0	1	0	1	1	1	SAN PEDRO MARTIR, B.C.N.	116.50	31.00	174.19	53.75
47	0	0	1	0	1	1	1	PUERTO MORELOS, Q. ROO	86.84	21.00	234.48	51.10
48	0	0	1	1	0	0	0	TETITLAN, GRO.	100.67	17.17	217.65	65.03
49	0	0	1	1	0	0	0	TEMIXCO, MOR.	99.23	18.92	218.11	62.46
50	0	0	1	1	0	0	1	MAZATLAN, SIN.	106.41	23.20	197.52	61.69
51	0	0	1	1	0	0	1	MEXICO, D.F.	99.01	19.35	217.95	61.92
52	0	0	1	1	0	1	0	AGUASCALIENTES, AGS.	102.30	21.86	208.00	61.42
53	0	0	1	1	0	1	0	CAMPECHE, CAMP.	90.48	19.85	231.37	54.99
54	0	0	1	1	0	1	1	CANCUN, Q. ROO	86.86	21.08	234.36	51.07
55	0	0	1	1	0	1	1	C. VICTORIA, TAMPS.	99.13	23.75	212.46	57.85
56	0	0	1	1	1	0	0	CHEUMAL, Q. ROO	88.28	18.50	236.03	53.99
57	0	0	1	1	1	0	0	CHIHUAHUA, CHIH.	106.06	28.65	195.24	55.58
58	0	0	1	1	1	0	1	CHILPANCIINGO, GRO.	99.50	17.55	219.59	63.88
59	0	0	1	1	1	0	1	COLIMA, COL.	103.73	19.23	207.60	64.83
60	0	0	1	1	1	1	0	CUERNAVACA, MOR.	99.23	18.92	218.11	62.46
61	0	0	1	1	1	1	0	CULIACAN, SIN.	107.40	24.82	194.28	60.18
62	0	0	1	1	1	1	1	DURANGO, DGO.	104.67	24.02	200.89	60.19
63	0	0	1	1	1	1	1	GUADALAJARA, JAL.	103.38	20.72	206.77	63.12
64	0	1	0	0	0	0	0	HERMOSILLO, SON.	100.97	29.07	204.58	53.40
65	0	1	0	0	0	0	1	JALAPA, VER.	96.92	19.55	221.66	60.28
66	0	1	0	0	0	1	0	LEON, GTO.	101.25	21.07	211.13	61.66
67	0	1	0	0	0	1	1	LA PAZ, B.C.S.	110.37	24.15	187.61	61.53
68	0	1	0	0	0	1	0	MERIDA, YUC.	89.63	20.93	231.09	53.51
69	0	1	0	0	0	1	0	MEXICALI, B.C.N.	115.45	32.65	176.39	51.96
70	0	1	0	0	0	1	1	MONTERREY, N.L.	100.30	25.68	208.42	56.56
71	0	1	0	0	0	1	1	MORELIA, MICH.	101.18	19.70	212.94	62.96
72	0	1	0	1	0	0	0	OAXACA, OAX.	96.73	17.07	225.75	62.21
73	0	1	0	1	0	0	1	PACHUCA, HGO.	98.73	20.13	217.46	61.02
74	0	1	0	1	0	1	0	PUEBLA, PUE.	98.20	19.03	220.00	61.65
75	0	1	0	1	0	1	1	QUERETARO, QRO.	100.41	20.53	213.55	61.70
76	0	1	0	1	1	0	0	SALTILLO, COAH.	100.98	25.42	207.35	57.15
77	0	1	0	1	0	1	1	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	100.98	22.15	210.50	60.44
78	0	1	0	1	1	1	0	TEPIC, NAY.	104.90	21.52	202.41	62.97
79	0	1	0	1	1	1	1	TIJUANA, B.C.N.	117.88	32.52	171.89	51.87
80	0	1	0	1	0	0	0	TLAXCALA, TLAX.	95.23	19.32	224.94	59.22
81	0	1	0	1	0	0	1	TOLUCA, EDO. MEX.	99.67	19.28	216.71	62.42
82	0	1	0	1	0	0	1	TUXCLA GTZ., CHIS.	93.12	16.75	232.20	59.45
83	0	1	0	1	0	0	1	VILLAHERMOSA, TAB.	92.95	17.98	230.53	58.42
84	0	1	0	1	0	1	0	ZACATECAS, ZAC.	100.58	22.78	210.65	59.60
85	0	1	0	1	0	1	1	ACAPULCO, GRO.	99.93	16.83	219.82	64.82
86	0	1	0	1	0	1	1	CD. JUAREZ, CHIH.	106.48	31.73	193.18	52.28
87	0	1	0	1	0	1	1	CATZACOCALCOS, VER.	94.41	18.15	228.01	59.50
88	0	1	0	1	1	0	0	MATAMOROS, TAM.	97.51	25.88	213.29	54.89
89	0	1	0	1	1	0	1	TAMPICO, TAMS.	77.85	22.21	242.21	42.39
90	0	1	0	1	1	0	1	TAPACHULA, CHIS.	92.26	14.91	236.50	59.91
91	0	1	0	1	1	0	1	TORREON, COAH.	103.45	25.53	202.35	58.11

* ENLACE CON EL SATELITE MORELOS I (LONGITUD DE 113.5)

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

	S W I T C H							SATELITE	LONG	AZ	EL	
	8	7	6	5	4	3	2					1
92	0	1	0	1	1	1	0	0	TV-SAT 1, ALEM. OCCID.	19.00	93.34	0.73
93	0	1	0	1	1	1	0	1	HELVESAT-1, SUIZA	19.00	93.34	0.73
94	0	1	0	1	1	1	1	0	TDF-1, FRANCIA	19.00	93.34	0.73
95	0	1	0	1	1	1	1	1	OLYMPUS 1, AGENC. ESPAC.	19.00	93.34	0.73
96	0	1	1	0	0	0	0	0	SARIT, ITALIA	19.00	93.34	0.73
97	0	1	1	0	0	0	0	1	INTELSAT VA-F10, INTELSA	24.50	95.25	5.96
98	0	1	1	0	0	0	0	1	INTELSAT VA-F11, INTELSA	27.50	96.32	8.83
99	0	1	1	0	0	0	1	1	EIRESAT-1, IRLANDA	31.00	97.62	12.20
100	0	1	1	0	0	1	0	0	BSB, REINO UNIDO	31.00	97.62	12.20
101	0	1	1	0	0	1	0	1	HISPASAT, ESPAÑA	31.00	97.62	12.20
102	0	1	1	0	0	1	1	0	INTELSAT V-F4, INTELSAT	34.50	98.98	15.59
103	0	1	1	0	0	1	1	1	ORION-1, EU	37.50	100.19	18.51
104	0	1	1	0	1	0	0	0	PAS 1, EU	45.00	103.53	25.86
105	0	1	1	0	1	0	0	1	BRASIL-SAT C, BRASIL	45.00	103.53	25.86
106	0	1	1	0	1	0	1	0	INTELSAT V-F3, INTELSAT	53.00	107.74	31.73
107	0	1	1	0	1	0	1	1	ISI-1, EU	56.00	109.55	36.67
108	0	1	1	0	1	1	0	0	SBS-6, EU	62.00	113.73	42.49
109	0	1	1	0	1	1	0	1	BRASIL-SAT B, BRASIL	64.00	115.32	44.41
110	0	1	1	0	1	1	1	0	ASC-3, EU	64.00	115.32	44.41
111	0	1	1	0	1	1	1	1	SPACENET II, EU	69.00	119.84	49.11
112	0	1	1	1	0	0	0	0	CANADA BSS1, CANADA	70.50	121.38	50.49
113	0	1	1	1	0	0	0	1	GALAXY K1, EU	71.00	121.92	50.95
114	0	1	1	1	0	0	1	0	URUGUAY-SAT, URUGUAY	71.50	122.47	51.40
115	0	1	1	1	0	0	1	1	WESTAR A, EU	73.00	124.18	52.74
116	0	1	1	1	0	1	0	0	SAT MOBILE 2, EU	75.00	126.64	54.50
117	0	1	1	1	0	1	0	1	EXPRESSTAR B, EU	77.00	129.34	56.20
118	0	1	1	1	0	1	1	0	NAHUEL A, ARGENTINA	80.00	133.88	58.62
119	0	1	1	1	0	1	1	1	SATCOM K2, EU	81.00	135.54	59.39
120	0	1	1	1	1	0	0	0	BRASIL-SAT A, BRASIL	81.00	135.54	59.39
121	0	1	1	1	1	0	0	1	ASC-2, EU	81.00	135.54	59.39
122	0	1	1	1	1	0	1	0	SATCOM K1, EU	85.00	143.02	62.23
123	0	1	1	1	1	0	1	1	NAHUEL B, ARGENTINA	85.00	143.02	62.23
124	0	1	1	1	1	1	0	0	PERU-SAT, PERU	86.00	145.11	62.87
125	0	1	1	1	1	1	0	1	SPACENET III, EU	87.00	147.30	63.48
126	0	1	1	1	1	1	1	0	CUBA-SAT, CUBA	89.00	151.96	64.59
127	0	1	1	1	1	1	1	1	SBS-4, EU	91.00	156.99	65.53
128	1	0	0	0	0	0	0	0	CANADA-BSS2, CANADA	91.00	156.99	65.53
129	1	0	0	0	0	0	0	1	CARIBE-SAT, CARIBE	92.50	161.00	66.12
130	1	0	0	0	0	0	1	0	ECUADOR-SAT, ECUADOR	95.00	168.05	66.85
131	1	0	0	0	0	0	1	1	SBS-3, EU	95.00	168.05	66.85
132	1	0	0	0	0	1	0	0	BERMUDAS-SAT, BERMUDAS	96.00	170.98	67.05
133	1	0	0	0	0	1	0	1	SBS-2, EU	97.00	173.95	67.19
134	1	0	0	0	0	1	1	0	SBS-1, EU	99.00	179.97	67.31
135	1	0	0	0	0	1	1	1	GSTAR IV, EU	99.00	179.97	67.31
136	1	0	0	0	1	0	0	0	PARAGUAY-SAT, PARAGUAY	99.00	179.97	67.31
137	1	0	0	0	1	0	0	1	GALAXY BSS1, EU	101.00	185.99	67.20
138	1	0	0	0	1	0	1	0	GSTAR I, EU	103.00	191.89	66.86

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

139	1	0	0	0	1	0	1	1	COLOMBIA SAT, COLOMBIA	103.00	191.89	66.86
140	1	0	0	0	1	1	0	0	VENEZUELA SAT, VENEZUELA	104.00	194.76	66.60
141	1	0	0	0	1	1	0	1	GSTAR II, EU	105.00	197.57	66.30
142	1	0	0	0	1	1	1	0	CHILE-SAT, CHILE	106.00	200.31	65.94
143	1	0	0	0	1	1	1	1	M-SAT, CANADA	106.50	201.64	65.75
144	1	0	0	1	0	0	0	0	ANIK E1, CANADA	107.50	204.25	65.32
145	1	0	0	1	0	0	0	1	ANIK C1, CANADA	107.50	204.25	65.32
146	1	0	0	1	0	0	1	0	ANIK C2, CANADA	110.00	210.37	64.06
147	1	0	0	1	0	0	1	1	ANIK E2, CANADA	110.50	211.53	63.78
148	1	0	0	1	0	1	0	0	MORELOS 1, MEX	113.50	217.95	61.92
149	1	0	0	1	0	1	0	1	ANDES-SAT, VENEZUELA	115.00	220.85	60.88
150	1	0	0	1	0	1	1	0	MORELOS 2, MEX	116.50	223.56	59.79
151	1	0	0	1	0	1	1	1	ANIK C3, CANADA	117.50	225.26	59.03
152	1	0	0	1	1	0	0	0	SAT MOBILE 1, EU	120.00	229.19	57.04
153	1	0	0	1	1	0	0	1	SPACENET I, EU	120.00	229.19	57.04
154	1	0	0	1	1	0	1	0	SBS-5, EU	122.00	232.01	55.37
155	1	0	0	1	1	0	1	1	EXPRESSTAR A, EU	124.00	234.59	53.64
156	1	0	0	1	1	1	0	0	GSTAR III, EU	124.00	234.59	53.64
157	1	0	0	1	1	1	0	1	MEX-SAT, MEX	127.00	238.06	50.97
158	1	0	0	1	1	1	1	0	ASC-1, EU	128.00	239.12	50.05
159	1	0	0	1	1	1	1	1	GALAXY K2, EU	130.00	241.12	48.21
160	1	0	1	0	0	0	0	0	WESTAR B, EU	132.00	242.96	46.33
161	1	0	1	0	0	0	0	1	HUGHES MSS1, EU	135.00	245.48	43.47
162	1	0	1	0	0	0	1	0	MEX-SAT, MEX	136.00	246.26	42.51
163	1	0	1	0	0	0	1	1	CANADA-BSS3, CANADA	138.00	247.74	40.58
164	1	0	1	0	0	1	0	0	USA-BSS1, EU	148.00	253.93	30.80
165	1	0	1	0	0	1	0	1	USA-BSS2, EU	166.00	261.99	13.19
166	1	0	1	0	0	1	1	0	PACSTAR-2, N GUINEA	175.00	265.27	4.55

* ENLACE CON LA CIUDAD DE MEXICO (LONGITUD DE 99.01 Y LATITUD DE 19.35)

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

	C O D I G O										SATELITE	LONG	AZ	EL
	S	W	I	T	C	H								
	8	7	6	5	4	3	2	1						
167	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	TV-SAT 1, ALEM. OCCID.	19.00	98.33	12.10
168	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	HELVESAT-1, SUIZA	19.00	98.33	12.10
169	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	TDF-1, FRANCIA	19.00	98.33	12.10
170	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	OLYMPUS 1, AGENC. ESPAC.	19.00	98.33	12.10
171	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	SARIT, ITALIA	19.00	98.33	12.10
172	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	INTELSAT VA-F10, INTELSA	24.50	100.67	17.36
173	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	INTELSAT VA-F11, INTELSA	27.50	102.03	20.25
174	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	EIRESAT-1, IRLANDA	31.00	103.71	23.62
175	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	BSB, REINO UNIDO	31.00	103.71	23.62
176	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	HISPASAT, ESPAÑA	31.00	103.71	23.62
177	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	INTELSAT V-F4, INTELSAT	34.50	105.50	27.01
178	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	ORION-1, EU	37.50	107.16	29.90
179	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	PAS 1, EU	45.00	111.87	37.10
180	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	BRASIL-SAT C, BRASIL	45.00	111.87	37.10
181	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	INTELSAT V-F3, INTELSAT	53.00	118.19	44.62
182	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	ISI-1, EU	56.00	121.04	47.35
183	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	SBS-6, EU	62.00	127.82	52.58
184	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	BRASIL-SAT B, BRASIL	64.00	130.47	54.23
185	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	ASC-1, EU	64.00	130.47	54.23
186	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	SPACENET II, EU	69.00	138.14	58.05
187	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	CANADA BSS1, CANADA	70.50	140.78	59.10
188	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	GALAXY K1, EU	71.00	141.69	59.43
189	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	URUGUAY-SAT, URUGUAY	71.50	142.63	59.76
190	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	WESTAR A, EU	73.00	145.55	60.71
191	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	SAT MOBILE 2, EU	75.00	149.72	61.86
192	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	EXPRESSTAR B, EU	77.00	154.21	62.88
193	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	NAHUEL A, ARGENTINA	80.00	161.51	64.10
194	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	SATCOM K2, EU	81.00	164.07	64.42
195	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	BRASIL-SAT A, BRASIL	81.00	164.07	64.42
196	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	ASC-2, EU	81.00	164.07	64.42
197	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	SATCOM K1, EU	85.00	174.84	65.21
198	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	NAHUEL B, ARGENTINA	85.00	174.84	65.21
199	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	PERU-SAT, PERU	86.00	177.61	65.28
200	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	SPACENET III, EU	87.00	180.39	65.30
201	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	CUBA-SAT, CUBA	89.00	185.93	65.18
202	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	SBS-4, EU	91.00	191.38	64.86
203	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	CANADA-BSS2, CANADA	91.00	191.38	64.86
204	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	CARIBE-SAT, CARIBE	92.50	195.35	64.48
205	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	ECUADOR-SAT, ECUADOR	95.00	201.69	63.62
206	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	SBS-3, EU	95.00	201.69	63.62
207	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	BERMUDAS-SAT, BERMUDAS	96.00	204.10	63.20
208	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	SBS-2, EU	97.00	206.44	62.74
209	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	SBS-1, EU	99.00	210.88	61.71
210	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	GSTAR IV, EU	99.00	210.88	61.71
211	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	PARAGUAY-SAT, PARAGUAY	99.00	210.88	61.71
212	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	GALAXY BSS1, EU	101.00	215.01	60.54

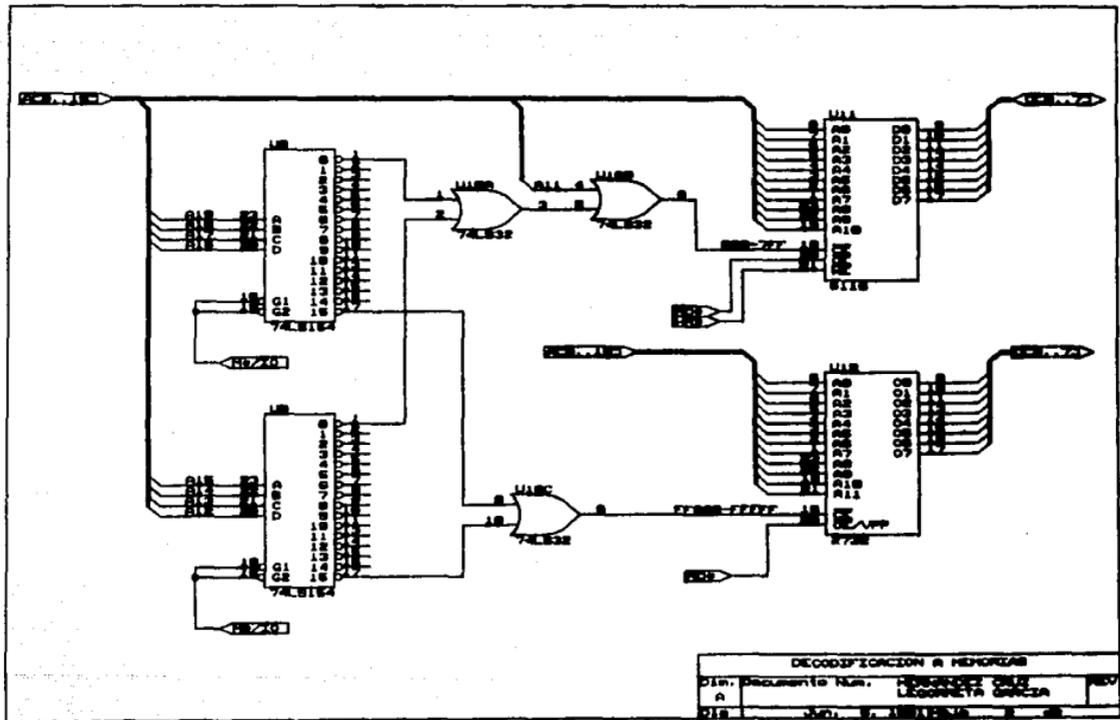
CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

CALCULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

213	1	1	0	1	0	1	0	1	GSTAR I, EU	103.00	218.82	59.25
214	1	1	0	1	0	1	1	0	COLOMBIA SAT, COLOMBIA	103.00	218.82	59.25
215	1	1	0	1	0	1	1	1	VENEZUELA SAT, VENEZUELA	104.00	220.61	58.56
216	1	1	0	1	1	0	0	0	GSTAR II, EU	105.00	222.33	57.85
217	1	1	0	1	1	0	0	1	CHILE-SAT, CHILE	106.00	223.98	57.12
218	1	1	0	1	1	0	1	0	M-SAT, CANADA	106.50	224.78	56.75
219	1	1	0	1	1	0	1	1	ANIK E1, CANADA	107.50	226.32	55.98
220	1	1	0	1	1	1	0	0	ANIK C1, CANADA	107.50	226.32	55.98
221	1	1	0	1	1	1	0	1	ANIK C2, CANADA	110.00	229.92	54.00
222	1	1	0	1	1	1	1	0	ANIK E2, CANADA	110.50	230.59	53.59
223	1	1	0	1	1	1	1	1	MORELOS 1, MEX	113.50	234.36	51.07
224	1	1	1	0	0	0	0	0	ANDES-SAT, VENEZUELA	115.00	236.08	49.77
225	1	1	1	0	0	0	0	1	MORELOS 2, MEX	116.50	237.70	48.44
226	1	1	1	0	0	0	1	0	ANIK C3, CANADA	117.50	238.73	47.55
227	1	1	1	0	0	0	1	1	SAT MOBILE 1, EU	120.00	241.15	45.28
228	1	1	1	0	0	1	0	0	SPACENET I, EU	120.00	241.15	45.28
229	1	1	1	0	0	1	0	1	SBS-5, EU	122.00	242.93	43.44
230	1	1	1	0	0	1	1	0	EXPRESSTAR A, EU	124.00	244.60	41.57
231	1	1	1	0	0	1	1	1	GSTAR III, EU	124.00	244.60	41.57
232	1	1	1	0	1	0	0	0	MEX-SAT, MEX	127.00	246.90	38.74
233	1	1	1	0	1	0	0	1	ASC-1, EU	128.00	247.62	37.79
234	1	1	1	0	1	0	1	0	GALAXY K2, EU	130.00	249.00	35.88
235	1	1	1	0	1	0	1	1	WESTAR B, EU	132.00	250.31	33.97
236	1	1	1	0	1	1	0	0	HUGHES MSS1, EU	135.00	252.14	31.08
237	1	1	1	0	1	1	0	1	MEX-SAT, MEX	136.00	252.72	30.11
238	1	1	1	0	1	1	1	0	CANADA-BSSJ, CANADA	138.00	253.84	28.18
239	1	1	1	0	1	1	1	1	USA-BSS1, EU	148.00	258.79	18.54
240	1	1	1	1	0	0	0	0	USA-BSS2, EU	166.00	266.05	1.44

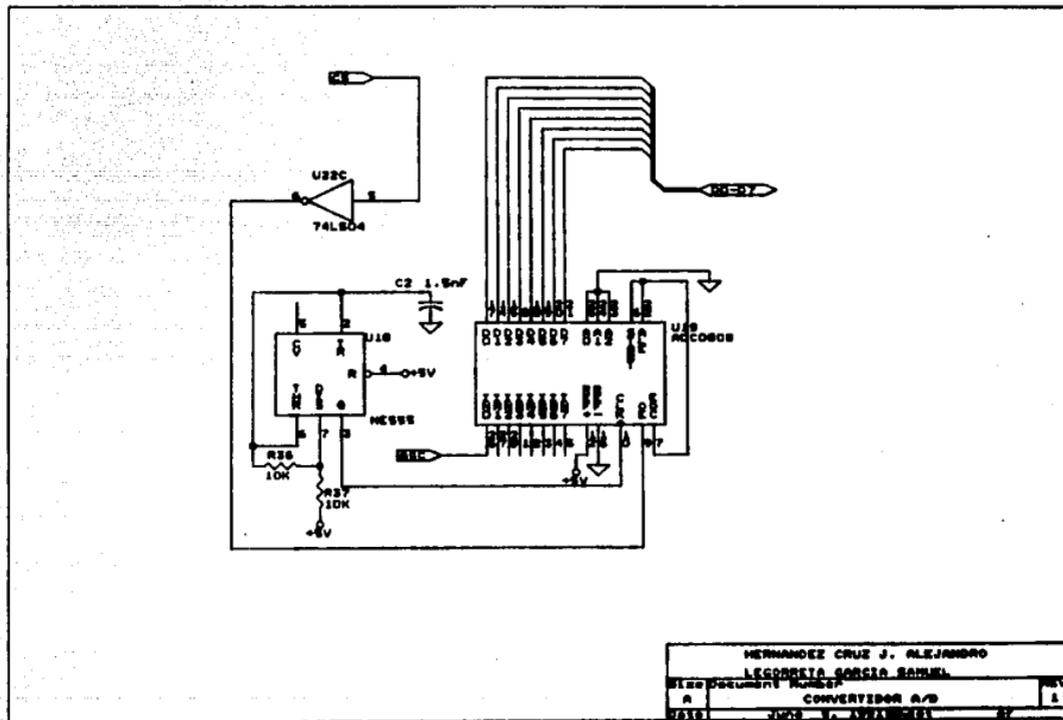
* ENLACE CON CANCUN, Q. ROO (LONGITUD DE 86.86 Y LATITUD DE 21.08)

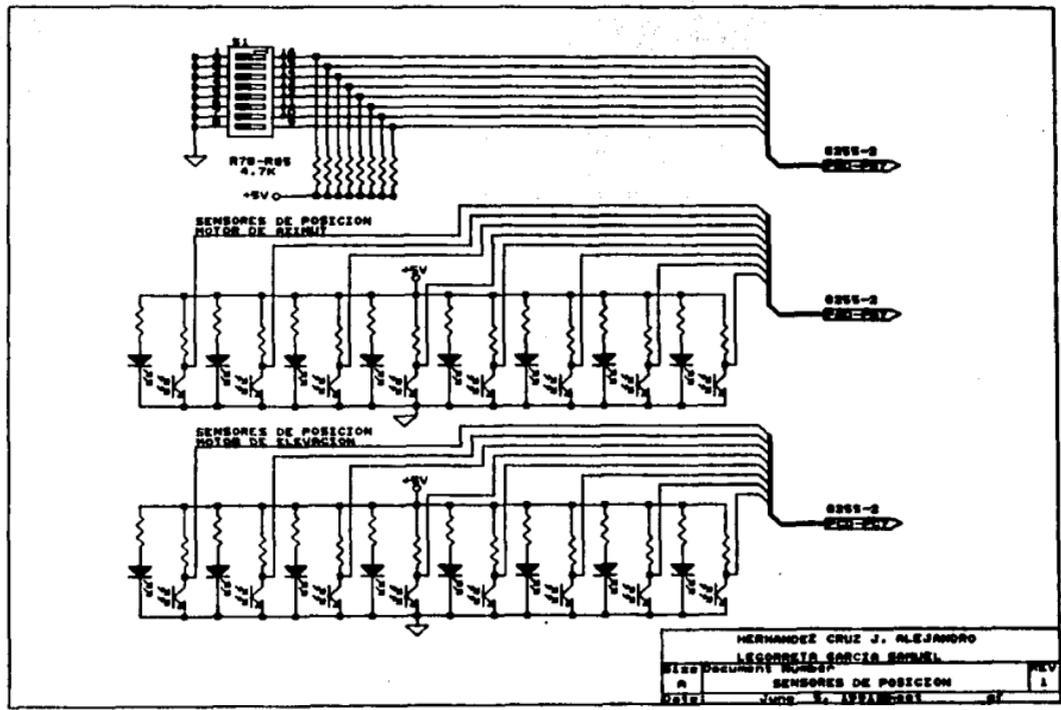
APENDICE C: DIAGRAMAS ELECTRONICOS

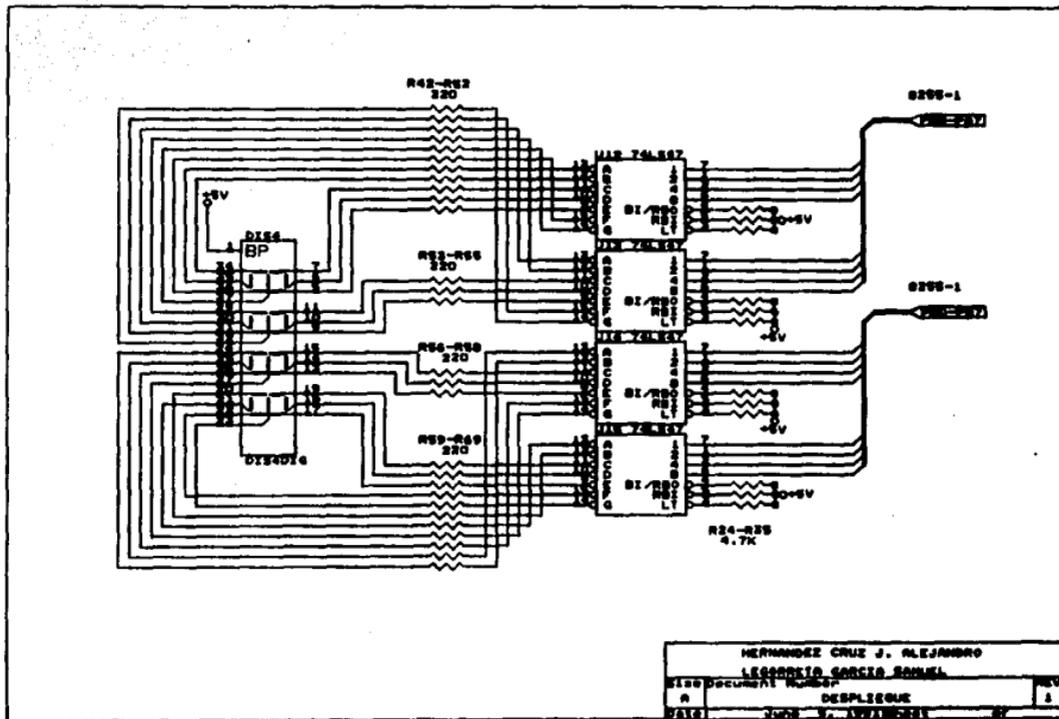


DECODIFICACION E MEMORIAS

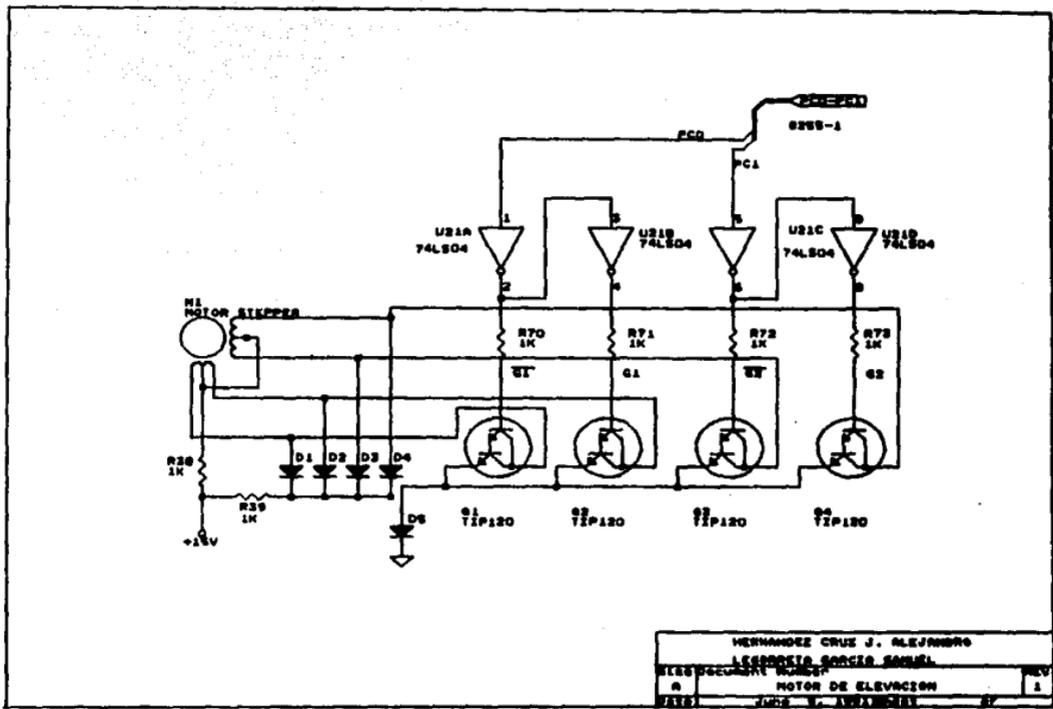
Din. Documento Num.	REVISIONES ONLY	REV
A	LAGONETA GARCIA	
DISEÑO: E. ALBERTO		



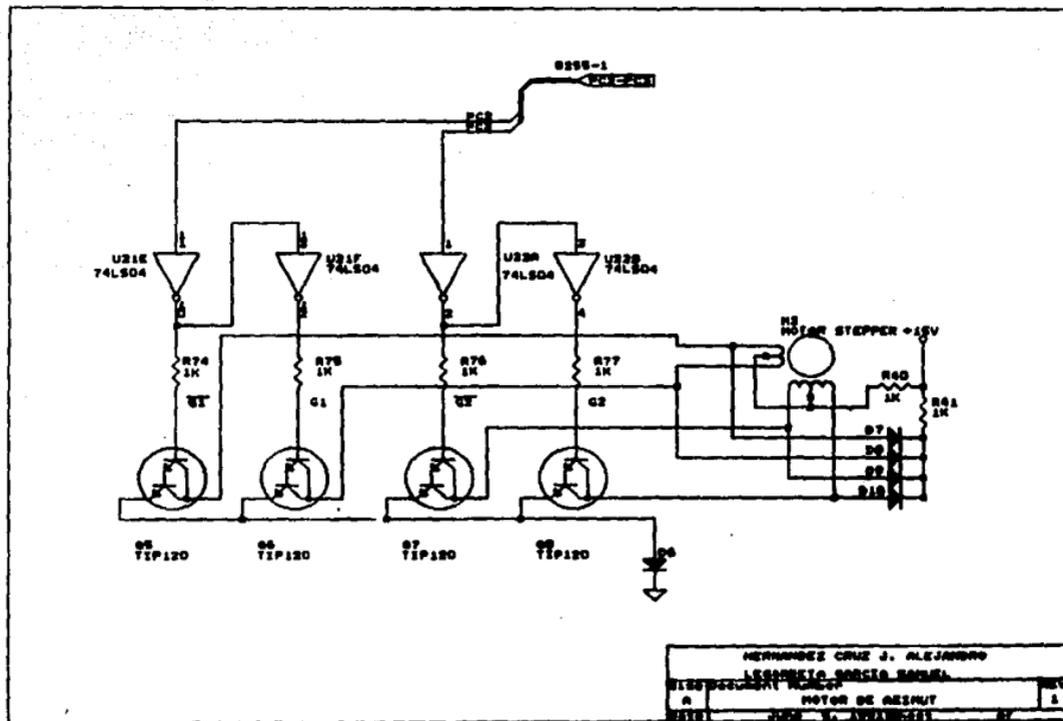




64



DIAGRAMAS ELECTRICOS



APENDICE D: PROGRAMA ENSAMBLADOR

PROGRAMA

```

CODIGO SEGMENT
        ASSUME CS:CODIGO

PRIM_PROG PROC NEAR

INICIO:  MOV BX,004BH          INICIALIZACION DEL
        MOV SS,BX            SP, SS Y DS.
        MOV BX,0100H
        MOV SP,BX
        MOV BX,0000H
        MOV DS,BX
        MOV AL,8BH
        OUT 03,AL           PROGRAMACION DE LOS
        MOV AL,9BH         PUERTOS I255.
        OUT 07,AL
        MOV AL,00H
        MOV DS:(000BH),AL   PROGRAMACION DE LA
        MOV DS:(000FH),AL   INTERRUPTCION NO
        MOV AL,20H         MASCARABLE.
        MOV DS:(000AH),AL
        MOV AL,OFFH
        MOV DS:(000BH),AL
        MOV AL,00H
        OUT 00,AL
        OUT 01,AL
        HLT

        ORG 200H

        MOV BX,004BH
        MOV SS,BX
        MOV BX,00FH
        MOV SP,BX

        RUTINA DE LECTURA DE LA
        FUNCION A REALIZAR.

LECTURA: IN AL,02H          LECTURA DE LA TECLA
        AND AL,DF0H         PRESIONADA.
        MOV CL,0AH
        ROT AL,CL           DECODIFICACION DE LA
        CMP AL,00H         FUNCION SELECCIONADA.
        JZ AZIDER
        CMP AL,01H
        JZ AZI12G          COMPARACION DE LA TECLA
        CMP AL,02H         SELECCIONADA CON LAS
        JZ POSANT         FUNCIONES DISPONIBLES.
        JMP LECTURA

        MOVIMIENTO DEL MOTOR DE
        AZIMUT A LA DERECHA.

AZIDER:  MOV AX,0000H
        PUSH AX
        ST39: IN AL,0AH      LECTURA DE LA POSICION
        OR AL,80H          ACTUAL.
        NOT AL
        CALL DESPLIEGA     LLAMA A LA SUBRUTINA QUE
        POP AX             DESPLIEGA LA POSICION ACTUAL.
        CALL PASDER1
        PUSH AX            MUEVE EL MOTOR UN PASO A

```

PROGRAMA

	MOV CX,0FFFFH	LA DERECHA.
ET40:	LOOP ET40 JMP ET39	
	MOVIMIENTO DEL MOTOR DE AZIMUT A LA DERECHA.	
AZ11ZQ:	MOV AX,0000H PUSH AX	
ET41:	IN AL,04H OR AL,80H NOT AL CALL DESPLIEGA POP AX CALL PAS1ZQ1 PUSH AX	LECTURA DE LA POSICION ACTUAL. LLAMA A LA SUBROUTINA QUE DESPLIEGA LA POSICION ACTUAL.
ET42:	MOV CX,0FFFFH LOOP ET42 JMP ET41	MUEVE EL MOTOR UN PASO A IZQUIERDA.
	ROUTINA QUE POSICIONA LA ANTENA.	
POSANT:	IN AL,05H MOV BX,0FFB0H MOV DS,BX MOV BX,0000H MOV DX,0000H MOV CX,0004H MUL CX MOV BL,AL MOV AX,DS:[BX] MOV BX,AX MOV DX,0000H MOV CH,0064H DIV CX MOV DX,0000H MOV CX,0115H MUL CX MOV DS,0000H MOV CH,03E7H DIV CX MOV BL,AL IN AL,04H OR AL,80H NOT AL PUSH BX PUSH AX MOV AX,00H CALL DESPLIEGA POP AX POP BX CMP AL,32H JB SUMA CMP AL,64H JB RESTA ADD AL,32H JMP CONTINUA SUB AL,32H CMP AL,BL JB IZQUIERDA	LECTURA DEL CODIGO DE LA CIUDAD Y EL SATELITE SELECCIONADOS. CALCULO DE LA LOCALIDAD EN MEMORIA DONDE SE ENCUESTRAN ALMACENADOS LOS DATOS DE ELEVACION Y AZIMUT. CALCULO DEL NUMERO DE PASOS NECESARIOS PARA ALCANZAR LA POSICION DESEADA. DESPLIEGA EN CADA PASO LA POSICION ACTUAL DEL MOTOR. REALIZA OPERACIONES PARA DETERMINAR EL CAMINO MAS CORTO PARA POSICIONAR LA ANTENA
SUMA:		
RESTA:		
CONTINUA:		

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

PROGRAMA

DERECHA:	NOV AX,000H PUSH AX	
CONTDER:	POP AX CALL PASDER1 PUSH AX PUSH BX IN AL,04H OR AL,00H NOT AL PUSH AX NOV AH,00H CALL DESPLIEGA POP AX POP BX CMP AL,BL JNE CONTDER JMP FINAL	MUEVE EL MOTOR A LA DERECHA HASTA ALCANZAR LA POSICION DESEADA. DESPLIEGA LA POSICION ACTUAL EN CADA PASO.
IZQUIERDA:	NOV AX,0000H PUSH AX	
CONTIZO:	POP AX CALL PASIZO1 PUSH AX PUSH BX IN AL,04H OR AL,00H NOT AL PUSH AX NOV AH,00H CALL DESPLIEGA POP AX POP BX CMP AL,BL JNE CONTIZO	MUEVE EL MOTOR A LA IZQUIERDA HASTA ALCANZAR LA POSICION DESEADA. DESPLIEGA LA POSICION ACTUAL EN CADA PASO.
FINAL:	HLT	
	RUTINA DE CONVERSION DE NUMEROS HEXADECIMALES A BCD.	
DESPLIEGA:	NOV CX,0024H MUL CX CMP AX,270FH JB ETF NOV CX,000AH DIV CX	
ETF:	NOV DX,0000H NOV BX,0000H NOV CH,0010H	
ETE:	PUSH AX NOV AL,BH CMP AL,05H JB ETG	
ETG:	ADD AL,03H NOV BH,AL NOV AL,BL CMP AL,05H JB ETH	
ETH:	ADD AL,03H NOV BL,AL NOV AL,DL	

PROGRAMA

```

      CMP AL,05H
      JB ET1
      ADD AL,03H
ET1:  MOV DL,AL
      MOV AL,06H
      CMP AL,05H
      JB ETJ
      ADD AL,03H
ETJ:  MOV DH,AL
      POP AX
      ROL BH,01H
      ROL BL,01H
      ROL DL,01H
      ROL DH,01H
      CMP AX,8000H
      JB ETA
      ADD BH,01H
ETA:  CMP BH,10H
      JB ETB
      ADD BL,01H
ETB:  CMP BL,10H
      JB ETC
      ADD DL,01H
ETC:  CMP DL,10H
      JB ETD
      ADD DH,01H
ETD:  SHL AX,01H
      AND BH,0FH
      AND BL,0FH
      AND DL,0FH
      AND DH,0FH
      LOOP ETE
      MOV AX,0FFFFH
      AND AL,BH
      MOV CL,0AH
      ROL BL,CL
      OR AL,BL
      AND AH,DL
      ROL DH,CL
      OR AH,DH
      CUI OD,AL
      MOV AL,AH
      CUI O1,AL
      MOV CX,0FFFFH
      LOOP ET3
ET1:  RET

```

RUTINA QUE MUEVE EL MOTOR UN PASO
A LA DERECHA.

```

PASDER1:  CMP AL,00H
          JZ ET2
          CMP AL,01H
          JZ ET3
          CMP AL,05H
          JZ ET4
          JMP ET9
ET2:  CUI O2,AL
          MOV CX,0FFFFH
          LOOP ET5
ET5:  MOV AL,01H

```

PROGRAMA

```
RET
ET3:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
ET6:  LOOP ET6
      MOV AL,05H
      RET
ET4:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
ET7:  LOOP ET7
      MOV AL,02H
      RET
ET9:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
ET8:  LOOP ET8
      MOV AL,00H
      RET

      RUJINA QUE MUEVE EL MOTOR UN PASO
      A LA IZQUIERDA.

PAS1201:  CMP AL,00H
          JZ ET11
          CMP AL,01H
          JZ ET12
          CMP AL,03H
          JZ ET13
          JMP ET18
ET11:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
ET14:  LOOP ET14
      MOV AL,02H
      RET
ET12:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
ET15:  LOOP ET15
      MOV AL,00H
      RET
ET13:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
      LOOP ET16
ET16:  MOV AL,01H
      RET
ET18:  OUT 02,AL
      MOV CX,0FFFFH
      LOOP ET17
ET17:  MOV AL,03H
      RET

PRIN_PROG  ENDP
CODIGO    ENDS

      END INICIO
```

BIBLIOGRAFIA

- LONG MARK.

THE KU-BAND SATELLITE HANDBOOK

MARK LONG ENTERPRISES INC.

U.S.A. 1987

- NERI VELA RODOLFO

SATELITES DE COMUNICACIONES

McGRAW-HILL

MEXICO 1989

- LONG MARK

1991 WORLD SATELLITE ANNUAL

MARK LONG ENTERPRISES INC.

U.S.A. 1987

- PRATT TIMOTHY

SATELLITE COMMUNICATIONS

JONH WILEY & SONS.

U.S.A. 1986

- MARTIN JAMES

COMMUNICATION SATELLITE SYSTEMS

PRENTICE HALL INC.

U.S.A. 1986

- JAIN PRAVIN

"PROCEEDINGS OF THE IEEE"

NASA ADVANCED TRACKING AND DATA RELAY SATELLITE SYSTEMS

JULIO 1990

- HALL DOUGLAS V.

MICROPROCESSORS AND INTERFACING

McGRAW HILL.

U.S.A. 1988

- RUSSEL RECTOR & GEORGE ALEXY

THE 8086 BOOK

OSBORNE & McGRAW HILL

U.S.A. 1980