

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**" TELEDETECCION MEDIANTE
LA TECNOLOGIA RADARSAT "**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

GUSTAVO OMAR MESONES MALAGA

PROMOCION 1991 - [I

LIMA - PERU

1993

EXTRACTO

TELEDETECCION MEDIANTE LA TECNOLOGIA RADARSAT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

AUTOR	GUSTAVO OMAR MESONES MALAGA
TITULO PROFESIONAL	INGENIERO ELECTRONICO
CIUDAD	LIMA, PERU
AÑO DE SUSTENTACION	1993

El presente trabajo de estudios ha sido estructurado en cinco capítulos.

En el Capítulo I indicamos los conceptos básicos de la teledetección y los elementos que la componen.

En el Capítulo II , nos referimos al sistema RADARSAT; la generación sus órbitas y las coberturas, y cómo debe ser su posicionamiento en la región a ser barrido.

El capítulo III tratamos la parte física y matemática del proceso de la Teledetección a nivel de señal, de cómo es que se genera la matriz (range, azimuth) de una imagen de radar aplicando la técnica del chirping pulse; y la segunda parte consta del tratamiento de estas imágenes haciendo uso del software especializado EASI-PACE de tratamiento de imágenes.

El capítulo IV trataremos brevemente la transferencia de datos a las estaciones receptoras y cómo es la estructura del formato de transferencia a cintas digitales CCT.

El capítulo V es la que corresponde a la comparación técnica del Radarsat con otros sistemas satelitales de Teledetección, tanto activos (SAR) como los pasivos (Landsat y SPOT), los costos de las imágenes, y finalmente las aplicaciones de la Teledetección a los Sistemas GIS como así el uso mas apropiado de los sensores de acuerdo a la necesidad del usuario.

INDICE

Prólogo	1
CAPITULO I CONCEPTO DE TELEDETECCION	3
1.1.-Concepto	3
1.1.1.-La teledetección remota activa	3
1.1.2.-La teledetección remota pasiva	4
1.1.3.-Bandas de frecuencia de radar	4
1.1.4.-Estaciones receptoras terrestres	4
1.1.5.-Haz de radar	5
1.1.6.-Imagen de radar	5
1.1.7.-Datos de radar	6
1.1.8.-Orbita sincrónica con el sol	6
1.2.-Elementos básicos de la Teledetección	6
CAPITULO II SISTEMA RADARSAT	21
2.1.-Introducción	21
2.2.-Misión del Radarsat	22
2.3.-Carga útil de la antena SAR	29
2.4.-Arquitectura del Sistema Radarsat	36
2.5.-Orbitas del Radarsat	36

2.5.1.-Generación de las órbitas	36
2.5.2.-Usos de las tablas orbitales	57
2.5.2.1.-Satélite al norte de la región según	
P_0	59
2.5.2.2.-Satélite al sur de la región según P_0	69
2.6.-Coberturas del Radarsat	74
2.6.1.-Standard Mode	77
2.6.1.1.-Primeros 100 km de cobertura	79
2.6.1.2.-Ultimos 100 km de cobertura	79
2.6.1.3.-Primeros 500 km de cobertura	80
2.6.1.4.-Ultimos 500 km de cobertura	81
2.6.1.5.-Cobertura de 100 o 500 kms dentro del	
rango de los ángulos de incidencia	81
2.6.2.-Wide 1 Mode	82
2.6.2.1.-Primeros 164 km de cobertura	83
2.6.2.2.-Ultimos 164 km de cobertura	84
2.6.3.-Wide 2 Mode	84
2.6.3.1.-Primeros 148 km de cobertura	86
2.6.3.2.-Ultimos 148 km de cobertura	86
2.6.4.-Fine Resolution Mode	87
2.6.4.1.-Primeros 50 km de cobertura	88
2.6.4.2.-Ultimos 50 km de cobertura	89
2.6.4.3.-Primeros 165 km de cobertura	90
2.6.4.4.-Ultimos 165 km de cobertura	90
2.6.4.5.-Cobertura de 50 o 165 kms dentro del	
rango de los ángulos de incidencia	91
2.6.5.-Scan-SAR (Narrow) Mode	92
2.6.5.1.-Primeros 305 km de cobertura	93

2.6.5.2.-Ultimos 305 km de cobertura	93
2.6.6.-Scan-SAR (Wide) Mode	94
2.6.6.1.-Primeros 511 km de cobertura	95
2.6.6.2.-Ultimos 511 km de cobertura	96
2.6.7.-Extended (High) Mode	96
2.6.7.1.-Primeros 75 km de cobertura	97
2.6.7.2.-Ultimos 75 km de cobertura	98
2.6.8.-Extended (Low) Mode	99
2.6.8.1.-Primeros 170 km de cobertura	100
2.6.8.2.-Ultimos 170 km de cobertura	100
CAPITULO III METODOLOGIA DE LA CAPTURA DE IMAGENES SATELITALES POR EL SISTEMA RADARSAT. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION CAPTURADA A NIVEL DE SEÑAL Y POR SOFTWARE	102
3.1.-Análisis físico y matemático	102
3.1.1.-Introducción	102
3.1.1.1.-¿Qué es RADAR?	102
3.1.1.2.-Cantidades medibles	102
3.1.2.-Breve revisión de los principios de Radar	103
3.1.2.1.-Elementos básicos de un Sistema de Radar	103
3.1.2.1.1.-Pulsos	103
3.1.2.1.2.-Tipos de Distancia	107
3.1.2.1.3.-Medición de la Distancia	108
3.1.3.-Sistemas de Imágenes	108
3.1.3.1.-Geometría	108
3.1.3.1.1.-Vista Vertical	108

3.1.3.1.1.1.-Vista Vertical: problemas	109
3.1.3.1.1.2.-Ambigüedad de tiempo	109
3.1.3.1.2.-Vista Lateral	110
3.1.3.2.-SLAR	110
3.1.3.3.-SAR	111
3.1.4.-Breve revisión de la Teoría del SAR	112
3.1.4.1.-Geometría en detalle	112
3.1.4.2.-Resolución en Distancia (Range)	114
3.1.4.2.1.-Resumen	115
3.1.4.3.-Chirpeando el Pulso (Chirping the Pulse)	115
3.1.4.3.1.-¿Qué es el Chirping?	115
3.1.4.3.2.-¿Qué hace el Chirping?	117
3.1.4.3.3.-¿Cómo trabaja el Chirping?	118
3.1.4.3.3.1.-Aplicando Teoría de Fourier	118
3.1.4.3.3.2.-Más Teoría de Fourier	119
3.1.4.3.3.3.-Compresión del Pulso	120
3.1.4.3.3.4.-Compresión del Pulso.-Notas Importantes	121
3.1.4.3.4.-Compresión del Pulso.-Prueba y conclusión	121
3.1.4.4.-Resolución Azimutal	122
3.1.4.4.1.-Radar de abertura real	123
3.1.4.4.2.-Radar de abertura sintética	125
3.1.4.4.2.1.-SAR desenfocado	125
3.1.4.4.2.2.-SAR desenfocado.-prueba	126
3.1.4.4.2.3.-SAR enfocado	127
3.1.4.4.2.4.-SAR enfocado.-prueba	128

3.1.4.4.3.-Comparación entre los conceptos del RAR vs. SAR desde el punto de vista de las antenas	132
3.1.4.4.4.-Resumiendo	133
3.1.4.5.-El efecto Doppler	134
3.1.4.5.1.-Historias o Registros Doppler ¿cómo trabaja?	137
3.1.4.5.2.-El SAR y el efecto Doppler	141
3.1.4.6.-Procesamiento de datos SAR	143
3.1.4.6.1.-Similitudes en procesamiento en Distancia como Azimutalmente	144
3.1.4.6.2.-Diferencias entre estos procesa mientos	145
3.1.4.6.3.-La operación enfocada	145
3.1.4.6.4.-Procesamiento de la señal SAR	147
3.1.4.6.4.1.-La señal SAR	148
3.1.4.6.4.2.-La forma de onda detectada	149
3.1.4.6.4.3.-Compresión en Distancia	151
3.1.4.6.4.4.-Siguiendo pasos	152
3.1.4.6.4.5.-Compresión Azimutal	154
3.1.4.6.4.6.-Función de Propagación del Punto	157
3.1.4.6.5.-Pasos en el Procesamiento SAR	158
3.2.-Procesamiento de imágenes de radar a nivel de software	159
3.2.1.-Problemas en las imágenes de Radar	160
3.2.2.-Procedimientos por software en el análisis de imágenes de radar	165

3.2.2.1.-APC	165
3.2.2.2.-FAD	165
3.2.2.3.-FLE	166
3.2.2.4.-FLIGHT	166
3.2.2.5.-RSTR	166
3.2.2.6.-SARSIM1	166
3.2.2.7.-SARSIM2	166
3.2.2.8.-SARGEO	166
3.2.2.9.-SRTOGR	167
3.2.2.10.-STG	167
3.2.2.11.-STGBIG	167
3.2.2.12.-TEX	168
CAPITULO IV TRANSFERENCIA DE LA INFORMACION CAPTURADA DESDE EL SATELITE A LA ESTACION TERRESTRE. FORMATOS DE TRANSFERENCIA A CINTAS DIGITALES	169
4.1.-Transmisión de datos desde el Satélite	169
4.1.1.-Modulación QPSK	172
4.2.-Transferencia Digital de datos del D.A.S. al D.P.C.	183
4.2.1.-Productos Digitales	183
4.2.2.-Definición de Formato de Cinta CCT	191
4.2.2.1.-Universal Header File (UHF)	191
4.2.2.2.-RADARSAT Header File (RHF)	193
4.2.2.3.-Video Data File (VDF)	195

CAPITULO V COMPARACION DEL SISTEMA RADARSAT CON OTROS SISTEMAS: LANDSAT, SPOT. APLICACIONES A LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS)	197
5.1.-Características principales de los Satélites	
Landsat y SPOT en comparación con el Radarsat	197
5.1.1.-Satélite SPOT (Systeme Probatoire D'osservation de la Terre)	198
5.1.2.-Satélite Landsat (Ex ERTS)	201
5.1.3.-Satélite Radarsat	204
5.2.-Comparación técnica del Satélite Radarsat con con otros Sistemas SAR	209
5.2.1.-Seasat (USA)	209
5.2.2.-Almaz (Rusia)	209
5.2.3.-ERS-1 (ESA)	210
5.2.4.-J-ERS-1 (Japón)	210
5.2.5.-SIR-C (USA)	210
5.2.6.-ERS-2 (ESA)	211
5.2.7.-Radarsat (Canadá)	211
5.2.8.-EOSAT (USA)	211
5.3.-Costos de las imágenes	212
5.4.-Aplicaciones de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica	214
5.4.1.-Sistemas de Información Geográfica	214
5.4.1.1.-Concepto de GIS	214
5.4.1.2.-Objetivos	215
5.4.1.3.-Categorías de los GIS	215

5.4.1.4.-Ventajas	217
5.4.1.5.-Desventajas	217
5.4.1.6.-Funciones	218
5.4.1.7.-Elementos físicos del GIS	218
5.4.2.-Aplicaciones de la Teledetección	219
5.4.2.1.-Cartografía y elaboración de mapas	220
5.4.2.2.-Geología y Geomorfología	221
5.4.2.3.-Uso de la Tierra	221
5.4.2.4.-Agricultura	222
5.4.2.5.-Selvicultura	223
5.4.2.6.-Fusión de la nieve y escurrimiento del agua	223
5.4.2.7.-Apoyo de la lucha contra el narco- tráfico	224
5.4.3.-Usos más apropiados de los Sensores Sate- lites en aplicaciones a los Sistemas GIS	225
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	231
Apéndice A: Glosario	233
Apéndice B: Brochure del EASI-PACE Versión 5.1	289
Apéndice C: Características Técnicas de los RISC/6000 IBM. Diversos modelos	309
BIBLIOGRAFIA	326

PROLOGO

En la última década, el desarrollo de la tecnología espacial, llámese satélites comerciales para recursos naturales y militares, han ido evolucionando en forma impresionante, llegando estos satélites militares a obtener resoluciones en el orden de los centímetros (~30cms.):

Antes, para tomar una imagen de una región específica, se tenía que usar la fotografía, pero carecía y sigue careciendo de 'inteligencia', es decir una base de datos asociado a cada elemento de imagen, que permita una mejor y correcta interpretación de las imágenes, ya que es el objetivo final de la Teledetección.

El propósito de esta Tesis es demostrar que es posible realizar la Teledetección usando la tecnología de radar a partir del uso del radar y la forma de onda que se puede generar a través de ella, de tal manera, que usando las ventajas físicas que posee esta forma de teledetección, llámese efecto Doppler -para obtener la resolución azimutal-, expansión y compresión de pulso -para obtener la resolución en distancia- y retardo de los ecos, es posible generar una imagen, si bien es monocromática para

el caso del RADARSAT, de gran calidad y que refleje las características físicas de la zona sensada. Y además sea posible obtener una ventajosa variedad de resoluciones - tamaño de pixel- tanto en distancia -cross track- como en azimut; y de coberturas, de acuerdo a las necesidades del usuario.

Sólo estudiaremos, como indicamos en el objetivo, la primera fase de la Teledetección, esto es, la captación y del tratamiento de la información capturada a nivel de señal. Como sabemos, la segunda fase son las diversas correcciones que se hacen a la imagen captada, llámesen geométrica, radiométrica, entre otras; y los tratamientos a nivel de software, que sólo indicaremos este último en el capítulo III.

Debo agradecer, de manera reconocida, a todos mis amigos que me brindaron material variado sobre Teledetección, y que fue posible realizar el presente trabajo de estudios, y por que no, de Proyecto, ya que es posible de implementar de manera completa en nuestro país, para usos en recursos naturales, defensa nacional, agricultura, minería, entre otras.

CAPITULO I

CONCEPTO DE TELEDETECCION

1.1.-Concepto

Conocido también por **Percepción Remota**, **Sensoramiento Remoto** o **Remote Sensing** se entiende como la medición u obtención de información de las propiedades de un objeto o fenómeno, efectuado con algún dispositivo de registro que no está en contacto físico con el objeto o fenómeno bajo estudio.

Por ejemplo la utilización a distancia, desde una plataforma, de cualquier dispositivo y su operador, para obtener información pertinente a las características de la superficie de la Tierra. Esta técnica emplea instrumentos como camaras, radiómetros, barredores, exploradores, y receptores de radiofrecuencia, sistemas de radar, sonar, sismógrafos, magnetómetros, etc , que se les llama también detectores.

1.1.1.-La teledetección activa

O **Active Remote Sensing** cuando se usan en la percepción remota sensores activos.

Los sensores remotos activos son sistemas que tienen su propia fuente de energía electromagnética, transmite dicha **energía** hacia su objetivo y luego registra la

energía reflejada o reflectada por el objetivo, como es el caso del radar (RADARSAT, ERS-1, JERS-1, etc.)

1.1.2.-La teledetección pasiva

O **Passive Remote Sensing** cuando se usan solamente sensores pasivos.

Los sensores remotos pasivos son sistemas que detectan y/o miden la radiación emitida naturalmente por los objetos, tales son las cámaras, exploradores infrarrojas o de microondas (Landsat, SPOT, NOAA, etc.).

1.1.3.-Bandas de frecuencia de radar

Se tiene un rango de frecuencias en la cual sus sensores aplican sus mediciones:

BANDAS DE FRECUENCIA	RANGO DE FRECUENC. EN Ghz.	LONG. DE ONDA EN cms.
Banda-P	0.225 a 0.39	133.3 a 76.9
Banda-L	0.39 a 1.55	76.9 a 19.3
Banda-S	1.55 a 4.20	19.3 a 7.14
Banda-C	4.20 a 5.75	7.14 a 5.21
Banda-X	5.75 a 10.90	5.21 a 2.75
Banda-K	10.90 a 36.00	2.75 a 0.834
Banda-Q	36.00 a 46.00	0.834 a 0.652
Banda-V	46.00 a 56.00	0.652 a 0.535
Banda-W	56.00 a 100.00	0.535 a 0.3

1.1.4.-Estaciones receptoras terrestres

O **Ground Receiving Stations** son estaciones en Tierra dotadas de equipos e instrumentos necesarios para

rastrear los satélites artificiales, reciben los datos obtenidos por sus sensores, procesar dichos datos y distribuir éstos a los usuarios que requieran información.

1.1.5.-Haz de radar

O **Radar Beam** es un cono de energía electromagnética producido por el transmisor de radar que normalmente se mide en miliradianes, correspondiendo un milirradián a un cono de base de un pie (1 pie = 30.48 cm) a una altura de 1000 pies.

1.1.6.-Imagen de radar

O **Radar Imagery** es la imagen de un objeto o de una región territorial que se presenta en la pantalla de radar en base a los ecos recibidos.

También se refiere al producto en papel fotográfico de las imágenes de radar, después de haber sido procesadas y puestas en forma de un mosaico. A estas imágenes algunas veces se le aumenta la información toponímica y cartográfica, para darles una mayor utilidad práctica, y se le llama **mapa de radar**.

Un mosaico es un ensamble de fotografías aéreas, espaciales o imágenes de sensores, cuyos extremos se han hecho coincidir para formar una imagen continuada de una porción de la superficie de la tierra.

1.1.7.-Datos de radar

O **Radar Data**. Los ecos de radar recibidos y almacenados en un registro de señales. Estas señales son procesadas posteriormente en un correlator para generar la apertura sintética que produce una imagen de alta resolución.

1.1.8.-Orbita sincrónica con el sol

O **Sun Synchronous Orbit**. Orbita del RADARSAT cuyo plano orbital es casi polar y a una altura tal que el satélite pasa por todos los lugares de la Tierra que tienen una misma latitud a la misma hora solar.

1.2.-Elementos básicos de la Teledetección

La exploración de la Tierra ha sido una de las principales inquietudes del hombre desde la época prehistórica ya que él siempre ha y sigue tratando qué se encuentra más allá de sus dominios. Al principio exploró el medio ambiente únicamente con sus sentidos, utilizando en primera instancia aquellos que no requerían de un contacto físico con el objeto estudiado (vista y oído), para posteriormente continuar con un análisis directo por medio del tacto principalmente. En todo este proceder, el hombre ha empleado una serie de elementos que lo identifican no nada más como una criatura llena de interés por la investigación, sino también tener el deseo de dominar la naturaleza que lo rodea.

Así por su curiosidad y el afán de conocer el territorio donde habita le condujeron primero a encaramarse en la copa de un árbol y posteriormente a subir a una colina o a una montaña para tener de esta manera una visión de conjunto o sinóptica del paisaje.

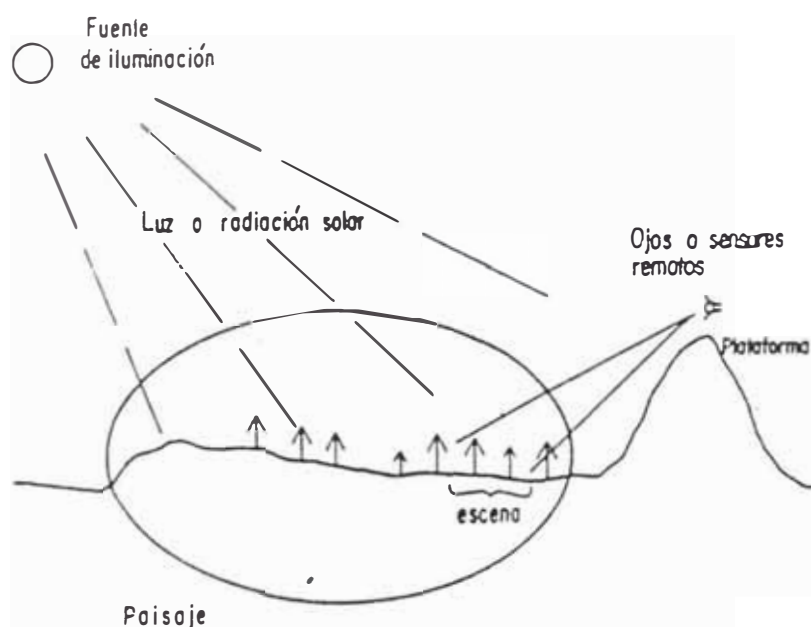


Fig. 1.1

Representación de los elementos
básicos de la percepción remota

Como vemos en la Figura 1.1, se puede distinguir los elementos básicos que componen la percepción remota: la

fuelle de iluminación, formada en este caso por el sol que emite la luz o radiación solar; el paisaje, configurado por todos los objetos -elementos químicos y físicos- presentes en el territorio explorado por el hombre, tales como los ríos, colinas, vegetación o rocas; la escena, o aquella sección o superficie donde enfoca su interés, pudiendo ser la superficie de una roca o un valle completo; el sensor remoto activo, con el que se captura los ecos proveniente de la escena, y que en este caso, permite obtener una representación visual de aquella región del paisaje que ha sido enfocada por el iris y el cristalino del ojo; la plataforma, que es el lugar donde se coloca o monta el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la escena; el sistema de procesamiento compuesto por el dispositivo para procesar cualitativa o cuantitativamente los datos proporcionados por el sensor remoto acerca de la escena, los cuales analizados e interpretados en este caso por el cerebro del hombre, producen información valiosa en relación al paisaje, la que es útil en la forma eventual de decisiones sobre el medio ambiente, y el apoyo del campo, que consiste en la inspección directa, en varios puntos selectos de la escena, de diferentes atributos de los objetos que se encuentran en el terreno, con el fin de evaluar los datos obtenidos previamente a distancia. La distancia con respecto a la escena a la cual se le añade la plataforma -Fig. 2.2-, permite tener una visión sinóptica a diferentes escalas del paisaje, lo que se

logra gracias a una sucesión de observaciones que van descubriendo poco a poco la región deseada. Estas pueden hacerse, en general, a diferentes horas del día o de la noche, en diferentes épocas del año, y posteriormente, por medio de diferentes frecuencias de radar. En este proceso se genera una gran cantidad de datos, los que, analizados, adecuadamente por medio de criterios muy bien definidos, proporcionan valiosa información acerca de los recursos naturales terrestres y sientan las bases para su estudio racional.

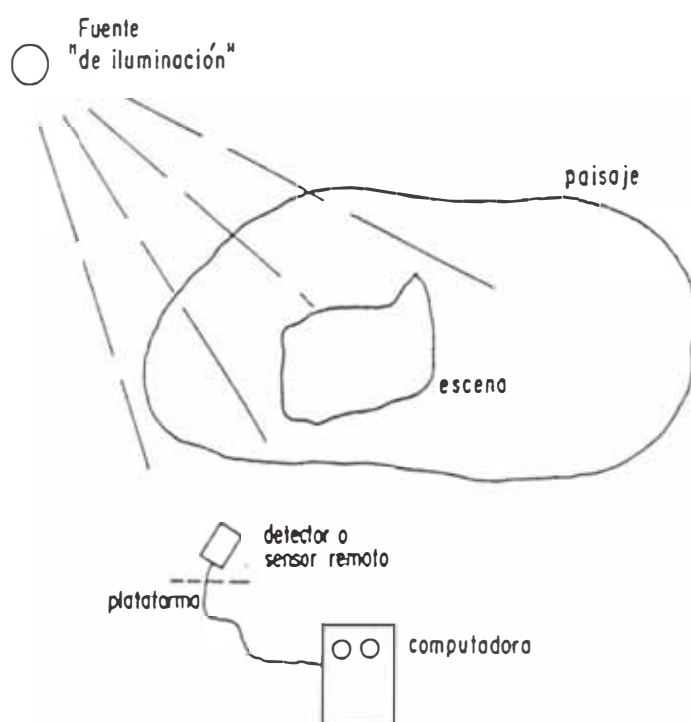


Fig. 1.2

Diagrama esquemático de los componentes básicos de la Teledetección representados según la investigación experimental moderna.

Con el desarrollo moderno de la ciencia de la computación electrónica digital se ha dado un auge importante a la

percepción remota, pues la disponibilidad de estas herramientas permite la evaluación cuantitativa de un gran volumen de datos. Así en una simbiosis muy estrecha las ciencias de la computación han impulsado el desarrollo de la teledetección, y ésta a su vez, ha generado nuevos sistemas de procesamiento digital con propósitos específicos.

Ahora bien vamos a tratar brevemente cómo se identifican de nuevo sus elementos básicos:

-La Fuente de Iluminación.- Existe sistemas de teledetección que utilizan una fuente de iluminación interna como externa, la cual, para el primer caso se puede tener control; y en el segundo caso no. Estos sistemas pasivos, pueden utilizar al Sol o bien a una estrella lejana como fuente de iluminación. En cambio, los sistemas activos como el radar tienen su propio sistema de iluminación, y puede realizar observaciones de una misma región en cualquier momento del año, sin que el problema de la iluminación afecte a la imagen captada. La relativa desventaja en un experimento de teledetección pasiva donde se utilice al Sol de ese modo, sólo se podrá hacer uso de las características regulares y conocidas de éste; es decir, que en forma pasiva habrá necesidad de **esperar** a que las condiciones de iluminación sean las adecuadas para efectuar la obsevación correspondiente de la escena. Si se desea cubrir todo un paisaje con

observaciones sistemáticas, será necesario entonces cuidar muy bien que las características de iluminación, es decir hora y estación del año, sean las que requiere el diseño del experimento correspondiente, lo que asegurara una tasa de éxito mas que razonable. Habrá experimentos que las requieran a una misma hora y en la misma estación del año, y otros a diferentes horas en las cuatro estaciones del año. De hecho, cualquier combinación es posible dependiendo de la aplicación deseada.

En los sistemas activos, son los que han permitido extender el campo de estudio de la Teledetección a una diversidad de fenómenos donde la fuente de iluminación ya no emite luz visible para iluminar la escena. En estos casos -Fig. 1.2- puede ser luz ultravioleta o infrarroja, rayos gamma o rayos X, o bien un haz de radar. Con esta diversidad en fuentes de iluminación es por tanto posible aplicar las técnicas de la Teledetección no sólo al ámbito de la Geofísica, sino también al de la medicina, la Física Nuclear y la Industria.

-El Paisaje.-éste es el elemento de la teledetección que más retos da al investigador. Es así porque, primero, el paisaje constituye el sistema físico objeto de su estudio; segundo, porque generalmente es una parte muy compleja donde intervienen muchos factores, algunos de ellos ajenos al propósito de la investigación, y tercero,

porque sucede con frecuencia que el investigador no controla una parte o, en algunos casos, todos los aspectos que componen en paisaje. El investigador puede controlar, y de hecho lo hace, el sensor remoto, la fuente de iluminación, o el procesamiento de los datos, pero puede escapar a su injerencia el sistema físico que desea analizar. Por otro lado, una gran porción de los errores que se cometen en el diseño y operación de un experimento de teledetección provienen precisamente de la subestimación o sobresimplificación de la complejidad del paisaje.

-La escena.-es probable que ésta sea uno de los elementos básicos de la teledetección más complicados de entender, pues implica el manejo de conceptos lógicos, es decir de entidades no físicas. Imaginemos un plano o superficie que forma parte de un paisaje, consideremos todos los objetos de éste que se encuentren sobre aquel, y de esta manera tendremos una imagen visual de una escena del paisaje. Esto nos lleva a que, al variar el enfoque del lente de una cámara fotográfica, se pueden obtener diferentes escenas de un mismo paisaje, escenas que, por supuesto, son plasmadas en el film fotográfico una vez que acciona el disparador de la cámara. Así pues, sobre la fotografía resultante quedan grabados en forma permanente y visible el conjunto de objetos que se encontraban sobre la escena, y por tanto aquella se convierte en una representación bidimensional de los

objetos enfocados o, que es lo mismo, una imagen de la escena. Esta última consideración es muy importante, pues el manejo y el análisis de las imágenes correspondientes a diferentes escenas es lo que permite entender el funcionamiento del paisaje, con las consiguientes repercusiones para el eventual dominio del mismo.

-El sensor remoto.-El desarrollo tan importante que ha tenido la tecnología en esta área de la teledetección ha permitido al hombre ampliar su capacidad visual. Nuevos y modernos detectores permiten ahora capturar luz visible como la ultravioleta, la infrarroja o de radar, y detectar radiaciones como los rayos X y gamma y partículas como electrones, protones o neutrones. Muchos de éstos son de gran eficiencia; e incluso algunos de éstos proporcionan imágenes en forma cuantitativa, es decir en forma numérica o digital de tal manera que la información resultante puede ser almacenada en una computadora para algún análisis matemático posterior. Todos estos detectores han ampliado enormemente la capacidad de información en teledetección y pueden proporcionar actualmente imágenes de gran calidad de paisajes tan distantes como las lunas de Júpiter, de una galaxia lejana, o de 'paisajes' microscópicos como los virus detectados por medio de un microscopio electrónico.

-La plataforma.-a medida que la plataforma de observación se coloca a una mayor distancia de la escena, la visión

del conjunto crece, pero no así el detalle o grado de discernimiento, el que consecuentemente se hace menor. Discernir objetos relativamente pequeños o muy próximos entre sí requiere de detectores de alta y variada resolución, lo que hace que sean indispensables para el uso de plataformas colocadas a una gran distancia de la escena. Las que están situadas a gran altura sobre la superficie terrestre, por ejemplo, son muy útiles en la prospección de los recursos naturales y en general en la exploración de nuestro planeta. Para esta clase de aplicaciones la plataforma espacial ha demostrado ser la más adecuada, puesto que los modernos detectores permiten obtener imágenes de la superficie terrestre con elementos de resolución de 28 x 25 mts. por lado, cubriendo escenas de aproximadamente 100 por 100 km² es decir una superficie de 10 000 km² -casi todo la Provincia de Lima-

Otros sensores de este mismo tipo son capaces de obtener imágenes de 45 x 45 km² -implica mayor resolución-, con un elemento de resolución de 10 mts por lado, es decir que el área mínima de observación del sensor es de 10 mts por lado. Las plataformas espaciales se encuentran girando a varios cientos de kilómetros sobre la superficie terrestre, lo que hace que el detalle y la extensión cubierta con este tipo de plataformas sean muy adecuadas para aplicaciones geológicas y geofísicas. Existen desde luego, plataformas que pueden estar a poca altura o a corta distancia de la escena, y que tienen, por tanto, otras aplicaciones.

Una plataforma de gran altura (cientos de kilómetros) son de tipo satelitario, es decir, el sensor remoto se encuentra instalado a bordo de un vehículo orbital, la cual, por medio de un arreglo de antenas, como en el caso del RADARSAT; o por celdas solares, como el Landsat, SPOT; sistemas de control y telecomunicación automatizados, proporciona la posibilidad de una cobertura regular y repetitiva de la superficie terrestre. Las órbitas de este tipo de satélites son generalmente cuasipolares, por lo que el movimiento combinado del satélite y el de rotación de la Tierra (Fig. 1.3) hacen que la superficie de ésta sea cubierta totalmente en períodos de dos o tres semanas -16 días para el RADARSAT-.

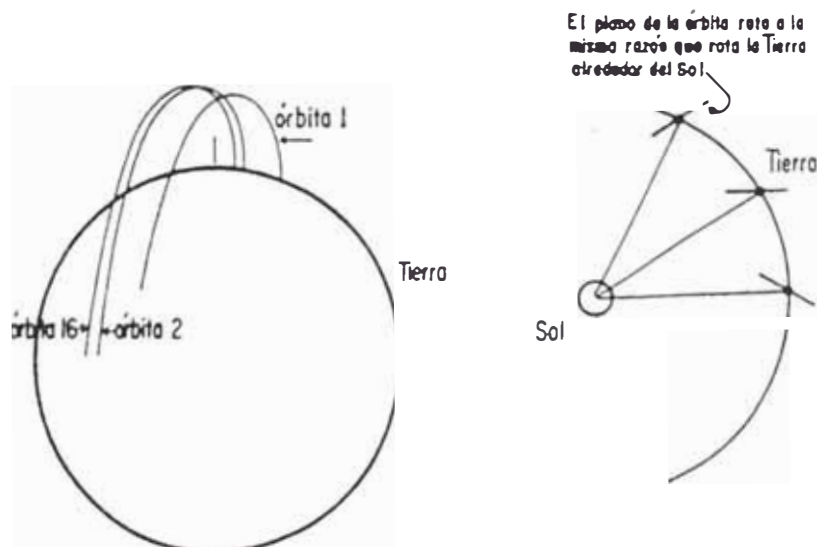


Fig. 1.3

Esquema del cubrimiento terrestre por un satélite de percepción remota con órbita polar.

Además la órbita está ajustada de tal manera que la observación de una misma región se hace a la misma hora del día, 18:00 horas local por ejemplo -sun synchronous orbit-. Otra ventaja de este tipo de satélites es que el envío de datos se hace inmediatamente a la estación terrestre mas cercana, esta Estación rastreadora si es polar por ejemplo, el plato de la antena va girando en dirección norte-sur para captar continuamente las señales que envía el satélite durante su paso por la antena, por lo que el principio las imágenes resultantes pueden estar disponibles en un lapso de algunos días, o con nuevas tecnologías podrían ser de algunas horas.

Para el caso de la teledetección por radar, la toma de la imagen ya no dependerá de la luz directa del sol, sino de la fuente de energía de la antena, y ya no involucra las condiciones climatológicas.

-El Sistema de Procesamiento.- Los sensores remotos actuales son capaces de producir imágenes de alta calidad en forma analógica a digital, es decir, pueden proporcionar una representación continua o discreta de la escena. Una imagen continua es aquella donde la variación de tonos de gris o color se presenta sin discontinuidades, sin líneas o fronteras, aparte de las que pudiera tener la escena misma. Una imagen discreta es la que está compuesta por elementos definidos y diferenciados como puntos o cuadrados. Debemos de

aclarar que una escena es siempre continua, no así la imagen respectiva. Una representación o imagen continua no es más que una idealización de lo que realmente sucede, pues una fotografía a simple vista podrá verse continua, pero al ser amplificada se aprecia que está formada por una colección de pequeños puntos de diferentes tonalidades que son los que componen la imagen en forma similar a un rompecabezas. En general podemos decir entonces que una imagen será catalogada continua o discreta dependiendo del grado de resolución que tenga el sensor y el detalle que se desee discernir. De hecho, sólo las imágenes ópticas podrán considerarse siempre como continuas. Por lo tanto, el nombre de *imagen digital* diremos que son aquellas imágenes discretas donde cada punto que la compone está dado no por una tonalidad sino por un número, asignando al número 0 al tono más oscuro y $127 \cdot 2^7$ o $255 \cdot 2^8$ al más claro. Lógicamente que cuanto más bits por punto o pixel tenga la imagen mayor será la variedad de tonos de gris, también dependerá del monitor que lo soporte. Es precisamente debido a esta representación numérica de una escena que es posible que el manejo por computadora de la imagen digital correspondiente, con la consecuente rapidez y volumen en el análisis de una gran variedad de éstas. La disponibilidad de computadoras digitales ha hecho que ahora se puedan analizar imágenes digitales de gran dimensión y complejidad, lo que ha dado a la teledetección un impulso notorio en los últimos 15 años.

Más aun, este desarrollo ha demandado recursos computacionales cada vez mas importantes, llegando a ocurrir que los especialistas en ciencias de la computación hayan consagrado un esfuerzo considerable al diseño y construcción de arquitecturas y lenguajes computacionales especiales para el análisis de imágenes digitales, lo que ha propiciado lógicamente un impulso aún mayor a la teledetección. Estos sistemas cuentan actualmente con un rango muy amplio de algoritmos para el análisis de imágenes, los que através de sistemas de despliegue -Fig. 1.4- de color de alta resolución permiten desplegar la imagen digital y proporcionan al usuario una comunicación de tipo interactivo con la computadora.

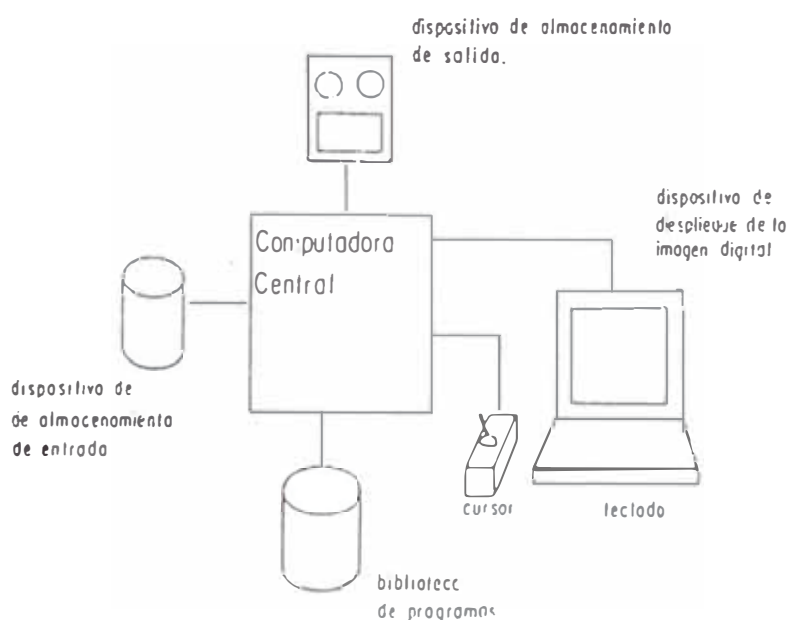


Fig. 1.4

Representación de un sistema computacional acoplado a una pantalla de despliegue para el análisis interactivo de imágenes digitales en actividad de percepción remota.

Esta comunicación interactiva produce información, resultado de dicho análisis, que puede ser canalizada a bancos de memoria en la misma computadora, de donde puede ser extraída, representada o manipulada lo mas adecuadamente posible para la toma de decisiones acerca de uno o varios aspectos del paisaje. A este último se le llama **Sistema de Información** y convierte a la toma de decisiones en un proceso cuantitativo y por tanto de rápido apoyo a la gestión de un recurso específico.

-El apoyo de campo.-las técnicas de apoyo de campo se refieren a la inspección cualitativa y cuantitativa de lugares selectos del paisaje. Estas técnicas son resultado de los métodos de muestreo estadísticos y de medidas de propiedades físicas y químicas de los objetos que se encuentran en la escena. Es claro que no es posible ni tiene sentido hacer una evaluación exhaustiva de todos los objetos que se presentan en éstas, ya que resultaría costoso y consumiría gran cantidad de tiempo, dejaría de lado a la teledetección, es decir, ya no tendría razón de ser la observación a distancia desde una plataforma particular. Sin embargo, la observación directa de ciertos puntos de la escena es necesaria para la correcta validación de las observaciones. Esto es así porque las medidas hechas por un sensor remoto son en general relativas al sensor mismo, a la metodología usada y pueden estar distorsionados por una gran variedad de aspectos no controlables por el experimentador, tales

como interferencia atmosférica si se trata de una plataforma satelitaria. A partir los hechos mencionados hasta ahora se desprende la necesidad de seleccionar un conjunto adecuado de puntos de la escena que constituyan una representación realista del conjunto total que la componen, lo que se logra con bastante exactitud por medio de técnicas de muestreo estadístico, que son las que proporcionan los criterios pertinentes para hacerlo. Una vez seleccionado un número adecuado de puntos y habiendo determinado sus posiciones respectivas se pasa a localizar los objetos que se encuentran sobre dichos puntos. Hecho esto, se puede medir directamente una serie de propiedades de los objetos en cuestión. Desde luego, habrá ocasiones en las que el apoyo de campo no es posible o es demasiado costoso, en cuya situación las inferencias que se hagan sobre la escena y el paisaje tendrán que ser indirectas. Este es el caso, de regiones de difícil acceso en el planeta o de cuerpos celestes muy alejados.

CAPITULO II

SISTEMA RADARSAT

2.1.-Introducción

El sistema RADARSAT (Fig. 2.1) lleva un instrumento, una antena SAR multimodo con polarización HH usando la banda C. Es capaz de producir imágenes con un ancho de barrido o campo de vista total que va de los 35 a 500 Km., y con una resolución asociada de 10 metros (una vista) a 100m (8 vistas). El rango de ángulos de incidencia va entre (menor que) 20° a (mayor que) 50° . El vehículo espacial está siendo diseñado para un tiempo de vida de 5 años, el cual será lanzado para Diciembre de 1994 por NASA. El tiempo de funcionamiento (On time) nominal del SAR está encima a los 28 min. por órbita la cual puede consistir por encima de siete tomas de datos individualmente. La órbita está planeada para 800Km nominal, sincrónica con el sol (sun synchronous dawn-dusk orbit) y 24 días para repetición del ciclo, con un sub-ciclo de 3 días (reobservación). El SAR mira al polo norte, pero el satélite puede ser girado temporalmente a través de 180° para cortas porciones de la misión así como para obtener imágenes de la Antártida. Con los tapes recorder a bordo, las imágenes SAR de banda C del globo entero pueden ser

agregados por RADARSAT. El down-link es banda X, de 100 Mhz de BW.

RADARSAT está diseñado como un sistema extremo-a-extremo con usuarios funcionales en consideración. Para datos perecederos, tales como el necesitado para navegación en el hielo del Artico, los provenientes del SAR seran acumulados, retransmitidos al centro de procesamientos, retratado, fusionado con datos auxiliares (tal como la batimetría)

Los costos de las imágenes de radar están planeadas para ser competitivos con los otros productos de teledetección disponibles de otros sistemas de satélite de Percepción Remota, como indicaremos en el Capítulo V.

2.2.-Misión del Radarsat

El objetivo de la misión original del RADARSAT fue basada primordialmente por información sobre requerimientos nacionales canadienses para dar soporte doméstico en mantenimiento de recursos y monitoreo del ambiente. Estudios en Canadá han mostrado que una imagen del sistema satelital de radar estaría sólo en la aceptable tecnología de sensor para la confiable y oportuna información para Canadá, frecuentemente sobre nubes cubiertas o en la noche antártica (6 meses aprox como máximo en zona polar.).

Los datos de radar deberían proveer datos fuente complementarios para disponer posteriormente de datos de procedencia óptica. Aplicaciones de importancia para Canadá incluye hielo y regiones norteañas, agricultura, forestal, recursos geológicos, oceanos e hielos flotantes, zonas costeras, y soberanía Artica.

Canadá reconoce la gran importancia de este sistema al nivel global. Cobertura de áreas ambientales muy extendidas (tal como el hielo del Polo Norte como el del Sur), los bosques de la Tierra particularmente en los trópicos, formas oceánicas a gran escala, y expansiones desérticas) representa un importante significado del uso de datos de satélite de radar. Mientras la banda C del SAR no es necesariamente el instrumento ideal para todas tales aplicaciones. tiene la virtud que puede penetrar a zonas cubiertas de nubes, niebla, smoke, y oscuridad, así que permite realizar observaciones en todas las estaciones, y en las peores condiciones ópticas. La información resultante sería útil en cualquier sistema de información diseñado para monitorear estos regímenes ambientales, y es una fuente de datos potencial para estudiar el cambio global.

El campo de vista total (CIVT) de la imagen y la órbita del satélite han sido escogidos para satisfacer ambos requerimientos de cobertura nacional -canadiense- y global. Usando el barrido de 500 Km, RADARSAT podría proveer diariamente imágenes de la región polar por

Los datos de radar deberían proveer datos fuente complementarios para disponer posteriormente de datos de procedencia óptica. Aplicaciones de importancia para Canadá incluye hielo y regiones norteadas, agricultura, forestal, recursos geológicos, oceanos e hielos flotantes, zonas costeras, y soberanía Artica.

Canadá reconoce la gran importancia de este sistema al nivel global. Cobertura de áreas ambientales muy extendidas (tal como el hielo del Polo Norte como el del Sur), los bosques de la Tierra particularmente en los trópicos, formas oceánicas a gran escala, y expansiones desérticas) representa un importante significado del uso de datos de satélite de radar. Mientras la banda C del SAR no es necesariamente el instrumento ideal para todas tales aplicaciones. tiene la virtud que puede penetrar a zonas cubiertas de nubes, niebla, smoke, y oscuridad, así que permite realizar observaciones en todas las estaciones, y en las peores condiciones ópticas. La información resultante sería útil en cualquier sistema de información diseñado para monitorear estos regímenes ambientales, y es una fuente de datos potencial para estudiar el cambio global.

El campo de vista total (CIVT) de la imagen y la órbita del satélite han sido escogidos para satisfacer ambos requerimientos de cobertura nacional -canadiense- y global. Usando el barrido de 500 Km, RADARSAT podría proveer diariamente imágenes de la región polar por

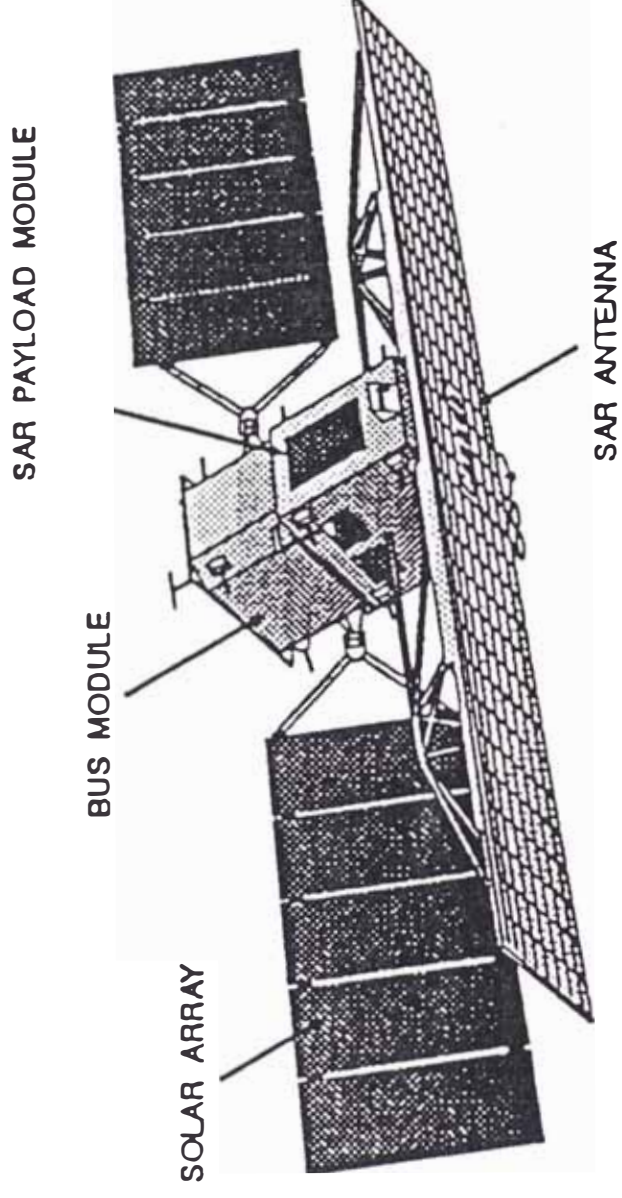
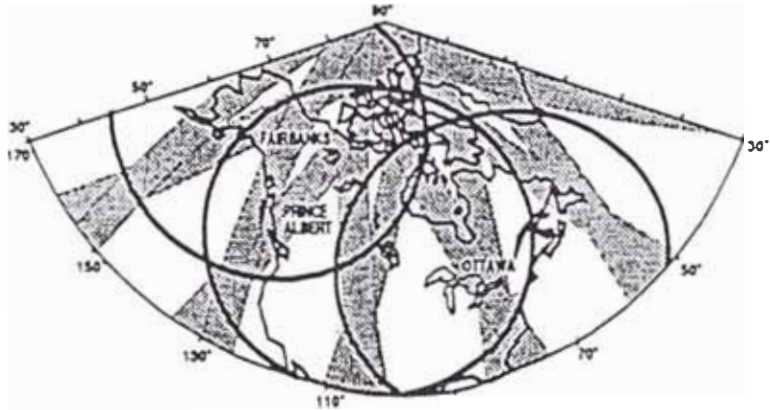
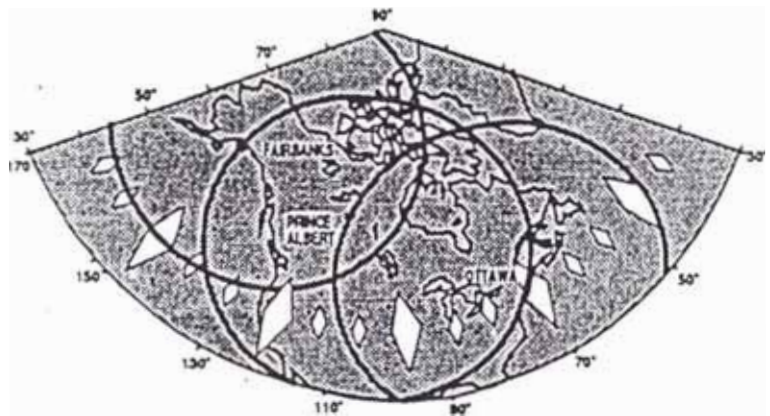


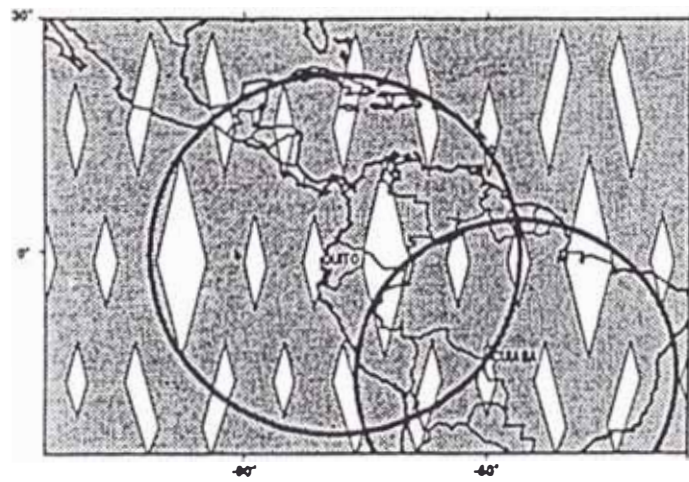
Fig. 2.1 RADARSAT in Imaging Configuration.



a) RADARSAT 1 Day Coverage



b) RADARSAT 3 Day Coverage



c) RADARSAT 3 Day Coverage, Equatorial

Fig. 2.2 Sample Coverage Available from RADARSAT.

encima de los 79° latitud norte (Fig. 2.2). Con en monitoreo del haz, cualquier punto en latitudes canadienses pueden ser observados en el espacio de los tres días. Sustancialmente la cobertura completa es disponible al ecuador después de sólo cuatro días usando el barrido de 500 Km., aunque la órbita repetitiva el período es de 24 días.

Para un sensoramiento de satélite de radar, la iluminación solar del vehículo es más importante que una escena iluminada solarmente; RADARSAT usara la órbita downdusk sincrónica con el sol (ver Tabla 2.1)

TABLA 2.1
PARAMETROS ORBITALES

Altitud (local)	793-821 Km
Inclinación	98.6°
Nodo Ascendente	1800 horas
Período	101 min.
Ciclo Repetitivo	24 días
Sub-ciclos	7 y 17 días
Reobservación	3+ días

Tal vez la más grande ventaja funcional de esta órbita es que el SAR puede ser completamente dependiente del sol antes que la batería de poder del satélite, la cual significa que no hay límite de distinción entre pasos ascendentes o descendentes de un punto de aplicación de vista. Otra ventaja funcional es que el período de los datos del downlink a la estación terrena para RADARSAT no

producirá conflicto con otros sistemas satelitales de percepción remota la mayor parte de la cual usa el intervalo de órbita cercano al mediodía.

La configuración nominal del satélite tiene la antena SAR apuntando al norte, proveyendo por ejemplo la cobertura Artica. Sin embargo, durante los dos primeros años de la misión, el satélite será rotado 180° alrededor de su eje de desviación (por la rotación) así como dirigir al haz de la antena de radar al sur. Cualquier semejanza de maniobra (*manoeuvre*) de deriva es prevista para ser mantenida por dos semanas. El propósito de esta maniobra es para obtener un mapa completo SAR de la Antártida a los tiempos de la mínima y máxima cubierta de hielo. Esta característica es en respuesta a requerimientos científicos sobre RADARSAT como los expresados por NASA.

RADARSAT llevará tape recorders con suficiente capacidad por más de 10 minutos de alta calidad de datos SAR. Gracias a la órbita *manoeuvre* de deriva y los recorders, RADARSAT será el primer sistema satelital capaz de hacer cubrimientos global totales.

Los productos de imágenes de RADARSAT pueden ser agrupados en tres clases **Georeferenciados**, **Geocodificados** y **Especiales** generalmente disponibles como hardcopy (fotografías) y como archivos digitales. Los productos **georeferenciados**, osea las imágenes standard, incluye corrección geométrica sistemática con respecto a la línea

de Tierra de la nave basado sobre datos del satélite. Los productos **geocodificados** son remuestreados y rotados para conformar un mapa de proyección standard. La corrección de puntos de Tierra y correcciones por elevaciones de terreno serán incluidos, si dispusieran para la escena en cuestión. Los productos **especiales** incluyen datos de señales no procesadas, simple vista (resolución completa) real o files de imágenes complejas, y análisis de referencias de calibración externas.

El proceso de datos extensivos es requerido para formar imágenes de radar de los datos entregados por el satélite. Procesando por RADARSAT, siendo funcional y tiene varios modos, presenta su propio conjunto de procesadores. En una fase inicial del programa, un procesador de demostración fue desarrollado para verificar la posibilidad de mantener la velocidad de proceso y calidad de consistencia con los requerimientos de RADARSAT. este procesador está siendo utilizado en Canadá por la Estación Terrena de ERS-1.

El requerimiento de proceso principal es para producir imagen de alta calidad en tiempo real. Los datos serán enviados por enlace via satélite a la Central procesando con facilidad a 1/4 de la velocidad real. Así que el proceso de la imagen tendrá una velocidad de entrada efectiva alrededor de los 25Mb/s.

Canadá es responsable por el diseño y la integración de todos los sistemas, por la construcción del radar, para la provisión de la plataforma de satélite, para el control y operación del satélite en órbita y por la operación de la recepción de los datos en estaciones terrenas en Prince Albert, Saskatchewan y Gatineau, en Quebec.

La NASA proveerá de los servicios de lanzamiento y operar una estación de recepción en Fairbanks, Alaska. El NOAA facilitará la participación del sector privado americano en la distribución de la data.

2.3.-Carga útil de la antena SAR

RADARSAT ha sido diseñado en respuesta a requerimientos del usuario que demandan una variedad de ángulos de incidencia (alrededor de los 20° a los 50°) en los modos de representación standard. Una antena con el mecanismo de gobierno de haz electrónico es parte de diseño de la línea de base del RADARSAT. A fin de proveer una (nominalmente) constante de rangos de resolución horizontal por encima del rango de los ángulos de incidencia, tres diferentes anchos de banda de pulso son necesarios. También va en compañía de un muy fino control de la transmisión de la frecuencia de repetición de pulso requerido. Las características del radar están como se muestran la Tabla 2.2.

TABLA 2.2
PARAMETROS DEL SISTEMA DE RADAR

Frecuencia	5.3 Ghz
Longitud de onda	5.6 cm
Polarización	Horizontal
Anchos de Banda de Pulso	11.6, 17.3 o 30.0 Mhz
Longitud de Pulso	42.0 μ sec.
Frecuencia de Repetición de Pulso (PRF)	1270 - 1390 Hz (con pasos de 2 Hz)
Potencia Pico	5 Kw
Potencia Promedio	300 W (Nominal)
Máximo On Time	28 min por órbita
Tamaño de antena	15 x 1.5 m
Pointing	<0.2°
Haces en RAM	20
Masa de la nave	2750 Kg
Potencia de la nave	2500 W
Control de Altitud	Aprox. 0.05°
Arreglo solar	3.4 Kw

Teniendo construído en la flexibilidad (y complejidad) para soportar mapas standard a una variedad de ángulos de incidencia, varios modos especializados siendo disponibles a más bien un costo marginal. La filosofía de diseño para estos modos extras ha estado para basar las especificaciones del sistema sobre los modos de mapeo standard, y para optimizar los modos adicionales con los resultados apremiantes. La imagen resultante es considerada a ser aceptable.

El tiempo de operación de radar es apremiado primordialmente por el sistema de potencia de la nave y la respuesta térmica de la transmisión de alta potencia. El On Time continuo típico del radar es alineado a 10-15 minutos por órbita fuera de los 28 minutos máximo cuando

está en orientación normal (Artica), y 15 min es el máximo cuando está en orientación Antártica. El mínimo On Time es de 3 min. Arriba a 7 ciclos on/off están disponibles por órbita. EL On Time no es dependiente de los modos de imagen, la cual puede ser cambiado en cualquier tiempo en la órbita.

Los modos de imagen para RADARSAT incluye el Standard, Wide Swath (Barrido Ancho), Fine Resolution (Resolución Fina), Extended (Extendido) y ScanSAR (Barredor SAR). Las principales características de estos modos están dados en la TABLA 2.3.

TABLA 2.3
MODOS DE IMAGEN

Modo	Resolución (R x A, m)	Vistas	Ancho (Km)	Incidencia (Grados °)
Standard	25x28	4	100	20-49
Wide (1)	48-30x28	4	165	20-31
Wide (2)	32-25x28	4	150	31-39
Fine Resolution	11-9x9	1	45	37-48
ScanSAR (N)	50x50	2-4	305	20-40
ScanSAR (W)	100x100	4-8	510	20-49
Extended (H)	22-19x28	4	75	50-60
Extended (L)	63-28x28	4	170	10-23

R: de Rango o de distancia o de Alcance

A: Azimutal

N: Narrow

W: Wide

H: High

L: Low

La longitud de imagen, las dimensiones paralelas a la pista sub-satelital, es limitada sólo por la duración de

operación continua de radar, y puede ser miles de kilómetros de largo. Los anchos de imagen y posiciones son determinadas por los patrones de elevación, han sido escogidos para los modos standard así que hay al menos 10% de traslape entre barridos adyacentes. La resolución en distancia tan pronto proyectado sobre la superficie de la Tierra varía con el rango, y ha sido especificado por los haces standard para rangos de tierra de 400 y 675 Km del locus sub-satelital

La geometría del RADARSAT en modos de operación se muestran en la figura 2.3. La calidad típica de imagen de un modo de representación standard está resumido en la Tabla 2.4.

Para este caso la nomenclatura lo mantenemos como sigue:

TABLA 2.4
PARAMETROS DE CALIDAD DE IMAGEN

Noise equivalent σ_0 (diseño)	<-23	dB
(beam edge, with margins)	<-18.5	dB
Total signal dependant noise ratio	<-10	dB
Azimuth ambiguity ratio	<-22	dB
Range ambiguity ratio	<-22	dB
Peak sidelobe ratio	<-20	dB
Global dynamic range	> 30	dB
Relative radiometric accuracy		
w/in 100 Km x 100 Km scene	< 1	dB
w/in one orbit	< 1.5	dB
w/in 3 days	< 2	dB
satellite lifetime	< 3	dB
Absolute scene location ¹	< 1500	m
Geometric distorsion ²		
w/in 100 Km x 100 Km scene	< 40	m

¹ Como especificado; mejor precisión esperada.

² Excluyendo efectos de terreno.

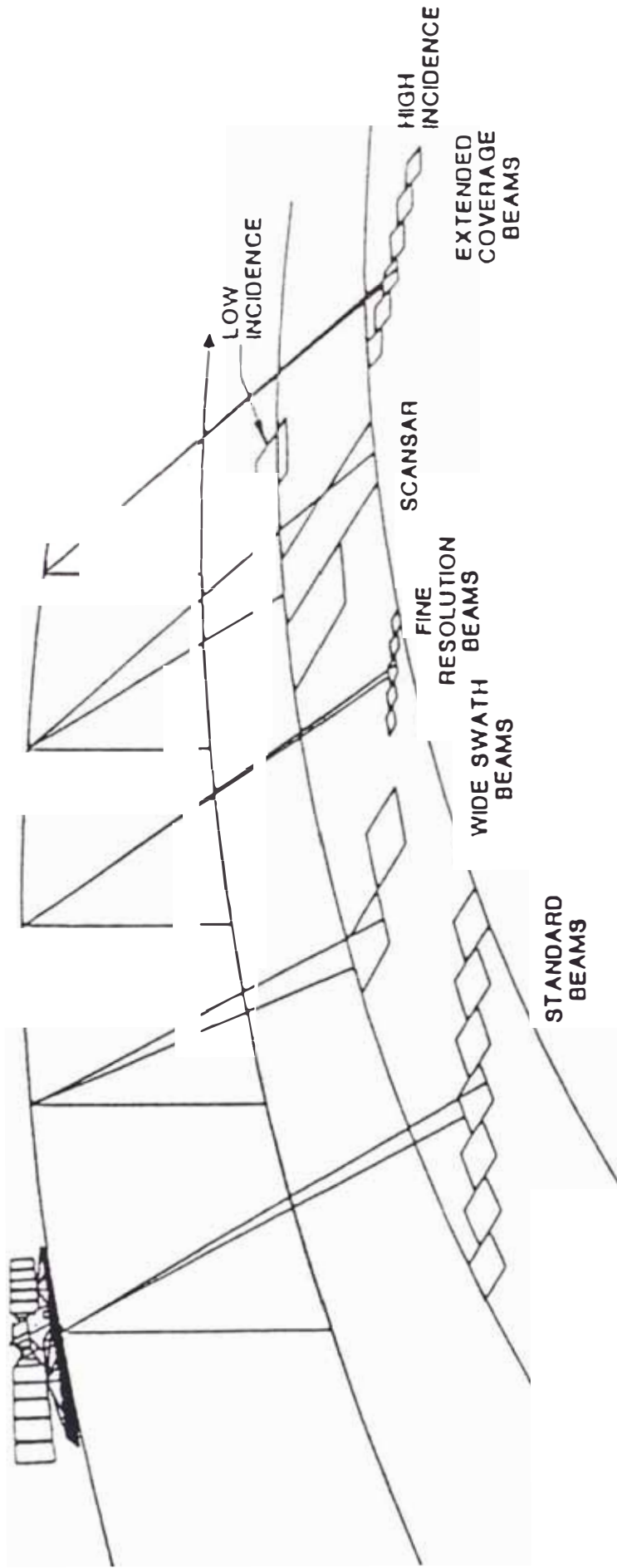


Fig. 2.3 Geometry of RADARSAT Imaging Modes.

Las señales de telemetría incluyen tres sistemas (para redundancia), alguno por la cual pueden ser usados para operaciones de downlink, una para datos en tiempo real, y una para grabación de datos. Las señales de telemetría y parámetros del sistema están listadas en la Tabla 2.5.

TABLA 2.5
PARAMETROS DE SEÑALES DE TELEMETRIA

Frecuencias portadoras	8.245 Ghz, 8.370 Ghz
Número de canales	2
Modulación	QPSK
Cuantización de señal	4 bits (I & Q)
Capacidad de registro de señal	> 10 min /carga
Velocidad de datos	105 MBPS (R/T) 85 MBPS (Registrado)
Potencia de RF	22 Vatios por canal
Tasa de error de bit	10^{-5}
Estación Terrena (G/T)	31.9° dB/K°
Ancho de banda de la antena S/C	124°

Los sub-sistemas de Telemetría es muy similar a la que usa la misión ERS-1 la cual Canadá es un asociado contribuyente.

La forma standard de imagen que el sistema SAR de RADARSAT es requerida para proporcionar coberturas a un barrido de 100 Km posicionado dentro de una "región accesible" de por encima de los 500 Km, ligando un rango de ángulos de incidencia a la superficie de la Tierra de los 20° cercanamente a los 50°. Para lograr este ancho de barrido a los ángulos de incidencia mas largos es necesario operar con unos pulsos de repetición de

frecuencia (PRF) más bajos que los que usan sistemas satelitales previos. Este, en utilidad manda el uso de una antena más larga así como para proveer el ancho de haz azimutal de 0.2° (nominal) el cual es necesitado para anular problemas de ambigüedad azimutal.

La antena tiene por esto que ser capaz de proveer una variedad de diferentes anchos de haz de elevación, también como variables direcciones de haz. El resultado del arreglo de $15 \times 1.5\text{m}$ es alrededor del 50% en cada dimensión que la antena del ERS-1.

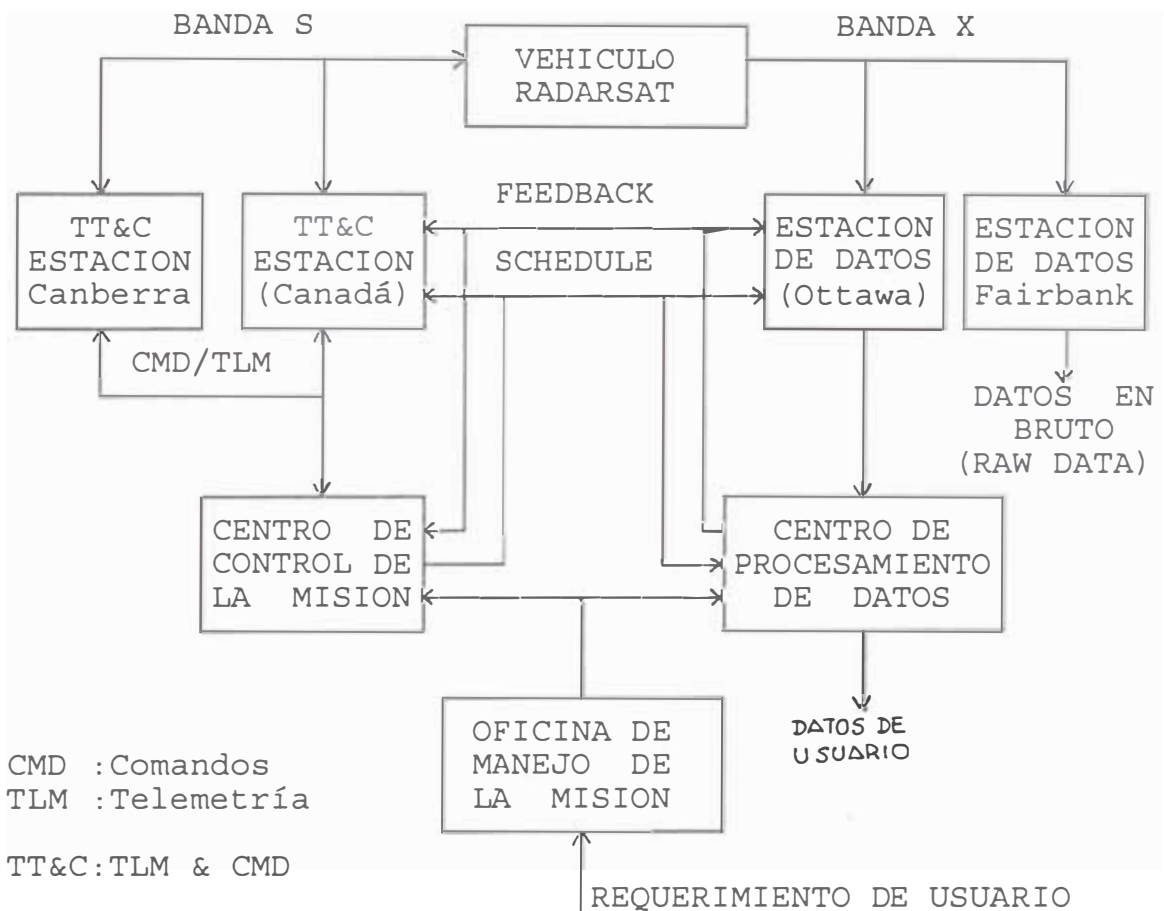
Para permitir representar un barrido mas ancho, el sistema RADARSAT ha sido diseñado para incorporar una alternativa y un modo menos convencional conocido como ScanSAR. En este modo, por la cual gobierna instantáneamente el patrón del haz de elevación de la antena, se puede obtener una cobertura extendida usando un conjunto de haces contiguos, permitiendo producir imágenes de barrido total por encima de los 500 Km.

Por otro lado, en cuanto a la generación de la alta potencia radiada necesaria por el radar, estos incluyen lo siguiente:

- Amplificadores de estado sólido distribuídos.
- Un Amplificador simple basado en Klystron, requiriendo el desarrollo de un nuevo tubo, pero dando salida de potencia más alta, y
- Un amplificador basado en TWT (Traveling Wave Tube)

El TWTA (Advanced) provee 300W de potencia de RF, como al opuesto a los 500W esperados del Klystron. Fue posible mantener la sensibilidad del radar, sin embargo, esta decisión fue acompañada por una reducción en la altura nominal de 1000 Km a 800 Km.

2.4.-Arquitectura del Sistema Radarsat



2.5.-Orbitas del Radarsat

2.5.1.-Generación de las órbitas

El RADARSAT posee 343 órbitas, la cual una manera práctica, aunque no es una regla general, se puede

obtener dividiendo el ciclo repetitivo del satélite T_{cr} (24 días) entre el número de órbitas, obteniendo su período orbital T_o según:

$$T_{cr} - 24 \text{ días.}$$

$$T_o - 24 \times 23\text{h } 56\text{m } 04\text{s} - 2067936\text{s} / 343 - \\ 100\text{m } 27.28863 \text{ seg.}$$

o

$$T_o - 24 \times 24\text{h } 00\text{m } 00\text{s} - 24 * 86400 / 343 \text{ (valor ajustado)} \\ 100\text{m } 45.48105 \text{ seg} \quad \text{día - 24 horas)} \\ 100.7580175 \text{ min.}$$

la cual este último valor de T_o es el que usaremos para la generación de la Tabla.

Parámetros que nos interesan para el cálculo de las órbitas del RADARSAT son:

- Período de la Tierra - 24h (ajustado)
- Radio de la Tierra - 6378.2 Km (Ecuatorial)
- 6367 Km (promedio)
- 6136.5 Km (polos)

En base a estos parámetros calculamos:

- w Tierra - $2\pi/T = 72.72205217 \times 10^{-6}$ rad/seg
- w Radarsat - $2\pi/T_o = 1.039319329 \times 10^{-3}$ rad/seg
- Diámetro Tierra - $2\pi \times R = 40074.155884424$ Km Ecuatorial
- 40005.04085 Km promedio
- 38556.76664 Km respecto al
- radio polar

Llamaremos D al diámetro de la Tierra -promedio-

-Cada grado ($^{\circ}$) latitud

constante, equivale a $- D/360^{\circ} - 111.1251135 \text{ Km}$

$$d/1^{\circ}G_{lat}$$

-Cada grado ($^{\circ}$) longitud

variable según la

latitud, equivale a $\sim 111.1251135 \times \cos(^{\circ}G_{lat}) \text{ Km}$

Incluso estas distancias por radio varían según el radio en ese punto, luego estos valores serán afectados por un factor

$$* (r/R_{prom})$$

donde r es el radio en el punto P_o .

-Mínima distancia entre órbitas no contiguas:

- $2\pi \times R/343 - 117.834 \text{ Km}$ (Ecuatorial)

- 116.632 Km (Promedio)

También obtenemos

-Recorrido de la Tierra superficial - 463.0213061 m/s

-Recorrido de la Tierra a T_o

con radio ecuatorial - $2804.022569 \text{ Km}/T_o$

-Recorr. ajustado a T_o de la Tierra

con el radio promedio - 2799.186532 Km

-Recorrido del RADARSAT superficial

con R ecuatorial - 6628.784082 m/s

-Recorrido del RADARSAT superficial

con R promedio - 6617.346166 m/s

-Recorrido del RADARSAT a 800 Km

del R promedio

- 7448.80163 m/s

Esto implica que cuando transcurre un período orbital T_0 la separación entre órbitas será de 2799.186 Km, esto es, **para la línea ecuatorial de referencia.**

Debemos tener en cuenta que esta separación de órbitas es siempre y cuando la tierra sólo **gire** a su **eje** de rotación; ahora bien esta separación está corregido, puesto que el planeta tiene otro movimiento que es de traslación, luego el valor de 2799.186532 Km es un valor final aproximado luego de una serie de correcciones en el posicionamiento del satélite, debido a fuerzas externas que afectan siempre a las órbitas del satélite.

A su vez aplicando la siguiente relación:

$$b = n \times a - m \times D$$

donde:

b Distancia del Satélite respecto al punto de referencia P_0 geográfica con referencia a la línea ecuatorial.

n - Número de órbita.

a - 2799.186532 Km.

m - Número de día de cobertura.

D - Diámetro de la Tierra

Y además definimos:

r - Referencia: + (al oeste de P_0)

- (al este de P_0)

d Distancia recorrida total del satélite a P_0 geográfico (en Km), en la cual sólo indicaremos algunos valores.

Obtenemos la siguiente Tabla 2.6 aproximada de órbitas del satélite con respecto a la línea ecuatorial, pero haciendo la salvedad de que sólo se indicarán valores más cercanos a P_0 .

TABLA 2.6
LISTA DE ORBITAS CON LA MINIMA DISTANCIA A P_0

n	d	b	r	m
000	0.0	0.0	+	01
001	2799.18653	2799.18653	+	01
014	39188.61145	- 816.42940		01
015	41987.79798	1982.75712	+	02
028	78377.22290	-1632.85881		02
029	81176.40943	1166.32772	+	03
042	117565.8343	-2449.28821		03
043	120365.0209	349.89831	+	04
057	159553.6323	- 466.53108		04
058	162352.8189	2332.65544	+	05
071		-1282.96049		05
072		1516.22603	+	06
085		-2099.38990		06
086		699.79663	+	07
100		- 116.63277		07
101		2682.55376	+	08
114		- 933.06217		08
115		1866.12435	+	09
128		-1749.49158		09
129		1049.69495	+	10
142		-2565.92098		10

TABLA 2.6 (continuación)
LISTA DE ORBITAS CON LA MINIMA DISTANCIA A P₀

n	d	b	r	m
143		233.26554	+	11
157		- 583.16386		11
158		2216.02267	+	12
172		-1399.59326		12
173		1399.59326	+	13
185		-2216.02267		13
186		583.16386	+	14
200		- 233.26554		14
201		2565.92098	+	15
214		-1049.69495		15
215		1749.49158	+	16
228		-1866.12435		16
229		933.06217	+	17
242		-2682.55376		17
243		116.63277	+	18
257		- 699.79663		18
258		2099.38990	+	19
271		-1516.22639		19
272		1282.96049	+	20
285		-2332.65544		20
286		466.53108	+	21
300		- 349.89831		21
301		2449.28821	+	22
314		-1166.32772		22
315		1632.85881	+	23
328		-1982.75712		23
329		816.42940	+	24
342		-2799.18653		24
343 - 000		0.0	+	25
344 - 001				

Como podemos observar de esta Tabla 2.6, todos los valores **b** son múltiplos de 116.632 Km, cuya diferencia de órbitas responden a:

$$d_{0-100} = -117.632 \text{ Km (al este de Po)}$$

$$d_{243-0} = 117.632 \text{ Km (al oeste de Po)}$$

Las reobservaciones para la zona ecuatorial son al 7° y al 17° día de cobertura.

Si nosotros quisiéramos saber cuánto demorará el satélite en posicionarse en una zona particular ecuatorial, primero debemos observar la siguiente Tabla.

n = Número de órbita.

$d+$ - Distancia al punto P_0 -referencia ecuatorial satelital- al oeste de P_0 (en Km).

t - Tiempo Transcurrido - $n \times T_{CR}$ (dd/hh/mm/ss.dc).

$d-$ - Distancia al punto P_0 -referencia ecuatorial satelital- al este de $P_0 = D - d+$ (en Km).

D - Diámetro de la Tierra.



TABLA 2.7

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A $d+$

n	$d+$	$d-$	t
000	0.0	0.0	00d00h00m00.00s
243	116.63277	-39888.40809	17d00h04m11.90s
143	233.26554	-39771.77532	10d00h08m23.79s
043	349.89831	-39655.14255	03d00h12m35.69s
286	466.53108	-39538.50978	20d00h16m47.58s
186	583.16386	-39421.87700	13d00h20m59.48s
086	699.79663	-39305.24423	06d00h25m11.37s
329	816.42940	-39188.61146	23d00h29m23.27s
229	933.06217	-39071.97869	16d00h33m35.16s
129	1049.69495	-38955.34591	09d00h37m47.06s
029	1166.32772	-38838.71314	02d00h41m58.95s
272	1282.96049	-38722.08037	19d00h46m10.85s
172	1399.59326	-38605.44760	12d00h50m22.74s
072	1516.22603	-38488.81483	05d00h54m34.64s
315	1632.85881	-38372.18205	22d00h58m46.53s
215	1749.49158	-38255.54928	15d01h02m58.43s
115	1866.12435	-38138.91651	08d01h07m10.32s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
015	1982.75712	-38022.28374	01d01h11m22.22s
258	2099.38990	-37905.65097	18d01h15m34.11s
158	2216.02267	-37789.01819	11d01h19m46.01s
058	2332.65544	-37672.38542	04d01h23m57.90s
301	2449.28821	-37555.75265	21d01h28m09.80s
201	2565.92098	-37439.11988	14d01h32m21.69s
101	2682.55376	-37322.48710	07d01h36m33.59s
001	2799.18653	-37205.85433	00d01h40m45.48s
244	2915.81930	-37089.22156	17d01h44m57.38s
144	3032.45207	-36972.58879	10d01h49m09.27s
044	3149.08484	-36855.95602	03d01h53m21.17s
287	3265.71762	-36739.32324	20d01h57m33.06s
187	3382.35039	-36622.69047	13d02h01m44.96s
087	3498.98316	-36506.05770	06d02h05m56.85s
330	3615.61593	-36389.42493	23d02h10m08.75s
230	3732.24871	-36272.79215	16d02h14m20.64s
130	3848.88148	-36156.15938	09d02h18m32.54s
030	3965.51425	-36039.52661	02d02h22m44.43s
273	4082.14702	-35922.89384	19d02h26m56.33s
173	4198.77979	-35806.26107	12d02h31m08.22s
073	4315.41257	-35689.62829	05d02h35m20.12s
316	4432.04534	-35572.99552	22d02h39m32.01s
216	4558.67811	-35456.36275	15d02h43m43.91s
116	4665.31088	-35339.72998	08d02h47m55.80s
016	4781.94366	-35223.09720	01d02h52m07.70s
259	4898.57643	-35106.46443	18d02h56m19.59s
159	5015.20920	-34989.83166	11d03h00m31.49s
059	5131.84197	-34873.19889	04d03h04m43.38s
302	5248.47474	-34756.56612	21d03h08m55.28s
202	5365.10752	-34639.93334	14d03h13m07.17s
102	5481.74029	-34523.30057	07d03h17m19.07s
002	5598.37306	-34406.66780	00d03h21m30.96s
245	5715.00583	-34290.03503	17d03h25m42.86s
145	5831.63861	-34173.40125	10d03h29m54.75s
045	5948.27138	-34056.76948	03d03h34m06.65s
288	6064.90415	-33940.13671	20d03h38m18.54s
188	6181.53692	-33823.50394	13d03h42m30.44s
088	6298.16969	-33706.87117	06d03h46m42.33s
331	6414.80247	-33590.23839	23d03h50m54.23s
231	6531.43524	-33473.60562	16d03h55m06.12s
131	6648.06801	-33356.97285	09d03h59m18.02s
031	6764.70078	-33240.34008	02d04h03m29.91s
274	6881.33356	-33123.70730	19d04h07m41.81s
174	6997.96633	-33007.07453	12d04h11m53.70s
074	7114.59910	-32890.44176	05d04h16m05.60s
317	7231.23187	-32773.80899	22d04h20m17.49s
217	7347.86464	-32657.17622	15d04h24m29.39s
117	7464.49742	-32540.54344	08d04h28m41.28s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
017	7581.13091	-32423.91067	01d04h32m53.18s
260	7697.76296	-32307.27790	18d04h37m05.07s
160	7814.39573	-32190.64513	11d04h41m16.97s
060	7931.02851	-32074.01236	04d04h45m28.86s
303	8047.66128	-31957.37958	21d04h49m40.76s
203	8164.29405	-31840.74681	14d04h53m52.65s
103	8280.92682	-31724.11404	07d04h58m04.55s
003	8397.55959	-31607.48127	00d05h02m16.44s
246	8514.19237	-31490.84849	17d05h06m28.34s
146	8630.82514	-31374.25172	10d05h10m40.23s
046	8747.45791	-31257.58295	03d05h14m52.13s
289	8864.09068	-31140.95018	20d05h19m04.02s
189	8980.72345	-31124.31741	13d05h23m15.92s
089	9097.35623	-30907.68463	06d05h27m27.81s
332	9213.98900	-30791.05186	23d05h31m39.71s
232	9330.62177	-30674.41909	16d05h35m51.60s
132	9447.25454	-30557.78632	09d05h40m03.50s
032	9563.88732	-30441.15354	02d05h44m15.39s
275	9680.52009	-30324.52077	19d05h48m27.29s
175	9797.15286	-30207.88800	12d05h52m39.18s
075	9913.78563	-30091.25523	05d05h56m51.08s
318	10030.41841	-29974.62246	22d06h01m02.97s
218	10147.05118	-29857.98968	15d06h05m14.87s
118	10263.68395	-29741.35691	08d06h09m26.76s
018	10380.31673	-29624.72414	01d06h13m38.66s
261	10496.94950	-29508.09137	18d06h17m50.55s
161	10613.58227	-29391.45859	11d06h22m02.45s
061	10730.21504	-29274.82582	04d06h26m14.34s
304	10846.84781	-29158.19305	21d06h30m26.24s
204	10963.48059	-29041.56028	14d06h34m38.13s
104	11080.11336	-28924.92751	07d06h38m50.03s
004	11196.74613	-28808.29473	00d06h43m01.92s
247	11313.37890	-28691.66196	17d06h47m13.82s
147	11430.01168	-28575.02919	10d06h51m25.71s
047	11546.64445	-28458.39642	03d06h55m37.61s
290	11663.27722	-28341.76364	20d06h59m49.50s
190	11789.90999	-28225.13087	13d07h04m01.40s
090	11896.54276	-28108.49810	06d07h08m13.29s
333	12013.17554	-27991.86533	23d07h12m25.19s
233	12129.80831	-27875.23256	16d07h16m37.08s
133	12246.44108	-27758.59978	09d07h20m48.98s
033	12363.07385	-27641.96701	02d07h25m00.87s
276	12479.70663	-27525.33424	19d07h29m12.77s
176	12596.33940	-27408.70147	12d07h33m24.66s
076	12712.97217	-27292.06869	05d07h37m36.56s
319	12829.60494	-27175.43592	22d07h41m48.45s
219	12946.23771	-27058.80315	15d07h46m00.35s
119	13062.87049	-26942.17038	08d07h50m12.24s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
019	13179.50326	-26825.53761	01d07h54m24.14s
262	13296.13603	-26708.90483	18d07h58m36.04s
162	13412.76880	-26592.27206	11d08h02m47.93s
062	13529.40158	-26475.63929	04d08h06m59.83s
305	13646.03435	-26359.00652	21d08h11m11.72s
205	13762.66712	-26242.37375	14d08h15m23.62s
105	13879.29989	-26125.74097	07d08h19m35.51s
005	13995.93266	-26009.10820	00d08h23m47.41s
248	14112.56544	-25892.47543	17d08h27m59.30s
148	14229.19821	-25775.84266	10d08h32m11.20s
048	14345.83098	-25659.20988	03d08h36m23.09s
291	14462.46375	-25542.57711	20d08h40m34.99s
191	14579.09653	-25425.94434	13d08h44m46.88s
091	14695.72930	-25309.31157	06d08h48m58.78s
334	14812.36207	-25192.67880	23d08h53m10.67s
234	14928.99484	-25076.04602	16d08h57m22.57s
134	15045.62761	-24959.41325	09d09h01m34.46s
034	15162.26039	-24842.78048	02d09h05m46.36s
277	15278.89316	-24726.14771	19d09h09m58.25s
177	15395.52593	-24609.51493	12d09h14m10.15s
077	15512.15870	-24492.88216	05d09h18m22.04s
320	15628.79147	-24376.24939	22d09h22m33.94s
220	15745.42425	-24259.61662	15d09h26m45.83s
120	15862.05702	-24142.98385	08d09h30m57.73s
020	15978.68979	-24026.35107	01d09h35m09.62s
263	16095.32256	-23909.71830	18d09h39m21.52s
163	16211.95534	-23793.08553	11d09h43m33.41s
063	16328.58811	-23676.45276	04d09h47m45.31s
306	16445.22088	-23559.81998	21d09h51m57.20s
206	16561.85365	-23443.18721	14d09h56m09.10s
106	16678.48642	-23326.55444	07d10h00m20.99s
006	16795.11920	-23209.92167	00d10h04m32.89s
249	16911.75197	-23093.28890	17d10h08m44.78s
149	17028.38474	-22976.65612	10d10h12m56.68s
049	17145.01751	-22860.02335	03d10h17m08.57s
292	17261.65029	-22743.39058	20d10h21m20.47s
192	17378.28306	-22626.75781	13d10h25m32.36s
092	17494.91583	-22510.12503	06d10h29m44.26s
335	17611.54860	-22393.49226	23d10h33m56.15s
235	17728.18137	-22276.85949	16d10h38m08.05s
135	17844.81415	-22160.22672	09d10h42m19.94s
035	17961.44692	-22043.59395	02d10h46m31.84s
278	18078.07969	-21926.96117	19d10h50m43.73s
178	18194.71246	-21810.32840	12d10h54m55.63s
078	18311.34524	-21693.69563	05d10h59m07.52s
321	18427.97801	-21577.06286	22d11h03m19.42s
221	18544.61078	-21460.43008	15d11h07m31.31s
121	18661.24355	-21343.79731	08d11h11m43.21s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
021	18777.87632	-21227.16454	01d11h15m55.10s
264	18894.50910	-21110.53177	18d11h20m07.00s
164	19011.14187	-20993.89900	11d11h24m18.89s
064	19127.77464	-20877.26622	04d11h28m30.79s
307	19244.40741	-20760.63345	21d11h32m42.68s
207	19361.04019	-20644.00068	14d11h36m54.58s
107	19477.67296	-20527.36791	07d11h41m06.47s
007	19594.30573	-20410.73514	00d11h45m18.37s
250	19710.93850	-20294.10236	17d11h49m30.26s
150	19827.57127	-20177.46959	10d11h53m42.16s
050	19944.20405	-20060.83682	03d11h57m54.05s
293	20060.83682	-19944.20405	20d12h02m05.95s
193	20177.46959	-19827.57127	13d12h06m17.84s
093	20294.10236	-19710.93850	06d12h10m29.74s
336	20410.73514	-19594.30573	23d12h14m41.63s
236	20527.36791	-19477.67296	16d12h18m53.53s
136	20644.00068	-19361.04019	09d12h23m05.42s
036	20760.63345	-19244.40741	02d12h27m17.32s
279	20877.26622	-19127.77464	19d12h31m29.21s
179	20993.89900	-19011.14187	12d12h35m41.11s
079	21110.53177	-18894.50910	05d12h39m53.00s
322	21227.16454	-18777.87632	22d12h44m04.90s
222	21343.79731	-18661.24355	15d12h48m16.79s
122	21460.43008	-18544.61078	08d12h52m28.69s
022	21577.06286	-18427.97801	01d12h56m40.58s
265	21693.69563	-18311.34524	18d13h00m52.48s
165	21810.32840	-18194.71246	11d13h05m04.37s
065	21926.96117	-18078.07969	04d13h09m16.27s
308	22043.59395	-17961.44692	21d13h13m28.16s
208	22160.22672	-17844.81415	14d13h17m40.06s
108	22276.85949	-17728.18137	07d13h21m51.95s
008	22393.49226	-17611.54860	00d13h26m03.85s
251	22510.12503	-17494.91583	17d13h30m15.74s
151	22626.75781	-17378.28306	10d13h34m27.64s
051	22743.39058	-17261.65029	03d13h38m39.53s
294	22860.02335	-17145.01751	20d13h42m51.43s
194	22976.65612	-17028.38474	13d13h47m03.32s
094	23093.28890	-16911.75197	06d13h51m15.22s
337	23209.92167	-16795.11920	23d13h55m27.11s
237	23326.55444	-16678.48642	16d13h59m39.01s
137	23443.18721	-16561.85365	09d14h03m50.90s
037	23559.81998	-16445.22088	02d14h08m02.80s
280	23676.45276	-16328.58811	19d14h12m14.69s
180	23793.08553	-16211.95534	12d14h16m26.59s
080	23909.71830	-16095.32256	05d14h20m38.48s
323	24026.35107	-15978.68979	22d14h24m50.38s
223	24142.98385	-15862.05702	15d14h29m02.27s
123	24259.61662	-15745.42425	08d14h33m14.17s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
023	24376.24939	-15628.79147	01d14h37m26.06s
266	24492.88216	-15512.15870	18d14h41m37.96s
166	24609.51493	-15395.52593	11d14h45m49.85s
066	24726.14771	-15278.89316	04d14h50m01.75s
309	24842.78048	-15162.26039	21d14h54m13.64s
209	24959.41325	-15045.62761	14d14h58m25.54s
109	25076.04602	-14928.99484	07d15h02m37.43s
009	25192.67880	-14812.36207	00d15h06m49.33s
252	25309.31157	-14695.72930	17d15h11m01.22s
152	25425.94434	-14579.09653	10d15h15m13.12s
052	25542.57711	-14462.46375	03d15h19m25.01s
295	25659.20988	-14345.83098	20d15h23m36.91s
195	25775.84266	-14229.19821	13d15h27m48.80s
095	25892.47543	-14112.56544	06d15h32m00.70s
338	26009.10820	-13995.93266	23d15h36m12.59s
238	26125.74097	-13879.29989	16d15h40m24.49s
138	26242.37375	-13762.66712	09d15h44m36.38s
038	26359.00652	-13646.03435	02d15h48m48.28s
281	26475.63929	-13529.40158	19d15h53m00.18s
181	26592.27206	-13412.76880	12d15h57m12.07s
081	26708.90483	-13296.13603	05d16h01m23.97s
324	26825.53761	-13179.50326	22d16h05m35.86s
224	26942.17038	-13062.87049	15d16h09m47.76s
124	27058.80315	-12946.23771	08d16h13m59.65s
024	27175.43592	-12829.60494	01d16h18m11.55s
267	27292.06869	-12712.97217	18d16h22m23.44s
167	27408.70147	-12596.33940	11d16h26m35.34s
067	27525.33424	-12479.70663	04d16h30m47.23s
310	27641.96701	-12363.07385	21d16h34m59.13s
210	27758.59978	-12246.44108	14d16h39m11.02s
110	27875.23256	-12129.80831	07d16h43m22.92s
010	27991.86533	-12013.17554	00d16h47m34.81s
253	28108.49810	-11896.54276	17d16h51m46.71s
153	28225.13087	-11789.90999	10d16h55m58.60s
053	28341.76364	-11663.27722	03d17h00m10.50s
296	28458.39642	-11546.64445	20d17h04m22.39s
196	28575.02919	-11430.01168	13d17h08m34.29s
096	28691.66196	-11313.37890	06d17h12m46.18s
339	28808.29473	-11196.74613	23d17h16m58.08s
239	28924.92751	-11080.11336	16d17h21m09.97s
139	29041.56028	-10963.48059	09d17h25m21.87s
039	29158.19305	-10846.84781	02d17h29m33.76s
282	29274.82582	-10730.21504	19d17h33m45.66s
182	29391.45859	-10613.58227	12d17h37m57.55s
082	29508.09137	-10496.94950	05d17h42m09.45s
325	29624.72414	-10380.31673	22d17h46m21.34s
225	29741.35691	-10263.68395	15d17h50m33.24s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
125	29857.98968	-10147.05118	08d17h54m45.13s
025	29974.62246	-10030.41841	01d17h58m57.03s
268	30091.25523	9913.78563	18d18h03m08.92s
168	30207.88800	- 9797.15286	11d18h07m20.82s
068	30324.52077	- 9680.52009	04d18h11m32.71s
311	30441.15354	- 9563.88732	21d18h15m44.61s
211	30557.78632	- 9447.25454	14d18h19m56.50s
111	30674.41909	- 9330.62177	07d18h24m08.40s
011	30791.05186	- 9213.98900	00d18h28m20.29s
254	30907.68463	- 9097.35623	17d18h32m32.19s
154	31124.31741	- 8980.72345	10d18h36m44.08s
054	31140.95018	- 8864.09068	03d18h40m55.98s
297	31257.58295	- 8747.45791	20d18h45m07.87s
197	31374.25172	- 8630.82514	13d18h49m19.77s
097	31490.84849	- 8514.19237	06d18h53m31.66s
340	31607.48127	- 8397.55959	23d18h57m43.56s
240	31724.11404	- 8280.92682	16d19h01m55.45s
140	31840.74681	- 8164.29405	09d19h06m07.35s
040	31957.37958	- 8047.66128	02d19h10m19.24s
283	32074.01236	- 7931.02851	19d19h14m31.14s
183	32190.64513	- 7814.39573	12d19h18m43.03s
083	32307.27790	- 7697.76296	05d19h22m54.93s
326	32423.91067	- 7581.13091	22d19h27m06.82s
226	32540.54344	- 7464.49742	15d19h31m18.72s
126	32657.17622	- 7347.86464	08d19h35m30.61s
026	32773.80899	- 7231.23187	01d19h39m42.51s
269	32890.44176	- 7114.59910	18d19h43m54.40s
169	33007.07453	- 6997.96633	11d19h48m06.30s
069	33123.70730	- 6881.33356	04d19h52m18.19s
312	33240.34008	- 6764.70078	21d19h56m30.09s
212	33356.97285	- 6648.06801	14d20h00m41.98s
112	33473.60562	- 6531.43524	07d20h04m53.88s
012	33590.23839	- 6414.80247	00d20h09m05.77s
255	33706.87117	- 6298.16969	17d20h13m17.67s
155	33823.50394	- 6181.53692	10d20h17m29.56s
055	33940.13671	- 6064.90415	03d20h21m41.46s
298	34056.76948	- 5948.27138	20d20h25m53.35s
198	34173.40125	- 5831.63861	13d20h30m05.25s
098	34290.03503	- 5715.00583	06d20h34m17.14s
341	34406.66780	- 5598.37306	23d20h38m29.04s
241	34523.30057	- 5481.74029	16d20h42m40.93s
141	34639.93334	- 5365.10752	09d20h46m52.83s
041	34756.56612	- 5248.47474	02d20h51m04.72s
284	34873.19889	- 5131.84197	19d20h55m16.62s
184	34989.83166	- 5015.20920	12d20h59m28.51s
084	35106.46443	- 4898.57643	05d21h03m40.41s
327	35223.09720	- 4781.94366	22d21h07m52.30s
227	35339.72998	- 4665.31088	15d21h12m04.20s

TABLA 2.7 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT RESPECTO A d+

n	d+	d-	t
127	35456.36275	- 4558.67811	08d21h16m16.09s
027	35572.99552	- 4432.04534	01d21h20m27.99s
270	35689.62829	- 4315.41257	18d21h24m39.88s
170	35806.26107	- 4198.77979	11d21h28m51.78s
070	35922.89384	- 4082.14702	04d21h33m03.67s
313	36039.52661	- 3965.51425	21d21h37m15.57s
213	36156.15938	- 3848.88148	14d21h41m27.46s
113	36272.79215	- 3732.24871	07d21h45m39.36s
013	36389.42493	- 3615.61593	00d21h49m51.25s
256	36506.05770	- 3498.98316	17d21h54m03.15s
156	36622.69047	- 3382.35039	10d21h58m15.04s
056	36739.32324	- 3265.71762	03d22h02m26.94s
299	36855.95602	- 3149.08484	20d22h06m38.83s
199	36972.58879	- 3032.45207	13d22h10m50.73s
099	37089.22156	- 2915.81930	06d22h15m02.62s
342	37205.85433	- 2799.18653	23d22h19m14.52s
242	37322.48710	- 2682.55376	16d22h23m26.41s
142	37439.11988	- 2565.92098	09d22h27m38.31s
042	37555.75265	- 2449.28821	02d22h31m50.20s
285	37672.38542	- 2332.65544	19d22h36m02.10s
185	37789.01819	- 2216.02267	12d22h40m13.99s
085	37905.65097	- 2099.38990	05d22h44m25.89s
328	38022.28374	- 1982.75712	22d22h48m37.78s
228	38138.91651	- 1866.12435	15d22h52m49.68s
128	38255.54928	- 1749.49158	08d22h57m01.57s
028	38372.18205	- 1632.85881	01d23h01m13.47s
271	38488.81483	- 1516.22603	18d23h05m25.36s
171	38605.44760	- 1399.59326	11d23h09m37.26s
071	38722.08037	- 1282.96049	04d23h13m49.15s
314	38838.71314	- 1166.32772	21d23h18m01.05s
214	38955.34591	- 1049.69495	14d23h22m12.94s
114	39071.97869	933.06217	07d23h26m24.84s
014	39188.61146	816.42940	00d23h30m36.73s
257	39305.24423	699.79663	17d23h34m48.63s
157	39421.87700	583.16386	10d23h39m00.52s
057	39538.50978	466.53108	03d23h43m12.42s
300	39655.14255	349.89831	20d23h47m24.31s
200	39771.77532	233.26554	13d23h51m36.21s
100	39888.40809	116.63277	06d23h55m48.10s
000	40005.04085	0.0	24d00h00m00.00s

Nota: La órbita 000=343

La Tabla 2.8, que viene a continuación es similar a la anterior pero con respecto al orden de órbita n.

TABLA 2.8

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
000	0.0	0.0	00d00h00m00.00s
001	2799.18653	-37205.85433	00d01h40m45.48s
002	5598.37306	-34406.66780	00d03h21m30.96s
003	8397.55959	-31607.48127	00d05h02m16.44s
004	11196.74613	-28808.29473	00d06h43m01.92s
005	13995.93266	-26009.10820	00d08h23m47.41s
006	16795.11920	-23209.92167	00d10h04m32.89s
007	19594.30573	-20410.73514	00d11h45m18.37s
008	22393.49226	-17611.54860	00d13h26m03.85s
009	25192.67880	-14812.36207	00d15h06m49.33s
010	27991.86533	-12013.17554	00d16h47m34.81s
011	30791.05186	- 9213.98900	00d18h28m20.29s
012	33590.23839	- 6414.80247	00d20h09m05.77s
013	36389.42493	- 3615.61593	00d21h49m51.25s
014	39188.61146	816.42940	00d23h30m36.73s
015	1982.75712	-38022.28374	01d01h11m22.22s
016	4781.94366	-35223.09720	01d02h52m07.70s
017	7581.13091	-32423.91067	01d04h32m53.18s
018	10380.31673	-29624.72414	01d06h13m38.66s
019	13179.50326	-26825.53761	01d07h54m24.14s
020	15978.68979	-24026.35107	01d09h35m09.62s
021	18777.87632	-21227.16454	01d11h15m55.10s
022	21577.06286	-18427.97801	01d12h56m40.58s
023	24376.24939	-15628.79147	01d14h37m26.06s
024	27175.43592	-12829.60494	01d16h18m11.55s
025	29974.62246	-10030.41841	01d17h58m57.03s
026	32773.80899	- 7231.23187	01d19h39m42.51s
027	35572.99552	- 4432.04534	01d21h20m27.99s
028	38372.18205	- 1632.85881	01d23h01m13.47s
029	1166.32772	-38838.71314	02d00h41m58.95s
030	3965.51425	-36039.52661	02d02h22m44.43s
031	6764.70078	-33240.34008	02d04h03m29.91s
032	9563.88732	-30441.15354	02d05h44m15.39s
033	12363.07385	-27641.96701	02d07h25m00.87s
034	15162.26039	-24842.78048	02d09h05m46.36s
035	17961.44692	-22043.59395	02d10h46m31.84s
036	20760.63345	-19244.40741	02d12h27m17.32s
037	23559.81998	-16445.22088	02d14h08m02.80s
038	26359.00652	-13646.03435	02d15h48m48.28s
039	29158.19305	-10846.84781	02d17h29m33.76s
040	31957.37958	- 8047.66128	02d19h10m19.24s
041	34756.56612	- 5248.47474	02d20h51m04.72s
042	37555.75265	- 2449.28821	02d22h31m50.20s
043	349.89831	-39655.14255	03d00h12m35.69s
044	3149.08484	-36855.95602	03d01h53m21.17s
045	5948.27138	-34056.76948	03d03h34m06.65s
046	8747.45791	-31257.58295	03d05h14m52.13s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
047	11546.64445	-28458.39642	03d06h55m37.61s
048	14345.83098	-25659.20988	03d08h36m23.09s
049	17145.01751	-22860.02335	03d10h17m08.57s
050	19944.20405	-20060.83682	03d11h57m54.05s
051	22743.39058	-17261.65029	03d13h38m39.53s
052	25542.57711	-14462.46375	03d15h19m25.01s
053	28341.76364	-11663.27722	03d17h00m10.50s
054	31140.95018	- 8864.09068	03d18h40m55.98s
055	33940.13671	- 6064.90415	03d20h21m41.46s
056	36739.32324	- 3265.71762	03d22h02m26.94s
057	39538.50978	466.53108	03d23h43m12.42s
058	2332.65544	-37672.38542	04d01h23m57.90s
059	5131.84197	-34873.19889	04d03h04m43.38s
060	7931.02851	-32074.01236	04d04h45m28.86s
061	10730.21504	-29274.82582	04d06h26m14.34s
062	13529.40158	-26475.63929	04d08h06m59.83s
063	16328.58811	-23676.45276	04d09h47m45.31s
064	19127.77464	-20877.26622	04d11h28m30.79s
065	21926.96117	-18078.07969	04d13h09m16.27s
066	24726.14771	-15278.89316	04d14h50m01.75s
067	27525.33424	-12479.70663	04d16h30m47.23s
068	30324.52077	- 9680.52009	04d18h11m32.71s
069	33123.70730	- 6881.33356	04d19h52m18.19s
070	35922.89384	- 4082.14702	04d21h33m03.67s
071	38722.08037	- 1282.96049	04d23h13m49.15s
072	1516.22603	-38488.81483	05d00h54m34.64s
073	4315.41257	-35689.62829	05d02h35m20.12s
074	7114.59910	-32890.44176	05d04h16m05.60s
075	9913.78563	-30091.25523	05d05h56m51.08s
076	12712.97217	-27292.06869	05d07h37m36.56s
077	15512.15870	-24492.88216	05d09h18m22.04s
078	18311.34524	-21693.69563	05d10h59m07.52s
079	21110.53177	-18894.50910	05d12h39m53.00s
080	23909.71830	-16095.32256	05d14h20m38.48s
081	26708.90483	-13296.13603	05d16h01m23.97s
082	29508.09137	-10496.94950	05d17h42m09.45s
083	32307.27790	- 7697.76296	05d19h22m54.93s
084	35106.46443	- 4898.57643	05d21h03m40.41s
085	37905.65097	- 2099.38990	05d22h44m25.89s
086	699.79663	-39305.24423	06d00h25m11.37s
087	3498.98316	-36506.05770	06d02h05m56.85s
088	6298.16969	-33706.87117	06d03h46m42.33s
089	9097.35623	-30907.68463	06d05h27m27.81s
090	11896.54276	-28108.49810	06d07h08m13.29s
091	14695.72930	-25309.31157	06d08h48m58.78s
092	17494.91583	-22510.12503	06d10h29m44.26s
093	20294.10236	-19710.93850	06d12h10m29.74s
094	23093.28890	-16911.75197	06d13h51m15.22s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
095	25892.47543	-14112.56544	06d15h32m00.70s
096	28691.66196	-11313.37890	06d17h12m46.18s
097	31490.84849	- 8514.19237	06d18h53m31.66s
098	34290.03503	- 5715.00583	06d20h34m17.14s
099	37089.22156	- 2915.81930	06d22h15m02.62s
100	39888.40809	116.63277	06d23h55m48.10s
101	2682.55376	-37322.48710	07d01h36m33.59s
102	5481.74029	-34523.30057	07d03h17m19.07s
103	8280.92682	-31724.11404	07d04h58m04.55s
104	11080.11336	-28924.92751	07d06h38m50.03s
105	13879.29989	-26125.74097	07d08h19m35.51s
106	16678.48642	-23326.55444	07d10h00m20.99s
107	19477.67296	-20527.36791	07d11h41m06.47s
108	22276.85949	-17728.18137	07d13h21m51.95s
109	25076.04602	-14928.99484	07d15h02m37.43s
110	27875.23256	-12129.80831	07d16h43m22.92s
111	30674.41909	- 9330.62177	07d18h24m08.40s
112	33473.60562	- 6531.43524	07d20h04m53.88s
113	36272.79215	- 3732.24871	07d21h45m39.36s
114	39071.97869	933.06217	07d23h26m24.84s
115	1866.12435	-38138.91651	08d01h07m10.32s
116	4665.31088	-35339.72998	08d02h47m55.80s
117	7464.49742	-32540.54344	08d04h28m41.28s
118	10263.68395	-29741.35691	08d06h09m26.76s
119	13062.87049	-26942.17038	08d07h50m12.24s
120	15862.05702	-24142.98385	08d09h30m57.73s
121	18661.24355	-21343.79731	08d11h11m43.21s
122	21460.43008	-18544.61078	08d12h52m28.69s
123	24259.61662	-15745.42425	08d14h33m14.17s
124	27058.80315	-12946.23771	08d16h13m59.65s
125	29857.98968	-10147.05118	08d17h54m45.13s
126	32657.17622	- 7347.86464	08d19h35m30.61s
127	35456.36275	- 4558.67811	08d21h16m16.09s
128	38255.54928	- 1749.49158	08d22h57m01.57s
129	1049.69495	-38955.34591	09d00h37m47.06s
130	3848.88148	-36156.15938	09d02h18m32.54s
131	6648.06801	-33356.97285	09d03h59m18.02s
132	9447.25454	-30557.78632	09d05h40m03.50s
133	12246.44108	-27758.59978	09d07h20m48.98s
134	15045.62761	-24959.41325	09d09h01m34.46s
135	17844.81415	-22160.22672	09d10h42m19.94s
136	20644.00068	-19361.04019	09d12h23m05.42s
137	23443.18721	-16561.85365	09d14h03m50.90s
138	26242.37375	-13762.66712	09d15h44m36.38s
139	29041.56028	-10963.48059	09d17h25m21.87s
140	31840.74681	- 8164.29405	09d19h06m07.35s
141	34639.93334	- 5365.10752	09d20h46m52.83s
142	37439.11988	- 2565.92098	09d22h27m38.31s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
143	233.26554	-39771.77532	10d00h08m23.79s
144	3032.45207	-36972.58879	10d01h49m09.27s
145	5831.63861	-34173.40125	10d03h29m54.75s
146	8630.82514	-31374.25172	10d05h10m40.23s
147	11430.01168	-28575.02919	10d06h51m25.71s
148	14229.19821	-25775.84266	10d08h32m11.20s
149	17028.38474	-22976.65612	10d10h12m56.68s
150	19827.57127	-20177.46959	10d11h53m42.16s
151	22626.75781	-17378.28306	10d13h34m27.64s
152	25425.94434	-14579.09653	10d15h15m13.12s
153	28225.13087	-11789.90999	10d16h55m58.60s
154	31124.31741	- 8980.72345	10d18h36m44.08s
155	33823.50394	- 6181.53692	10d20h17m29.56s
156	36622.69047	- 3382.35039	10d21h58m15.04s
157	39421.87700	583.16386	10d23h39m00.52s
158	2216.02267	-37789.01819	11d01h19m46.01s
159	5015.20920	-34989.83166	11d03h00m31.49s
160	7814.39573	-32190.64513	11d04h41m16.97s
161	10613.58227	-29391.45859	11d06h22m02.45s
162	13412.76880	-26592.27206	11d08h02m47.93s
163	16211.95534	-23793.08553	11d09h43m33.41s
164	19011.14187	-20993.89900	11d11h24m18.89s
165	21810.32840	-18194.71246	11d13h05m04.37s
166	24609.51493	-15395.52593	11d14h45m49.85s
167	27408.70147	-12596.33940	11d16h26m35.34s
168	30207.88800	- 9797.15286	11d18h07m20.82s
169	33007.07453	- 6997.96633	11d19h48m06.30s
170	35806.26107	- 4198.77979	11d21h28m51.78s
171	38605.44760	- 1399.59326	11d23h09m37.26s
172	1399.59326	-38605.44760	12d00h50m22.74s
173	4198.77979	-35806.26107	12d02h31m08.22s
174	6997.96633	-33007.07453	12d04h11m53.70s
175	9797.15286	-30207.88800	12d05h52m39.18s
176	12596.33940	-27408.70147	12d07h33m24.66s
177	15395.52593	-24609.51493	12d09h14m10.15s
178	18194.71246	-21810.32840	12d10h54m55.63s
179	20993.89900	-19011.14187	12d12h35m41.11s
180	23793.08553	-16211.95534	12d14h16m26.59s
181	26592.27206	-13412.76880	12d15h57m12.07s
182	29391.45859	-10613.58227	12d17h37m57.55s
183	32190.64513	- 7814.39573	12d19h18m43.03s
184	34989.83166	- 5015.20920	12d20h59m28.51s
185	37789.01819	- 2216.02267	12d22h40m13.99s
186	583.16386	-39421.87700	13d00h20m59.48s
187	3382.35039	-36622.69047	13d02h01m44.96s
188	6181.53692	-33823.50394	13d03h42m30.44s
189	8980.72345	-31124.31741	13d05h23m15.92s
190	11789.90999	-28225.13087	13d07h04m01.40s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
191	14579.09653	-25425.94434	13d08h44m46.88s
192	17378.28306	-22626.75781	13d10h25m32.36s
193	20177.46959	-19827.57127	13d12h06m17.84s
194	22976.65612	-17028.38474	13d13h47m03.32s
195	25775.84266	-14229.19821	13d15h27m48.80s
196	28575.02919	-11430.01168	13d17h08m34.29s
197	31374.25172	- 8630.82514	13d18h49m19.77s
198	34173.40125	- 5831.63861	13d20h30m05.25s
199	36972.58879	- 3032.45207	13d22h10m50.73s
200	39771.77532	233.26554	13d23h51m36.21s
201	2565.92098	-37439.11988	14d01h32m21.69s
202	5365.10752	-34639.93334	14d03h13m07.17s
203	8164.29405	-31840.74681	14d04h53m52.65s
204	10963.48059	-29041.56028	14d06h34m38.13s
205	13762.66712	-26242.37375	14d08h15m23.62s
206	16561.85365	-23443.18721	14d09h56m09.10s
207	19361.04019	-20644.00068	14d11h36m54.58s
208	22160.22672	-17844.81415	14d13h17m40.06s
209	24959.41325	-15045.62761	14d14h58m25.54s
210	27758.59978	-12246.44108	14d16h39m11.02s
211	30557.78632	- 9447.25454	14d18h19m56.50s
212	33356.97285	- 6648.06801	14d20h00m41.98s
213	36156.15938	- 3848.88148	14d21h41m27.46s
214	38955.34591	- 1049.69495	14d23h22m12.94s
215	1749.49158	-38255.54928	15d01h02m58.43s
216	4558.67811	-35456.36275	15d02h43m43.91s
217	7347.86464	-32657.17622	15d04h24m29.39s
218	10147.05118	-29857.98968	15d06h05m14.87s
219	12946.23771	-27058.80315	15d07h46m00.35s
220	15745.42425	-24259.61662	15d09h26m45.83s
221	18544.61078	-21460.43008	15d11h07m31.31s
222	21343.79731	-18661.24355	15d12h48m16.79s
223	24142.98385	-15862.05702	15d14h29m02.27s
224	26942.17038	-13062.87049	15d16h09m47.76s
225	29741.35691	-10263.68395	15d17h50m33.24s
226	32540.54344	- 7464.49742	15d19h31m18.72s
227	35339.72998	- 4665.31088	15d21h12m04.20s
228	38138.91651	- 1866.12435	15d22h52m49.68s
229	933.06217	-39071.97869	16d00h33m35.16s
230	3732.24871	-36272.79215	16d02h14m20.64s
231	6531.43524	-33473.60562	16d03h55m06.12s
232	9330.62177	-30674.41909	16d05h35m51.60s
233	12129.80831	-27875.23256	16d07h16m37.08s
234	14928.99484	-25076.04602	16d08h57m22.57s
235	17728.18137	-22276.85949	16d10h38m08.05s
236	20527.36791	-19477.67296	16d12h18m53.53s
237	23326.55444	-16678.48642	16d13h59m39.01s
238	26125.74097	-13879.29989	16d15h40m24.49s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
239	28924.92751	-11080.11336	16d17h21m09.97s
240	31724.11404	- 8280.92682	16d19h01m55.45s
241	34523.30057	- 5481.74029	16d20h42m40.93s
242	37322.48710	- 2682.55376	16d22h23m26.41s
243	116.63277	-39888.40809	17d00h04m11.90s
244	2915.81930	-37089.22156	17d01h44m57.38s
245	5715.00583	-34290.03503	17d03h25m42.86s
246	8514.19237	-31490.84849	17d05h06m28.34s
247	11313.37890	-28691.66196	17d06h47m13.82s
248	14112.56544	-25892.47543	17d08h27m59.30s
249	16911.75197	-23093.28890	17d10h08m44.78s
250	19710.93850	-20294.10236	17d11h49m30.26s
251	22510.12503	-17494.91583	17d13h30m15.74s
252	25309.31157	-14695.72930	17d15h11m01.22s
253	28108.49810	-11896.54276	17d16h51m46.71s
254	30907.68463	- 9097.35623	17d18h32m32.19s
255	33706.87117	- 6298.16969	17d20h13m17.67s
256	36506.05770	- 3498.98316	17d21h54m03.15s
257	39305.24423	699.79663	17d23h34m48.63s
258	2099.38990	-37905.65097	18d01h15m34.11s
259	4898.57643	-35106.46443	18d02h56m19.59s
260	7697.76296	-32307.27790	18d04h37m05.07s
261	10496.94950	-29508.09137	18d06h17m50.55s
262	13296.13603	-26708.90483	18d07h58m36.04s
263	16095.32256	-23909.71830	18d09h39m21.52s
264	18894.50910	-21110.53177	18d11h20m07.00s
265	21693.69563	-18311.34524	18d13h00m52.48s
266	24492.88216	-15512.15870	18d14h41m37.96s
267	27292.06869	-12712.97217	18d16h22m23.44s
268	30091.25523	- 9913.78563	18d18h03m08.92s
269	32890.44176	- 7114.59910	18d19h43m54.40s
270	35689.62829	- 4315.41257	18d21h24m39.88s
271	38488.81483	- 1516.22603	18d23h05m25.36s
272	1282.96049	-38722.08037	19d00h46m10.85s
273	4082.14702	-35922.89384	19d02h26m56.33s
274	6881.33356	-33123.70730	19d04h07m41.81s
275	9680.52009	-30324.52077	19d05h48m27.29s
276	12479.70663	-27525.33424	19d07h29m12.77s
277	15278.89316	-24726.14771	19d09h09m58.25s
278	18078.07969	-21926.96117	19d10h50m43.73s
279	20877.26622	-19127.77464	19d12h31m29.21s
280	23676.45276	-16328.58811	19d14h12m14.69s
281	26475.63929	-13529.40158	19d15h53m00.18s
282	29274.82582	-10730.21504	19d17h33m45.66s
283	32074.01236	- 7931.02851	19d19h14m31.14s
284	34873.19889	- 5131.84197	19d20h55m16.62s
285	37672.38542	- 2332.65544	19d22h36m02.10s
286	466.53108	-39538.50978	20d00m16.47.58s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
287	3265.71762	-36739.32324	20d01h57m33.06s
288	6064.90415	-33940.13671	20d03h38m18.54s
289	8864.09068	-31140.95018	20d05h19m04.02s
290	11663.27722	-28341.76364	20d06h59m49.50s
291	14462.46375	-25542.57711	20d08h40m34.99s
292	17261.65029	-22743.39058	20d10h21m20.47s
293	20060.83682	-19944.20405	20d12h02m05.95s
294	22860.02335	-17145.01751	20d13h42m51.43s
295	25659.20988	-14345.83098	20d15h23m36.91s
296	28458.39642	-11546.64445	20d17h04m22.39s
297	31257.58295	- 8747.45791	20d18h45m07.87s
298	34056.76948	- 5948.27138	20d20h25m53.35s
299	36855.95602	- 3149.08484	20d22h06m38.83s
300	39655.14255	349.89831	20d23h47m24.31s
301	2449.28821	-37555.75265	21d01h28m09.80s
302	5248.47474	-34756.56612	21d03h08m55.28s
303	8047.66128	-31957.37958	21d04h49m40.76s
304	10846.84781	-29158.19305	21d06h30m26.24s
305	13646.03435	-26359.00652	21d08h11m11.72s
306	16445.22088	-23559.81998	21d09h51m57.20s
307	19244.40741	-20760.63345	21d11h32m42.68s
308	22043.59395	-17961.44692	21d13h13m28.16s
309	24842.78048	-15162.26039	21d14h54m13.64s
310	27641.96701	-12363.07385	21d16h34m59.13s
311	30441.15354	- 9563.88732	21d18h15m44.61s
312	33240.34008	- 6764.70078	21d19h56m30.09s
313	36039.52661	- 3965.51425	21d21h37m15.57s
314	38838.71314	- 1166.32772	21d23h18m01.05s
315	1632.85881	-38372.18205	22d00h58m46.53s
316	4432.04534	-35572.99552	22d02h39m32.01s
317	7231.23187	-32773.80899	22d04h20m17.49s
318	10030.41841	-29974.62246	22d06h01m02.97s
319	12829.60494	-27175.43592	22d07h41m48.45s
320	15628.79147	-24376.24939	22d09h22m33.94s
321	18427.97801	-21577.06286	22d11h03m19.42s
322	21227.16454	-18777.87632	22d12h44m04.90s
323	24026.35107	-15978.68979	22d14h24m50.38s
324	26825.53761	-13179.50326	22d16h05m35.86s
325	29624.72414	-10380.31673	22d17h46m21.34s
326	32423.91067	- 7581.13091	22d19h27m06.82s
327	35223.09720	- 4781.94366	22d21h07m52.30s
328	38022.28374	- 1982.75712	22d22h48m37.78s
329	816.42940	-39188.61146	23d00h29m23.27s
330	3615.61593	-36389.42493	23d02h10m08.75s
331	6414.80247	-33590.23839	23d03h50m54.23s
332	9213.98900	-30791.05186	23d05h31m39.71s
333	12013.17554	-27991.86533	23d07h12m25.19s
334	14812.36207	-25192.67880	23d08h53m10.67s

TABLA 2.8 (continuación)

LISTA DE ORBITAS DEL RADARSAT SEGUN n

n	d+	d-	t
335	17611.54860	-22393.49226	23d10h33m56.15s
336	20410.73514	-19594.30573	23d12h14m41.63s
337	23209.92167	-16795.11920	23d13h55m27.11s
338	26009.10820	-13995.93266	23d15h36m12.59s
339	28808.29473	-11196.74613	23d17h16m58.08s
340	31607.48127	- 8397.55959	23d18h57m43.56s
341	34406.66780	- 5598.37306	23d20h38m29.04s
342	37205.85433	- 2799.18653	23d22h19m14.52s
343	40005.04085	0.0	24d00h00m00.00s

Nota: La órbita 343=000

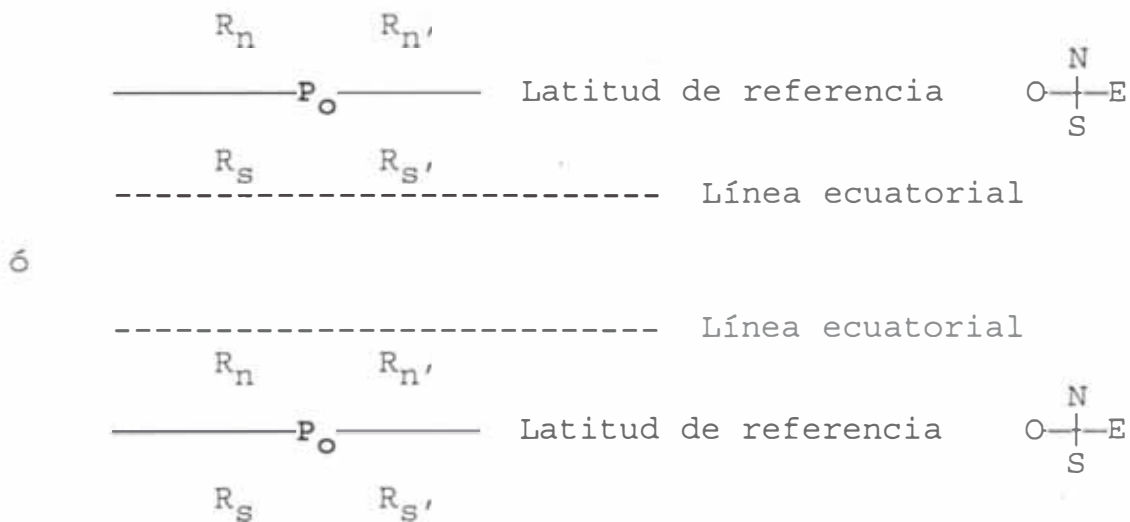
2.5.2.-Uso de las tablas orbitales

Vamos a indicar un primer modelo de algoritmo simplificado para poder determinar el tiempo que demorará el satélite en posicionarse en la órbita óptima y realizar el barrido, estamos considerando algunos parámetros constantes para facilitar algunos cálculos como por ejemplo el radio de la tierra -tomamos el promedio-, la cual en la práctica debe usarse el radio real según la posición geográfica de la zona a ser barrida.

Indicaremos sólo cuando el RADARSAT se encuentra de bajada, porque también puede ser de subida y el algoritmo es similar.

El uso de estas tablas orbitales 2.7 y 2.8 son bastante sencillas, la cual la explicamos a continuación.

Supongamos que el satélite, que se desplaza de norte a sur, y de este a oeste -debido al giro de la Tierra-, para el barrido se encuentra en cualquiera de estas disposiciones (fig.2.4):



donde:

- R_N - Satélite al oeste y al norte de P_O
- R_{N'} - este
- R_S - oeste y al sur de P_O
- R_{S'} - este

Fig. 2.4

Debemos tener cuidado al realizar los cálculos, ya que el satélite no tiene órbita polar exacta, como sabemos está inclinado 8.6° y se debe de hacer algunas correcciones para minimizar los errores en el cálculo.

Sea la posición de P_O:

$$P_O = (P_{Ox}, P_{Oy})$$

y la del satélite P_{sat} :

$$P_{\text{sat}} = (P_{\text{sx}}, P_{\text{sy}}) \text{ en (longitud, latitud)}$$

En cualquiera de los casos que hemos descrito, la intención es que P_{sat} se ubique a la posición P'_{sat} :

$$P'_{\text{sat}} = (P_{\text{sx}'}, P_{\text{oy}})$$

El cambio de P_{sx} a $P_{\text{sx}'}$ es debido al movimiento del satélite como la de la Tierra, como oportunamente se explicará.

2.5.2.1.-Satélite al norte de la región según P_0

Si el RADARSAT se encuentra al norte de la región en la cual incluye a P_0 -inicio de barrido-, se procede de la siguiente manera (fig. 2.5):

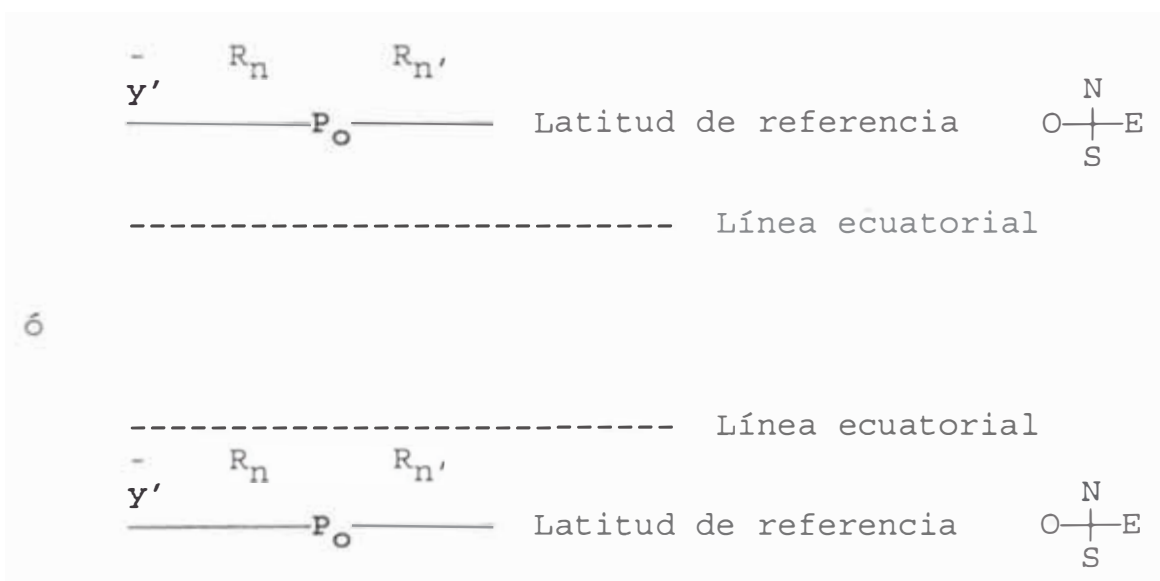
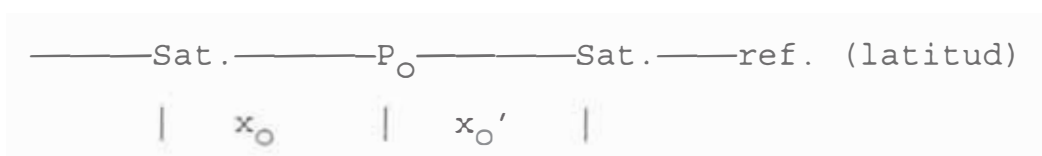


Fig. 2.5

Notar que R_n y R_n' pueden estar por encima de la línea ecuatorial.

a.-Conociendo la posición instantánea del satélite R_n y el inicio de la región -punto P_0 - (Latitud-Longitud) a cubrir- esto es la "esquina superior derecha" si la antena está en *right-looking*, o "superior izquierda" si la antena está en *left-looking*. Se halla el offset x_0 , que es la distancia a la misma referencia de la latitud de P_0 .



Este valor de x_0 se puede calcular por diferencia de grados ° en longitud, es más fácil obtener su equivalente en Km:

$\check{S}(\text{°})_x$ - Posición de P_0 (longitud) Posición Satélite
 (ground_track a la misma latitud de referencia a
 P_0 con su respectiva longitud).

$$\underline{x_0 \sim \check{S}(\text{°})_x \times 111.125 \text{ Km}/(\text{°}) \times \cos(\text{latitud de } P_0)}$$

b.-Se halla la componente azimutal "y'" de esta distancia. Se puede sacar la diferencia de latitudes (con

la longitud constante), lógicamente que esta diferencia de latitudes se entiende, la distancia desde el satélite -ground track position- al objetivo P_0 y no al revés -el RADARSAT no puede retroceder-. Seguidamente se le debe multiplicar este valor inicial por un factor determinado, como sabemos el satélite baja (o sube) con una inclinación de 8.6° respecto a la línea polar.

$\check{S}(\circ)_y$ - Posición de P_0 (latitud) Posición Satélite
(ground_track a la misma longitud de referencia a P_0 con su respectiva latitud).

$$\left[y' \sim \check{S}(\circ)_y \times 111.125 \text{ Km}/(\circ) \right]$$

Sabemos que:

$$(V_{\text{sat}} + V_{\text{tierra}}) \times t_0 - X_{\text{despl_total}} + Y_{\text{despl_total}}$$

V_{sat} es por supuesto la velocidad superficial del RADARSAT; y descomponiendo en componentes " x " (longitud) y " y " (latitud):

$$[V_{\text{sat}} \times \text{sen}(8.6^\circ)] \times t_0 + V_{\text{Tierra}} \times \text{cos}(\text{latitud}) \times t_0 - x$$

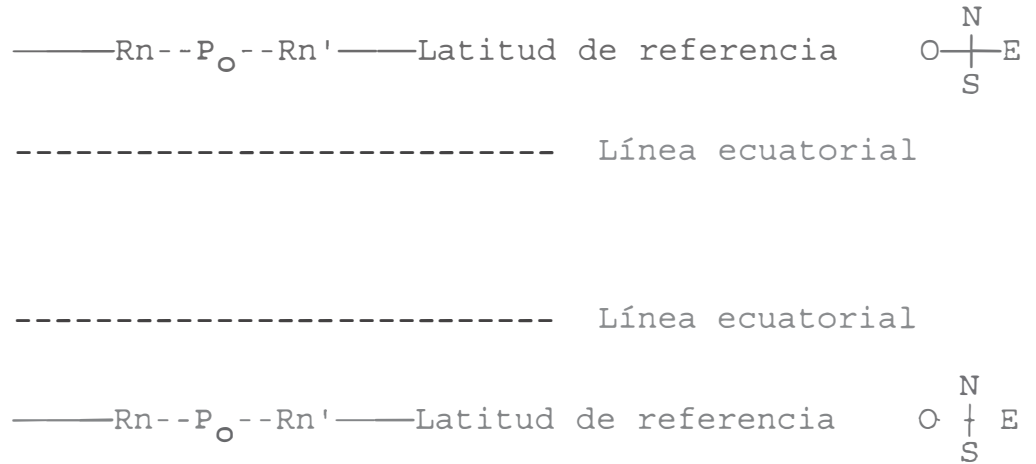
$$[V_{\text{sat}} \times \text{cos}(8.6^\circ)] \times t_0 - y \times \text{cos}(8.6^\circ) - y'$$

Luego:

$$\left[y' \sim y \times \text{sen}(8.6^\circ) \right]$$

c.-Con este valor y' , calculamos el tiempo t_0 que demorará el satélite en recorrer esta distancia azimutal, para luego saber la componente transversal adicional " x ", o de la misma referencia a la longitud geográfica de P_0 (Fig. 2.6), es decir:

$$t_0 = y' / [V_{sat} \times \cos(8.6^\circ)]$$



donde:

$x = d(Rn-P_0)$ -a la misma referencia de latitud debido al desplazamiento del satélite al punto P_0 -

Fig. 2.6

Recordemos que la Tierra a ese tiempo t_0 se ha desplazado un valor de distancia adicional dependiendo de la latitud que se encuentre el objetivo, así alterará el valor de x final x_f .

Una vez hallado t_0 hallamos el valor de x

$$x = [V_{\text{sat}} \times \sin(8.6^\circ) + V_{\text{Tierra}} \times \cos(\text{latitud})] \times t_0$$

con $V_{\text{sat}} = 6617.346 \text{ m/s}$

$$V_{\text{Tierra}} = 463.0213 \text{ m/s}$$

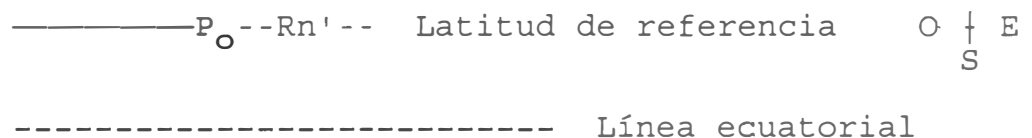
Hasta ahora inicialmente tenemos dos parámetros que incluir en el valor de x_f : x_0 y x

El valor de x_f dependerá de la posición del satélite, incluso puede tener valor de 0 Km

d.-Ahora bien, aquí nos encontramos en dos situaciones:

1°.-Cuando el **satélite** se encuentra al **ESTE** de P_0

R_n' .



El RADARSAT por tener barrido de vista lateral ocurre lo siguiente:

-El ángulo de incidencia de la antena tiene un rango definido por el sistema, la cual no se pueden salir de estos límites, por consiguiente el satélite se

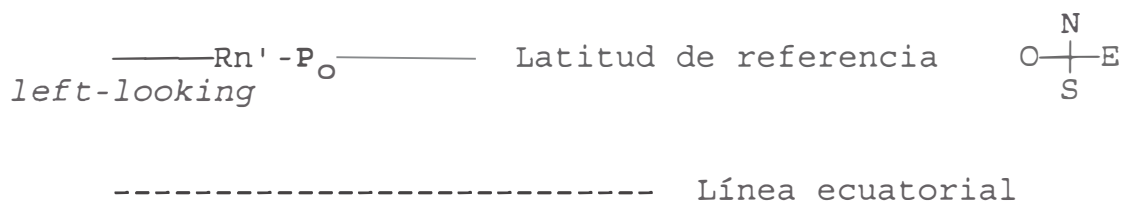
encontrará a una distancia de P_0 según la modalidad de barrido (según la Tabla 2.3 -Modos de Imagen-).

-Esto conlleva a que satélite no se ubicará en la línea nadir a P_0 ; esta distancia puede variar desde 141 Km (Extended Mode -Low-) hasta 953 Km (Extended Mode -High-) con 291 Km para el Standard Mode, llamémosle a cualquiera de estos valores como S_x .

Luego:

\check{S}_x - offset por posicionamiento final del satélite

-Si se encuentra la antena en *left-looking* a la distancia se le suma dichos valores indicados líneas arriba, pueden ser algo mayores -no hay mayores problemas puesto que se encuentran dentro del rango del ángulo de incidencia-.



-Si se encuentra la antena en *right-looking* la distancia satelital se le resta dichos valores indicados líneas arriba, pueden ser algo mayores

tampoco habría problemas ya que se encuentran dentro del rango del ángulo de incidencia-.



Luego la distancia final x_f será de la forma:

$$\begin{aligned} x_f - x_0 - x + Sx & \text{ -left looking-} \\ x_f - x_0 - x - Sx & \text{ -right looking-} \end{aligned}$$

-Este resultado que se ha obtenido $-x_f-$ se le divide entre el coseno del ángulo de la latitud que se encuentra P_0 , es decir:

$$x_f / \cos(\text{latitud } P_0) \sim d+ \text{ -ya que } P_0 \text{ se encuentra al oeste del satélite-}$$

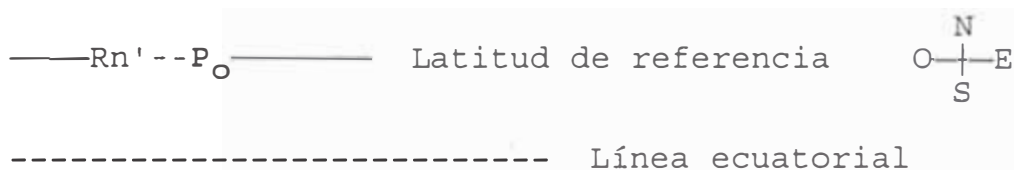
-Buscamos en la Tabla 2.7 dicha distancia $d+$ para determinar el tiempo que demorará el satélite en posicionarse en la órbita mas adecuada Para la posición de la antena en *left-looking*, el valor de $d+$ puede ser más grande ó si la antena está en *right-looking*, el valor de $d+$ puede ser más pequeño, la

cuestión es determinar el menor tiempo para el posicionamiento del satélite en el barrido.

Nota:

Si d_+ es negativo, entonces se busca en la tabla en la columna d_-

2°.-Cuando el satélite se encuentra al OESTE de P_0 - R_n -.



Similar al caso 1°, observamos lo siguiente:

$\check{S}(\circ)_y$ Posición de P_0 (latitud) - Posición Satélite (ground_track a la misma longitud de referencia a P_0 con su respectiva latitud)

Esta distancia $\check{S}(\circ)_y$ como reiteramos sera la diferencia de latitudes, se entiende, desde el satélite -ground track position- al objetivo P_0

$$y' \sim \check{S}(\circ)_y \times 111.125 \text{ Km}/(\circ)$$

-Se mantienen los mismos distanciamientos 141 Km (Extended Mode -Low-) hasta 953 Km (Extended Mode -High-) con 291 Km para el Standard Mode, la cual la llamamos $\check{S}x$ para cualquiera de estos valores.

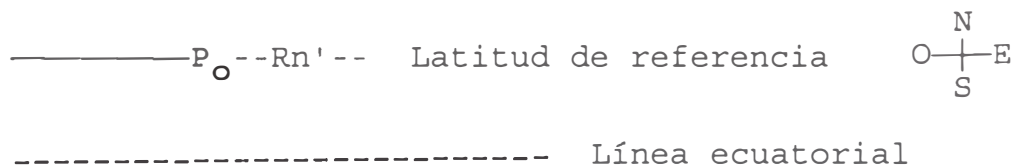
-La distancia x_0 tiene la siguiente particularidad:

$\check{S}(\text{°})_x$ Posición de (longitud) Posición
 Satélite (ground_track a la misma latitud de
 referencia a P_0 con su respectiva longitud).

Pero por situarse el RADARSAT al oeste de P_0 , y también su desplazamiento relativo también es al oeste, entonces se toma el complemento de 360°

$$x_0' \sim [360^\circ - \check{S}(\text{°})_x] \times 111.125 \text{ Km}/(\text{°}) \times \cos(\text{lat. } P_0)$$

En cierto modo regresaríamos al caso **ESTE**



-Si se encuentra la antena en *left-looking* la distancia se le suma dichos valores $\check{S}x$, pueden ser

algo mayores, no hay mayores problemas puesto que se encuentran dentro del rango del ángulo de incidencia-

-Si se encuentra la antena en *right-looking* la distancia satelital se le resta dichos valores Sx , pueden ser algo mayores -tampoco habría problemas ya que se encuentran dentro del rango del ángulo de incidencia-.

Luego la distancia final x_f será de la forma:

$$\begin{aligned} x_f - x_o' &= x + Sx && \text{-left looking-} \\ x_f - x_o' &= x - Sx && \text{-right looking-} \end{aligned}$$

-Este resultado que se ha obtenido $-x_f-$ se le divide entre el coseno del ángulo de la latitud que se encuentra P_o , es decir:

$$x_f / \cos(\text{latitud } P_o) \sim d+ \quad \text{-ya que } P_o \text{ se encuentra al} \\ \text{este del RADARSAT-}$$

-Buscamos en la Tabla 2.7 dicha distancia $d+$ para determinar el tiempo que demorará el satélite en posicionarse en la órbita mas adecuada Para la posición de la antena en *left-looking*, el valor de $d+$ puede ser más grande ó si la antena está en *right-looking*, el valor de $d+$ puede ser más pequeño; la

cuestión es determinar el menor tiempo para el posicionamiento del satélite en el barrido.

-También se puede hacer lo siguiente para el mismo caso.

Las expresiones escritas líneas arriba se puede escribir de la siguiente manera:

$$d+ - x_f / \cos(\text{latitud de } P_0) = -(d-) + D$$

donde: D es el diámetro de la Tierra promedio.

Tener en consideración que $d+$ es positivo entonces $d-$ es negativo -por convención de signos-, como lo especificamos anteriormente.

Podemos trabajar con sólo $d-$, buscamos en la tabla 2.7 dicho valor Para la posición de la antena en *left-looking*, el valor de $d-$ puede ser más pequeño (en valor absoluto) ó si la antena está en *right-looking*, el valor de $d-$ puede ser más grande (en valor absoluto).

2.5.2.2.-Satélite al sur de la región según P_0

Si el RADARSAT se encuentra al sur de la región en la cual incluye a P_0 -inicio de barrido- (fig. 2.7), se procede de la siguiente manera.

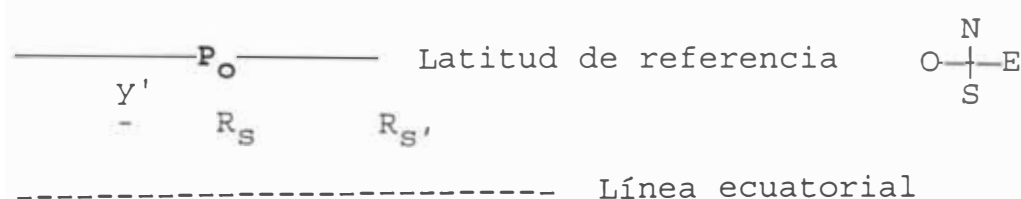
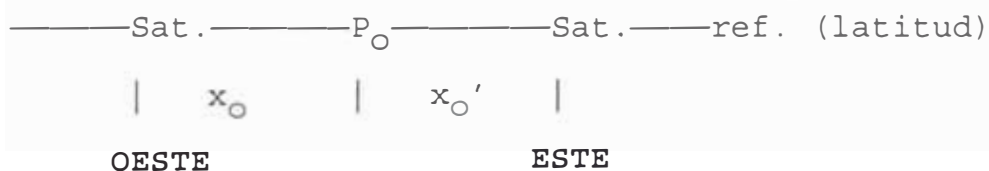


Fig. 2.7

Notar que R_S y $R_{S'}$ pueden estar por debajo de la línea ecuatorial

El procedimiento a seguir es similar al caso, cuando es satélite se encuentra al norte de P_0

a.-Conociendo la posición instantánea del satélite R_S y el inicio de la región -punto P_0 - (Latitud-Longitud) a cubrir- esto es la "esquina superior derecha" si la antena está en *right-looking*, o "superior izquierda" si la antena está en *left-looking*. Se halla el offset x_0 , que es la distancia a la misma referencia de la latitud de P_0 .



Este valor de x_0 se puede calcular por diferencia de grados ° en longitud, es más fácil obtener su equivalente en Km:

$\check{S}(\circ)_x$ - Posición de P_0 (longitud) Posición Satélite
 (ground_track a la misma latitud de referencia a
 P_0 con su respectiva longitud).

$$x_0 \sim \check{S}(\circ)_x \times 111.125 \text{ Km}/(\circ) \times \cos(\text{latitud de } P_0)$$

b.-Se halla la componente azimutal "y''" de esta distancia. Se puede sacar la diferencia de latitudes (con la longitud constante), lógicamente que esta diferencia de latitudes se entiende, la distancia desde el satélite -ground track position- al objetivo P_0 y no al revés -el RADARSAT no puede retroceder-. Seguidamente se le debe multiplicar este valor inicial por un factor determinado, como sabemos el satélite baja (o sube) con una inclinación de 8.6° respecto a la línea polar.

Si:

$\check{S}(\circ)_y$ - Posición de P_0 (latitud) Posición Satélite
 (ground_track a la misma longitud de referencia a
 P_0 con su respectiva latitud).

En este caso en valor absoluto.

$$y'' \sim [360^\circ - \check{S}(\circ)_y] \times 111.125 \text{ Km}/(\circ)$$

o

$$y'' = D - y'$$

donde: D es el diámetro de la Tierra promedio.

Además sabemos que:

$$(V_{\text{sat}} + V_{\text{tierra}}) \times t_0 = X_{\text{despl_total}} + Y_{\text{despl_total}}$$

V_{sat} es por supuesto la velocidad superficial del RADARSAT; y descomponiendo en componentes "x" (longitud) y "y'" (latitud):

$$[V_{\text{sat}} \times \sin(8.6^\circ)] \times t_0' + V_{\text{Tierra}} \times \cos(\text{lat. } P_0) \times t_0' = x$$

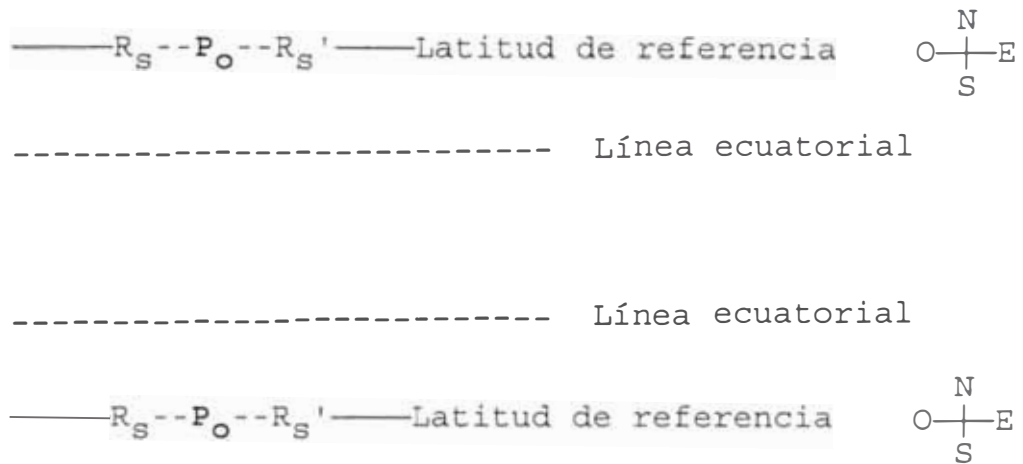
$$[V_{\text{sat}} \times \cos(8.6^\circ)] \times t_0' = y \times \cos(8.6^\circ) = y''$$

Luego:

$$y'' \sim y \times \sin(8.6^\circ)$$

c.-Con este valor y'' , calculamos el tiempo t_0' que demorará el satélite en recorrer esta distancia azimutal, para luego saber la componente transversal adicional "x", o de la misma referencia a la longitud geográfica de P_0 (fig. 2.8), es decir:

$$\left[t_{O'} - y'' / [V_{\text{sat}} \times \cos(8.6^\circ)] \right]$$



x $d(R_s - P_o)$ -a la misma referencia de latitud debido al desplazamiento del satélite al punto P_o , en latitud-

Fig. 2.8

Recordemos que la Tierra a ese tiempo $t_{O'}$ se ha desplazado un valor de distancia adicional dependiendo de la latitud que se encuentre el objetivo, así alterará el valor de x final x_f .

Una vez hallado $t_{O'}$ hallamos el valor de x

$$\left| x - [V_{\text{sat}} \times \sin(8.6^\circ) + V_{\text{Tierra}} \times \cos(\text{latitud})] \times t_{O'} \right|$$

con $V_{\text{sat}} = 6617.346 \text{ m/s}$

$V_{\text{Tierra}} = 463.0213 \text{ m/s}$

Hasta ahora inicialmente tenemos dos parámetros que incluir en el valor de x_f : x_0 y x

El valor de x_f dependerá de la posición del satélite, incluso puede tener valor de 0 Km

d.-Ahora bien, aquí nos encontramos en dos situaciones: cuando el RADARSAT se encuentra al este y al oeste, ya tratados anteriormente.

Tener en cuenta bien claro que, el tiempo final T_f es el más apropiado, la ventaja que se tiene es que la antena posee un rango lo suficiente cómodo de haces de barrido (esto es ángulo de incidencia) que uno puede elegir entre varias $d+$ aparentemente mayor o menor (depende de $\check{x}/\cos(\text{latitud})$ en este caso si es *left-looking* o *right-looking*), entonces:

$$T_f = t_0 + \min(T_{\text{Tabla}})$$

2.6.-Coberturas del Radarsat

Como hemos visto en la Tabla 2.3, el RADARSAT posee 8 modos de barrido de vista lateral -right looking o left looking-.

Con fines prácticos hemos considerado una altura standard de 800 Km de altura del satélite; además la Tierra por

ser un esferoide -achatado por los polos- obliga al satélite a variar su altura, resultando por consiguiente que sus órbitas no sean estrictamente circular. Estas variaciones están entre los 793 a 821 Km

También vamos a considerar que para la cobertura de hasta 500 Km, que es la que cubre el satélite RADARSAT ($\approx 4.49^\circ$ respecto al barrido superficial terrestre desde el centro de la Tierra) consideramos la superficie de la tierra es plana produciendo un error 0.3% equivalente a un "hundimiento" de 19.1 Km respecto de la horizontal, lo único que produce es un aumento del tiempo de ida y vuelta de los ecos de radar y una ligera variación de la resolución en los puntos lejanos al barrido.

Además consideraremos sólo el modo right-looking de barrido, y para la siguiente figura 2.9:

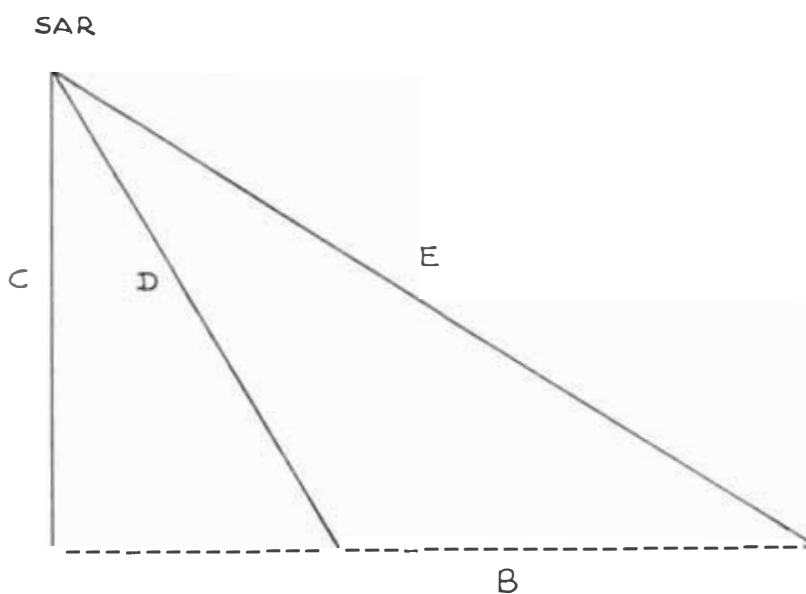


Fig 2.9

Definimos los siguientes parámetros:

A: Distancia del punto nadir del satélite a la superficie de la Tierra al punto del ángulo de incidencia mínimo -esto está referido al punto donde cae el primer eco con ángulo de incidencia mínimo α_{MIN} en la superficie terrestre-.

$$A = H \times \operatorname{tg}\alpha_{MIN}$$

B: Distancia del punto del ángulo de incidencia mínimo α_{MIN} al ángulo de incidencia máximo α_{MAX} .

$$B = H \times (\operatorname{tg}\alpha_{MAX} - \operatorname{tg}\alpha_{MIN})$$

C: Punto nadir del satélite a la superficie de la Tierra o altura H.

$$C = H \quad \text{como referencia } H = 800 \text{ Km}$$

D: Distancia desde el satélite al punto de ángulo de incidencia mínimo.

$$D = H \times \operatorname{sec}\alpha_{MIN}$$

E: Distancia desde el satélite al punto de ángulo de incidencia máximo.

$$E = H \times \operatorname{sec}\alpha_{MAX}$$

Debemos tener en cuenta que el satélite no necesariamente va a situarse justo a esta distancia H, A por ejemplo, pero eso si debe cumplir los siguientes requisitos:

1°-La distancia A puede ser mayor o igual que el valor propuesto, puesto que el α_{MIN} de incidencia no puede ser menor a ese valor de acuerdo al diseño de este modo.

2°-La distancia real A' que sumado a la cobertura B' no supere a la suma de distancias A + B, es decir

$$A' + B' \leq A + B$$

puesto que el α_{MAX} superaría su rango.

2.6.1.-Standard Mode

Para el modo Standard, el satélite posee 7 multibeam forming las cuales en total pueden cubrir regiones de 100 Km hasta 500 Km de ancho.

Basic Beam	Barrido total (en Km)	Resolución		# looks
		R (m)	A (m)	
1	106	24-32	28	4
2	105	21-27	28	4
3	105	27-32	28	4
4	105	25-29	28	4
5	105	24-27	28	4
6	105	22-25	28	4
7	100	21-23	28	4

Obteniéndose traslapes media de 38.5 Km.

Angulos de incidencia: 20° - 49°

Para la figura 2.10

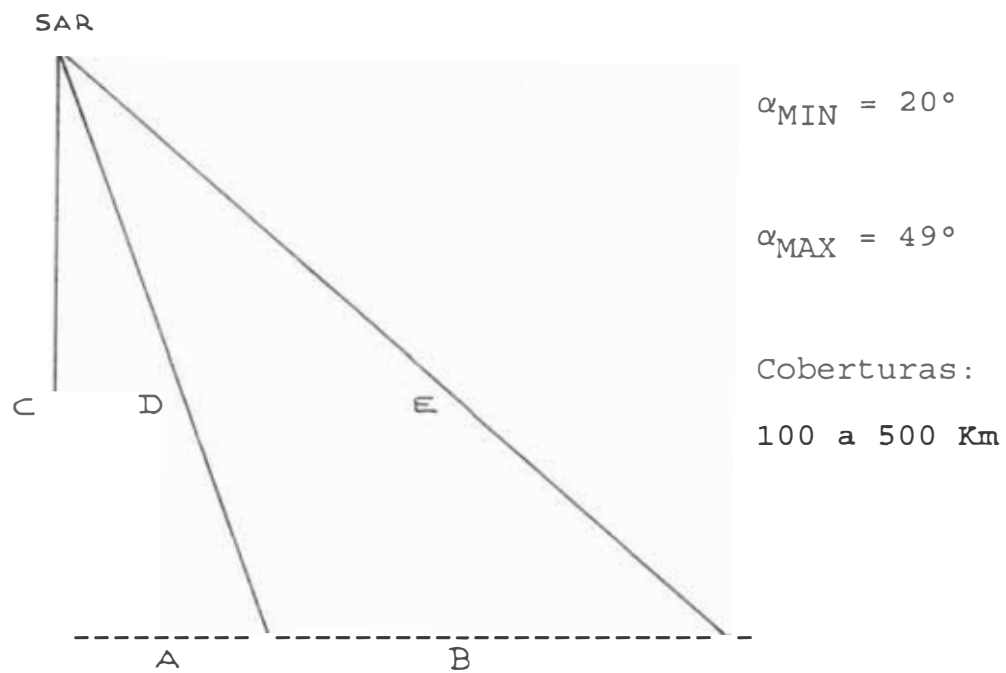


Fig. 2.10

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \text{tg}\alpha_{\text{MIN}} = 291.176 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\text{tg}\alpha_{\text{MAX}} - \text{tg}\alpha_{\text{MIN}}) = 629.118 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \text{sec}\alpha_{\text{MIN}} = 851.342 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \text{sec}\alpha_{\text{MAX}} = 1219.402 \text{ Km}$$

2.6.1.1.-Primeros 100 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia A de la región a ser cubierta y cubre sólo los primeros 100 Km de ancho.

Es el primer caso ideal -uso de un beam de la antena-. Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 100$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 100 = 800 \times (\operatorname{tg} \alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg} 20^\circ)$$

$$1/8 + \operatorname{tg} 20^\circ = \operatorname{tg} \alpha_{\text{MAX}'}$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 26^\circ 03'$$

luego

$$E' = 800 \times \operatorname{sec} \alpha_{\text{MAX}'} = 890.516 \text{ Km}$$

$$D = 851.342 \text{ Km}$$

2.6.1.2.-Ultimos 100 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia $A + B = 100$ Km de la región a ser cubierta y cubre sólo los últimos 100 Km de ancho.

Es el segundo caso ideal -uso de un beam de la antena-.

El valor de $A + B = 100$ Km = 820.294 Km = A'

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 100$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 100 = 800 \times (\operatorname{tg}49^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}49^\circ - 1/8 = \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'}$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 45^\circ 43'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{seca}_{\text{MIN}'} = 1145.811 \text{ Km}$$

$$E = 1219.402 \text{ Km}$$

2.6.1.3.-Primeros 500 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los primeros 500 Km de ancho -uso de los siete beams de la antena-.

Es el tercer caso ideal y realizamos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176 \text{ Km}$, $B' = 500 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 500 = 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg} 20^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} = 5/8 + \operatorname{tg} 20^\circ$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 44^\circ 40'$$

luego:

$$D = 851.342 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MAX}'} - 1125.148 \text{ Km}$$

2.6.1.4.-Ultimos 500 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** + **B** - 500 de la región a ser cubierta y cubre los últimos 500 Km de ancho -uso de los siete beams de la antena-.

Es el cuarto caso ideal.

El valor de $A + B - 500 \text{ Km} = 420.294 \text{ Km} = A'$

Considerando $A = 291.176 \text{ Km}$, $B' = 500 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 500 = 800 \times (\text{tg}49^\circ - \text{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\text{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \text{tg} 49^\circ - 5/8$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 27^\circ 42'$$

luego:

$$D' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MIN}'} - 903.685 \text{ Km}$$

$$E = 1219.402 \text{ Km}$$

2.6.1.5.-Cobertura de 100 o 500 kms dentro del rango de los ángulos de incidencia

Es cuando el RADARSAT se encuentra dentro del rango de los ángulos de incidencia -20° a 49° - de la región a ser

cubierta y cubre 100 ó 500 Km de ancho -uso de uno o los siete beams de la antena respectivamente-.

Los cálculos de cobertura son similares a los casos anteriores, dependerá mucho de la posición final del satélite -esto es ajuste de la órbita más apropiada- con respecto de la región a ser barrida y que cumpla los requerimientos mencionados líneas arriba.

2.6.2.-Wide 1 Mode

Para el modo Wide 1, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 164 Km de ancho.

La resolución para este modo va de 30 a 41 m. de alcance horizontal y 28 m azimutal y usando 4 looks o vistas.

Para la figura 2.11

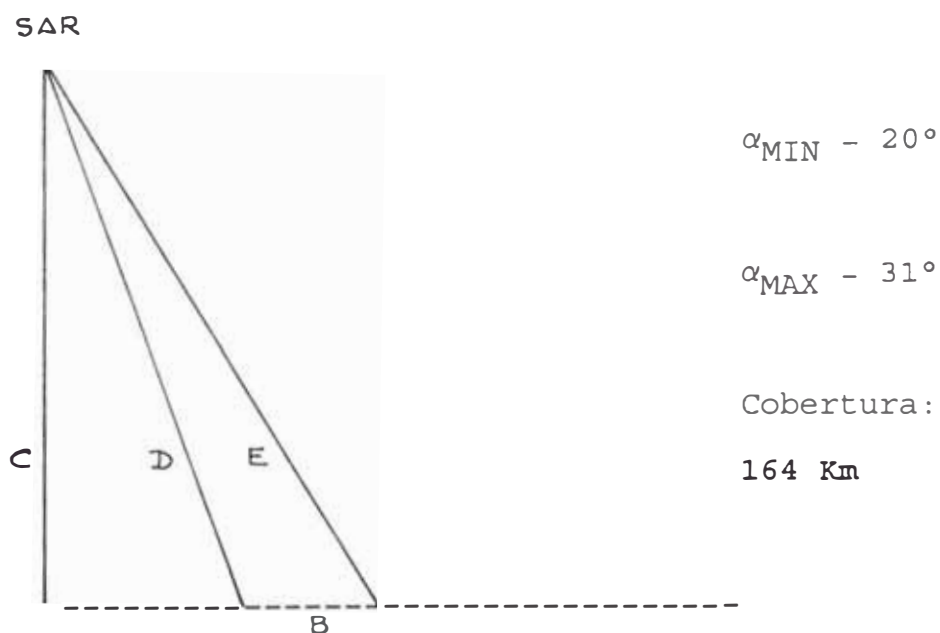


Fig. 2.11

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}} = 291.176 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}} - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}}) = 189.512 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \operatorname{seca}\alpha_{\text{MIN}} = 851.342 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \operatorname{seca}\alpha_{\text{MAX}} = 933.306 \text{ Km}$$

Tenemos dos casos ideales y uno real

2.6.2.1.-Primeros 164 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los primeros 164 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A - 291.176 Km, B' - 164 Km y C - 800 Km

$$B' = 164 = 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}20^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} = \operatorname{tg} 20^\circ + 0.205$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 29^\circ 38'$$

luego

$$D = 851.342 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \operatorname{seca}\alpha_{\text{MAX}'} = 920.426 \text{ Km}$$

2.6.2.2.-Ultimos 164 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia $A + B - 164$ Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 164 Km de ancho.

El valor de $A + B - 164$ Km = 316.688 Km = A'

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 164$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 164 = 800 \times (\operatorname{tg}31^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg} 31^\circ - 0.205$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 21^\circ 35'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}'} = 860.402 \text{ Km}$$

$$E = 933.306 \text{ Km}$$

2.6.3.-Wide 2 Mode

Para el modo Wide 2, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 148 Km de ancho, y es la continuación del Modo Wide 1.

La resolución para este modo va de 26 a 32 m. de alcance horizontal y 28 m azimutal y usando 4 looks o vistas.

Para efectos de la cobertura, el modo Wide 2 es la continuación de la cobertura del modo Wide 1 -ver ángulos de incidencia del modo Wide 1-.

Para la figura 2.12

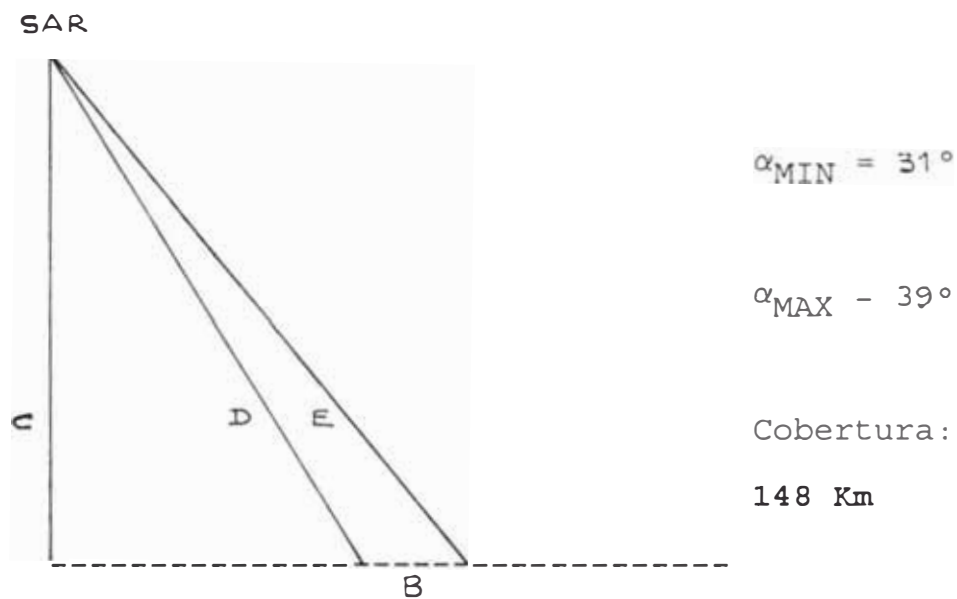


Fig. 2.12

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \operatorname{tg} \alpha_{MIN} = 480.688 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\operatorname{tg} \alpha_{MAX} - \operatorname{tg} \alpha_{MIN}) = 167.138 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \operatorname{sec} \alpha_{MIN} = 933.306 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \operatorname{sec} \alpha_{MAX} = 1029.407 \text{ Km}$$

Tenemos dos casos ideales y uno real

2.6.3.1.-Primeros 148 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia A de la región a ser cubierta y cubre los primeros 148 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A = 480.688 Km, B' = 148 Km y C = 800 Km

$$B' = 148 = 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}31^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} = \operatorname{tg} 31^\circ + 0.185$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 38^\circ 09'$$

luego

$$D = 933.306 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MAX}'} = 1017.471 \text{ Km}$$

2.6.3.2.-Ultimos 148 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia A + B = 148 Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 148 Km de ancho.

El valor de A + B = 148 Km = 499.827 Km = A'

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A = 480.688 Km, B' = 148 Km y C = 800 Km

$$B' = 148 = 800 \times (\operatorname{tg}39^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg} 39^\circ - 0.185$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 31^\circ 59'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{seca}_{\text{MIN}'} = 943.306 \text{ Km}$$

$$E = 1029.407 \text{ Km}$$

2.6.4.-Fine Resolution Mode

Para el modo Fine Resolution, el satélite usa 5 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 165 Km de ancho aproximadamente.

La resolución para este modo es como sigue:

Fine Resolution	Barrido Total (Km)	Resolución		N° vistas
		R(m)	A(m)	
F1	50	10	8	1
F2	49	9-10	8	1
F3	44	9	8	1
F4	43	9	8	1
F5	43	8-9	8	1

Para la figura 2.13

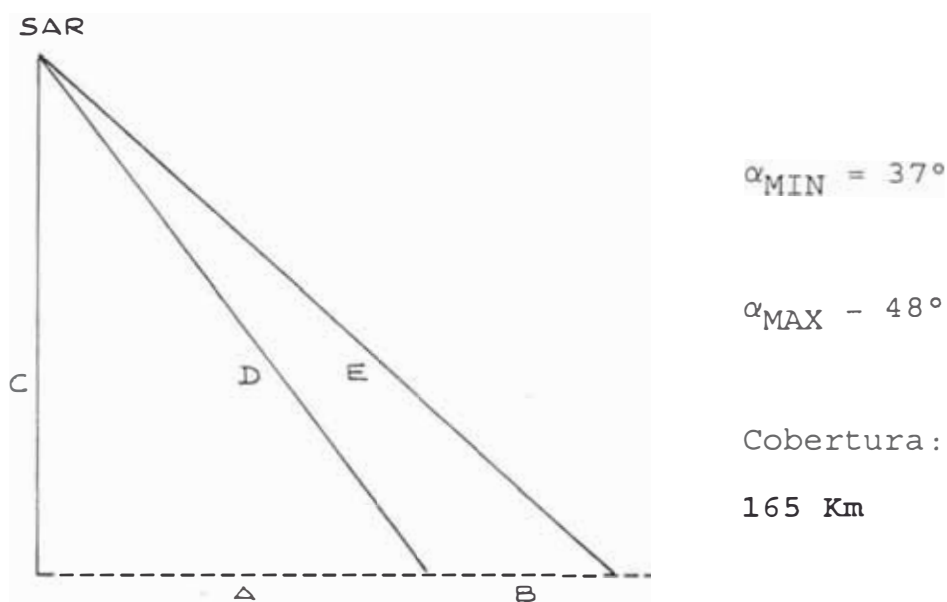


Fig. 2.13

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \operatorname{tg}\alpha_{MIN} = 602.843 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{MAX} - \operatorname{tg}\alpha_{MIN}) = 285.646 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \operatorname{seca}_{MIN} = 1001.708 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \operatorname{seca}_{MAX} = 1195.581 \text{ Km}$$

2.6.4.1.-Primeros 50 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia A de la región a ser cubierta y cubre los primeros 50 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A - 602.688 Km, B' - 50 Km y C - 800 Km

$$B' = 50 - 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}37^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg} 37^\circ + 0.0625$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} - 39^\circ 12'$$

luego

$$D = 1001.708 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MAX}'} - 1032.571 \text{ Km}$$

2.6.4.2.-Ultimos 50 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** + **B** 50 Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 165 Km de ancho.

El valor de $A + B - 50 \text{ Km} = 838.490 \text{ Km} - A'$

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 602.688 \text{ Km}$, $B' = 50 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 50 - 800 \times (\operatorname{tg}48^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} - \operatorname{tg} 48^\circ - 0.0625$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} - 46^\circ 20'$$

luego

$$D' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MIN}'}, - 1158.907 \text{ Km}$$

$$E = 1195.581 \text{ Km}$$

2.6.4.3.-Primeros 165 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los 165 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 602.688 \text{ Km}$, $B' = 165 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 165 = 800 \times (\text{tg}\alpha_{\text{MAX}'}, - \text{tg}37^\circ)$$

$$\text{tg}\alpha_{\text{MAX}'}, = \text{tg} 37^\circ + 0.20625$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'}, - 43^\circ 49'$$

luego

$$D = 1001.708 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MAX}'}, - 1108.865 \text{ Km}$$

2.6.4.4.-Ultimos 165 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** + **B** - 165 Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 165 Km de ancho.

El valor de $A + B - 165 \text{ Km} = 723.490 \text{ Km} = A'$

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A - 602.688 Km, B' - 165 Km y C - 800 Km

$$B' = 165 = 800 \times (\operatorname{tg}48^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg} 48^\circ - 0.20625$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 42^\circ 07'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}'} = 1078.627 \text{ Km}$$

$$E = 1195.581 \text{ Km}$$

2.6.4.5.-Cobertura de 50 o 165 kms dentro del rango de los ángulos de incidencia

Es cuando el RADARSAT se encuentra dentro del rango de los ángulos de incidencia -37° a 48° - de la región a ser cubierta y cubre 50 ó 165 Km de ancho -uso de uno o los cinco beams de la antena respectivamente-.

Los cálculos de cobertura son similares a los casos anteriores, dependerá mucho de la posición final del satélite -esto es ajuste de la órbita más apropiada- con respecto de la región a ser barrida y que cumpla los requerimientos mencionados líneas arriba.

2.6.5.-Scan-SAR (Narrow) Mode

Para el modo SCAN-SAR angosto, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 305 Km de ancho.

La resolución para este modo va de 24 y 45 mts. de alcance horizontal y de 31 y 26 mts. azimutal y usando 2 ó 4 looks o vistas.

Para la figura 2.14

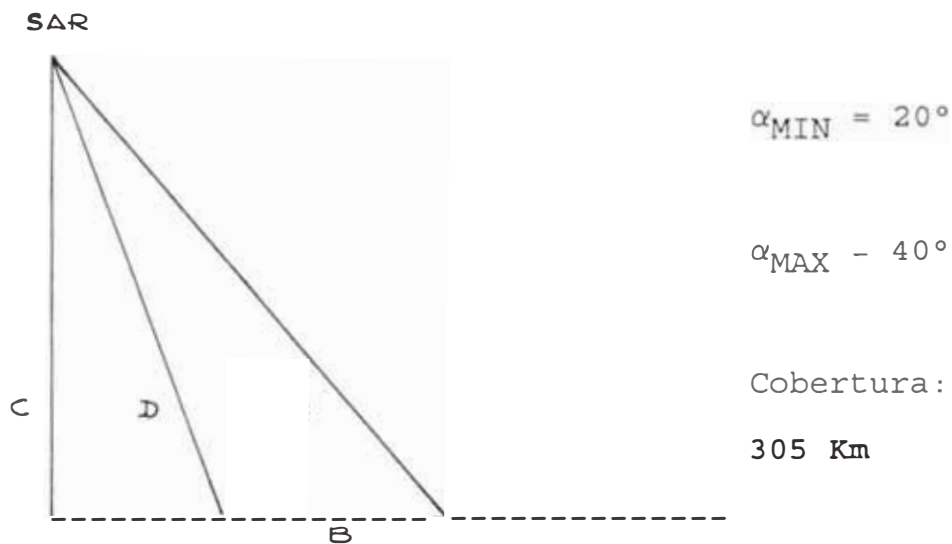


Fig. 2.14

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \text{tg}\alpha_{\text{MIN}} = 291.176 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\text{tg}\alpha_{\text{MAX}} - \text{tg}\alpha_{\text{MIN}}) = 380.103 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \text{sec}\alpha_{\text{MIN}} = 851.342 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \text{sec}\alpha_{\text{MAX}} = 1044.525 \text{ Km}$$

2.6.5.1.-Primeros 305 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia A de la región a ser cubierta y cubre los primeros 305 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 305$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 305 = 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}20^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} = \operatorname{tg} 20^\circ + 0.38125$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 36^\circ 41'$$

luego

$$D = 851.342 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MAX}'} = 997.710 \text{ Km}$$

2.6.5.2.-Ultimos 305 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia $A + B = 305$ Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 305 Km de ancho.

El valor de $A + B = 305$ Km $= 366.279$ Km $= A'$

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 305$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 305 = 800 \times (\operatorname{tg}40^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg}40^\circ - 0.38125$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 24^\circ 36'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}'} = 879.864 \text{ Km}$$

$$E = 1044.325 \text{ Km}$$

2.6.6.-Scan-SAR (Wide) Mode

Para el modo SCAN-SAR ancho, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 511 Km de ancho.

La resolución para este modo va de 20 y 45 mts. de alcance horizontal y de 62 y 45 mts. azimutal, usando 4 ú 8 looks o vistas. Para la figura 2.15

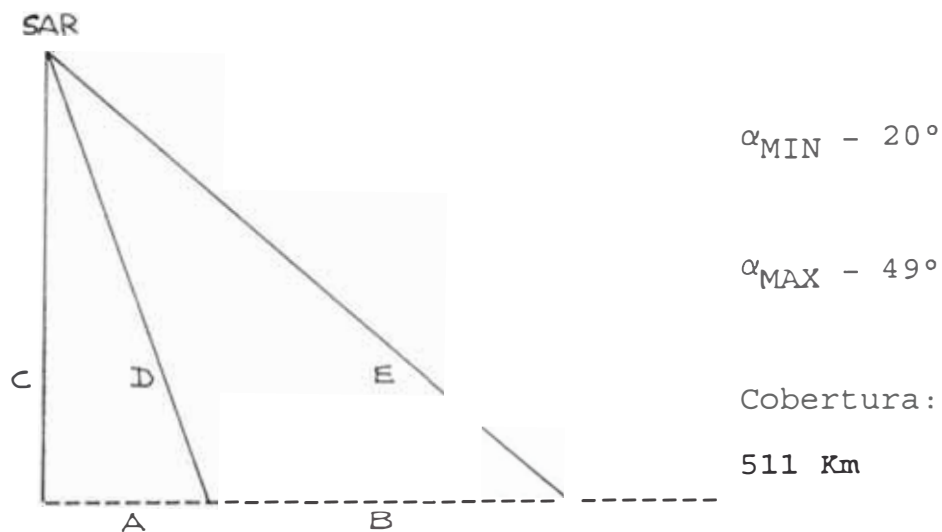


Fig. 2.15

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}} - 291.176 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}} - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}}) - 629.118 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}} - 851.342 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MAX}} - 1219.402 \text{ Km}$$

2.6.6.1.-Primeros 511 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los primeros 511 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A - 291.176 \text{ Km}$, $B' - 511 \text{ Km}$ y $C - 800 \text{ Km}$

$$B' = 511 = 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}20^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} = \operatorname{tg} 20^\circ + 0.63875$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} - 45^\circ 04'$$

luego

$$D = 851.342 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MAX}'} - 1132.910 \text{ Km}$$

2.6.6.2.-Últimos 511 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia $A + B - 511$ Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 511 Km de ancho.

El valor de $A + B - 511$ Km = 409.294 Km = A'

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 291.176$ Km, $B' = 511$ Km y $C = 800$ Km

$$B' = 511 = 800 \times (\operatorname{tg}40^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg} 49^\circ - 0.63875$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 27^\circ 05'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}'}, = 898.622 \text{ Km}$$

$$E = 1219.402 \text{ Km}$$

2.6.7.-Extended (High) Mode

Para el modo Extendido superior, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 75 Km de ancho.

La resolución para este modo va de 11 a 9 mts. de alcance horizontal y de 9 mts. azimutal, usando 1 look o vista.

Para la figura 2.16

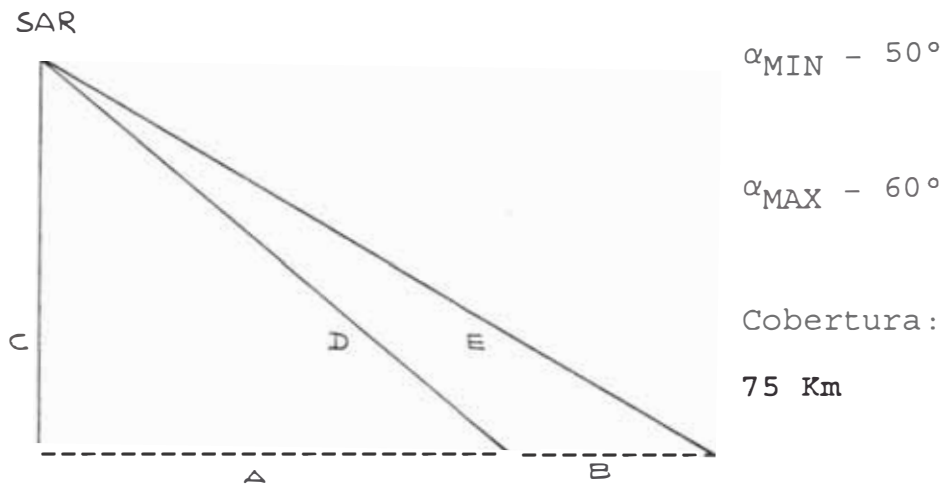


Fig. 2.16

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \operatorname{tg} \alpha_{MIN} = 953.402 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\operatorname{tg} \alpha_{MAX} - \operatorname{tg} \alpha_{MIN}) = 432.237 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D - 800 \times \operatorname{sec} \alpha_{MIN} = 1244.579 \text{ Km}$$

$$E - 800 \times \operatorname{sec} \alpha_{MAX} = 1600.000 \text{ Km}$$

2.6.7.1.-Primeros 75 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los primeros 75 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 953.402 \text{ Km}$, $B' = 75 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 75 - 800 \times (\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg}50^\circ)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MAX}'} - \operatorname{tg} 50^\circ = 0.09375$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'} = 52^\circ 07'$$

luego

$$D = 1244.579 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MAX}'} = 1302.924 \text{ Km}$$

2.6.7.2.-Últimos 75 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia $A + B = 75 \text{ Km}$ de la región a ser cubierta y cubre los últimos 75 Km de ancho.

El valor de $A + B = 75 \text{ Km} = 1310.640 \text{ Km} = A'$

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 953.402 \text{ Km}$, $B' = 75 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 75 - 800 \times (\operatorname{tg}60^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} - \operatorname{tg} 60^\circ = 0.09375$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 58^\circ 36'$$

luego

$$D' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MIN}} - 1535.506 \text{ Km}$$

$$E = 1600.000 \text{ Km}$$

2.6.8.-Extended (Low) Mode

Para el modo Extendido inferior, el satélite usa 1 multibeam forming la cual puede cubrir regiones hasta 170 Km de ancho.

La resolución para este modo va de 11 a 9 mts. de alcance horizontal y de 9 mts. azimutal, usando 1 look o vista.

Para la figura 2.17

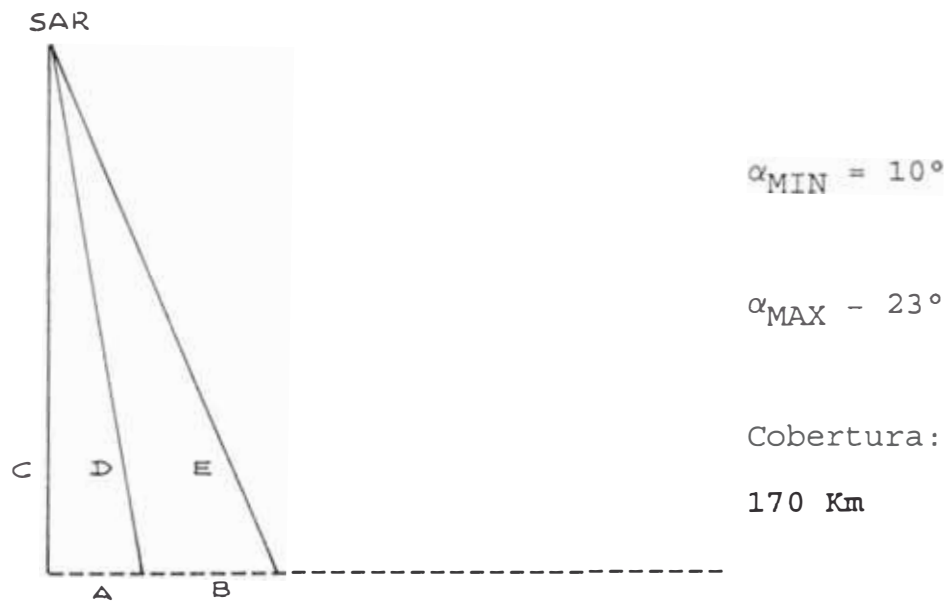


Fig. 2.17

calculamos los valores A, B, C, D y E.

$$A - 800 \times \text{tg}\alpha_{\text{MIN}} = 141.061 \text{ Km}$$

$$B - 800 \times (\text{tg}\alpha_{\text{MAX}} - \text{tg}\alpha_{\text{MIN}}) = 198.518 \text{ Km}$$

$$C - 800 \text{ Km}$$

$$D = 800 \times \sec\alpha_{\text{MIN}} = 812.341 \text{ Km}$$

$$E = 800 \times \sec\alpha_{\text{MAX}} = 869.088 \text{ Km}$$

2.6.8.1.-Primeros 170 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** de la región a ser cubierta y cubre los primeros 170 Km de ancho.

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando $A = 141.061 \text{ Km}$, $B' = 170 \text{ Km}$ y $C = 800 \text{ Km}$

$$B' = 170 = 800 \times (\text{tg}\alpha_{\text{MAX}'}, - \text{tg}10^\circ)$$

$$\text{tg}\alpha_{\text{MAX}'}, = \text{tg} 10^\circ + 0.2125$$

donde

$$\alpha_{\text{MAX}'}, = 21^\circ 14'$$

luego

$$D = 812.341 \text{ Km}$$

$$E' = 800 \times \sec\alpha_{\text{MAX}'}, = 858.346 \text{ Km}$$

2.6.8.2.-Ultimos 170 km de cobertura

Es cuando el satélite se encuentra justo a la distancia **A** + **B** - 170 Km de la región a ser cubierta y cubre los últimos 170 Km de ancho.

El valor de $A + B - 170 \text{ Km} = 169.579 \text{ Km} = A'$

Tenemos los siguientes cálculos.

Considerando A - 141.061 Km, B' - 170 Km y C - 800 Km

$$B' = 170 = 800 \times (\operatorname{tg}23^\circ - \operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'})$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{\text{MIN}'} = \operatorname{tg}23^\circ - 0.2125$$

donde

$$\alpha_{\text{MIN}'} = 11^\circ58'$$

luego

$$D' = 800 \times \operatorname{sec}\alpha_{\text{MIN}'} = 817.775 \text{ Km}$$

$$E = 869.088 \text{ Km}$$

CAPITULO III

METODOLOGIA DE LA CAPTURA DE IMAGENES SATELITALES POR EL SISTEMA RADARSAT. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION CAPTURADA A NIVEL DE SENAL Y POR SOFTWARE

3.1.-Análisis físico y matemático

3.1.1.-Introducción

3.1.1.1.-¿Qué es RADAR?

Significa **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging (*Detección y Determinación de la Distancia por Radio*). Este término es aplicado para cualquier dispositivo en la cual:

- 1) Un transmisor irradia a un objeto de dispersión o de reflectancia.
- 2) Un receptor que mide algunas propiedades del objeto.

3.1.1.2.-Cantidades medibles

- 1) Retardo de tiempo de la señal de retorno.
 - Rango o alcance/distancia del objeto al radar.
- 2) Intensidad de la señal de retorno.
 - Tamaño del objeto.
 - Geometría/Orientación del objeto.
 - Rugosidad del objeto.
 - Propiedades dieléctricas.

3.1.2.- Breve revisión de los principios de Radar

3.1.2.1.-Elementos básicos de un Sistema de Radar

Los elementos básico de un sistema de radar lo indicamos en la fig. 3.1.

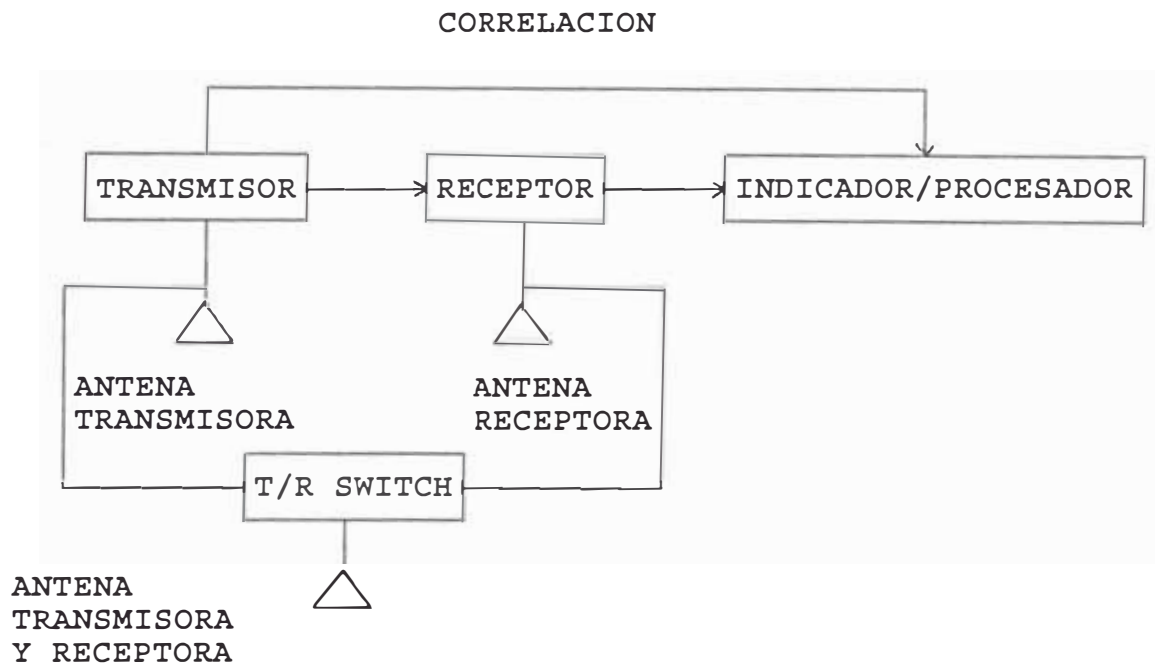


Fig. 3.1

3.1.2.1.1.-Pulsos

La mayoría de los sistemas de radares usan una antena simple para transmitir y recibir la señal.

Esto requiere que:

- 1) La transmisión ocurra en cortas ráfagas (o burst) o pulsos.
- 2) Switchando la antena para recibir en los vacíos entre los pulsos transmitidos.

La transmisión de los pulsos están sujetos al parámetro PRF (Frecuencia de Repetición de Pulsos), la cual para el diseño de la antena, respecto a la transmisión de los pulsos, tiene ciertas restricciones técnicas.

$$(2 \times V) / D \leq \text{PRF} \leq c / (2 \times W)$$

donde:

V - velocidad de la plataforma satelital en metros/seg

- 7448.80163 m/s.

D - longitud de la antena SAR - 15m.

c - velocidad de la luz - 3×10^8 m/s.

W ancho del barrido en Km - 106 máx (standard mode)

Reemplazando:

$$993 \leq \text{PRF} \leq 1415 \quad (\text{Hz})$$

También depende de la frecuencia de pulso comprimido o chirp pulse, para obtener la resolución deseada (y también para la cobertura deseada). Aparentemente existe contradicción, pero como ya lo indicamos oportunamente en el capítulo II (*tabla de coberturas*), el RADARSAT posee multibeam forming para lograr cubrir zonas muchas más extensas (511 Km)

Ahora bien respecto de la intensidad de pulso -Fig 3.2-

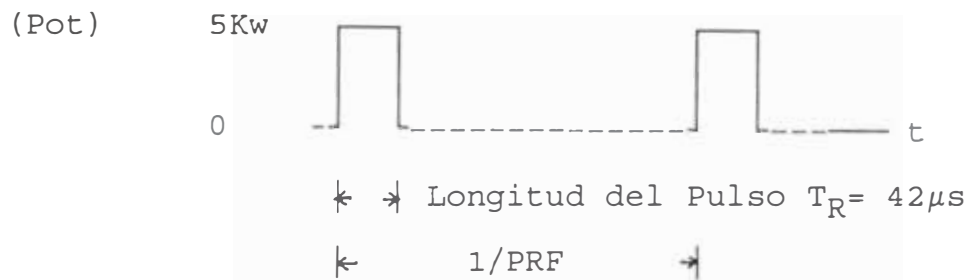


Fig 3.2

es de tal duración que la potencia promedio (nominal) resulta 300 watts -Fig 3.3-.



Fig 3.3

Debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{\text{Potencia Promedio}}{\text{Potencia Pico}} = \frac{\text{Longitud del Pulso}}{\text{Tiempo de Repetición del Pulso}}$$

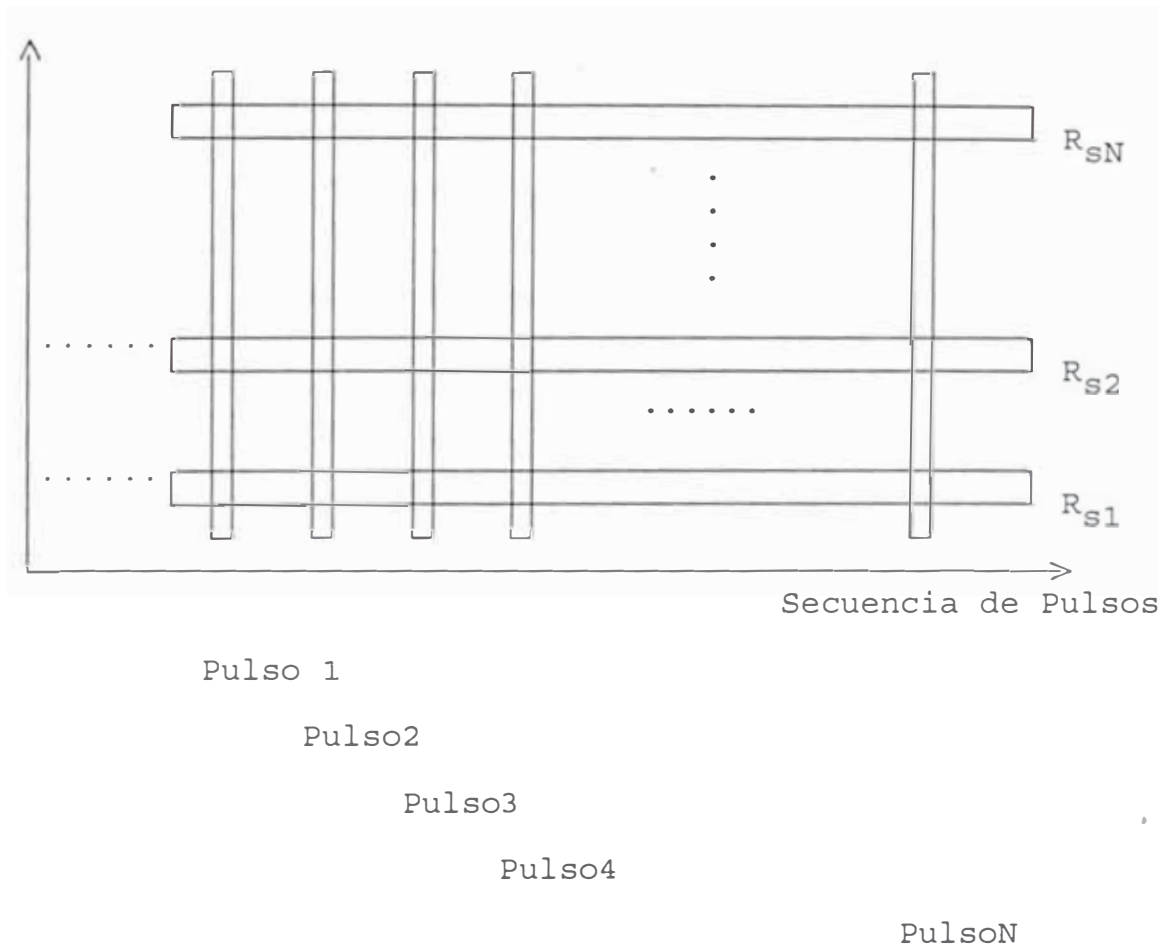
Nos hace suponer que si la longitud del pulso de radar es de $42\mu\text{seg}$, el PRF varía de 1270 a 1390 Hz particularmente a 1390 Hz- y si la potencia pico es de 5000 watts entonces:

$$\text{Pot Prom (w)} = \text{Pot_Pico} \times \text{Long_Pulso} \times \text{PRF} = 291.9 \text{ w}$$

se encuentra dentro de las consideraciones técnicas.

En la fig. 3.4 mostramos la relación de la transmisión de los pulsos y el barrido.

Propagación
y tiempo $2R_S/c$



$$R_{S1} = ct_1/2, R_{S2} = ct_2/2, \dots, R_{SN} = ct_N/2$$

provenientes de los punto x con distancia R_S al satélite, estas señales de retorno son almacenados en una matriz de datos.

Fig 3.4

3.1.2.1.2.-Tipos de Distancia

Hay dos tipos de rango -fig 3.5- comúnmente referidos a:

1) Distancia inclinada $-R_s-$.

-Distancia del objetivo a la antena.

La distancia mínima es $R_s \text{ mín} = 812 \text{ Km}$ (Low Extended Mode) usando el ángulo de incidencia de 10° en adelante.

La distancia máxima es $R_s \text{ máx} = 1600 \text{ Km}$ (High Extended Mode), usando hasta los 60° del ángulo de incidencia -en el caso extremo superior-.

2) Distancia Horizontal $-R_g-$.

-Distancia del objeto a la proyección de la plataforma satelital a la Tierra. En este caso es la distancia oblicua dividido aproximadamente (por la curvatura de la tierra) por el $\text{sen}(\text{Á}^\circ \text{ incidencia})$ de acuerdo a la geometría del SAR.

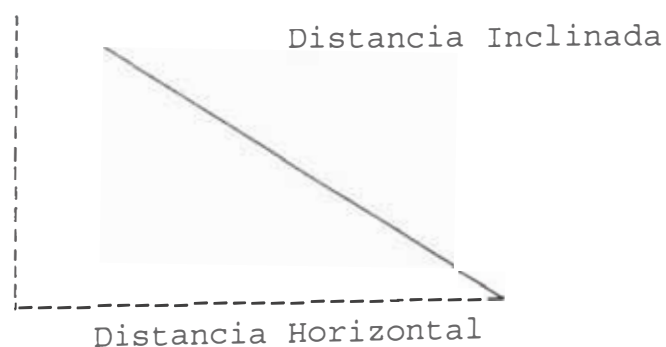


Fig. 3.5

3.1.2.1.3.-Medición de la Distancia

El rango de pendiente es determinado del tiempo de retardo entre la transmisión y recepción del pulso retornado, así que:

$$\text{Distancia inclinada} = c(t_{\text{rev}} - t_{\text{trans}})/2$$

donde:

t_{rev} - tiempo de retorno

t_{trans} - tiempo de transmisión

c - velocidad de la luz - 3×10^8 m/s

Para computar la distancia horizontal requiere un conocimiento de la geometría del sistema también como el tiempo de retardo.

3.1.3.-Sistemas de Imágenes

3.1.3.1.-Geometría

3.1.3.1.1.-Vista Vertical

Esta es la geometría de vista convencional para los tradicionales sistemas de Teledetección trabajando con longitudes de onda visible e IR -fig. 3.6.

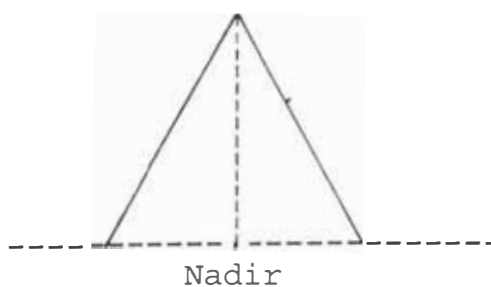


Fig. 3.6

3.1.3.1.1.1.-Vista Vertical:problemas

Tal como aproximarse sensores IR o visibles en la labor donde el barrido puede ser escaneado o registrado fotográficamente.

Sin embargo, problemas ocurren con los sensores de imágenes de microondas donde el proceso es ejecutado con tiempo.

-Ambigüedades de tiempo a causa del igual tiempo de retardo desde puntos sobre cualquier lado del nadir.

-Ambigüedades de distancia, ya que a la misma velocidad y tiempo de retorno se tiene la misma distancia sobre cualquier lado del nadir.

3.1.3.1.1.2.-Ambigüedad de tiempo

Como ya lo indicamos en el punto anterior, lo mostramos en la fig. 3.7

Problemas con la
vista vertical

Retardos de Tiempo

A

t	-	t ₀
t	-	t ₁
t	-	t ₂
t	-	t ₃
t	-	t ₄

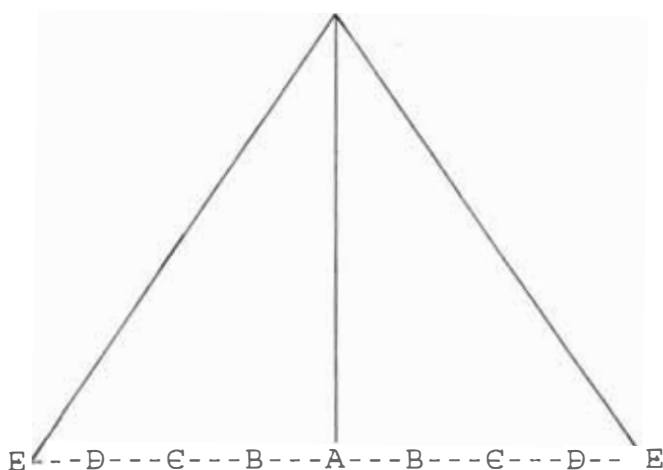


Fig. 3.7

3.1.3.1.2.-Vista Lateral

La geometría de vista lateral -fig 3.8- es empleada por sensores remotos de radar para evitar los retardos de tiempo y en consecuencia las ambigüedades de distancia.

Geometría de vista lateral

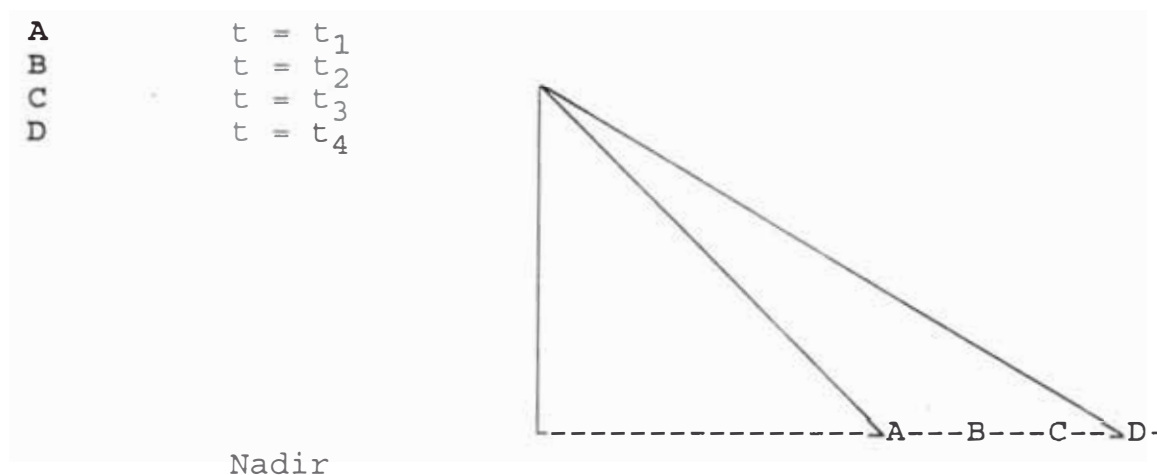


Fig. 3.8

3.1.3.2.-SLAR

- 1) La resolución en distancia (Range Resolution) obtenido por los pulsos cortos.
- 2) La imagen azimutal (a lo largo de la línea de pista) obtenido por el uso del movimiento de la plataforma aérea para transportar por último la antena al área a ser cubierta.

Este resultado en imágenes con desviaciones de resolución alrededor del barrido:

- La resolución de Distancia Horizontal es peor a distancias cortas -proporcional a la distancia R_s de la plataforma al objetivo-.
- La resolución de Distancia Inclínada es siempre constante.
- La resolución azimutal es peor a distancias grandes.

Es por esto la inconveniencia de usar satélites que posean antenas SLAR de abertura real, por las razones expuestas líneas arriba.

3.1.3.3.-SAR

- 1) La resolución en Distancia obtenida por el uso de pulsos chirpeados (esto es expansión y compresión del pulso).
- 2) Como antes, la plataforma, en este caso movimiento del satélite es usado para mover la antena a través del objetivo, pero con el proceso de datos modificados.

Este resultado en imágenes con la resolución azimutal constante:

- La resolución en distancia horizontal aún varía como vimos anteriormente, con la consideración que a mayores distancias peor es la resolución.

- La resolución en distancia inclinada es siempre constante.
- La resolución azimutal es constante para todos los rangos al usar la antena SAR.

3.1.4.-Breve revisión de la Teoría del SAR

3.1.4.1.-Geometría en detalle

Ver figs. 3.9 y 3.10.

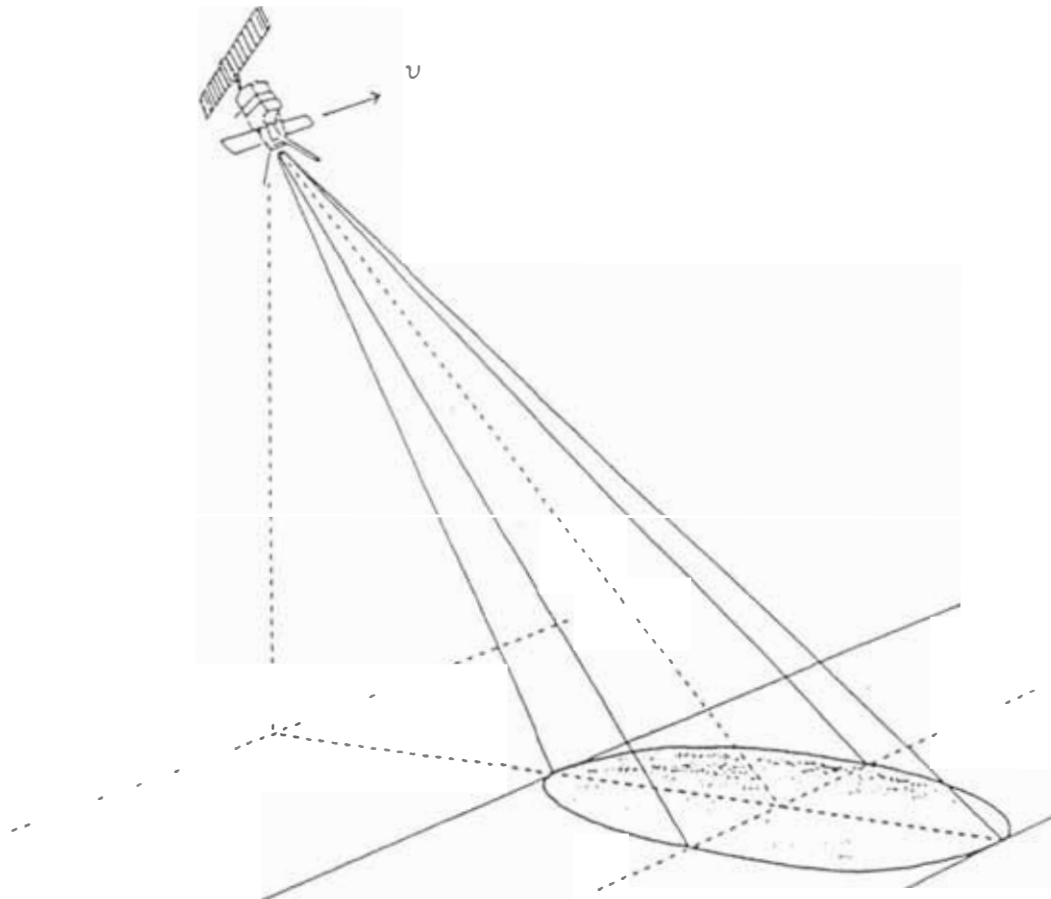
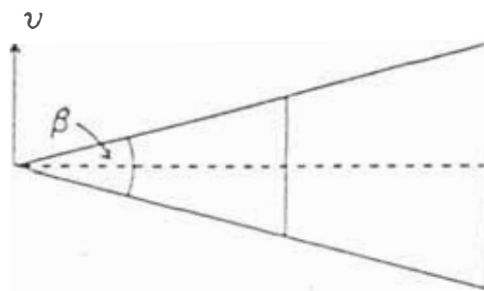
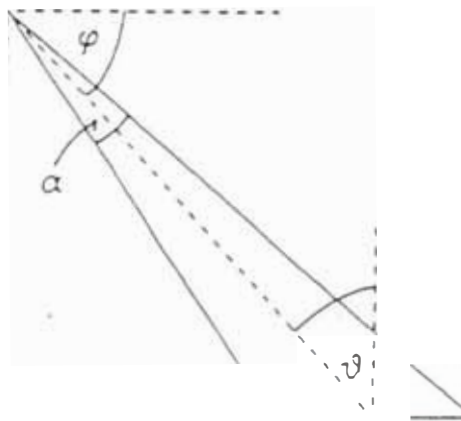


Fig. 3.9 Side-looking radar: general view



Side-looking radar: plan



Side-looking radar: elevation

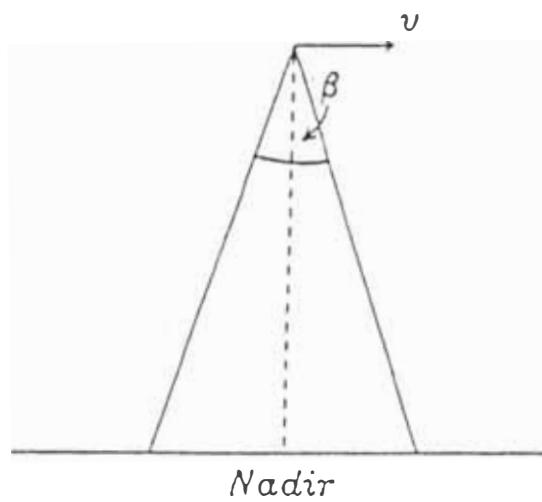


Fig. 3.10 Side-looking radar: view

3.1.4.2.-Resolución en Distancia (Range)

La resolución en distancia es la mas pequeña distancia entre dos puntos separados en distancia en el objetivo que aparecen como puntos separados en la imagen (dos "puntos contiguos")

Sabemos que el tiempo T_D que demora en ir y venir un pulso es:

$$T_D = 2 \times R_S / c$$

Para c constante tenemos:

$$\delta(T_D) = 2 \times \delta(R_S) / c$$

según la geometría en la transmisión de los pulsos en el sistema SAR:

$$\begin{aligned} \delta(T_D) &= T_p & \text{y} \\ \delta(R_S) &= \delta R_S \end{aligned}$$

En distancia inclinada la resolución puede ser relacionada a la duración del pulso.

$$\begin{aligned} T_p &= 2 \times \delta R_S / c & \text{o es lo mismo} \\ \delta R_S &= T_p \times c / 2 \end{aligned}$$

donde:

- δR_S = resolución en distancia inclinada (metros)
- duración del pulso (segundos)
- velocidad de la luz (metros/segundos)

3.1.4.2.1.-Resumen

La ecuación $\delta R_S = T_p \cdot c/2$ implica que la resolución en distancia es dependiente por la longitud del pulso comprimido modulado.

Como vimos, los valores de T_p , tiene hasta tres valores dependiendo del tipo de cobertura.

- a) $f_1 - 11.6 \text{ Mhz}$ $T_p - 86.20 \text{ ns}$ $\delta R_S - 12.93\text{m}$
- b) $f_2 - 17.3 \text{ Mhz}$ $T_p - 57.80 \text{ ns}$ $\delta R_S - 8.67\text{m}$
- c) $f_3 - 30.0 \text{ Mhz}$ $T_p - 33.33 \text{ ns}$ $\delta R_S - 5.0\text{m}$

Con el pulso más corto, es mejor la resolución en distancia, y para obtenerlo se comprime el ancho del pulso entre 33.3 nseg-86.2 nseg (para obtener las diferentes resoluciones en distancia horizontal que se mostraron en la Tabla 2.3 -Cap. II-)

Sin embargo, hay también una necesidad para la alta potencia transmitida y este requiere una longitud de pulso largo.

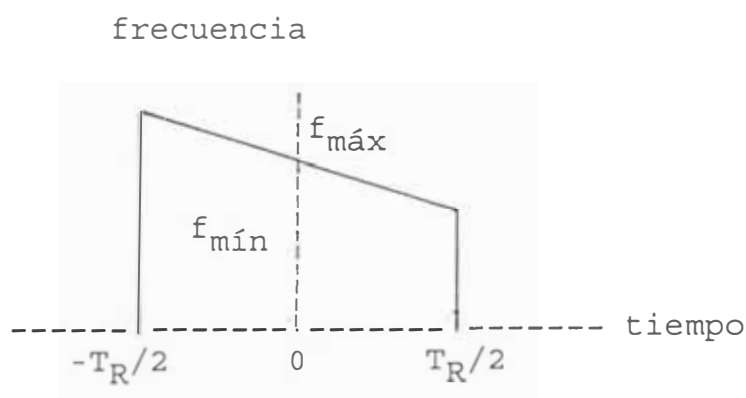
A pesar de esos aparentes requerimientos contradictorios hay una forma de lograr ambos: Chirpeo (Chirping o chirrido)

3.1.4.3.-Chirpeando el Pulso (*Chirping the Pulse*)

3.1.4.3.1.-¿Qué es el Chirping?

Para aplicar la técnica del *chirping* se combina las técnicas de Frecuencia Modulada lineal y la de modulación de pulso, de tal manera que a una longitud de pulso T_R (de $42\mu s.$) es posible codificar a tiempo el pulso y así mejorar la resolución. Luego así haciéndolo efectivamente simulado un pulso de corta duración T_p .

El proceso del chirping consiste de un pulso la cual la frecuencia decrece linealmente con el tiempo (Fig 3.11) Es relativamente fácil construir un filtro lineal la cual aplica una fase rezagada a este chirp, siendo este rezago proporcional a la frecuencia. Si este es cuidadosamente escogido todas las partes del pulso largo son rezagados dentro de un espacio muy corto de tiempo cuando un pulso corto de muy alta frecuencia y alta potencia ocurren.



donde T_R es la longitud del pulso de radar - $42 \mu s$

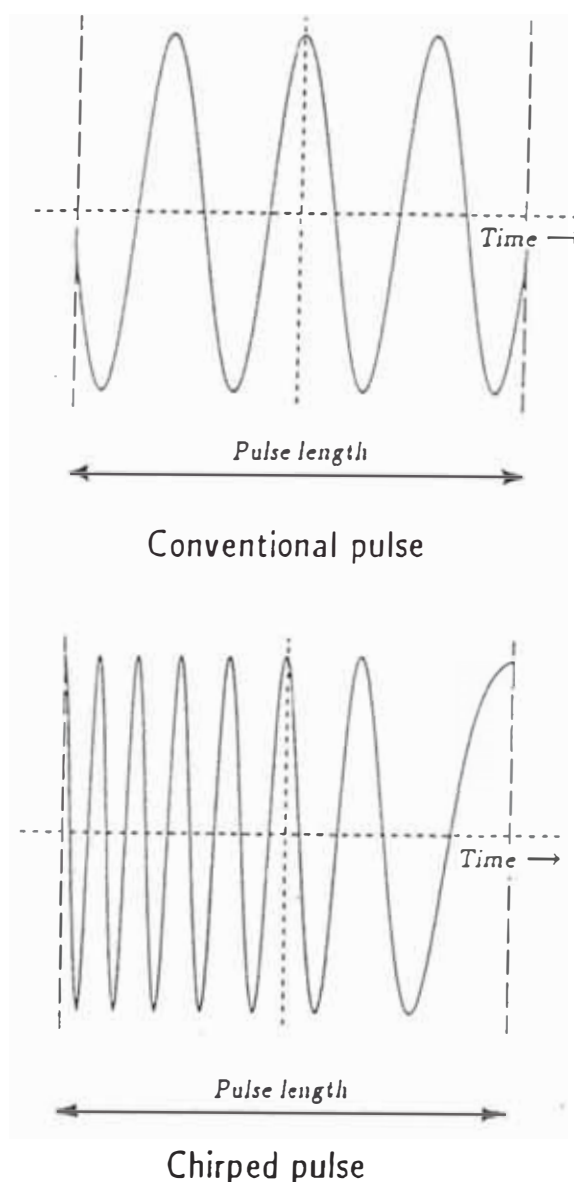
Un chirped pulse

Fig. 3.11

Como este es un proceso lineal, este filtro puede ser aplicado después que el chirp ha sido reflejado desde el terreno y recibido en la antena, para crear la señal de la cual habría sido retornado si el mismo pulso corto había sido emitido. Este proceso en el contexto del SAR es llamado compresión en alcance de la señal (o *range compression*)

3.1.4.3.2.-¿Qué hace el Chirping?

Ver fig. 3.12



3.1.4.3.3.-¿Cómo trabaja el Chirping?

3.1.4.3.3.1.-Aplicando Teoría de Fourier

Ver fig. 3.13

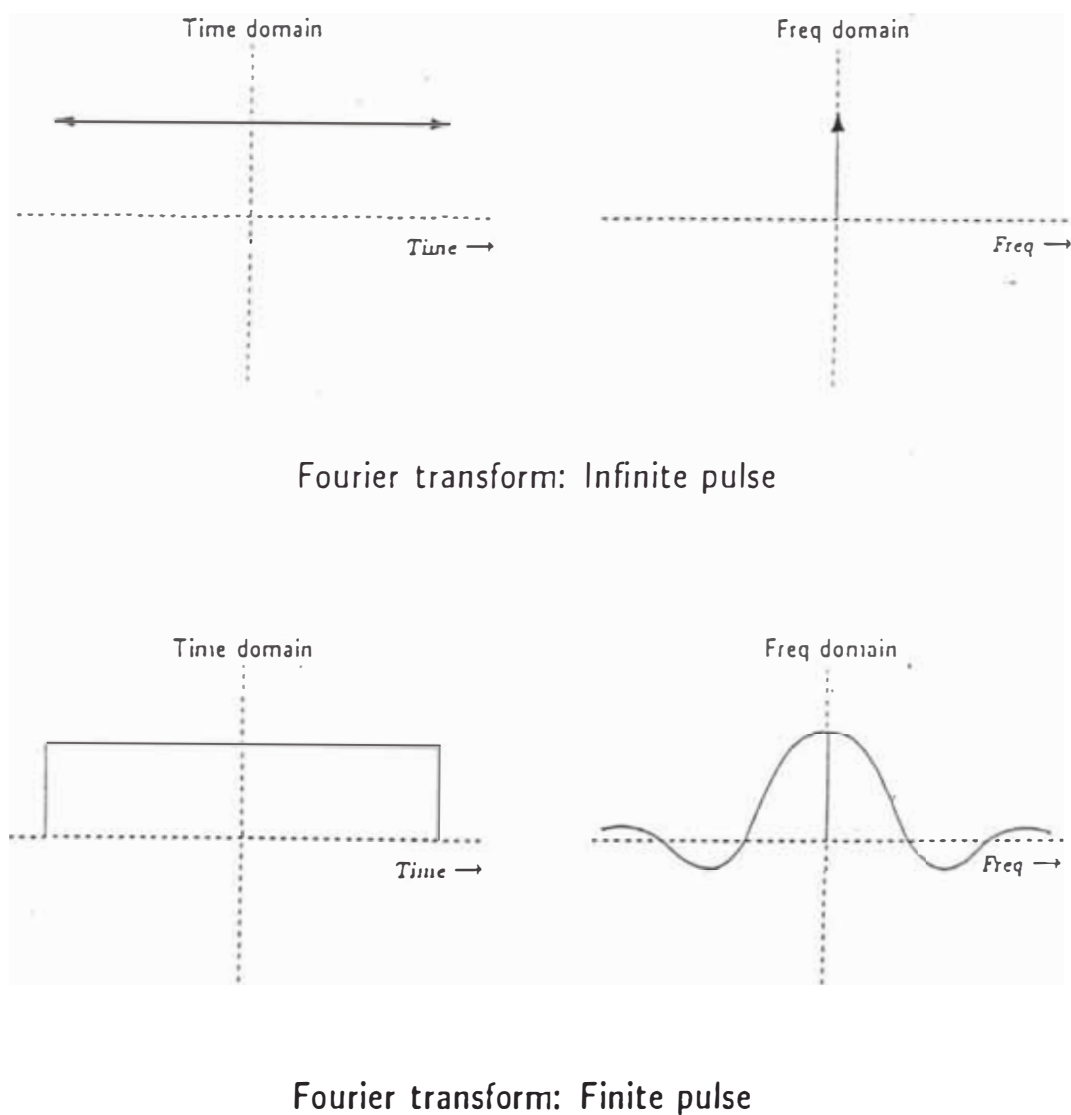
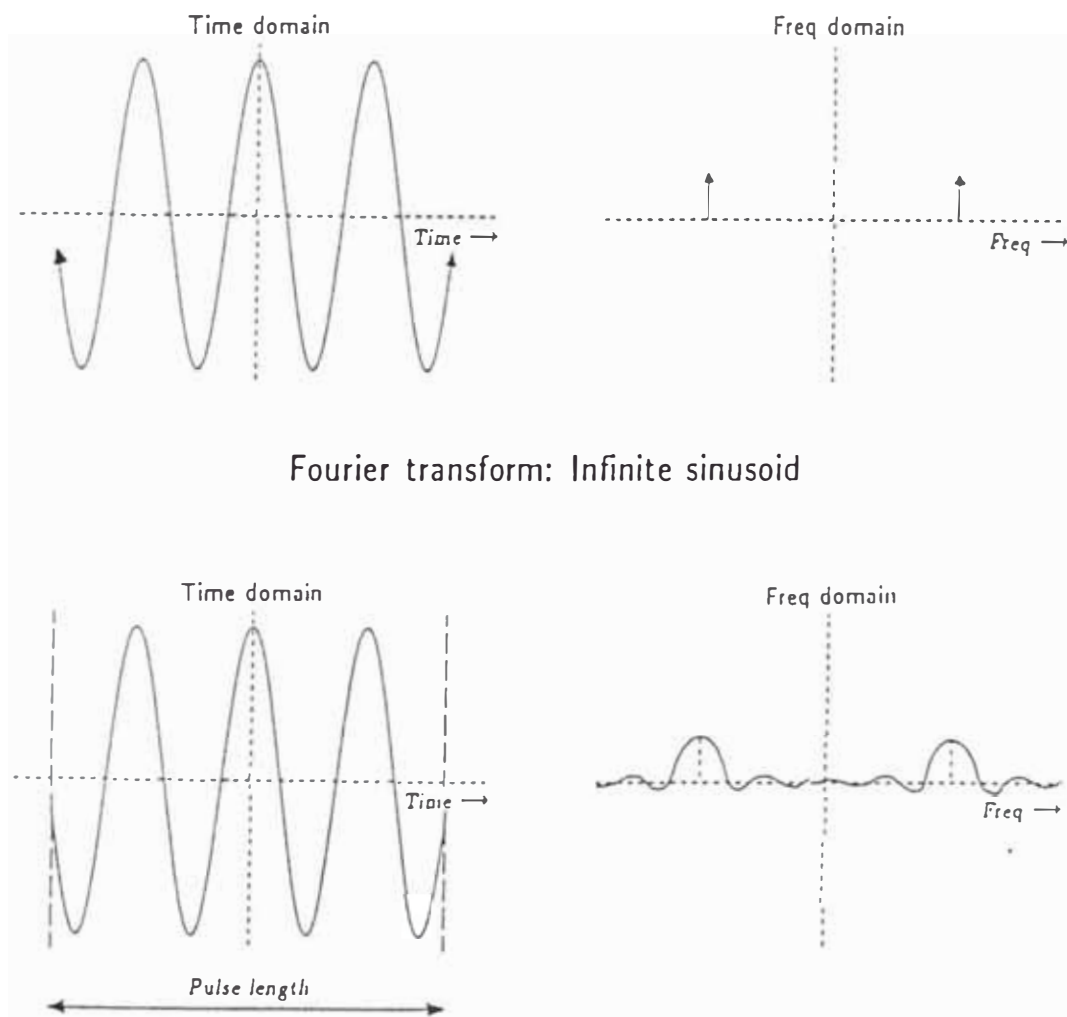


Fig. 3.13

3.1.4.3.3.2.-Más Teoría de Fourier

Ver fig. 3.14

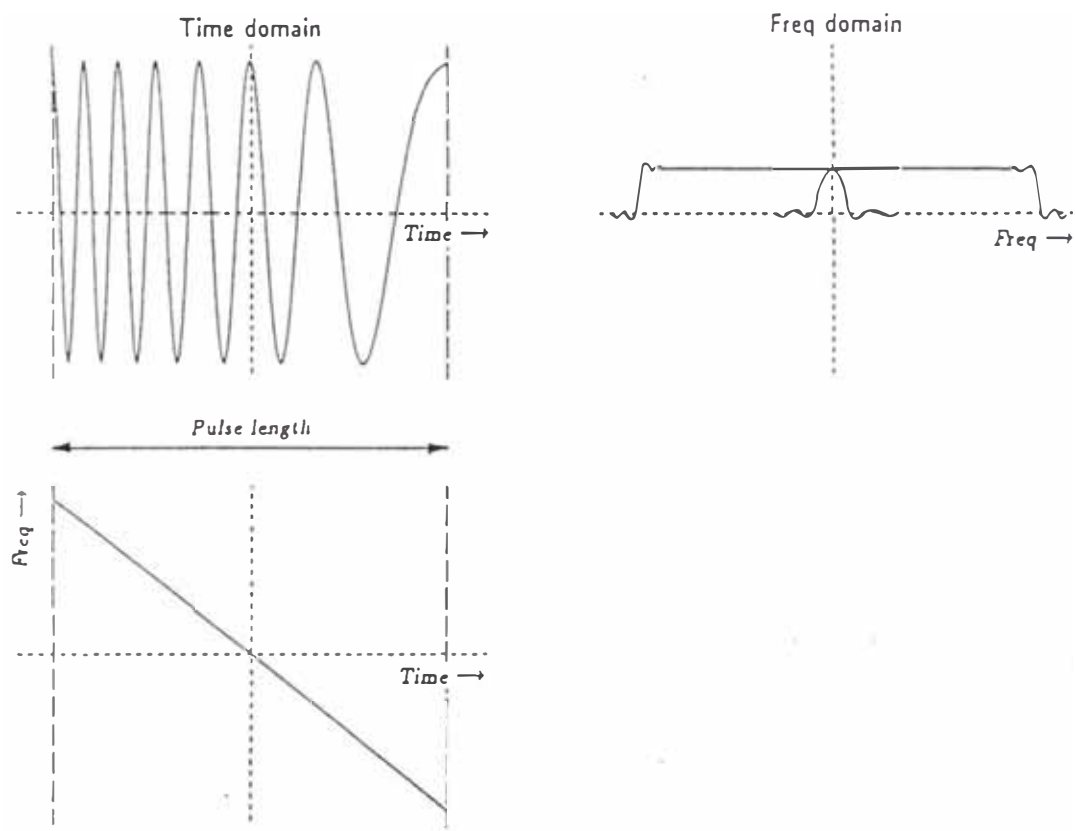


Fourier transform: Finite sinusoid

Fig. 3.14

3.1.4.3.3.3.-Compresión del Pulso

Ver fig. 3.15



Short pulse simulation by long pulse

Fig. 3.15

3.1.4.3.3.4.-Compresión del Pulso.-Notas Importantes

- 1) Chirpeando envuelve el espectro convenientemente para:
 - Duración del pulso.
 - FM impuesta.

- 2) Ancho de banda impuesta \gg Ancho de banda inherente.
 - Ancho de banda impuesta es la que conviene para FM.
 - Ancho de banda inherente es la que conviene para la longitud del pulso

De este modo la transformación conveniente para la duración del pulso se convierte insignificante en la convolución

El resultado es que la efectiva duración del pulso se convierte tal que con un ancho de banda igual al ancho de banda de FM, es mucho más corto.

3.1.4.3.4.-Compresión del Pulso.-Prueba y conclusión

Tomamos justo dos puntos, P_1 y P_2 transversales, con las propiedades:

	P_1	P_2
Distancia Inclineda	R_{S1}	R_{S2}
Retardo de Tiempo (Eco de ida y vuelta)	$T_{D1} = \frac{2R_{S1}}{c}$	$T_{D2} = \frac{2R_{S2}}{c}$

La diferencia de tiempos entre estos dos puntos es:

$$T_{D2} - T_{D1} = T_p = 2(R_{s2} - R_{s1})/c$$

Reordenando para hacer la diferencia de las distancias inclinadas, tenemos:

$$R_{s2} - R_{s1} - \delta R_s = c \times T_p / 2 = c / (2\delta f_R)$$

- $c / (\text{El doble del Ancho de banda } \textit{impuesto})$

donde:

δR_s = resolución de la distancia inclinada (metros)

c - velocidad de la luz (metros/segundos)

T_p - Longitud de pulso *efectivo* (segundos)

δf_R = Ancho de banda *impuesta* (Hz) = $1/T_p$

Por consiguiente, la conclusión es que la resolución δR_s es constante para todos los rangos

Como vimos puntos atrás, los δf_R tienen tres valores posibles, de acuerdo al modo seleccionado de cobertura:

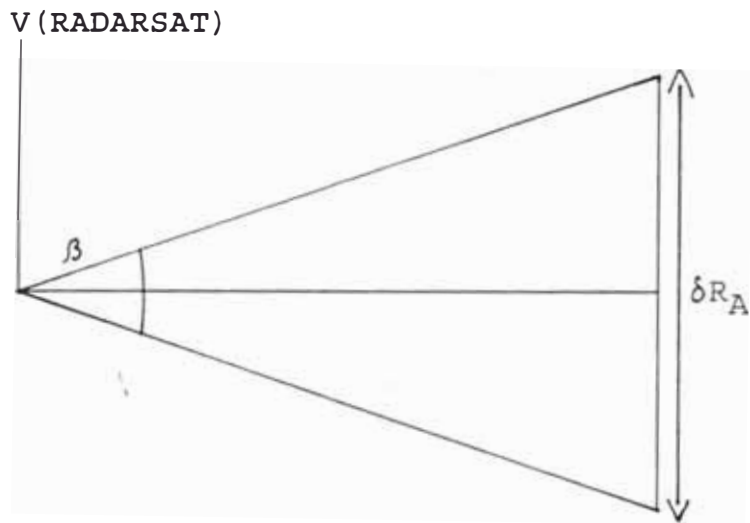
δf_{R1} - 11.6 Mhz

δf_{R2} - 17.3 Mhz

δf_{R3} - 30.0 Mhz

3.1.4.4.-Resolución Azimutal

La resolución azimutal es la más pequeña distancia entre dos puntos separados en azimut en el objetivo que aparece como puntos separados (dos pixeles contiguos) en la imagen -fig. 3.16-.



GEOMETRIA SAR: Ancho de Haz Azimutal

Fig 3.16

Tenemos que para valores de β , podemos hacer la aproximación siguiente:

$$\text{sen}\beta \sim \text{tan}\beta \sim \beta$$

Así que la resolución, δR_A se convierte en:

$$\delta R_A = \beta \times R_S$$

donde:

δR_A - Resolución azimutal (metros)

β - Ancho de Haz azimutal (radianes)

R_S - Distancia oblicua al objeto (metros)

3.1.4.4.1.-Radar de abertura real

Para el radar de abertura real, el ancho de haz azimutal β es:

$$\beta = L_o/L = L_o/D$$

Luego la resolución azimutal, δR_A se convierte:

$$\delta R_A = L_O \cdot R_S / D$$

donde:

- δR_A - Resolución azimutal (metros)
- L_O - Longitud de onda del radar (metros)
- R_S - Distancia oblicua al objeto (metros)
- L - Dimensión de abertura azimutal = D (metros)
- D - Dimensión de la Antena azimutal (metros)

Analizando estas consideraciones podemos indicar por esto que habrían dos problemas con el uso del radar para la Teledetección de alta resolución, especialmente del espacio

1) Distancia al objetivo.

- La corta distancia oblicua implica una buena resolución azimutal.
- Por consiguiente una larga distancia oblicua ofrece una pobre resolución azimutal.

2) Tamaño de la Antena.

- Es impráctico para portar una larga antena sobre el satélite (también de un avión), en el orden de varios cientos de metros.
- Y un pequeño tamaño de ésta limita una posible resolución azimutal.

Es por esto que resulta impráctico usar satélites que porte una antena de abertura real.

3.1.4.4.2.-Radar de abertura sintética

Usando el movimiento de la plataforma y modificando el procesamiento de datos es posible para simular una antena larga, con esto mejoramos la resolución azimutal obtenible.

Hay dos técnicas para esto:

1) SAR Desenfocado.

-La no corrección es hecha sobre la señal de retorno precedente a procesar.

-Impone un límite sobre la máxima longitud de la abertura sintética.

2) SAR Enfocado (la que usa el RADARSAT).

-La fase de todas las señales de retorno es corregida precedente a procesar.

-La longitud de la abertura es limitada por la antena física solamente.

3.1.4.4.2.1.-SAR desenfocado

Para el radar SAR desenfocado el ancho de haz azimutal β es:

$$\beta' = L_0 / (2L) = L_0 / 2 (R_s \cdot L_0)^{1/2} = 1/2 \times (L_0 / R_s)^{1/2}$$

Así que la resolución azimutal δR_A , se convierte en:

$$\delta R_A = \beta' R_s = 1/2 \times (R_s \cdot L_0)^{1/2}$$

donde:

δR_A - Resolución azimutal (metros)

L_O - Longitud de onda del radar (metros)

L - Dimensión de la abertura azimutal (metros)

$$= (R_S \cdot L_O)^{1/2}$$

R_S - Distancia oblicua al objetivo (metros)

Lo importante es que la división en dos partes del ancho de haz aquí es debido a la abertura siendo un arreglo sintético

La resolución azimutal es independiente del tamaño de la abertura sintética generada.

3.1.4.4.2.2.-SAR desenfocado.-prueba

Las señales coherentes dispersadas por el objetivo *no están corregidas en fase antes del procesamiento*. Esto produce una limitación debido a la longitud de la ruta sobre la máxima extendida de abertura sintética que puede ser generada -fig. 3.17-, y este límite es alcanzada cuando:

$$R_X - R_S = L_O/8$$

Ground track

GEOMETRIA SAR:
Ancho de Haz

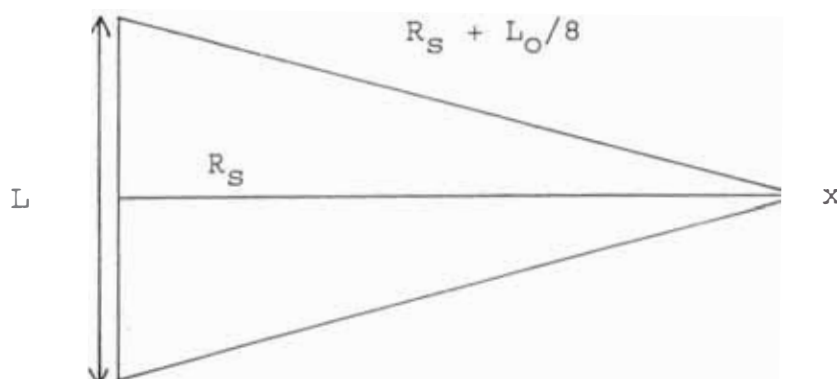


Fig 3.17

Aplicando Pitágoras y para pequeños β tenemos:

$$(R_S + L_O/8)^2 = R_S^2 + (L/2)^2$$

$$R_S^2 + R_S \cdot L_O/4 + L_O^2/64 = R_S^2 + L^2/4$$

$$R_S \cdot L_O + L_O^2/16 = L^2$$

asumiendo que $L_O/16$ es pequeño comparado con R_S :

$$L \sim (R_S \cdot L_O)^{1/2}$$

Luego:

$$\delta R_A = \beta' R_S = 1/2 \times (L_O \cdot R_S)^{1/2}$$

Los valores de L y δR_A tenemos si asumimos $L_O = 5.66\text{cm}$ y

$$R_S = 851\text{Km}:$$

$$L = 219.47 \text{ m.}$$

$$\delta R_A = 109.73 \text{ m.}$$

3.1.4.4.2.3.-SAR enfocado

Para el caso del SAR enfocado el ancho de haz azimutal β' es:

$$\beta' = L_O / (2L) = L_O / (2R_S \cdot L_O / D) = D / (2R_S)$$

Así que la resolución azimutal R_A se convierte en:

$$\delta R_A = \beta' R_S = D/2$$

donde:

$$\delta R_A = \text{Resolución azimutal (metros)}$$

$$L = \text{Dimensión de la abertura azimutal (metros)}$$

$$= R_S \cdot L_O / D$$

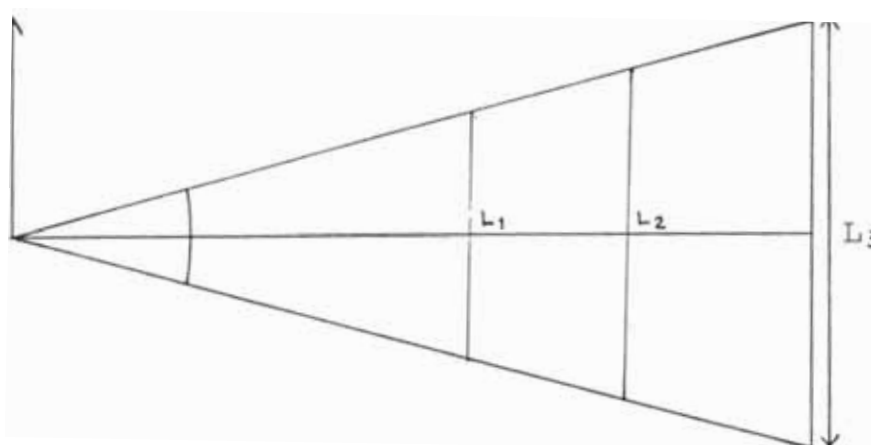
D - Dimensión de la antena azimutal (metros)

Lo importante es que la división en dos partes del ancho de haz aquí es debido a la abertura siendo un arreglo sintético

La resolución azimutal es ahora sólo dependiente del tamaño físico de la antena en la dimensión azimutal.

3.1.4.4.2.4.-SAR enfocado.-prueba

Las señales coherentes dispersadas por el objetivo están *corregidas en fase antes del procesamiento*. El factor limitante a la máxima longitud de la abertura sintética L que puede ser generada ahora se convierte en el ancho de haz físico en la dimensión azimutal -fig. 3.18-.



GEOMETRIA SAR: Ancho de haz

$$L = L_0 R_S / D$$

Fig 3.18

La antena generará una abertura sintética, tomando los siguientes datos:

$$L_O = 5.66 \text{ cm}$$

$$R_S \sim 851 \text{ Km}$$

$$D = 15\text{m}$$

La abertura sintética: $L \sim 3211.32\text{m}$

otra relación práctica para el RADARSAT.

$$\left[D = 265 L_O \right]$$

Podemos sacar conclusiones de que la efectiva longitud de abertura L se incrementa con el aumento de la distancia oblicua.

$$\beta' = L_O / (2L) \text{ y}$$

$$\delta R_A = \beta' \cdot R_S - D/2$$

reemplazando:

$$\left| \begin{array}{l} \beta' \sim 8.8131 \cdot 10^{-6} \text{ rad.} \\ \delta R_A = 7.5\text{m} \end{array} \right|$$

Si expresamos β' en $^\circ$ tenemos:

$$\left[\beta' \sim 5.0495 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ \right]$$

Es por esto que cuanto más pequeña es la antena, mejor es la resolución azimutal.

β' es la resolución angular efectiva relacionada con la resolución azimutal.

β_L es la resolución angular referida a la abertura sintética L .

$$\beta_L = L_O / D$$

ya que L como vimos anteriormente es igual a:

$$L = \beta_L \times R_S = L_O \times R_S / D$$

luego: $\left[\beta_L = 3.773584 \cdot 10^{-3} \text{ rad.} \right]$

ó convirtiéndolo a grados $^\circ$, tenemos:

$$\left[\beta_L = 0.21621^\circ \sim 0.2^\circ \right]$$

y está contemplado este valor β_L en las consideraciones técnicas.

Algo importante es saber cuántos pulsos emitirá el radar hasta cubrir esta longitud L . Sabemos que el SAR ilumina en la dirección azimutal dicha longitud -fig. 3.19-, entonces:

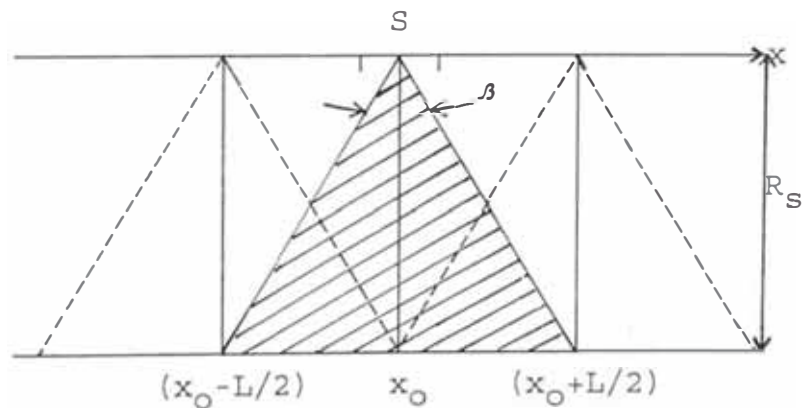


Fig. 3.19

el radar manda su primer pulso a:

$$x_1 = (x_0 - L/2)$$

el pulso es reflejado al radar después de $2R_{S1}/c$; a continuación el segundo pulso es radiado a:

$$x_2 = (x_0 - L/2 + \delta x)$$

donde: $\delta x = V/PRF$

y siendo

V - velocidad de la plataforma del RADARSAT

- 7448.80163 m/s

PRF - entre 1270 y 1390 Hz

L - 3211.32m

luego $\delta x = 5.86\text{m}$ (a 1270 Hz)

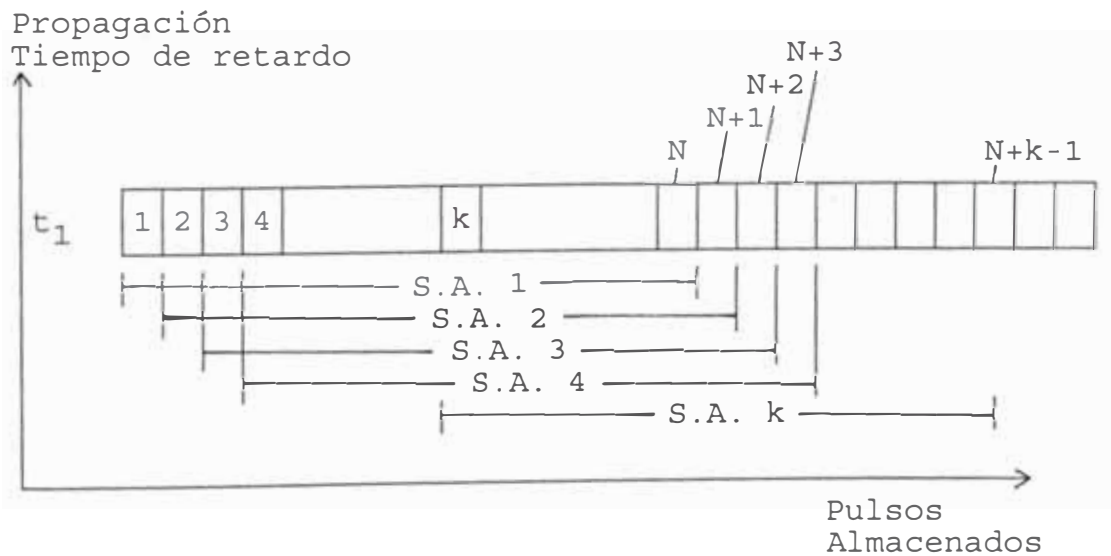
$\delta x = 5.35\text{m}$ (a 1390 Hz)

Concluimos que el número de pulsos **N** será entre:

N - $L/\delta x + 1 \sim 549$ pulsos con $\delta x = 5.86\text{m}$ y

601 pulsos con $\delta x = 5.35\text{m}$

En la figura 3.20 mostramos las sucesivas aberturas sintéticas generadas a la distancia inclinada $R_1 = ct_1/2$.



N - Número de Pulsos.

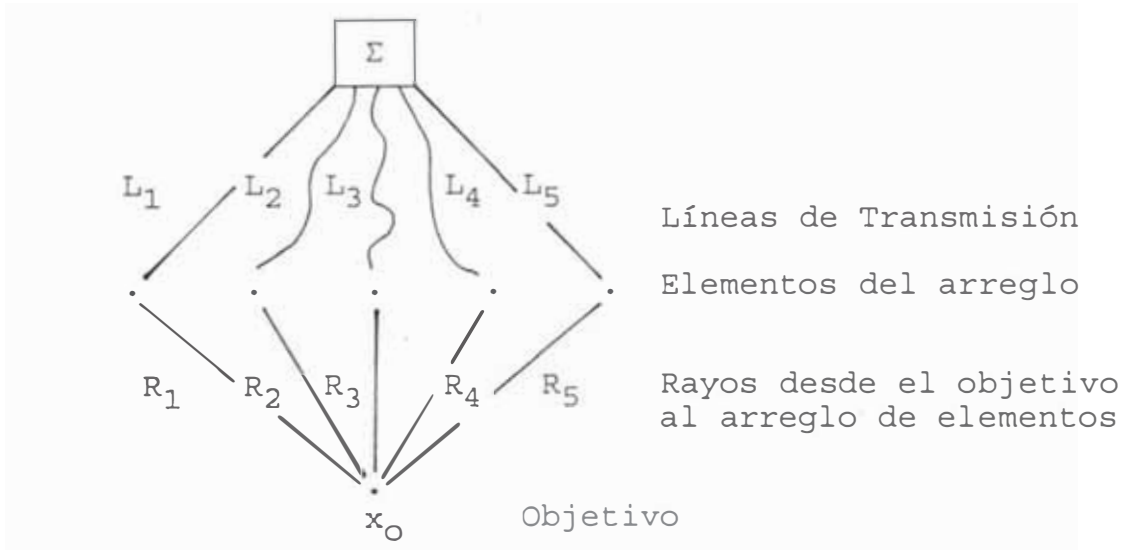
S.A. - synthetic aperture o abertura sintética.

k - 1, 2, 3, ...

Fig3.20

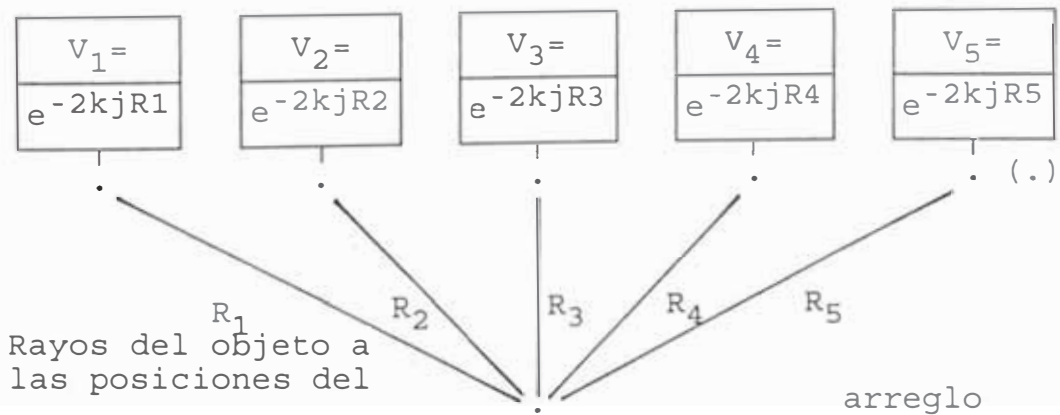
3.1.4.4.3.-Comparación entre los conceptos del RAR vs. SAR desde el punto de vista de las antenas

Si bien en los pasos anteriores calculamos las dimensiones de las aberturas de las antenas RAR y SAR, ahora indicaremos mediante la figura 3.21 el concepto de abertura sintética y la real desde el punto de vista de las antenas, respecto a la transmisión.



3.21(a) arreglo equivalente de Abertura Real enfocado sobre el objetivo x_0 , donde se cumple:

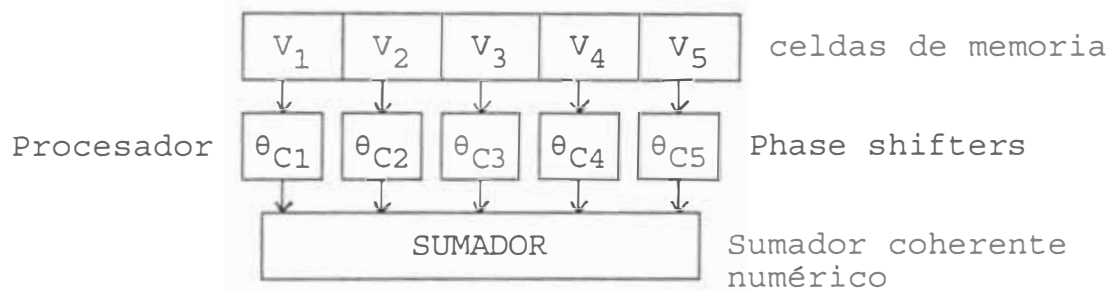
$$L_1 + R_1 = L_2 + R_2 = L_3 + R_3 = L_4 + R_4 = L_5 + R_5$$



3.21(b) Abertura sintética equivalente a RAR de 3.2(a)

Donde: $V_1..V_5$ son los voltajes almacenados en RAM de las posiciones 1 al 5. Como sabemos el RADARSAT usa hasta 20 beams en RAM.

(.) son las posiciones ocupadas por los elementos del arreglo sintético.



3.21(c) Proceso de la abertura sintética.

Fig 3.21

La elección de $\delta\theta_C$ deben ser apropiados, desde $\delta\theta_{C1}$ a $\delta\theta_{Cn}$ así que todas las señales desde x_0 sean sumados en fase, y no aquellos ubicaciones que no sean propiamente corregidas en fase.

La condición es que $|\delta\theta| < \pi/2$ justo en la posición x_0 donde recae el haz con mayor intensidad.

3.1.4.4.4.-Resumiendo

En un SAR enfocado la resolución azimutal es independiente de:

- De la distancia.
- Longitud de onda.

-Tamaño de la abertura sintética.

Sin embargo los SAR son, particularmente operados desde el espacio, y tienen que transmitir suficiente potencia para hacer detectable los pulsos reflejados.

Este impondrá una limitación sobre el *mínimo* tamaño de la antena tal que pueda ser usado, y en consecuencia limitar la resolución azimutal obtenible, pero también debe poder generar la abertura sintética con un mínimo de elementos.

3.1.4.5.-El efecto Doppler

Es un cambio de frecuencia, en este caso de la onda electromagnética causada por el movimiento relativo entre el objeto reflector y la plataforma u observador.

El movimiento de la plataforma es usada para mover el radar a lo largo del objetivo y así provee cobertura en la dirección azimutal.

Este movimiento también causa que la señal dispersada detectada por el objetivo es cambiada en frecuencia. Esto es conocido como el **Efecto Doppler**

Es posible determinar explícitamente el efecto la componente u_R en la dirección transversal de acuerdo a la velocidad de la plataforma del satélite V , este efecto produce tres consecuencias conocidos técnicamente como *image shift* (corrimiento de imagen), *range walk* (pasos en el alcance) y *amplitude variation* (*variación de amplitud*)

El corrimiento de imagen ocurre a causa del desplazamiento doppler introducido dentro de la señal reflejada desde el objetivo moviéndose en la dirección transversal o de distancia. Pero el cambio de frecuencia es demasiado corto para ser detectado por el proceso de range-compression -como lo veremos mas adelante-, sin embargo conviene realizarlo en el proceso de azimuth-compression.

El RADARSAT, como sabemos, se puede desplazar de este a oeste y de norte a sur como de sur a norte, luego tenemos las siguientes consideraciones:

$$\delta X = - u_R \times R_S / V_{\text{sat_ground}}$$

δX es en la dirección azimutal y en donde

es en la dirección norte a sur o sur a norte.

$$V_{\text{sat_ground}} = 6617.346 \text{ m/s}$$

$$R_S \sim 851 \text{ Km}$$

luego

$$\delta X = - 128.6 u_R$$

quiere decir que por cada 1m/s de desplazamiento de u_R , el δX se desplaza 128.6m superficial debido al efecto Doppler.

Ahora bien si consideramos la velocidad de la plataforma V entonces:

$$\delta X' = - u_R \times R_S \times V / V_{\text{sat_ground}}^2$$

con $V = 7448.801 \text{ m/s}$

$$\delta X' = -144.75 \sim -145 u_R$$

El cambio de la imagen en azimut puede ser considerado omitido, la componente doppler en esta componente es despreciable con respecto al del alcance y es por esto que podemos asumir que:

$$|\delta X| < \delta R_A$$

luego

$$|u_R| < \delta R_A \times V_{\text{sat_ground}}^2 / (R_S \times V)$$

$$|u_R| < 0.051801 \text{ m/s}$$

El *Range walk* ocurre cuando puede ser lo suficientemente largo como para que exista saltos o pasos que puedan afectar la correlación de las celdas de la resolución de alcance y pueda afectar el proceso de la abertura sintética -ver fig 3.8-, y para ser evitado debe cumplir la siguiente relación:

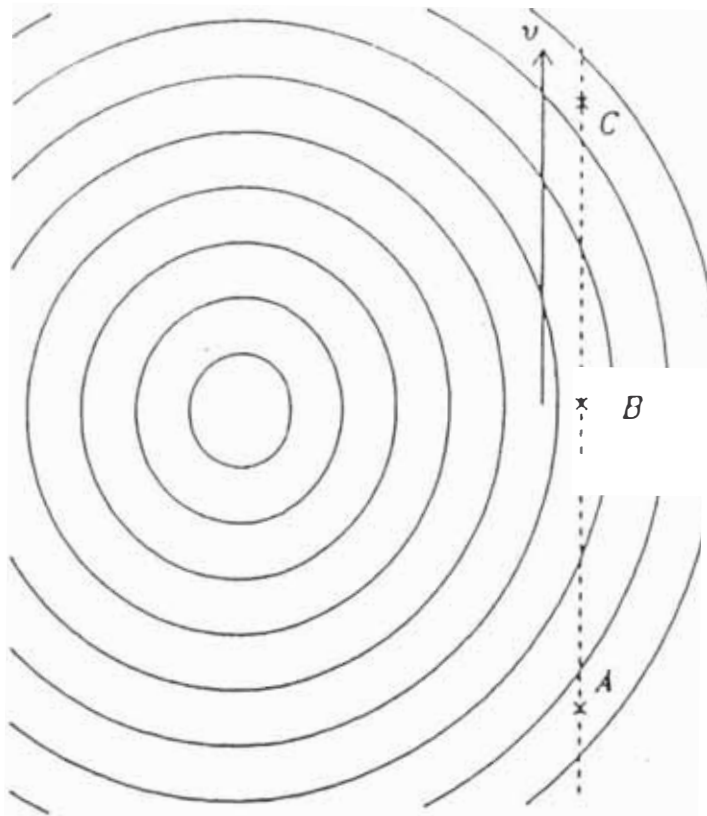
$$|u_R| < 2 \times \delta R_G \times \delta R_A \times V_{\text{sat_ground}} / (L_O \times R_S)$$

Los valores que se puedan obtener de u_R son variados de acuerdo al valor de δR_G y δR_S que pueda tener en el barrido.

La *variación de amplitud* es debido al movimiento ya descrito líneas arriba existe un aparente aumento o efectiva disminución de la intensidad en el retorno del eco.

3.1.4.5.1.-Historias o Registros Doppler ¿cómo trabaja?

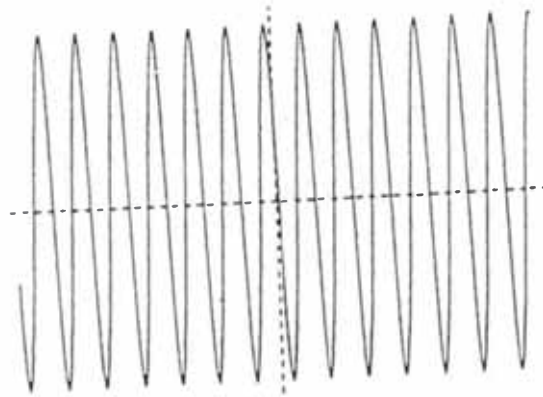
Tenemos la siguiente situación -fig 3.22-, el satélite se mueve de los puntos A, luego B y después C



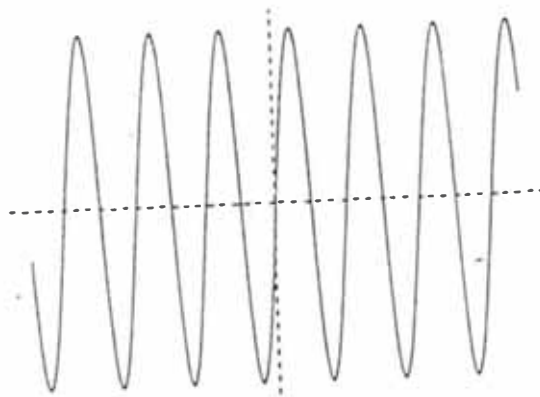
EFECTO DOPPLER: Campo de ondas.

Fig 3.22

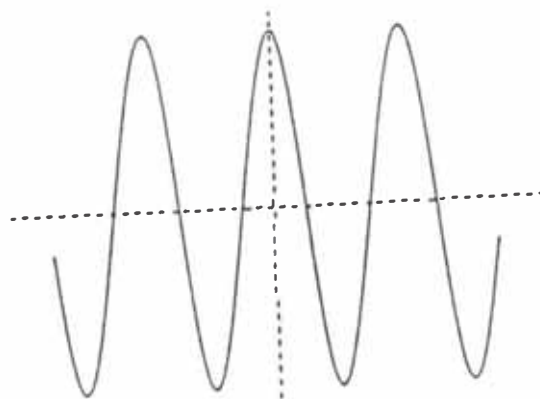
El la fig 3.23 mostramos los cambios de la frecuencia doppler.



Position A: Up-Doppler (+ve shift)



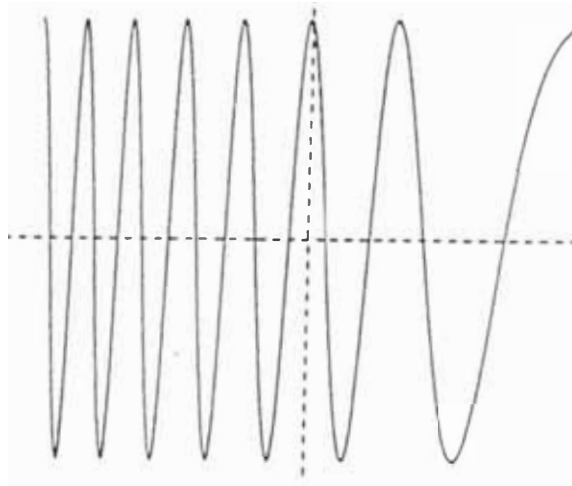
Position B: Zero-Doppler (zero shift)



Position C: Down-Doppler (-ve shift)

Fig. 3.23

En las historias o registros doppler, este tiempo nos permite medir la frecuencia detectada continuamente como el satélite se mueve a través de su trayectoria azimutal, entonces el espectro resultante puede ser referido como una HISTORIA DOPPLER -fig. 3.24.



HISTORIA DOPPLER

Y esto nos recuerda la forma de onda a la de FM.

Fig 3.24

Cuando el haz alumbra la región de ancho L en cada pulso de radar, se produce dicho registro, de duración T_d .

Existen dos modos de calcularlo, una es:

$$T_d = L / V = 3211.32 / 7448.80 = 0.431119 \text{ seg.}$$

y el otro modo es:

$$T_d = L_0 \times R_s / (V \times D) = 0.431119 \text{ seg.}$$

y el ancho de banda doppler B_d , también es conocido.

$$B_d = 2 \times V / D = 993.17 \sim 1000 \text{ Hz}$$

Como vimos en las restricciones del parámetro PRF

$$B_d < \text{PRF}$$

Luego la frecuencia doppler se encuentra en los siguientes intervalos.

$$-500 \text{ } (-V/D) \leq f_d < 500 \text{ } (V/D)$$

Estos valores encontrados deben ser debidamente escogidos, ya que estas variaciones de frecuencia en este rango $-L-$ es prácticamente lineal -fig 3.25-. Estos cambios de frecuencia van de $+f_d$ a $-f_d$

Para la región lineal se cumple obviamente que:

$$|x-x_0| \ll R_s$$

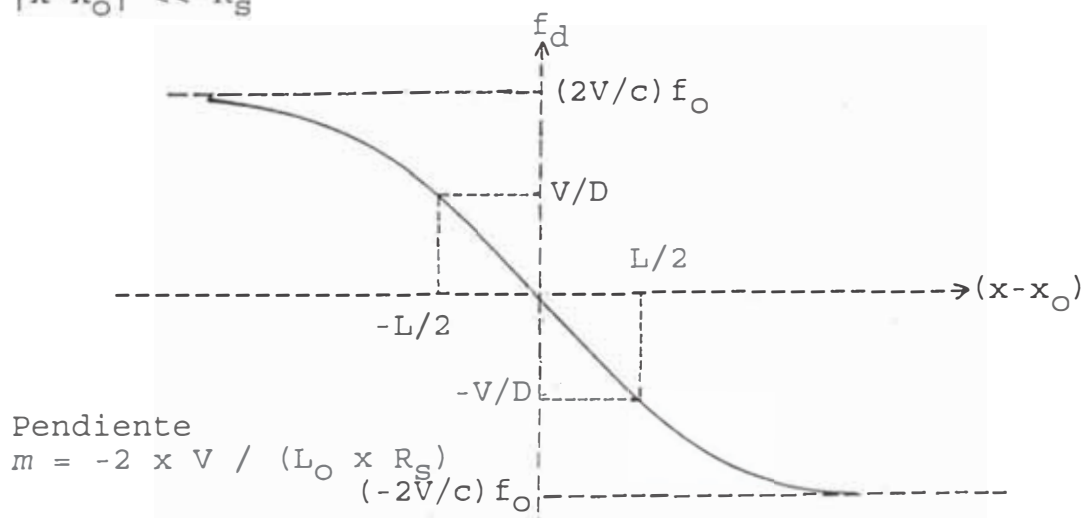


Fig 3.25

La frecuencia doppler límite está dada por la relación:

$$f_{d \text{ lím}} = \pm 2 \times V / L_0 = \pm 2 \times V \times f_0 / c$$

donde

$$V = 7448.801 \text{ m/s}$$

$$L_0 = 5.66 \text{ cm}$$

$$f_0 = 5.3 \text{ Ghz}$$

luego:

$$\left[f_{d \text{ lím}} = \pm 263.19099 \text{ Khz} \approx \pm 263.2 \text{ Khz} \right]$$

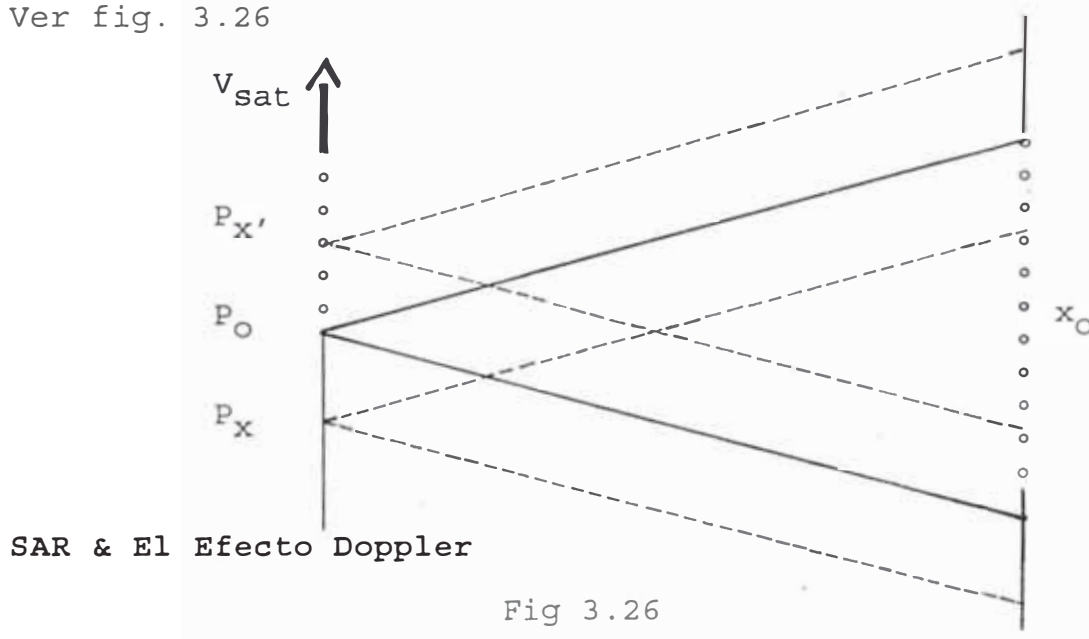
Estos valores hallados corresponden a los límites siguientes

$$+f_{d \text{ lím}} \quad \text{para } |x-x_0|/R_s \gg 1 \quad \text{con } x < x_0$$

$$-f_{d \text{ lím}} \quad \text{para } |x-x_0|/R_s \gg 1 \quad \text{con } x > x_0$$

3.1.4.5.2.-El SAR y el efecto Doppler

Ver fig. 3.26



La situación es tal que:

-El radar está en el punto P_x al tiempo t_x .

El objetivo X está justo ingresando al haz del radar.

-El radar está en el punto P_o al tiempo t_o .

El objetivo X está ya a través del haz del radar.

-El radar está en el punto P_y al tiempo t_y .

El objetivo X está justo saliendo del haz del radar.

Tenemos algunos puntos importantes.

Debería estar notado que la historia Doppler de un punto particular en el objetivo es dependiente con esa distancia oblicua del punto desde la antena cuando está directamente a través del haz o es lo mismo al *cero Doppler*.

La alta resolución azimutal de un SAR es obtenido a través del proceso de estas historias Doppler.

Desde que las historias Doppler están por sí mismos dependientes de la distancia oblicua, la implicancia es que el proceso de datos azimutal del SAR tendría que ser también dependiente de la distancia oblicua.

3.1.4.6.-Procesamiento de datos SAR

La energía dispersada por un simple punto del objetivo es distribuído en todas partes la señal detectada, o datos *en bruto* (Raw Data).

El procesamiento de datos SAR es esencialmente una operación enfocada, reuniendo la energía dispersada distribuída por cada punto en el objetivo dentro de puntos simples en la imagen.

El procesamiento es ejecutado en dos distintas etapas:

1) Procesamiento en Distancia.

Concentramos los datos en distancia oblicua.

2) Procesamiento Azimutal.

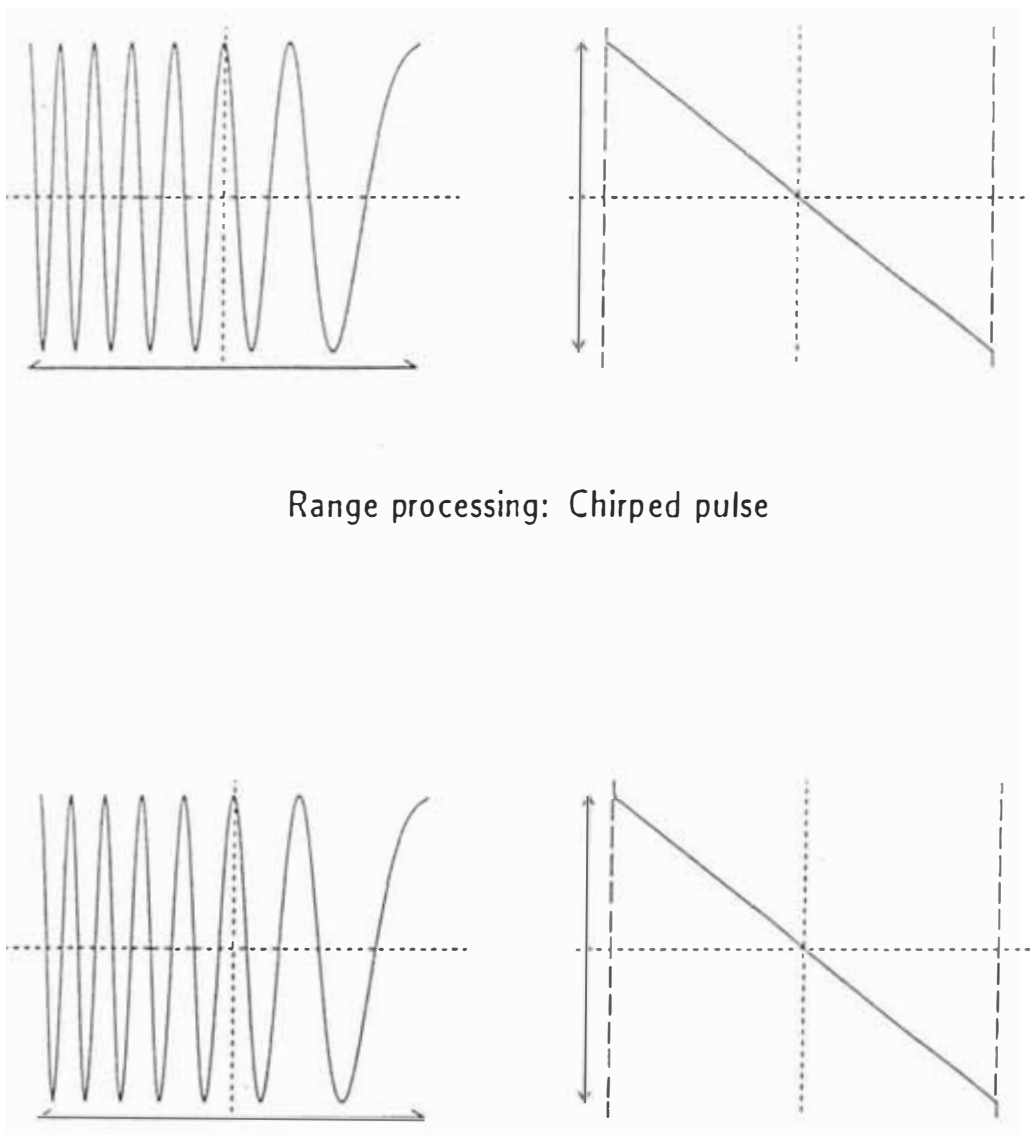
Concentramos los datos en distancia enfocada en azimut.

Imagen en distancia oblicua.

Veremos que existen ciertamente similitudes entre el procesamiento en distancia y azimutal.

3.1.4.6.1.-Similitudes en procesamiento en Distancia como Azimutalmente

Ver fig. 3.27



Range processing: Chirped pulse

Azimuth processing: Doppler history

Fig. 3.27

3.1.4.6.2.-Diferencias entre estos procesamientos

Hay también algunas diferencias significantes:

DISTANCIA: Espectro de pulso.

Duración ~ milisegundos -debido al PRF-.

Ancho de Banda ~ Mhz (debido al pulso modulado)

AZIMUTAL : Historia Doppler.

Duración ~ segundos - minutos.

Debido a la duración de la abertura sintética L según los pulsos de radar que tiene que ser barrida en esta dirección.

Ancho de banda Hz-Khz (según la historia
Doppler)

La operación es dependiente de la distancia oblicua.

3.1.4.6.3.-La operación enfocada

La operación enfocada en ambos azimutal y en distancia es esencialmente el mismo.

Es a menudo referido como: **FILTRADO EMPAREJADO** O **EMPALMADO** o **Matched Filter**. También es conocido como compresión de pulso o de-chirping.

El filtro usado es "emparejado" o empalmado a un esperado pulso de entrada o historia doppler.

En distancia:

El filtro es empalmado al pulso transmitido.

En Azimut:

El filtro es empalmado a la historia doppler.

Y es por esto dependiente de la distancia oblicua al objetivo.

El matched filter es un diseño en la cual sirve para maximizar la salida pico de la señal para comparar la tasa de la potencia de ruido, y es el filtro lineal óptimo para la detección de señales en ruido, y por consiguiente la relación S/N de la imagen SAR.

Si la señal $S_i(t)$ tiene una duración T , este filtro tiene una duración $T' = 1/B$ con un ancho de banda $B = B_D$ (BW doppler) de tal manera que $B \times T \gg 1$, ver fig. 3.28

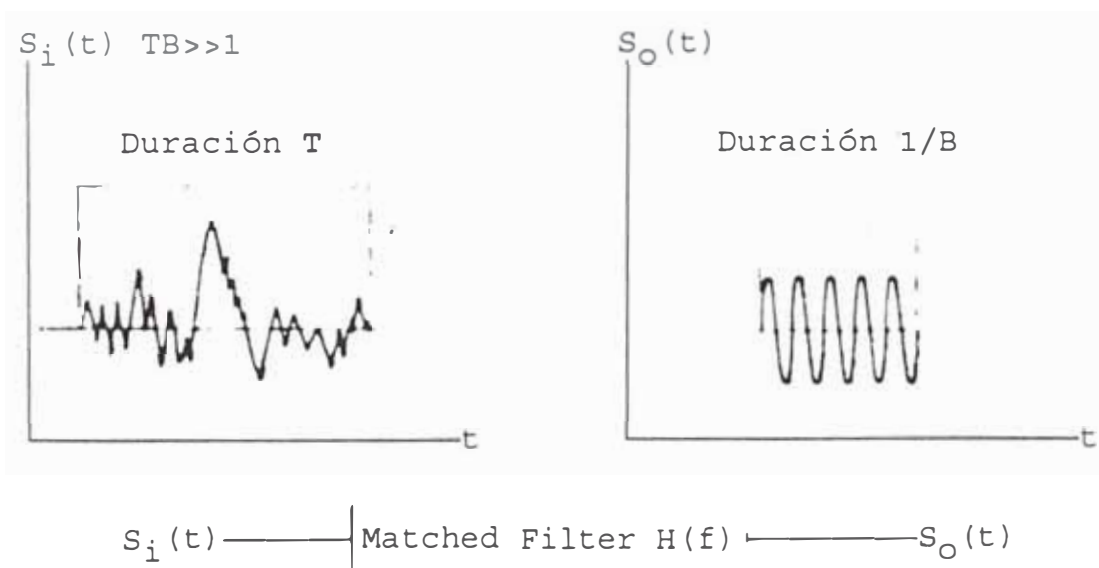


Fig 3.28

3.1.4.6.4.-Procesamiento de la señal SAR

Tenemos dos métodos de procesamiento de los datos provenientes de la señal SAR:

Opticalmente:

Los datos de señal es ingresada de la película y..

Un sistema de lentes para efectuar el enfoque en distancia y azimut.

Digitalmente:

Los datos de señal es ingresada en forma digital.

Usando filtros digitales y una computadora para efectuar el enfocado en distancia y azimut, es la que usa el satélite RADARSAT.

El proceso digital es mayormente usado en la actualidad, existen computadoras (mini micro) que realizan excelentes tratamientos de las imágenes, por ejemplo una RS-6000 de IBM o una SUN de arquitectura RISC.

-Las computadoras rápidas.

Tiempos de proceso reducido.

En imágenes SEASAT ~ 30 horas.

En imágenes ERS-1, Radarsat ~ 30 min.

-Resoluciones más altas.

Control más grande sobre las correcciones geométricas y del sistema.

3.1.4.6.4.1.-La señal SAR

La señal transmitida por el radar es en la forma de pulso chirpeado, centrado sobre la frecuencia portadora f_c , con una velocidad de frecuencia FM lineal a , y una duración de pulso de radar T_R (de $42\mu s$ de duración).

Analíticamente tenemos:

$$E_{\text{trans}}(t) = e^{2\pi i \{f_c t + at^2\}}$$

también puede ser expresado como:

$$E_{\text{trans}}(t) = e^{2\pi i t (f_c + at)}$$

donde

$$-T_R/2 \leq t \leq T_R/2$$

La señal de retorno es recibida a la antena después de un tiempo de retardo T_D .

$$E_{\text{recep}}(t) = e^{2\pi i \{f_c (t_n - T_D) + a (t_n - T_D)^2\}}$$

donde:

f_c - frecuencia de portadora - 5.3 Ghz.

a - velocidad de frecuencia FM - $-\delta f_R / 2T_R$.

t_n - tiempo en el n-ésimo pulso.

T_D - Tiempo de retardo para el eco de retorno.

$$= 2R_s(t) / c$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

también lo podemos expresar así:

$$E_{\text{Recep}}(t) = e^{2\pi i \{f_c(t_n - 2R(t)/c) + a(t_n - 2R(t)/c)^2\}}$$

La amplitud de cada pulso comprimido de retorno n en el punto x_0 está dado por $I_n(x_{0n}, R_n)$, el valor de energía dispersada desde el objeto que retorna a la antena.

El valor de a tiene hasta tres valores posibles.

con $\delta f_{R1} - 11.6 \text{ Mhz}$	$a_1 - -1.3809 \times 10^{11} \text{ Hz}^2$
$\delta f_{R2} - 17.3 \text{ Mhz}$	$a_2 - -2.0595 \times 10^{11} \text{ Hz}^2$
$\delta f_{R3} - 30.0 \text{ Mhz}$	$a_3 - -3.5714 \times 10^{11} \text{ Hz}^2$

3.1.4.6.4.2.-La forma de onda detectada

Tenemos las siguientes consideraciones:

$$T_D = 2 \times R_S / c$$

Si bien la frecuencia de transmisión es:

$$f_{\text{Trans}} = f_c + at$$

y la frecuencia de recepción es:

$$f_{\text{Recep}} = f_c + a(t - T_D)$$

Esta señal recibida es seguidamente multiplicado con la frecuencia de referencia f_{Trans} , tal que:

$$f_{\text{Trans}}' = f_{\text{Trans}} - f_0$$

-Para valores reales de las señales recibidas, para evitar las ambigüedades de azimut debido al plegado de frecuencia.

$$f_{\text{Trans}}' = f_{\text{Trans}}'$$

-Para valores complejos de las señales recibidas, centrando los pulsos recibidos sobre la frecuencia "cero".

donde:

f_0 - Desplazamiento de frecuencia de recording del RADARSAT.

si la señal de Transmisión y de recepción son respectivamente de la forma:

$$V_{\text{Trans}}(t) = \cos(2\pi f_{\text{Trans}} t)$$

$$V_{\text{Recep}}(t) = \cos(2\pi f_{\text{Recep}} t)$$

Al multiplicar $V_{\text{Trans}}(t) \times V_{\text{Recep}}(t)$ tenemos:

$$V_m = 1/2 \times [\cos 2\pi(f_{\text{Trans}} + f_{\text{Recep}})t + \cos 2\pi(f_{\text{Trans}} - f_{\text{Recep}})t]$$

aplicando el filtro pasabajo se obtiene solamente:

$$V_m' = 1/2 \times \cos 2\pi(f_{\text{Trans}} - f_{\text{Recep}})t$$

No nos interesamos por ahora por la amplitud, puesto que fue ya tratado anteriormente, nos importa ahora la forma de onda. Luego la frecuencia detectada por cada pulso comprimido del pulso de radar después del filtro pasabajo se convierte en:

$$\begin{aligned} f_{\text{dtct}} &= f_{\text{Trans}} - f_{\text{Recep}} \\ &= (f_c + at) - (f_c + a(t - T_D)) \\ &= aT_D \end{aligned}$$

$$= 2aR_s/c$$

Retomando de la expresión $E_{Recep}(t)$ también podemos expresar el factor $(t_n - T_D)$ así

$$t_R = t_n - T_D = 2x y / c$$

donde y representa el desplazamiento equivalente para este tiempo t_R .

Y haciendo estas sustituciones y reordenando la forma de onda detectada $E_{dtct}(t)$ sin aplicar filtro se convierte en:

$$E_{dtct}(t) = e^{2\pi i \{ (f_o - f_c) T_D \}} \cdot e^{2\pi i \{ f_o t_R + a t_R^2 \}}$$

$$E_{dtct}(t) = e^{2\pi i \{ f_o T_D - f_c T_D \}} \cdot e^{2\pi i \{ f_o t_R + a t_R^2 \}}$$

3.1.4.6.4.3.-Compresión en Distancia

La compresión en distancia (**range compression**) es efectuado por un proceso de filtrado empalmado (**matched filter**). Y básicamente es el *conjugado complejo del pulso transmitido* y es intercorrelacionado con la forma de onda detectada.

$$e^{-2\pi i \{ f_o t + a t^2 \}}$$

Luego la **Función de Propagación del Punto I(tR)** en la dirección transversal (en distancia) es: .

$$I(t_R) = e^{2\pi i \{f_0 T_D - f_c T_D\}} \times$$

$$\int_{-T_R/2}^{T_R/2} e^{2\pi i \{f_0(t_R+t) + a(t_R+t)^2\}} \cdot e^{-2\pi i \{f_0 t + a t^2\}} dt$$

desarrollando tenemos:

$$= e^{2\pi i \{f_0 T_D - f_c T_D\}} \cdot e^{2\pi i \{f_0 t_R + a t_R^2\}} \int_{-T_R/2}^{T_R/2} e^{2\pi i \{2a t_R \cdot t\}} dt$$

$$= e^{2\pi i \{f_0 T_D - f_c T_D\}} \cdot e^{2\pi i \{f_0 t_R + a t_R^2\}} \left[\frac{e^{4\pi i a t_R t}}{4\pi i a t_R} \right]_{-T_R/2}^{T_R/2}$$

Cuando el cambio de frecuencia de video f_0 es reducido a cero esta evaluación la reescribimos:

$$I(t_R) = T_R/2 \times e^{-2\pi i f_c T_D} \cdot e^{2\pi i a t_R^2} \cdot \text{sinc}(\pi a t_R T_R)$$

$$= T_R/2 \times e^{-2\pi i f_c T_D} \cdot e^{2\pi i a t_R^2} \cdot \text{sinc}(\pi \delta f_R t_R)$$

donde:

$$f_R = \text{Ancho del pulso impuesto.}$$

El simple término $e^{-2\pi i f_c T_D} \times \text{sinc}(\pi \delta f_R t_R)$ nos da la historia de fase sólo en ese punto

3.1.4.6.4.4.-Siguientes pasos

La historia actual de fase generada por el objetivo está contenido en el término

$$\theta = e^{-2\pi i f_c T_D} \text{ -no consideramos el factor } \text{sinc}() \text{ -}$$

el valor de T_D lo podemos expandir es la serie de Taylor alrededor de $t = 0$ o 0 (centrado en la *abertura sintética*)

$$T_D = 2R_S(t)/c = 2/c \times \{a_0 + a_1 t_a + a_2 t_a^2 + a_3 t_a^3\}$$

donde:

a_0 - es la distancia inclinada del punto al radar en $t = 0$.

a_1 - es la variación de la distancia inclinada (velocidad) al tiempo $t = 0$.

a_2 - es la mitad de la aceleración de la distancia inclinada a $t = 0$.

a_3 - lo podemos considerar como no, es irrelevante.

Sin embargo, antes de la compresión azimutal sea hecha es necesario calcular el *matched filter* basado por un reconocimiento de:

Ruta de vuelo u órbita.

Geometría del sistema.

Conocidos los movimientos del objetivo.

Un *matched filter* debe de ser generado de los cuales la historia de la fase pueda estar expresada como:

$$\theta' = e^{-2\pi i f c T'_D}$$

donde

$$T'_D = 2R'_S(t)/c$$

Análogamente como hicimos para T_D aplicando la serie de Taylor, en este caso alrededor de a_0

$$T'_D = 2/c \times \{a_0 + \delta a_0 + a_1(t_a + t_A) + a_2(t_a + t_A)^2\}$$

donde:

$$\left[t_A - x / V \right]$$

Este valor de x representa el desplazamiento del satélite en la dirección azimutal, es la distancia -en azimut- entre el centro del Point Spread Function con el punto al cual es medido y V su velocidad.

y:

a_0 - es la distancia inclinada del punto al radar en $t = 0$ (o $t_a = 0$, al centro de la abertura sintética).

$$\delta a_0 = c \times t_R / 2 \text{ en } t = 0.$$

es la variación de la distancia inclinada (velocidad) al tiempo $t = 0$.

a_2 - es la mitad de la aceleración de la distancia inclinada

3.1.4.6.4.5.-Compresión Azimutal

La compresión azimutal es efectuado por el proceso de matched filter. Básicamente el conjugado complejo:

$$e^{2\pi i f_0 T'_D}$$

de la pronosticada historia de fase de un objetivo es intercorrelacionada con los datos en distancia (Range) ya comprimidos.

Por esto tenemos que la *función de propagación en el punto* $I(t_R, t_A)$ en la *dirección azimutal* está dado por:

$$I(t_R, t_A) = \int_{-T_A/2}^{T_A/2} I(t_R) \times e^{2\pi i f c T' D dt}$$

$$I(t_R, t_A) = \frac{T_R e^{2\pi i a t_R^2}}{2} \cdot \text{sinc}(a t_R T_R) \times \int_{-T_A/2}^{T_A/2} e^{-2\pi i f c T D} \cdot e^{2\pi i f c T' D} dt$$

donde T_A es la duración de la abertura sintética, como lo calculamos (como valor t_d -tiempo doppler-):

$$\left[T_A - T_d - 0.431119 \text{ seg.} \right]$$

reemplazando el valor de T_D y T'_D (ambos son dependientes de t_a : tiempo asociado a la compresión azimutal), reemplazando y desarrollando dentro de $\exp(f(t_a))$ de la integral tenemos:

$$-2\pi i f_c \left\{ \frac{2}{c} \times (a_0 + a_1 t_a + a_2 t_a^2 + a_3 t_a^3) \right\} +$$

$$2\pi i f_c \left\{ \frac{2}{c} \times (a_0 + \delta a_0 + a_1 (t_a + t_A) + a_2 (t_a + t_A)^2) \right\}$$

factorizando:

$$2\pi i f_c \times 2/c \times \{-a_0 - a_1 t_a - a_2 t_a^2 - a_3 t_a^3 + a_0 + \delta a_0 + a_1 t_a + a_1 t_A + a_2 t_a^2 + 2a_2 t_a t_A + a_2 t_A^2\}$$

eliminando términos y haciendo las siguientes aproximaciones $t_a^3 \sim 0$ (ya que éste valor es muy pequeño comparado con t_a^2), luego queda así:

$$2\pi i f_c \times 2/c \times \{(\delta a_0 + a_1 t_A + a_2 t_A^2) + (2a_2 t_a t_A)\}$$

notamos que el valor a_0 no existe y este factor lo reemplazamos en la ecuación $I(t_R, t_A)$:

$$\begin{aligned} I(t_R, t_A) &= \frac{T_R e^{2\pi i a t_R^2}}{2} \cdot \text{sinc}(a t_R T_R) \times \\ &\quad e^{2\pi i (2f_c/c) (\delta a_0 + a_1 t_A + a_2 t_A^2)} \times \\ &\quad \int_{-T_A/2}^{T_A/2} e^{2\pi i f_c (2/c) (2a_2 t_a t_A)} dt \\ &= \frac{T_R e^{2\pi i a t_R^2}}{2} \cdot \text{sinc}(a t_R T_R) \times \\ &\quad e^{2\pi i (2f_c/c) (\delta a_0 + a_1 t_A + a_2 t_A^2)} \times \\ &\quad \left[\frac{e^{2\pi i f_c (2/c) (2a_2 t_a t_A)}}{8\pi i (f_c/c) (2a_2 t_a t_A)} \right]_{-T_A/2}^{T_A/2} \\ &= \frac{T_R e^{2\pi i a t_R^2}}{2} \cdot \text{sinc}(a t_R T_R) \times \\ &\quad e^{2\pi i (2f_c/c) (\delta a_0 + a_1 t_A + a_2 t_A^2)} \times \\ &\quad (T_A/2) \text{sinc}(2a_2 f_c T_A t_A / c) \end{aligned}$$

3.1.4.6.4.6.-Función de Propagación del Punto

También se conoce como Point Spread Function.

Cabe resaltar que el Point Spread Function tiene un espectro asociado, la transformada de Fourier en dirección en distancia y en azimut, con anchos de banda respectivamente δf_R (11.6, 17.3 ó 30 Mhz) centrado en la frecuencia portadora f_C media del radar y δf_A (1 KHz) centrado en la frecuencia $2f_C a_1/c$.

Teniendo enfocado, ambas direcciones en distancia y azimutal la definición de la Función de Propagación del Punto de un SAR es ya completado; de la combinación de los Point Spread Function tanto en distancia como en azimut.

De la expresión $I(t_R, t_A)$ en el paso 3.1.4.6.4.5 y además considerando que:

$$\text{sinc}(2a_2 f_C T_A t_A / c) = \text{sinc}(\delta f_A t_A)$$

donde por analogía:

$$\begin{aligned} \delta f_A &= a_2 f_C T_A / c - \text{Ancho de Banda Doppler en la} \\ &\quad \text{dirección azimut.} \\ &= 1\text{KHz.} \end{aligned}$$

y además:

$$\begin{aligned} \delta f_R &= a_1 t_R T_R - \text{Ancho de banda del pulso impuesto.} \\ &= 11.6, 17.3 \text{ ó } 30.0 \text{ Mhz.} \end{aligned}$$

Luego la función es:

$$I(t_R, t_A) = (T_R T_A / 2) \cdot e^{2\pi i a t_R^2} \cdot e^{2\pi i (2fc/c) (\delta a_0 + a_1 t_A + a_2 t_A^2)} \times \\ \text{sinc}(\delta f_R t_R) \cdot \text{sinc}(\delta f_A t_A)$$

3.1.4.6.5.-Pasos en el Procesamiento SAR

En este punto vamos a indicar -fig. 3.29- cuáles son los pasos en el procesamiento de datos SAR.

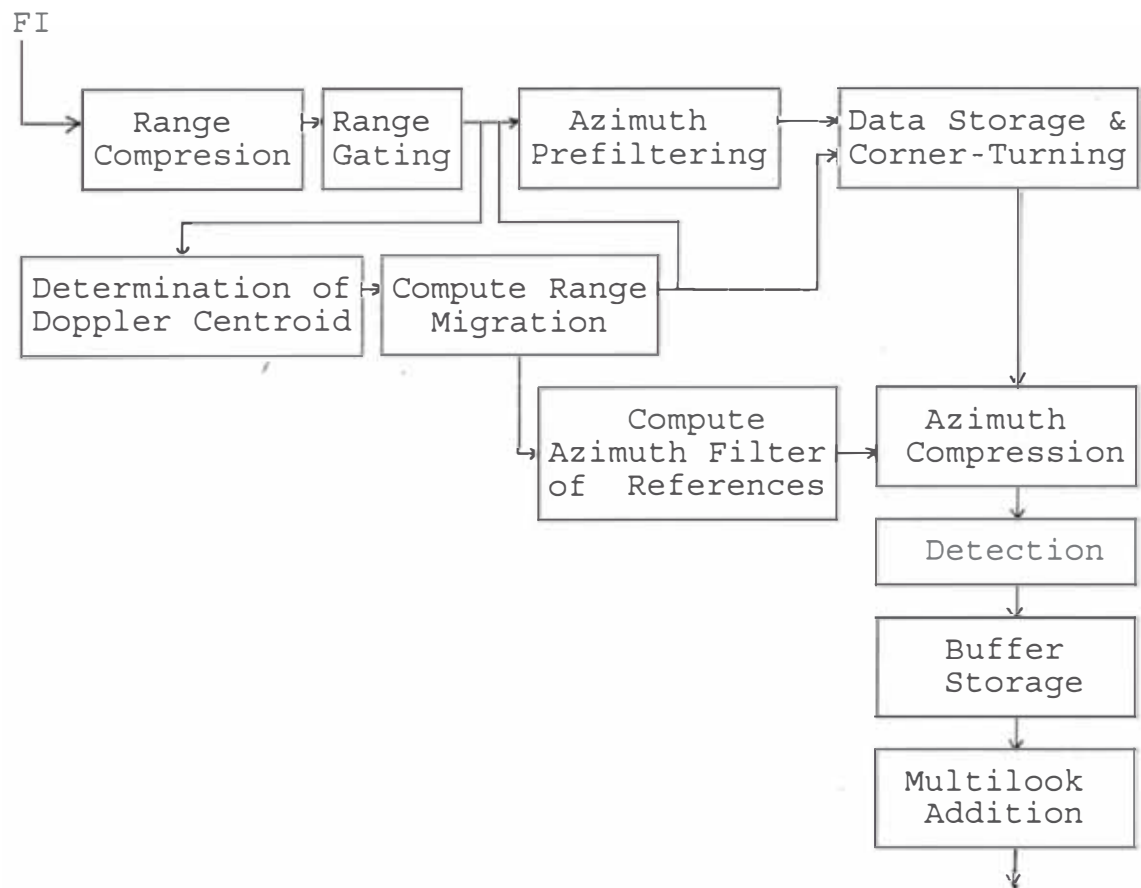


Fig 3.29

Además indicaremos -fig. 3.30- el proceso de secuencia de compuertas en alcance (range gates sequence) para el proceso digital de la señal SAR, la cual al aplicar los filtros de cero-doppler a cada compuerta, se puede determinar la resolución azimutal.

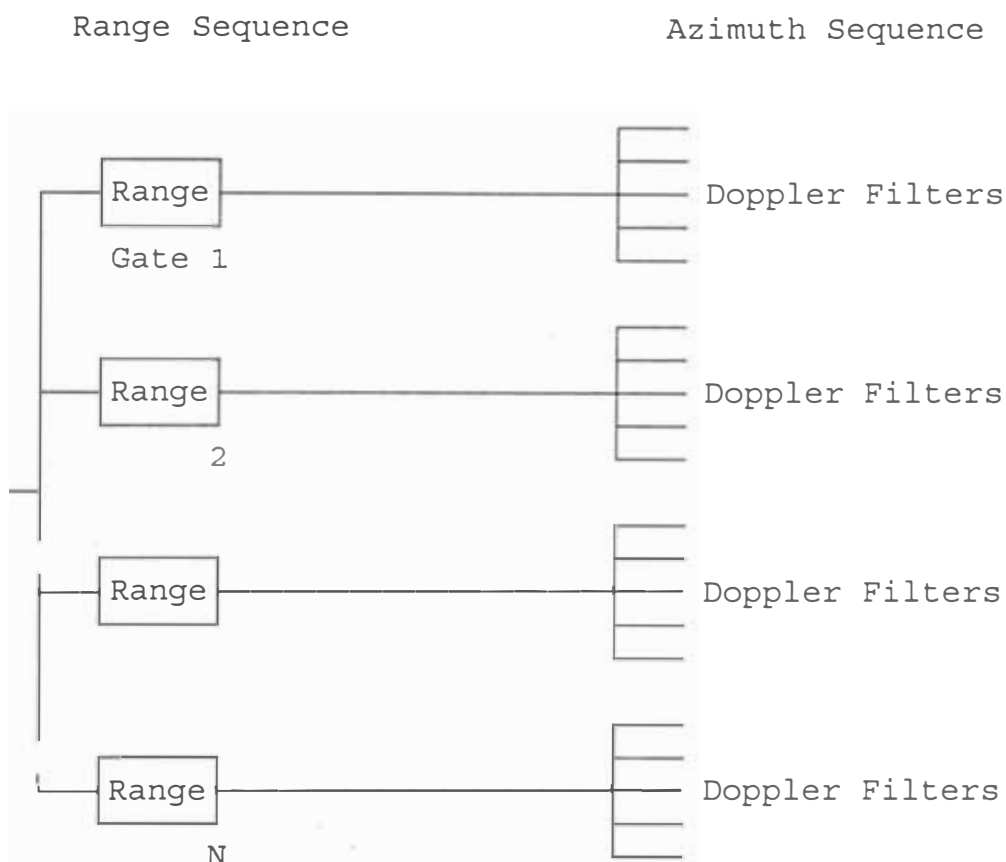


Fig 3.30

3.2.-Procesamiento de imágenes de radar a nivel de software

En este punto sólo vamos a indicar los procedimientos por software para el tratamiento de la información capturada por el satélite RADARSAT, usando el software EASI-PACE de PCI Remote Sensing Corp..

Cuando se genera la imagen en bruto *-raw data-*, ésta no tiene, por las características de la geometría en la toma de imágenes de la antena SAR, la calidad necesaria como

para poder ya interpretarlos con la suficiente confiabilidad que se requiere.

Un software recomendado a nivel internacional por su alta calidad de sus procedimientos y procesamientos es el **EASI-PACE**, ideal para imágenes tanto de radar (RADARSAT, ERS-1), como los de procedencia pasiva (Landsat, SPOT, entre otros)

3.2.1.-Problemas en las imágenes de Radar

Los problemas que normalmente en las imágenes de radar ocurren son:

1° **Speckle o manchitas.**-Al speckle también se le considera ruido de imagen. Estas manchitas es causada por el efecto aleatorio de varias reflectancias individuales pequeñas dentro de un pixel dado y justo puede ocurrir cuando el punto es sentido por el radar (coincide estas reflectancias con la longitud de onda usada). Normalmente provoca píxeles que están fuera de contexto con respecto de sus vecinos.

Y para eliminarlos preliminarmente se usa los **multilooks**, pero implica el aumento de la resolución azimutal por un factor n (multilooks) y los filtros tales como por ejemplo:

Estadísticas locales, sigma, FLE (Lee Despeckling) FAD (Frost Adaptive); estos dos últimos son procedimientos del EASI-PACE.

2° Problema de las sombras.- Varias informaciones de las imágenes tomadas se pierden debidos a las sombras; esto a su vez provocado por el ángulo de depresión o de incidencia cuando cae el haz de radar. Estas pérdidas es mas severa en radares con un pequeño ángulo de depresión en zonas de alto relieve.

En el caso del Landsat y SPOT, las sombras es causado por el bajo ángulo solar respecto de la zona sensada.

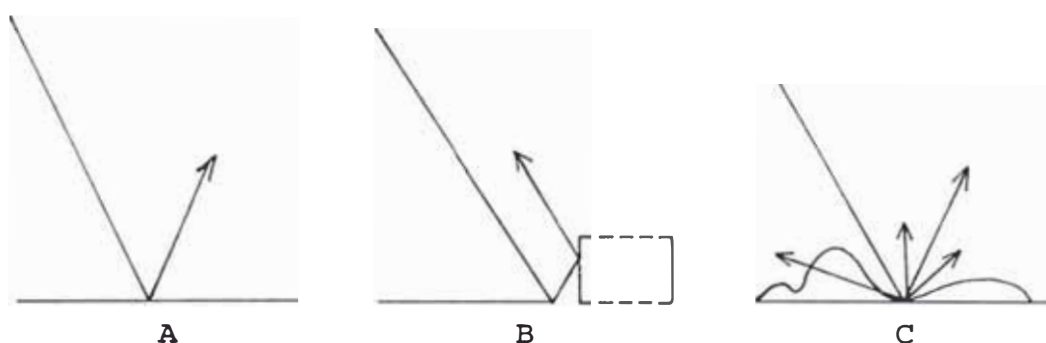
Para solucionarlo existe la posibilidad de tomar la misma zona -para el RADARSAT- cuando está en nodo descendente y ascendente, para luego confrontarlos.

3° Efectos del ángulo de incidencia local.-La intensidad de la radiación reflejada depende, entre otros factores, por los ángulos de incidencia con el cual el haz de radar toca a la superficie reflejada. Si toca al ángulos directos (que pertenezcan al plano vertical por donde pasa el haz de mayor intensidad) o a un alto ángulo de incidencia a la superficie, reflejará más fuerte que si toca a una baja o ángulo indirecto. Si la energía es mayor (tendencia al color blanco); si es menor (tendencia al color negro)

4° Efecto de las rugosidades del terreno.-El caso mas simple es la del agua quieta (reservorio, lago); al caer un rayo a esta superficie, el retorno como es sabido es nulo (valor digital cero o color negro).

Pero cuando es agua está en movimiento, existirá una moderada recepción de los ecos.

Existen al menos tres tipos de reflexiones recibidas de varios tipos de superficies -fig. 3.31-:



- A** Specular Reflector -retorno muy débil de señal.
B Corner Reflector -retorno más fuerte de señal.
C Difusse Reflector -retorno difuso de señal.

Fig. 3.31

5° **Layover, pixel pile up o inversión por relieve.**-El radar registra la distancia inclinada de los objetos en la imagen desde el sensor. La posición de los topes de las colinas inclinadas o picos sobre las imágenes aparecen actualmente más enmarcadas en el sensor que los que producen las vertientes. Este efecto es denominado **layover** en las cuales los píxeles de la imagen de los picos y las cimas de las colinas se traslapan con los de las declives. Estos resultados en píxeles mas brillosos que los normales en estas

ubicaciones. Así que, los píxeles de los declives son mezclados con los de los picos, y no pueden ser separados por ningún medio perdiéndose así mas información.

6° Propiedades de Conductividad Eléctrica y dieléctrica de la superficie.-Objetos metálicos como los barcos o techos de acero tienen alta conductividad eléctrica y reflejan las ondas de radar fuertemente.

En caso de los suelos húmedos y vegetación, su constante dieléctrica compleja es el parámetro el cual afecta mayormente la reflectividad. Sabemos que este parámetro complejo posee parte dieléctrica pura y parte de conductividad. El agua por ejemplo tiene una constante dieléctrica de 80.

Y es de hecho que una de las aplicaciones potenciales del SAR es la medida del contenido de humedad la cual es de importante en predicción de producción en la cosecha.

7° Foreshortening o escorzo.-La geometría de vista lateral del SAR que realiza sobre el terreno de alto relieve, de acuerdo a la figura, la pendiente AB respecto al plano de imagen del radar aparecera comprimido respecto a la pendiente BC -fig. 3.32-, y esta última pendiente aparece más oscuro que AB (baja energía que recibe el radar).

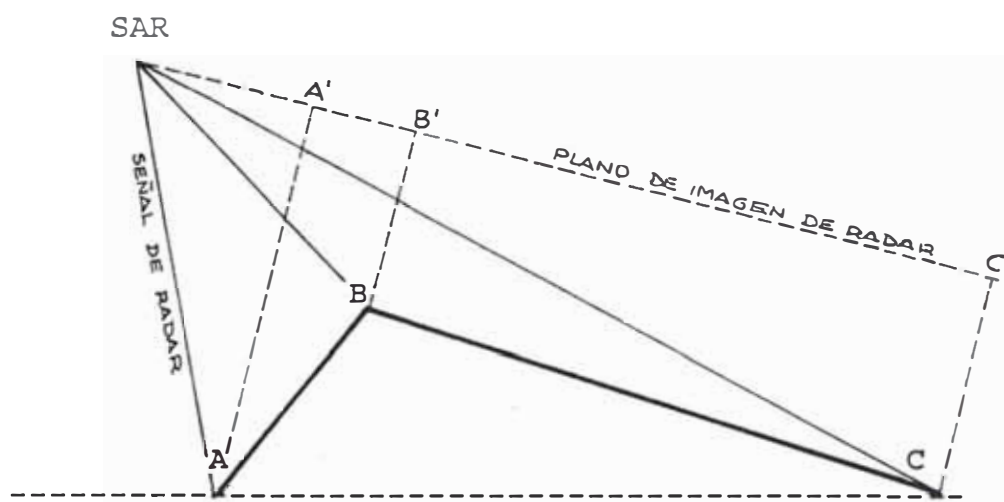


Fig. 3.32

8° Efectos debido al movimiento del satélite y de la Tierra.-Desde que el procesamiento en azimut cuenta con cambios de frecuencia debido al movimiento del satélite, que es el efecto doppler, cualquier movimiento desconocido del objetivo o la plataforma afectarán el espectro doppler y en consecuencia afectan a la imagen. Como sabemos el cambio de la historia doppler hace que se modifique la resolución azimutal final.

Cuando se trata imágenes de radar, hay tres categorías de procesamiento:

- Corrección Geométrica.
- Correcciones radiométricas, realzamientos y clasificación.
- Clasificación por multicanal (multifrecuencia).

3.2.2.-Procedimientos por software en el análisis de imágenes de radar

Existe diversos procedimientos de análisis de imágenes de radar que indicaremos a continuación:

APC	Antenna Pattern Correction.
FAD	Frost Adaptive Filtering.
FLE	Lee Adaptive Filtering.
FLIGHT	Flight Parameter Estimation.
RSTR	Radar Contrast Stretch Enhancement.
SARSIM1	Create Range-Azimuth Simulated SAR Image.
SARSIM2	Create Pseudo-Geocoded Simulated SAR image.
SARGEO	Geocode SAR image to DEM.
SRTOGR	Slant Range to Ground Range Conversion.
STG	Slant Range to Ground Range with Geocoding.
STGBIG	Slant Range to Ground Range Conversion (Big)
TEX	Texture Analysis.

3.2.2.1.-APC.-Este programa ajusta, por las distorsiones en las intensidades de los píxeles de radar, la cual son generalmente mas intensos los que están mas cerca al sensor y tienen una general caída hacia las distancias extremas.

3.2.2.2.-FAD.-lleva a cabo un filtro adaptivo (FROST) de cualquier dato de imagen, incluyendo los datos SAR. Este filtro remueve las manchitas (speckle) mientras que conserva los bordes delineados en la imagen.

3.2.2.3.-**FLE.**-Este filtro (**LEE**) lleva a cabo la misma función como el filtro **FROST**. Es conveniente tratar ambos tipos para seleccionar el más efectivo de los dos.

3.2.2.4.-**FLIGHT.**-Calcula los parámetros de la ruta de vuelo del avión que está recabando las imágenes SAR, dado el estimado inicial de estos parámetros y el punto de control horizontal (GCP's) sobre la imagen en distancia inclinada. El resultado de los parámetros de salida pueden luego ser usados como la entrada del programa de la distancia inclinada a horizontal (**STG**)

3.2.2.5.-**RSTR.**-Crea un segmento de tabla de búsqueda (**lookup table**) diseñado para realzar las imágenes de radar de 8 bit usando un algoritmo de estiramiento de contraste no lineal.

3.2.2.6.-**SARSIM1.**-Este programa crea una imagen SAR simulada en distancia-azimut desde el modelo de elevación digital de un mapa topográfico. También produce dos bitmaps mostrando las áreas de las sombras (*shadow*) y de inversión por relieve (*layover*).

3.2.2.7.-**SARSIM2.**-Este crea una imegen simulada SAR similar al programa anterior excepto que registra directamente la imagen a la proyección UTM del área.

3.2.2.8.-**SARGEO.**-Registra una imagen actual SAR a un modelo de elevación digital (**DEM: Digital Elevation Model**), la cual está en la forma de proyección UTM. Este

programa requiere una imagen SAR simulada creada por SARSIM1 y un conjunto de GCP's, tratando la actual imagen SAR como la imagen SAR simulada.

3.2.2.9.-SRTOGR.-Este programa es para los datos de avión solamente. Convierte la imagen de radar desde la distancia inclinada a la distancia horizontal usando la altura de vuelo del avión y un parámetro de tamaño de pixel uniforme por el área del objetivo. La imagen producida está en el sistema de coordenadas distancia-azimut (*range-azimuth*) y no es geocodificado (UTM). Es para usar cuando un DTM no está disponible para el área.

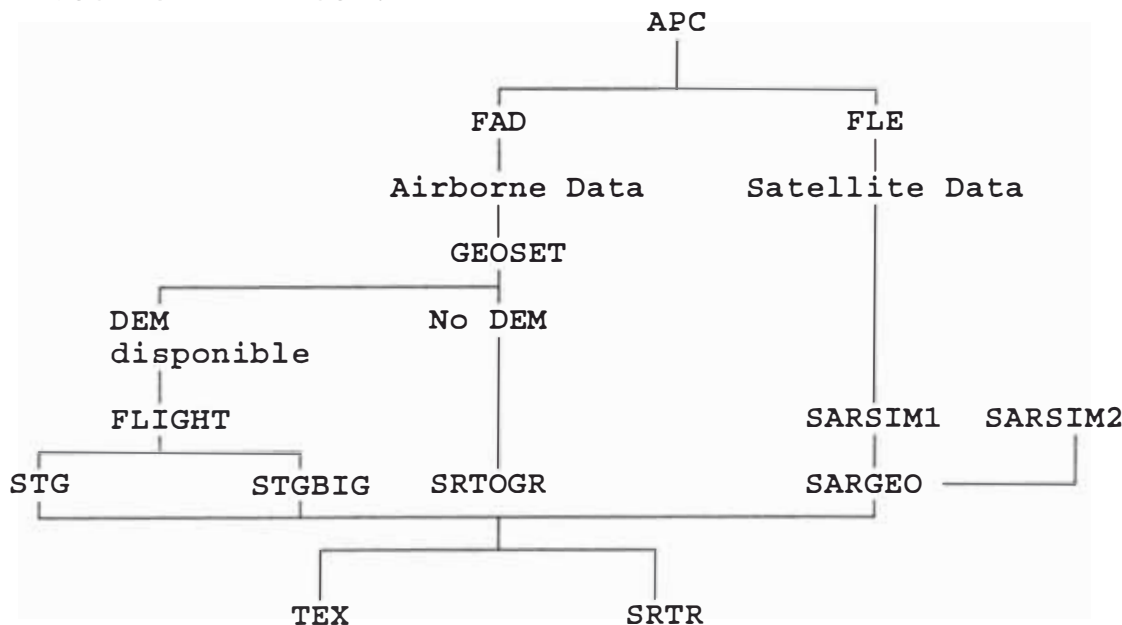
3.2.2.10.-STG.-Así como el programa previo, este programa es para datos de avión solamente. Convierte las imágenes SAR del alcance inclinado a la distancia horizontal, dados los parámetros de la ruta de vuelo calculados por el programa FLIGHT y dado el DEM para las áreas cubiertas por la imagen de radar. El programa registra la imagen de radar con el DEM para el area. LLeva a cabo la misma función que SRTOGR excepto que los datos llegan a ser geocodificados exactamente.

3.2.2.11.-STGBIG.-Este programa convierte las imágenes de distancia inclinada a horizontal. El STGBIG tiene la misma función que el STG, pero puede correr más rápido que el STG sobre la PC. Además puede correr fuera del EASI en la PC, y el STGBIG reemplaza al ETGPC.

3.3.3.12.-TEX.-Calcula las medidas de una textuta especificada para cada pixel en imágenes de radar de 8 bits. Seis medidas de textura son soportados: homogeneidad, contraste, disimilaridad, media, desviación standard y entropía. La salida puede ser 32-bit real.

Como observado líneas arriba, varios de estos programas son solamente para datos de satélite SAR, y otros tantos solamente para aviones; como así tanto avión como satélite.

De los doce programas vistos, la secuencia recomendada - fig. 3.33- de los programas para el procesamiento de datos de radar son:.



DEM: Digital Elevation Model

GEOSET: Set Georeferencing Segment (posición de los píxeles por latitud-longitud)

Fig. 3.33

CAPITULO IV

TRANSFERENCIA DE LA INFORMACION CAPTURADA DESDE EL SATELITE A LA ESTACION TERRESTRE. FORMATOS DE TRANSFERENCIA A CINTAS DIGITALES

4.1.-Transmisión de datos desde el Satélite

Una vez realizada el proceso de barrido, de acuerdo a los modos de cobertura y el tratamiento de la información capturada -esto es, a nivel de señal- se procede a la transmisión de todos los datos en bruto -banda X- a la Estación Terrena más cercana dentro del sistema RADARSAT Prince Albert, Saskatchewan y Gatineau, en Quebec; entre otros que pertenezcan al sistema.

De la Tabla 4.1

TABLA 4.1
PARAMETROS DE SEÑALES DE TELEMETRIA

Frecuencias portadoras	8.245 Ghz, 8.370 Ghz
Banda X	
Número de canales	2
Modulación	QPSK
Cuantización de señal	4 bits (I & Q)
Capacidad de registro de señal	> 10 min /carga
Velocidad de datos	105 MBPS (R/T) 85 MBPS (Registrado)
Potencia de RF	22 Vatios por canal
Tasa de error de bit	10^{-5}
Estación Terrena (G/T)	31.9° dB/K°
Ancho de banda de la antena S/C	124°

observamos las características más importantes a los que se refiere a los parámetros de Telemetría.

La figura 4.1 nos muestra la arquitectura del sistema RADARSAT, la cual cuando algún usuario requiere de imágenes de radar, se envían las órdenes por medio de la Oficina de Manejo de la Misión al Centro de Control, las cuales ésta decidirá qué Estación se encargará de enviar las órdenes correspondientes a las TT&C de Ottawa (Canadá) o de Canberra (Australia) para que estas últimas y haciendo uso de la Telemetría y Comandos se comuniquen con el satélite a través de la banda S, y procedan a posicionarlo y posteriormente a realizar el barrido que corresponda según los requerimientos del usuario.

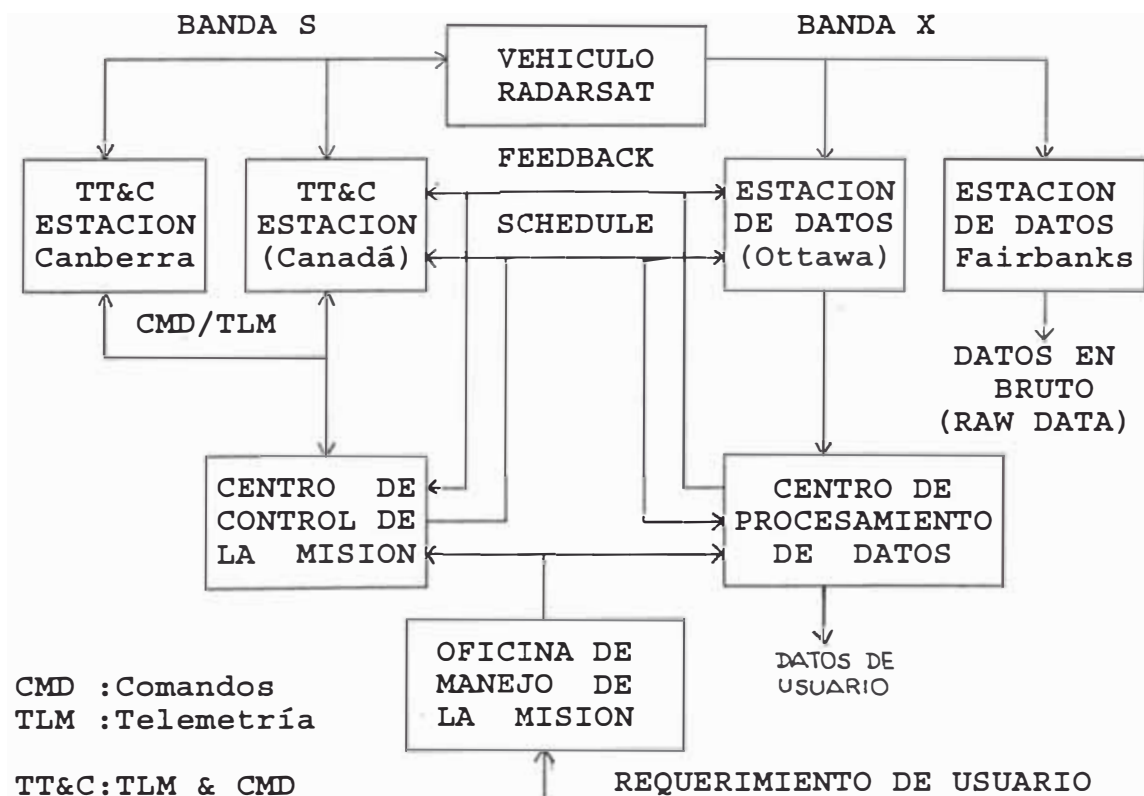


Fig. 4.1

Una vez que el RADARSAT haya realizado la cobertura, tiene dos canales en banda X para transmitir usando la modulación QPSK a las estaciones de datos (**Data Acquisition Station -DAS**) ubicados inicialmente en Fairbanks (Alaska) y de Ottawa, que son usados también por el satélite ERS-1, para transmitir en downlink.

Las principales estaciones terrenas de recepción de la data tanto para el RADARSAT como los demás sistemas satelitales (Landsat, SPOT, ERS-1, etc) están a continuación.

PAIS	UBICACION DE LA ESTACION	ORGANIZACION
Canadá	Prince Albert	CCRS (Radarsat)
Canadá	Gatineau	CCRS (Radarsat)
Estados Unidos	Fairbanks	(Radarsat)
Estados Unidos	Goddard Space Flight Center	
España (Islas Canarias)	Maspalomas	ESA
Brasil	Cuiaba	INPE
Tailandia	Lad Krabang	NRCT
Japón	Hatoyama	NASDA
Pakistán	Islamabad	SUPARCO
Sudáfrica	Hartebeesthoek	CSIR
Australia	Alice Springs	ACRES
Israel	Tel Aviv	IAI
Ecuador	Cotopaxi	CLIRSEN

PAIS	UBICACION DE LA ESTACION	ORGANIZACION
Argentina	Marchiquita	CNIE
Suecia	Kiruna	ESA
Italia	Eucino	ESA
India	Hyderabad	ISRO
Nueva Zelandia	Aukland	
Indonesia	Jakarta	
China	Beijing	

Después de este proceso, el **DAS** usando su alta velocidad de transferencia de datos digital lo transmite al centro de procesamiento de datos (Data Processing Centre -DPC)

El DPC se encargará de distribuir la data según las tres formas dadas:

Georeferenced

Geocoded

Special

a los usuarios que requieran estas imágenes.

4.1.1.-Modulación QPSK

La modulación cuadri PSK, es comúnmente denominada QPSK. Vamos a analizar brevemente el proceso de modulación y demodulación en QPSK, en el cual se transmiten dos bits en forma simultánea, y es en la cual que el RADARSAT transmite sus datos al DAS.

En QPSK, la secuencia de la señal digital a ser enviada está dividida en bloques de dos bits y cada bloque de código que contiene dos bits se transmiten simultáneamente.

En este caso, se tienen las siguientes combinaciones de código: 00, 01, 10, 11. Estas combinaciones se hacen corresponder con las cuatro fases iniciales de la señal QPSK -fig. 4.2-.

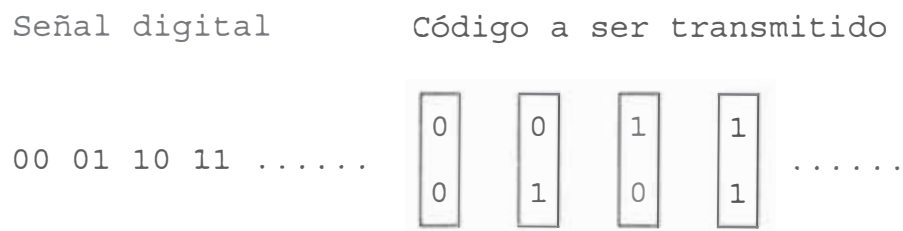


Fig 4.2

En la fig 4.3 se muestra un ejemplo de la correspondencia entre códigos y fases iniciales, empleando el código GRAY, que es el que se emplea generalmente en QPSK. La fase 0 corresponde al código 00, la fase $\pi/2$ corresponde al código 01, fase π al código 11 y la fase $3\pi/2$ al código 10. Podemos entender, al comparar los códigos entre dos fases adyacentes que uno de los dos bits es idéntico en cada caso. Mediante el código GRAY, sólo se llega a producir un bit de error, aunque la señal recibida sea incorrectamente demodulada a una fase adyacente.

Explicaremos ahora la señal PSK mediante ecuaciones -fig.

4.4- supongamos que la señal está dada por:

$S(t) = A \cos 2\pi f_c t$	para el código: 00
$S(t) = A \cos (2\pi f_c t + \pi/2) = -A \sin 2\pi f_c t$	01
$S(t) = A \cos (2\pi f_c t + \pi) = -A \cos 2\pi f_c t$	11
$S(t) = A \cos (2\pi f_c t + 3\pi/2) = A \sin 2\pi f_c t$	10

donde $f_c = 8.245 \text{ Ghz}$
 8.370 Ghz

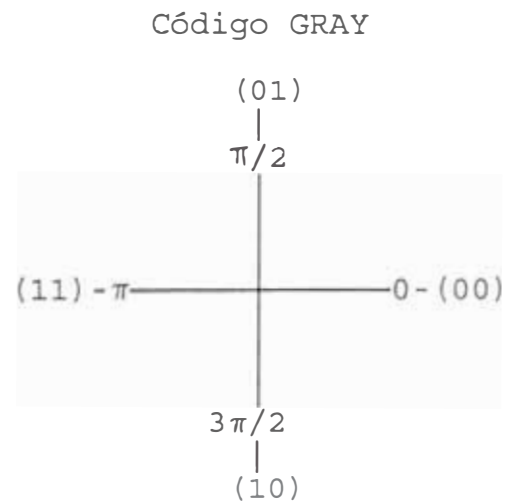


Fig 4.3

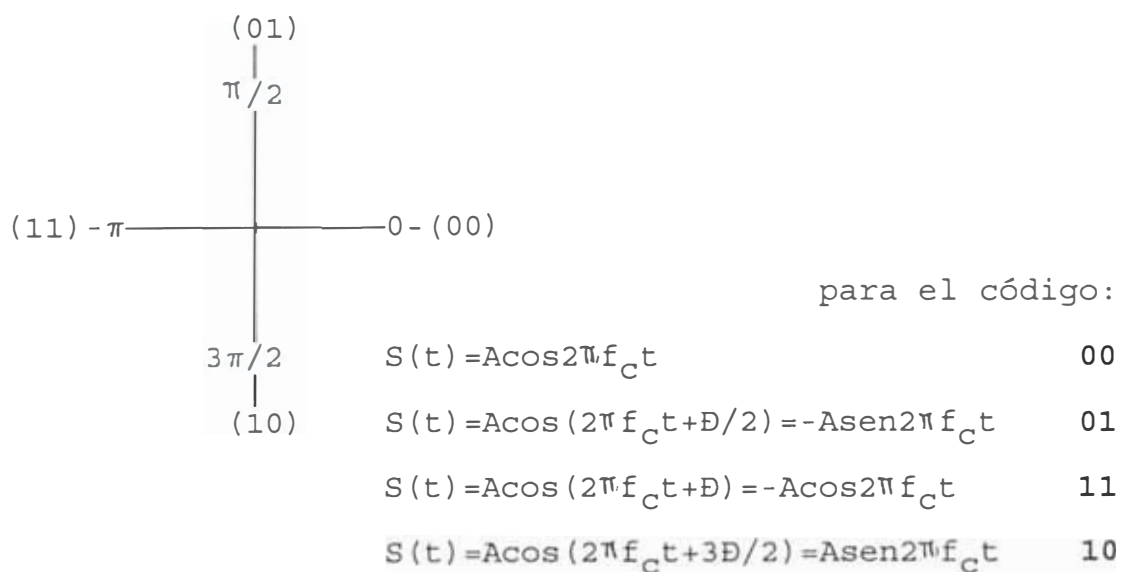


Fig 4.4

En la figura 4.5 se muestra un ejemplo del circuito de modulación QPSK. Este circuito genera una señal QPSK en código GRAY. El circuito de modulación QPSK consiste de dos circuitos BPSK acoplados entre sí. La señal digital a ser enviada se distribuye a los canales P y Q mediante un con vertidor serie paralelo (S/P) cada uno es modulado en BPSK mediante un modulador balanceado. La portadora utilizada en el modulador del canal P, se obtiene directamente a la salida del oscilador. La portadora utilizada para el canal Q es la señal desplazada en $\pi/2$, que se obtiene al pasar la salida del oscilador a través de un desfasador de fase $\pi/2$. Estas dos señales moduladas en BPSK obtenidas utilizando portadoras que se encuentran separadas en fase $\pi/2$ son mezclados por un circuito híbrido para obtener la señal QPSK.

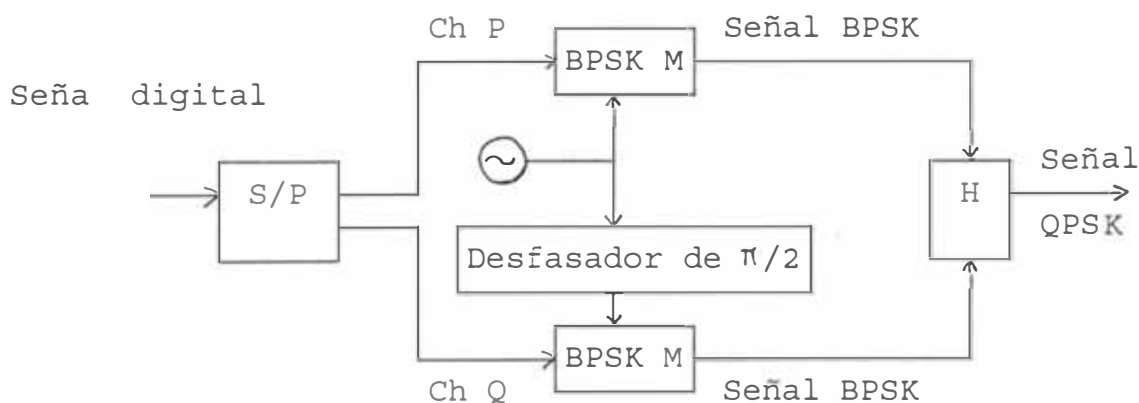


Fig 4.5

ahora la relación entre las portadoras utilizadas en los canales P y Q y las señales moduladas BPSK para los códigos 0 y 1 mediante diagramas vectoriales. Si la fase

inicial de la señal de la salida del oscilador es tomado como referencia, la portadora utilizada en el canal P está en fase con la referencia, puesto que ha sido tomada de la salida del oscilador. La portadora utilizada en el canal Q se obtiene desplazando en fase $\pi/2$ a la señal de salida del oscilador. Las señales BPSK moduladas en los canales P y Q se encuentran en fase con la portadora para el código 1 y π rad. fuera de fase con la portadora para el código 0 -fig. 4.6-.

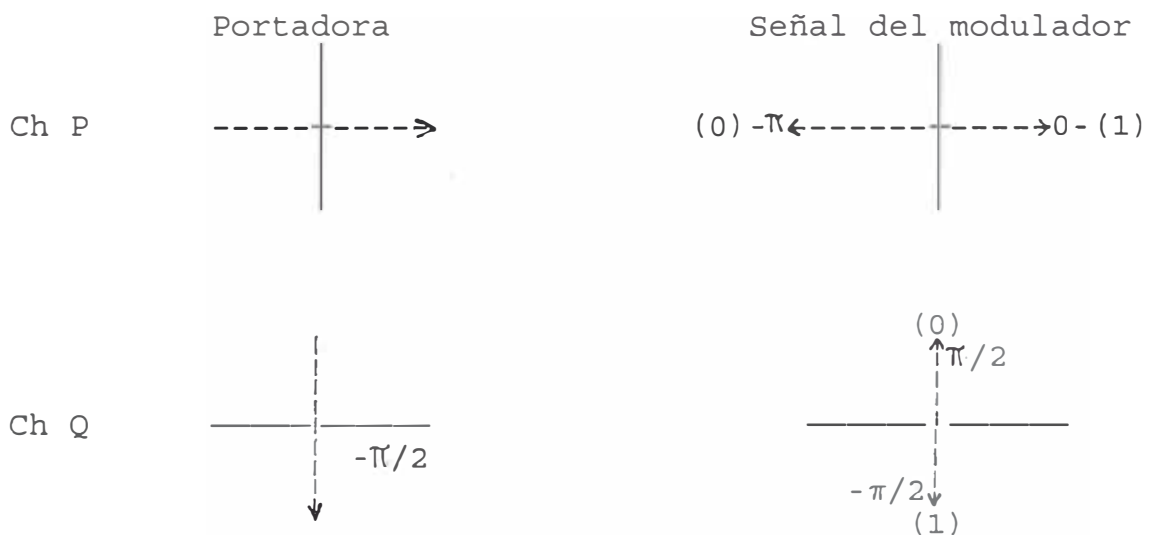


Fig 4.6

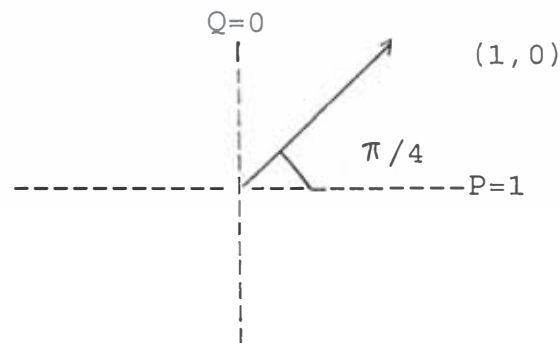


Fig 4.7

Al combinar la señal modulada BPSK de los canales P y Q, obtenemos la señal QPSK. Cuando el código del canal P es "1" y el código del canal Q es "0", el vector resultante es como es mostrado en la figura 4.7. Este vector resultante representa la señal QPSK para el código 10. Esta señal QPSK está desfasada 45° con respecto a la portadora para el canal P.

Combinando dos señales BPSK obtenidas utilizando dos portadoras ortogonales, obtenemos una señal QPSK con código GRAY. Al comparar los códigos correspondientes a dos fases adyacentes, podremos ver que uno de los bits son idénticos. En la parte de la izquierda de la figura 4.8 vemos un diagrama vectorial que tiene como referencia a la portadora del canal P. Si la fase correspondiente al código 00 es tomada como referencia se obtiene un diagrama vectorial como el de la derecha.

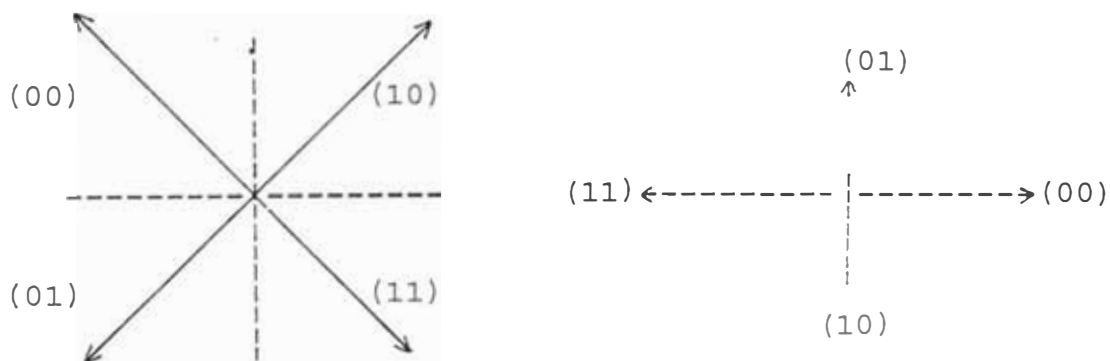


Fig 4.8

Ahora consideremos el principio de demodulación de una señal QPSK por detección coherente.

El sistema RADARSAT usa cuatro bits de cuantización; dos en cada fase I & Q.

El vector mostrado con línea sólida en la fig 4.9. indica la señal QPSK recibida. Esta señal QPSK se puede considerar como la señal resultante obtenida al combinar un par de señales BPSK ortogonales como las mostradas en líneas interrumpidas.



Fig 4.9

Según, el hecho de demodular, la señal QPSK equivale a demodular estas dos señales BPSK. Así la señal QPSK recibida es detectada en forma coherente utilizando un par de portadoras de referencia ortogonales, las cuales se obtienen desfasando $\pi/4$ a la señal recibida. Esto es, cada una de las señales BPSK ortogonales, son sometidas a una detección coherente en forma separada.

La fig. 4.10 se muestra el diagrama de un circuito de demodulación para una señal QPSK empleando detección coherente. Básicamente, el circuito consiste en un par de

circuitos de demodulación coherente para las señales ortogonales BPSK. La señal QPSK recibida se divide en dos señales que se detectan coherentemente en forma separada. Un par de portadoras de referencia ortogonales se alimenta a los multiplicadores individuales en los canales P y Q. Cada señal de salida del multiplicador se pasan a través de un filtro pasabajos para eliminar los armónicos más altos y luego se someten a una retención de muestreo con pulsos de reloj a través del "sample holder". De esta forma las señales son separados separadamente en los canales P y Q. Estas señales paralelas se combinan mediante un convertidor paralelo serie (P/S) para restaurar la secuencia de la señal original.

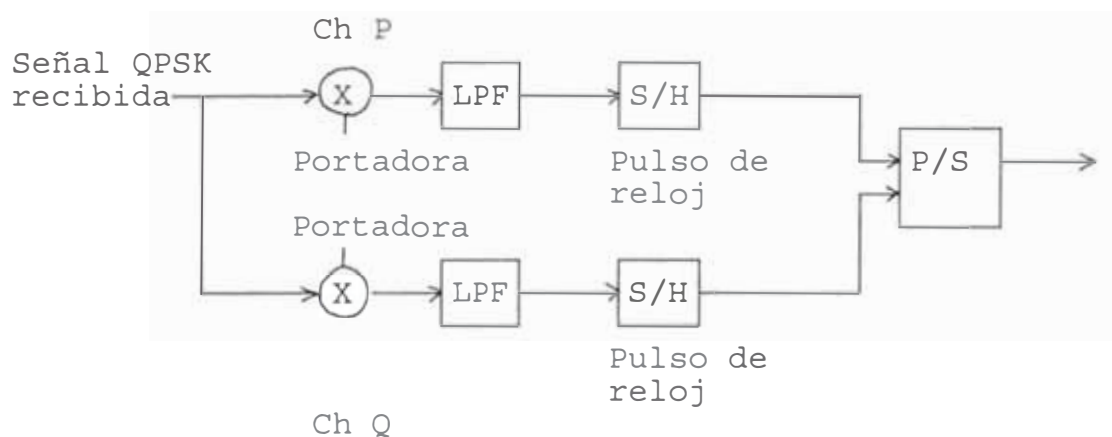


Fig 4.10

La detección coherente de una señal QPSK, es necesario desplazar las fases de un par de portadoras de referencia ortogonales en $\pi/4$ con respecto a la fase de la señal

recibida, antes de multiplicar ésta por estas dos portadoras. Con este propósito se utiliza un circuito de recobro de portadora, un desfasador de $\pi/4$, y un desfasador de $\pi/2$ -fig. 4.11-. En el circuito multiplicador del canal P, se obtiene una portadora de referencia al desfasar la señal de salida del circuito de recobro de portadora a través del desfasador de $\pi/4$. En el multiplicador del canal Q, se emplea una portadora de referencia ortogonal, la cual se obtiene al pasar la señal de salida del desfasador de $\pi/4$ a través de un desfasador de $\pi/2$. Mediante la detección coherente de la señal QPSK, utilizando un par de portadoras de referencia como arriba mencionados, las dos señales BPSK combinadas en el lado del modulador pueden detectarse coherentemente en forma separada.

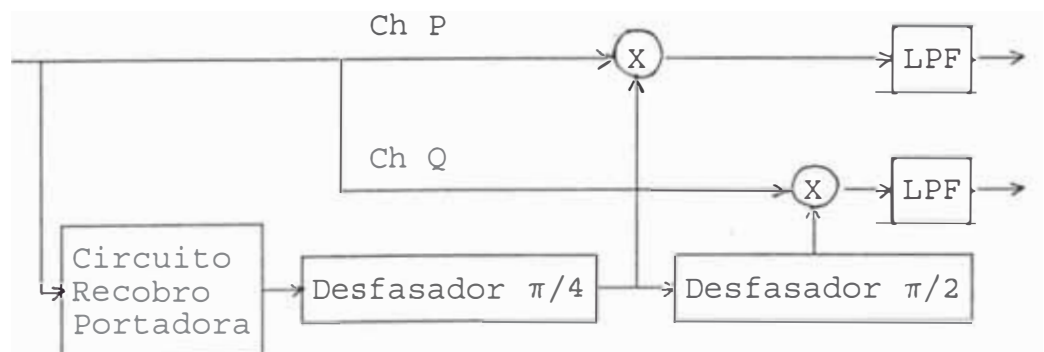


Fig 4.11

El principio básico del recobro de portadora a partir de la señal QPSK es similar al de la señal BPSK o PSK binario. La fase de la portadora de referencia recobrada

a una de las cuatro fases posibles de la señal QPSK recibida, pero es imposible determinar cuál de estas cuatro fases coincide con la fase de la portadora presente. De este modo el problema de ambigüedad de fase se produce en la modulación QPSK. Dicho problema puede resolverse mediante la técnica de la codificación diferencial o técnica de la palabra única, como en el caso del BPSK. El RADARSAT usa este último, puesto que la transmisión es del tipo interrumpido.

El problema de la ambigüedad de fase lo resolvemos mediante el uso de patrón de código especificado, esto es, una palabra única.

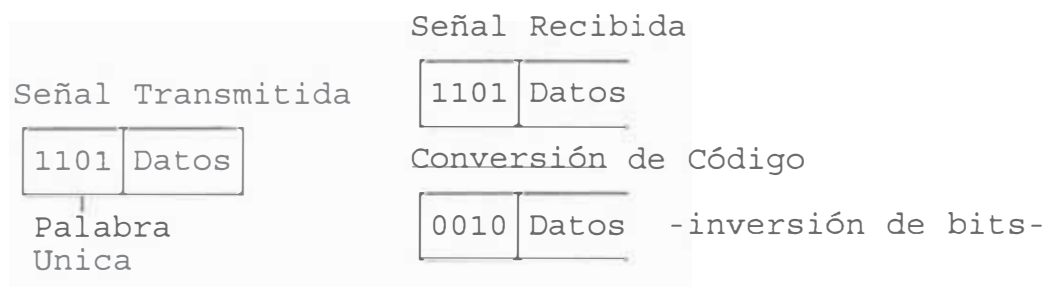


Fig 4.12

Esto se explica en la figura 4.12. En el extremo transmisor, un patrón de código especificado o palabra única es añadida antes del envío de la secuencia del dato. Cuando la palabra única demodulada, que se obtiene en el receptor es idéntica al patrón de código específico que siendo enviado el dato que le sigue es tomado como

correcto. cuando la palabra única demodulada es inversa, el dato que le sigue se considera como invertido debido a la ambigüedad de fase, llevándose a cabo la conversión del código del dato siguiente, de tal forma que la secuencia del dato de salida sea idéntica al dato transmitido.

En la figura 4.13, se muestra un diagrama conceptual de un circuito demodulador que utiliza una palabra única. El circuito de demodulación comprende un circuito de detección de patrón y un circuito de conversión de código. El circuito de detección de patrón detecta la salida de la palabra única de la señal de salida del demodulador. Cuando la palabra única es inversa, el interruptor en el circuito conversor de código es puesto en el lado inversor, tal que se lleve a efecto la conversión de código. Así la influencia de ambigüedad de fase es anulada, pudiéndose obtener una secuencia de dato normal en el extremo receptor.

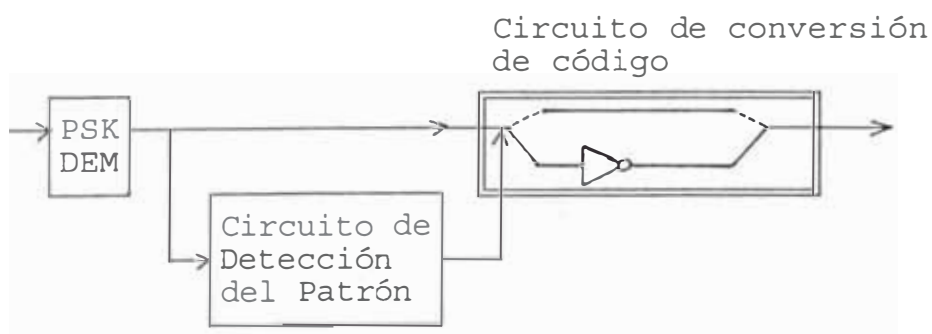


Fig 4.13

4.2.-Trasferencia Digital de datos del D.A.S. al D.P.C.

Al realizarse el proceso de transferencia de la información bajo la modulación QPSK (modulación digital), el Sistema RADARSAT se basa en los formatos universales.

Para este caso, el formato de la transmisión de las imágenes de radar son similares a los que se transmite de los satélites Landsat y SPOT.

4.2.1.-Productos Digitales

Una vez realizada todos los tratamientos de las imágenes de radar, el producto es grabado directamente a una cinta digital.

Las cintas magnéticas digitales de alta densidad o **HDDT** (*High Density Digital Tape*) tienen 12 o 24 pistas.

Una primera etapa de pre-procesamiento consiste en extraer parte de los datos grabados en estas cintas y pasarlos a cintas normales (9 pistas) con una densidad normal de 1600 ó 6250 bpi -bits per inch-. Estas últimas cintas se conocen como **CCT** (*Computer Compatible Tapes*) o cintas compatibles con computador.

Normalmente se trabaja las CCT, con sistemas grandes como las RISC6000 de IBM o las SUN, entre otras, ya que según el tamaño de la imagen en bytes ocupan gran cantidad de memoria RAM cuando se carga alguno de ellos (por ejemplo

pueden ser: 3, 6, 10, 16, 25, 36 MBytes o cualquier tamaño)

Antes de grabar la CCT, se realizan algunas correcciones sistemáticas del receptor -antena- como son por ejemplo la eliminación del efecto de la rotación de la Tierra, correcciones geométricas, radiométricas, etc..Pero varias de estas correcciones también se pueden realizar durante el procesamiento digital de los datos y muchas veces es recomendable hacerlo de esta manera para evitar alteraciones en la cuenta digital original.

El producto digital en cinta contiene las cuentas digitales entregadas por el sensor, en un formato ordenado de tal forma que al leer los datos se forme una matriz de M -píxeles- x N -líneas- traspasadas de la HDDT al CCT de acuerdo a la capacidad de la cinta CCT.

En la figura 4.14 se muestra el formato básico de una imagen en general.

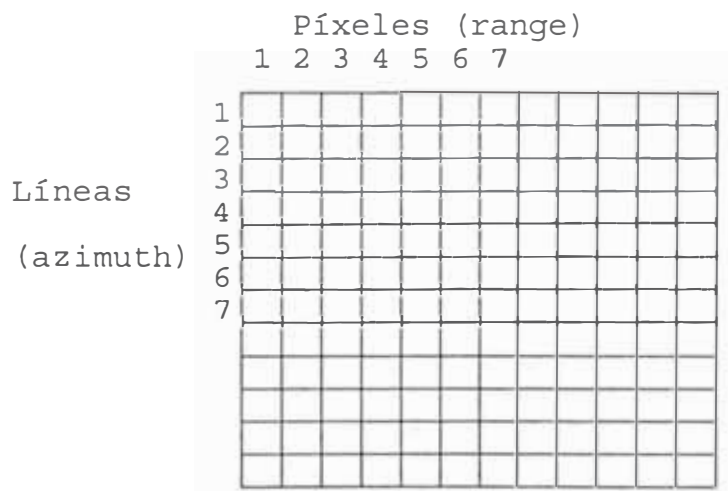


Fig. 4.14

Si una CCT tiene por ejemplo 200 pies, 9 pistas, 6250 bpi su capacidad máxima es:

$$\text{Capacity} - 200 \times 12 \times 9 \times 6250 - 128.74 \text{ MBytes}$$

-Los datos del RADARSAT usan CCT,s con esta densidad.

Y con una densidad de 1600 bpi entonces:

$$\text{Capacity} - 200 \times 12 \times 9 \times 1600 - 32.95 \text{ MBytes}$$

Los CCT de 1600 bpi son normalmente de 32 de capacidad.

Una imagen de radar puede entrar en una CCT de 6250 bpi, ya que los tamaños de una imagen de SPOT por ejemplo - ~100 Mb - entra en tres CCT de 1600 bpi.

En el peor de los casos si la imagen fuera la **standard mode** -500 x 500 Kms- a una resolución de 28m x 25m- , la capacidad de la imagen a 8 (ó 16) bits por pixel será:

$$C - (500000/25 \times 500000/28) / 1048576 \sim 340.6 \text{ MBytes}$$

donde:

$$\text{n}^\circ \text{ de líneas} - 500000/28 \sim 17857$$

$$\text{y } \text{n}^\circ \text{ de píxeles} - 500000/25 \sim 20000$$

Recordando que:

$$1\text{Kbyte} - 1024 \text{ Bytes}$$

$$1\text{Mbyte} - 1024 \text{ Kbytes} - 1048576 \text{ Bytes}$$

1Gbyte - 1024 Mbytes - 1048576 Kbytes - 1073741824 Bytes

Pero sólo es de la imagen sin considerar el formato, pero como reiteramos, cabe para este dos o tres CCT de 6250 bpi de las longitudes actuales, pero no es usual tener estos tamaños de imágenes tan grandes. Normalmente se considera tamaños de 100 x 100 Km como máximo -bloques de imágenes-:

La tecnología avanza a pasos agigantados, que existen imágenes grabados en CD-ROM como los de SPOT Image para usos en Sistemas de Información Geográfica como referencia, entre otras aplicaciones; ya que su capacidad de almacenaje es muy alto -500 Mb- aunque su tiempo de acceso sea hasta ahora algo lento.

También estas imágenes de radar también se pueden almacenar en:

- Cartridge o Cartuchos de cinta de 150 MB.
- Cintas de 8mm. (similares a los de video V8-P6)
- Floptical disk de 21MB o mayores.
- Diskettes de HD de 1.44 ó 2.88 MB (por lo general comprimidos).

También se imprimen por:

- Printer
- Fotografía

En un computador tampoco es usual usar imágenes de coberturas tan amplias como el Wide mode o ScanSAR mode, sino que se utilizan pequeñas porciones de la región, en el monitor (sea una XGA de 16.7 millones de colores -24 bits-) se estila usar una ventana -window- de 1024 píxeles x 1024 líneas como máximo, por consiguiente analizar regiones de 28.6 x 25.6 Km -con una resolución de 28 (azimuth) x 25 (range) mts.-; es lo que se llama **1/4 de imagen.**

El formato en el cual se graban los datos puede ser cualquiera que uno defina, pero con el fin de estandarizar un producto, se utilizan generalmente los siguientes formatos:

- a) **BSQ** (*Band Sequential*).-en que cada banda del sensor es un archivo separado.
- b) **BIL** (*Band Interleaved by Lines*).-donde las líneas se entrelazan por banda -la usa SPOT, Landsat-.

Pero como sabemos el RADARSAT no usa bandas espectrales como la usan el Landsat o SPOT, pero se puede hacer por analogía, es decir, el satélite realiza barridos por líneas (barrido de alcance oblicuo) y por barridos de sub áreas (provocados por los multibeam) de tal manera que se logre el mismo objetivo de transferencia.

En la figura 4.15 y 4.16 mostramos la configuración del formato BSQ y del BIL respectivamente.

FORMATO BSQ

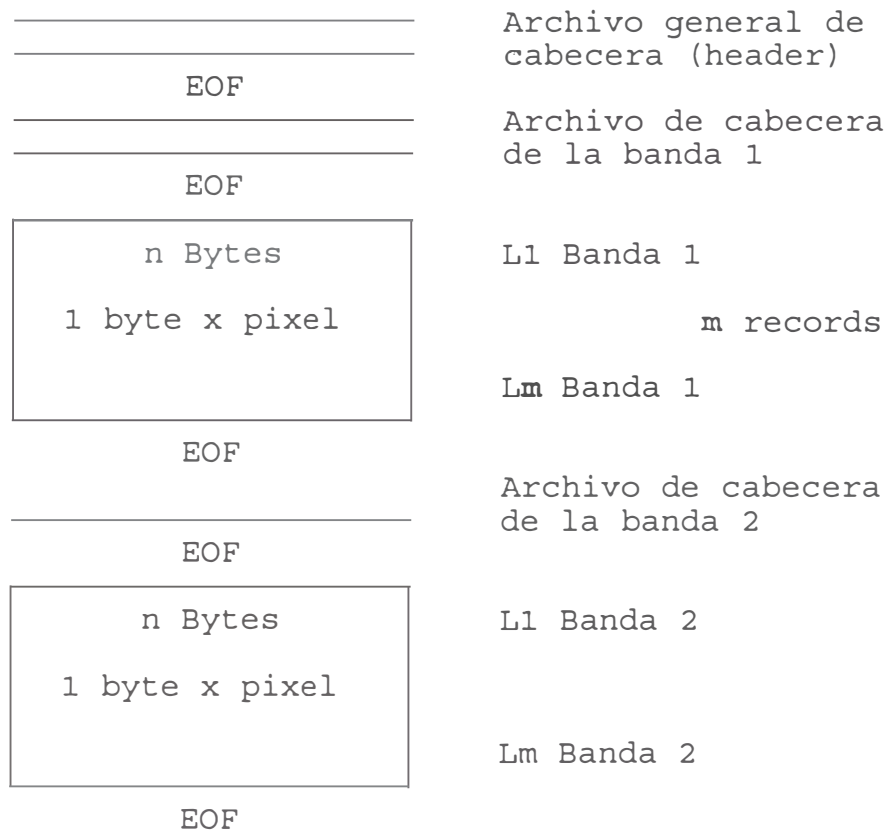


Fig. 4.15

El número de bandas será de una para el RADARSAT puesto que usa una sólo frecuencia de radar, en el futuro se usará hasta tres frecuencias (EOSAT por ejemplo) de radar.

Para aplicación práctica cada L es de 4000 píxeles y m igual a 3600 líneas (standard mode), estos valores de L y m **pueden variar** de acuerdo a la cobertura deseada y resolución, pero respetando el formato general.

FORMATO BIL

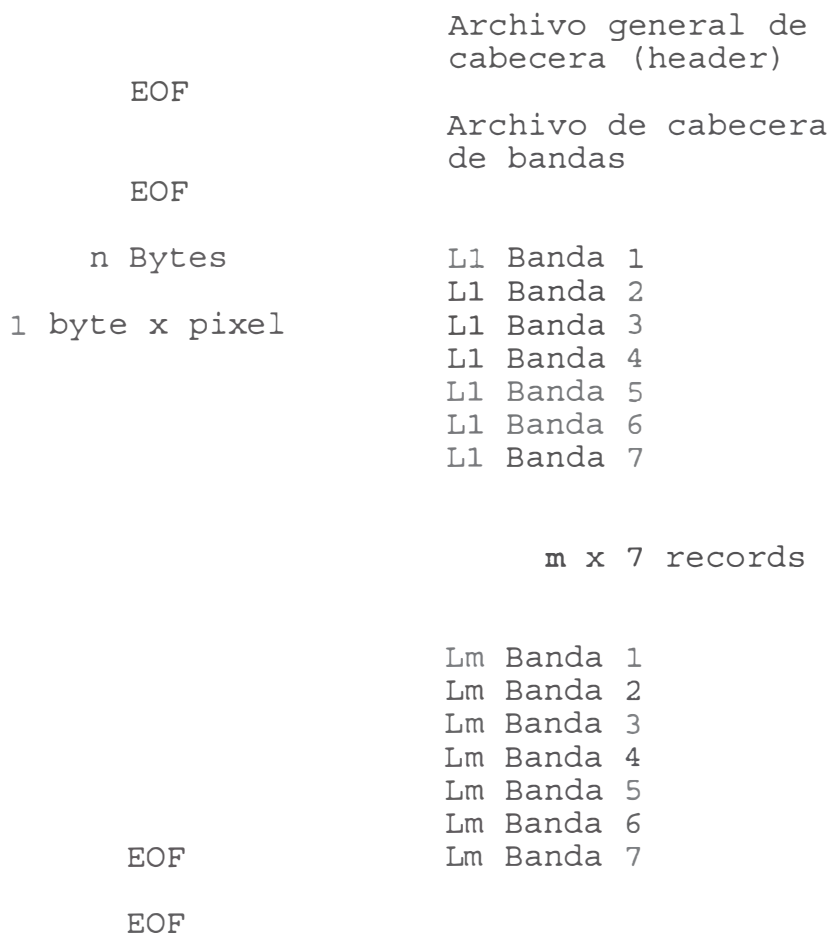


Fig. 4.16

Daremos algunos ejemplos de cobertura standarizada por píxeles/línea, caso particular del Landsat y SPOT.

TAMAÑO DE IMAGEN (en Km x Km)	Nº DE PÍXELES/LINEA
LANDSAT/TM	

*Productos
raw and bulk
y Georeferen
ciado.*

<i>Escena Completa</i>	184 x 172	6120 x 5728 (30mx30m)
----------------------------	-----------	-----------------------

TAMAÑO DE IMAGEN
(en Km x Km)
LANDSAT/TM

*Productos
raw and bulk
y Georeferen
ciado.
1/4 de
Imagen con
Traslapo* 94 x 88 3160 x 2944 (30mx30m)

*Productos
raw and bulk
y Georeferen
ciado.
1/4 de
Imagen* 92 x 86 3060 x 2864 (30mx30m)

*Producto
Geocodificado.
Escena
Completa* 56 x 56 2240 x 2240 (30mx30m)

TAMAÑO DE IMAGEN
(en Km x Km)
SPOT/HRV

MLA

*Productos de
Raw and bulk
y Georeferen
ciado* 60 a 81.5 x 60 3000 x 3000 (20mx20m)

*Producto
Geocodifica-
do* 28 x 38 2240 x 3040 (12.5mx12.5m)

PLA

*Productos de
Raw and bulk
y Georeferen
ciado* 60 a 81.5 x 60 6000 x 6000 (10mx10m)

*Producto
Geocodifica-
do* 28 x 38 4480 x 6080 (6.25mx6.25m)

En caso del RADARSAT es fácil determinar el número de píxeles/líneas de acuerdo al ancho de la cobertura (modo usado). Dependerá de la CCRS (Canadian Centre for Remote Sensing) determinar los formatos que usará finalmente de acuerdo al tipo (*Producto*) de datos procesados.

4.2.2.-Definición de Formato de Cinta CCT

Como hicimos notar líneas arriba en este caso mostraremos el formato genérico de transferencia de datos a una CCT.

File Structure: la cual consiste de tres archivos.

- Universal Header File.-
- RADARSAT Header File.-
- Video Data File.-

4.2.2.1.-Universal Header File (UHF)

El archivo de cabecera universal -UHF- es usado para identificar un número de parámetros los cuales son más usados por cualquier misión de Teledetección, incluyendo RADARSAT, misiones aéreas y otras misiones satelitales. Este archivo consiste en un **simple registro** conteniendo información y la disposición del archivo de datos de video. Este consta de 3060 bytes -de 8 bits- usan el código EBCDIC y el BINARIO. Estos 3060 bytes se

distribuyen en 75 secciones consecutivas de bytes , de tal manera que cada grupo de bytes representen en el orden estricto determinados parámetros, tales como por ejemplo, indicaremos algunos de ellos.

Descripción	Tamaño (bytes)	Tipo
-Computing System Identification.	32	EBCDIC
-Tape Library Identification.	20	EBCDIC
-Date of master tape generation in the form day,month,year.	03	Binario
-Mission number.	01	Binario
-Site number.	02	Binario
-Line number.	01	Binario
-Run number.	01	Binario
-Orbit number.	02	Binario
-Time of first scan in this job. Tenths of milliseconds Seconds Minutes Hours Days Month number Year (los dos últimos dígitos).	08	Binario
-Processing Flag 0 Radiometrical and geometrically raw data 1 Radiometrical or geometrica -		

Descripción	Tamaño (bytes)	Tipo
lly processed data.	01	Binario
-Number of video elements.	02	Binario
-Physical Record Size in bytes	02	Binario
-Number of bytes of ancillary data included in each data set.	02	Binario

entre otras.

4.2.2.2.-RADARSAT Header File (RHF)

El archivo de cabecera del RADARSAT (RHF) consta de $n + 2$ archivos, donde n representa el número de canales agrupados en tres secciones.

a) **RADARSAT header record.**-el registro de cabecera del RADARSAT especifica la escena grabada en la CCT y las opciones del proceso las cuales han sido aplicados a los datos. Consta de 1440 bytes, esto es, 8 líneas de 80 caracteres por línea, bajo el código ASCII o EBCDIC.

Mostraremos algunas descripciones genéricas.

N° Línea	Caracter	Descripción
1	1-10	Production System Identification Code
1	11-40	Identification Code Description - English
1	41-80	Identification Code Description - French

N°	Línea	Caracter	Descripción
2	1-10		Mission Identification
2	11-40		RADARSAT
2	41-80		RADARSAT

etc.

b) **Geometric Transformation Record.**-El registro de la transformación geométrica es usada para definir el centro de cuadro y la orientación del cuadro con respecto de las coordenadas UTM (grid). Su tamaño es de 2700 bytes su codificación es en ASCII o EBCDIC. Consta de tres partes.

-**UTM Zone Number.**-Si el cuadro cubre áreas de más de una simple zona, la zona de mayor cobertura es escogida. La primera entrada del registro de transformación define la zona UTM.

-**UTM Coordinates of frame.**-Las coordenadas UTM del centro de cuadro son expresados como **UTM Northing** (segunda entrada) y **UTM Easting** (tercera entrada) en metros del ecuador y el meridiano central de la zona UTM. El meridiano central es de 500,000 metros; si un Easting point es mayor de los 500,000 metros está al este del meridiano central y menor que 500,000 metros es ubicado al oeste de éste.

-**Orientation of the frame.**-La orientación del cuadro con respecto al UTM especificado líneas arriba está dado en radianes. El ángulo θ incluye la

convergencia de los meridianos -por ejemplo el ángulo al centro del cuadro entre el norte verdadero y el norte de la grilla- y el frente nominal del satélite. Este número es almacenado en la cuarta entrada. El resto del registro es rellenado por ceros

c) **The n Radiometric Transformation Records.**-Estos registros de la transformación radiométrica en número de n consta de 1620 bytes, donde ellos contienen las entradas usadas en las correcciones radiométricas sobre los datos del CCT. Este registro está codificado tanto es ASCII como en EBCDIC, dependiendo de los requerimientos del usuario.

4.2.2.3.-Video Data File (VDF)

El formato del archivo de datos de video (VDF) es BIL (Banda Intercalada por Línea) y el archivo puede ser considerado en términos de conjunto de datos. Consta de n archivos, donde n es el número de bandas (o beams). Consta de una sección.

a) **Video Data Record.**-Cada registro físico dentro del conjunto de datos tiene una longitud fijada en 5000 bytes + 180 bytes -de datos auxiliares- 5180 bytes; y contiene el número de registro, el bloque de datos auxiliares y el bloque de datos del video.

- The Record Number.**-el número de registro es un contador cíclico que da el número del registro físico dentro de su conjunto de datos, y se resetea a 1 cuando un nuevo conjunto de datos es inicializado.

- The Ancillary Data Block.**-los datos auxiliares contienen la posición de los datos iniciales dentro del bloque de datos de video, indicador del status del canal, código de tiempo del satélite. El bloque de datos auxiliares es idéntico para cada registro dentro del mismo conjunto de datos. Son escritos en Binario.

- The Video Data Block.**-Un máximo de 5000 píxeles de datos de escena pueden ser almacenados, cada pixel de uno o dos bytes. La posición de los datos de video dentro del registro es dependiente por las correcciones geométricas las cuales han sido aplicadas.

CAPITULO V

COMPARACION DEL SISTEMA RADARSAT CON OTROS SISTEMAS: LANDSAT, SPOT.

APLICACIONES A LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (GIS)

5.1.-Características principales de los Satélites Landsat y SPOT en comparación con el Radarsat

Estos sistemas pasivos, usan la energía electromagnética **EE** reflejada por el objeto; en la cual como sabemos por teoría electromagnética los cuerpos emitirán su máximo índice de reflectancia para su máxima longitud de onda, teniendo una distribución casi normal, es decir existe disminución para los laterales del índice mencionado - similar a una sintonización-.

Al usar diversos filtros, especificados por los rangos de longitud de onda -rojo, verde, azul, IR-, algunos cuerpos para esos filtros usados reaccionarán mejor o no; así se puede reconocer aún sin saber en una imagen de satélite su color verdadero, de un cuerpo determinado, el tipo de suelo, hielo o vegetación.

En general, si la fuente considerada es el Sol y el objeto es algún componente de la superficie terrestre, para el *Rango Visible* (Rojo, Verde y Azul) e *Infrarrojo Cercano* se estará trabajando con la energía solar reflejada; en el *Infrarrojo Medio* con la **energía**

reflejada y emitida, y en el *Infrarrojo Lejano o Térmico* con energía emitida por el objeto.

Normalmente, cada objeto genera su propia *firma espectral* o *característica espectral*, es decir la gráfica que produce la EE reflejada versus la longitud de onda.

Pero cada objeto tiene una curva espectral única, pero los valores pueden coincidir en determinados rangos. Es por esta razón que el sensor puede captar una gran cantidad de rangos espectrales, con el fin de evitar zonas de coincidencia.

En muchos casos el porcentaje de reflectancia en niveles máximos se encuentra entre 45 a 70%, dependiendo del elemento como es por ejemplo *vegetación, parronales*, pudiendo llegar a niveles máximos en el orden de 12% como *agua de río claro*

Una de las desventajas aparentes en la cobertura, de los satélites de sensores pasivos, es que no cubren, a diferencia de los satélites de radar de vista lateral, todo el globo terráqueo; las regiones con latitudes superiores a los 81° no son cubiertos.

5.1.1.-Satélite SPOT (Systeme Probatoire D'osservation de la Terre)

La organización CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) lanzó el SPOT. Este satélite usa dos pares de sensores pasivos independientes entre sí, por esta razón las

coberturas que realiza ésta son de día. Las características técnicas de funcionamiento más importantes la mostramos en la tabla 5.1.

TABLA 5.1

Altitud	822 Km
Período	101.4634146 min
Inclinación	98.7°
Número de Orbitas	.369
Período de Repetición de Orbita	26 días
Barrido	60 Km/imagen
Cruce Ecuatorial (descendente)	10:30 horas
Separación mínima entre Orbitas	108.415 Km

La cobertura del SPOT es bajo los ángulos de -27° (HRV looking east) a $+27^\circ$ (HRV looking west).

Los sensores usados por el SPOT son el HRV (haute résolution visible) PADPCM o PLA (pancromático) y XS o MLA (multiespectral).

Sus características de estos sensores son:

HRV/PADPCM o PLA (Panchromatic Linear Array)

Bandas	: 1
Resolución	: 10 x 10 metros
Rango	0.51-0.73 μm (longitud de onda)
N° de píxeles/ línea	6,000

HRV/MLA o XS (Multispectral Linear Array)

Bandas : 3

Resolución : 20 x 20 metros

Rangos :

HRV1: 0.50-0.59 μm GreenHRV2: 0.61-0.68 μm RedHRV3: 0.79-0.89 μm Near-IR (infrarrojo
cercano)

N° de píxeles/

línea 3,000

El procesamiento de datos en el SPOT tiene varios niveles: 1A, 1 AP, 1B, 2B, S1, S2 y el extended frame, para aplicaciones en escenas procesadas de precisión cartográfica.

El SPOT 1 fue lanzado el 22 de Febrero de 1986; SPOT 2 el 22 de Enero de 1990 (este último estuvo proyectado para 1987)

Para futuros proyectos del SPOT, se espera obtener una resolución de 5 metros y la capacidad de vista de manera estéreo, es decir un mismo punto puede ser visto desde dos posiciones diferentes en la misma línea de vuelo.

PROYECTO	AÑO DE LANZAMIENTO ESTIMADO
SPOT3	1993-1994
SPOT4	1996-1997
SPOT5	1999-2000
SPOT6	2002-2003

5.1.2.-Satélite Landsat (Ex ERTS)

La **ERTS** (*Earth Resource Technology Satellite*) fue lanzado, la primera versión en 1972, hoy renombrado desde la tercera versión como Landsat. Este satélite usa también sensores pasivos, sus coberturas al igual que el SPOT son de día. Las características técnicas de funcionamiento más importantes la mostramos en la Tabla 5.2.

TABLA 5.2

Altitud	705 Km
Período	98.88412017 min
Inclinación	98°
Número de Orbitas	233
Período de Repetición de Orbita	16 días
Sub-ciclos	7 & 17 días
Barrido	185 Km/imagen
Cruce Ecuatorial (descendente)	09:45 horas
Separación mínima entre Orbitas	171.696 Km

Los sensores usados por el LANDSAT son el **TM** (Thematic Mapper) y **MSS** (Multispectral Scanner) y sus características de éstos son:.

TM

Bandas : 7

Resolución :

30 x 30 metros -6 bandas-

120 x 120 metros -1 banda (banda 6) -

Rangos

TM1	: 0.45-0.52 μm	Blue
TM2	: 0.52-0.60 μm	Green
TM3	: 0.63-0.69 μm	Red
TM4	: 0.76-0.90 μm	Near IR
TM5	: 1.55-1.75 μm	SWIR
TM7	: 2.08-2.35 μm	SWIR
TM6	: 10.8-12.5 μm	TIR

MSS

Bandas	1
Resolución	: 59 x 79 metros -4 bandas-

Rangos

MSS1	: 0.5-0.6 μm	Green
MSS2	: 0.6-0.7 μm	Red
MSS3	: 0.7-0.8 μm	Near IR
MSS4	: 0.8-1.1 μm	Near IR

N° de píxeles/

línea 3,600

Estos son los satélites Landsat (Ex ERTS) lanzados desde 1972 hasta la fecha.

-ERTS 1	Julio de 1972	
-ERTS 2	Enero de 1975	
-LANDSAT 3	Marzo de 1978	
-LANDSAT 4	Julio de 1982	
-LANDSAT 5	Marzo de 1984	en órbita
-LANDSAT 6	1991	en órbita

El Landsat 6, que está en órbita usa los sensores ETM (Enhanced Thematic Mapper) y el MSS (al igual que el Landsat 5)

El ETM usa las mismas bandas espectrales que el sensor TM, y tiene una banda pancromática con las siguientes características:

Pancromática

Rango Espectral 0.50 - 0.90 μm

Resolución Espacial : 13 x 15 metros

Dando una idea de la cobertura del Satélite, por ejemplo del sensor MSS, indicamos lo siguiente.

Para un tiempo de 73.4214 mseg., lo que equivale a una frecuencia $f = 13.62 \text{ Hz}$, el satélite se habrá movido 474 m en dirección azimutal. Pero resulta que el sensor tiene seis detectores por banda, de tal manera que la resolución del detector del sensor que es igual a la de la imagen; sea:

Ra - 474 / 6 - 79 metros (resolución azimutal)

En lo que respecta a la cobertura en distancia, tenemos lo siguiente:

Cobertura - $2 \times \tan(14.95^\circ/2) \times 705 \text{ Km} \sim 185 \text{ Km}$

Además tenemos que el tiempo de barrer de oeste a este es aproximadamente de 30.8 mseg y su sampling rate o velocidad de muestreo es de 100,417.5 muestras por segundo. Entonces el número de muestras es:

$$\text{muestras} - 100,417.5 \text{ M/seg} \times 30.8 \text{ mseg} \sim 3100$$

Entonces la resolución en distancia horizontal será:

$$R_g - 185000 / 3100 \sim 59 \text{ m}$$

5.1.3.-Satélite Radarsat

El RADARSAT como ya vimos en el Capítulo 2 usa sensores activos, sus coberturas a diferencia del SPOT y del Landsat son de día o de noche. Revisando las características técnicas de funcionamiento más importantes la mostramos en la tabla 5.3.

TABLA 5.3

Altitud	793-821 Km
Período	100.7580175 min
Inclinación	98.6°
Número de Orbitas	343
Período de Repetición de Orbita	24 dias
Sub-ciclos	7 & 17 dias
Barridos	45 ≈ 511 Km
Cruce Ecuatorial	18:00 horas
Separación mínima entre Orbitas	116.633 Km

Resumiendo las características del sistema SAR podemos indicar

- 01.-La imagen de radar puede producirse de día y de noche, independiente de la temperatura y de la influencia solar.
- 02.-Independiente de las condiciones atmosféricas y puede atravesar la vegetación, capas de suelos superficial, nieve.
- 03.-Se puede realizar grandes levantamientos en tiempos relativamente cortos y predeterminados.
- 04.-Se puede controlar la iluminación, especialmente longitud de onda y polarización.
- 05.-Puede suministrar vistas en conjunto de grandes áreas para mapeo a escalas desde 1:35,000 a 1:400,000.
- 06.-Permite obtener imágenes oblicuas las cuales resultan en perspectivas diferentes a aquellas que son comunes en topografía.
- 07.-Posibilidad de tener resolución, independiente de la distancia al objeto, con tamaño de pixel de hasta 3m (avión) , 9m RADARSAT y radar de tipo militar a 30cms.
- 08.-Posibilidad de operar simultáneamente en varias bandas de longitud de onda (radar multiespectral, no aún en RADARSAT) .
- 09.-Posibilidad de registrar ondas en los océanos desde distancias orbitales.

- 10.-El objeto es barrido a lo largo de la línea de vuelo de manera que las perturbaciones entran completamente a influir la geometría de la imagen.
- 11.-El ancho de barrido no es función del vuelo o altitud orbital, el radar desde un avión usualmente suministra una cobertura amplia comparada con la fotografía; desde el RADARSAT el barrido será básicamente tan ancho como desde un avión.
- 12.-Las imágenes de radar no son producidas durante el vuelo, se requiere un proceso especial para que las imágenes sean útiles.
- 13.-Efectos en el eco de radar debido a la rugosidad superficial, pendiente, forma y propiedades dieléctricas del objeto son bien determinadas.
- 14.-La imagen reflejada por el terreno es registrada en forma digital y luego transformada para producir la imagen.
- 15.-La imagen no es instantánea, se forma con el movimiento del satélite o del avión (factor tiempo).
- 16.-La frecuencia empleada correspondiente a la banda de microonda. Cada sistema permite escoger el tipo de polarización deseada y trabaja con una longitud de onda determinada (5.66cm-banda C)

- 17.-Se puede aplicar correcciones en el correlator para mejorar la calidad de imagen.
- 18.-Mediante fajas adyacentes con ~60% de recubrimiento se puede observar el terreno en 3D.
- 19.-La imagen es de tonos discretos (transformación de información digital a gráfica).
- 20.-Geométricamente la imagen se forma por proyección (horizontal u oblicua) con respecto a un eje determinado por la línea de vuelo. La proyección presenta múltiples deformaciones de la imagen debido principalmente a errores de orientación (corrección de órbita) y al sistema SAR de formación de imágenes.
- 21.-Los elementos de orientación pueden ser determinados, sin embargo, en la práctica, algunos elementos de orientación externa (línea de vuelo, etc.), no son conocidos con suficiente precisión para corregir exactamente la imagen.
- 22.-Sobre imágenes individuales se pueden medir coordenadas (x,y) con precisión de 1 ó 2 micrones en comparadores o 10 a 20 micrones en estereorestituidores.
- 23.-El manejo automático de la información para cartografía es realizada por el correlator.

24.-La automatización de la interpretación de la imagen es sumamente difícil debido a la gran cantidad de parámetros que afectan los valores radiométricos registrados.

25.-La calidad de la imagen es buena si:

- a) Los efectos de la atmósfera son buenos.
- b) El satélite o avión se mueve en línea recta.
- c) Circuito electrónico estable.
- d) Antena correctamente orientada.

26.-Errores frecuentes:

- a) Iluminación no uniforme de la antena.
- b) Desviación del satélite de la línea teórica de vuelo.
- c) Variación azimutal de la orientación del haz de rayos.

5.2.-Comparación técnica del Satélite Radarsat con otros Sistemas SAR

Existen una diversidad de satélites y aviones de la tecnología SAR, sólo indicaremos los más importantes.

5.2.1.-Seasat (USA)

Operación	1978
Bandas de Radar	L
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	100
Resolución (metros)	25
Angulo de Incidencia (°)	22
Máxima Latitud (°)	72
Recorder	

5.2.2.-Almaz (Rusia)

Operación	1990-93
Bandas de Radar	S
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	30-300
Resolución (metros)	15-300
Angulo de Incidencia (°)	40-60
Máxima Latitud (°)	73
Recorder	S1

5.2.3.-ERS-1 (ESA)

Operación	1991-93
Bandas de Radar	C
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	80
Resolución (metros)	30
Angulo de Incidencia (°)	23
Máxima Latitud (°)	80
Recorder	

5.2.4.-J-ERS-1 (Japón)

Operación	1992-94
Bandas de Radar	L
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	75
Resolución (metros)	18
Angulo de Incidencia (°)	39
Máxima Latitud (°)	80
Recorder	S1

5.2.5.-SIR-C (USA)

Operación	1993-95
Bandas de Radar	C,L,X
Polarimetría	S1
Ancho de barrido (Kms)	15-90
Resolución (metros)	~30
Angulo de Incidencia (°)	15-55

Máxima Latitud (°)	53
Recorder	si

5.2.6.-ERS-2 (ESA)

Operación	1994-96
Bandas de Radar	C
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	80
Resolución (metros)	30
Angulo de Incidencia (°)	23
Máxima Latitud (°)	80
Recorder	

5.2.7.-Radarsat (Canadá)

Operación	1994-99
Bandas de Radar	C
Polarimetría	
Ancho de barrido (Kms)	45-511
Resolución (metros)	10-100
Angulo de Incidencia (°)	10-60
Máxima Latitud (°)	90
Recorder	si

5.2.8.-EOSAT (USA)

Operación	1999-2004
Bandas de Radar	C, L, X

Polarimetría	SI
Ancho de barrido (Kms)	50-500
Resolución (metros)	10-100
Angulo de Incidencia (°)	15-55
Máxima Latitud (°)	
Recorder	SI

5.3.-Costos de las imágenes

Los costos de las imágenes del satélite RADARSAT son competitivos comparando con aquellos provenientes del Landsat, SPOT (Spot Image) principalmente.

Tiene tres fases, la primera consiste en tratar la imagen sin procesamiento de corrección alguno, es decir, la imagen que proviene directamente del satélite cuyo costo no se da.

La segunda fase, es procesamiento digital de la imagen, que de acuerdo al nivel que tenga, para el RADARSAT tiene tres formas, como mencionamos en el capítulo II (*sección 2.2.-Misión del Radarsat*); y de acuerdo a este nivel se incrementará el costo por kilómetro.

Dependiendo del tipo de barrido y del procesamiento se encuentra entre los \$2800 y \$6000 (americanos) cada imagen de 60 x 60 Km ó 185 x 185 Km (el tamaño puede ser de acuerdo a la resolución, número de píxeles y de líneas y del sensor usado). Estos costos se refieren al procesamiento más simple y al más complejo, debemos tener

en consideración que estos costos son referenciales con respecto a otros sistemas satelitales.

De tal manera que el costo por km es del orden de los \$28 a \$60 cuando la imagen es tomada por primera vez. Por ejemplo, para el caso del satélite SPOT para las imágenes tomadas hasta el 31 de Diciembre de 1989 cuestan de acuerdo al tipo de sensor entre 7000 (escenas multiespectrales) a 9000 francos franceses (escenas pancromáticas).

Tomando el dólar americano a 5.87 francos franceses a cambio al 28/Oct/1993, resulta respectivamente \$1192.50 y \$1533.21, y es susceptible a modificación de precio sin previo aviso.

Podemos concluir que a mejor resolución mayor es el costo de la imagen.

La tercera fase, consiste en el número de imágenes que se compondrá el proyecto o región a ser barrido, si lo toman en cuenta.

De tal manera que el costo sólo de las imágenes de radar tendrá la siguiente estructura:

Costo - $n_{\text{imágenes}} \times (\text{costo_imagen_+_incremento_procesam.})$

donde

n - número de imágenes en bloques de 60 x 60 Km
o de otro especificado por los requerimientos

del usuario y la empresa que ofrece las imágenes.

Suponemos en este caso, que las imágenes son de la misma resolución; si no lo fuera, entonces se considera el costo total como la suma de los costos parciales según la resolución requerida por el usuario.

$$\text{Costo Total} = \text{Costo 1 (a resol.1)} + \text{Costo 2 (a resol.2)} \\ + \text{Costo n (a resol.n)}$$

5.4.-Aplicaciones de la Teledetección y los Sistemas De Información Geográfica

5.4.1.-Sistemas de Información Geográfica

5.4.1.1.-Concepto de GIS

GIS corresponden a las siglas de Geographic Information System o Sistemas de Información Geográfica. Este término abarca mucho más del simple uso de las imágenes de satélite.

Son bancos de datos para informaciones codificadas espacialmente, esto significa que la información que almacena está representada geográficamente, ya se trate de mapas estadísticos, meteorológicos, etc. de una determinada zona; pues todas estas informaciones pueden ser relacionadas entre sí de muy diversas maneras

5.4.1.2.-Objetivos

- Integrar en una única base de datos, informaciones representando varios aspectos del estudio como por ejemplo: la altimetría, uso del suelo, diversos datos geográficos, etc..
- Permitir la entrada de datos de diversas formas, por ejemplo a través de un tablero digitalizador los planos de una región (distrito) para su sistema catastral apoyado con imágenes de satélite (deben estar a la misma escala y sincronizados geográficamente)
- Combinar las variadas observaciones a través de algoritmos de manipulación de datos para generar nuevos ítem de información (ejemplo: uso del Software GIS *Spans*)
- Generar informes y documentos gráficos de diversos mapas como mapas, datos tridimensionalmente en perspectiva apoyados por imágenes de satélite inclusive.
- Efectuar los diversos tratamientos de imágenes a través de los sistemas especializados de cómputo, como por ejemplo un sistema RISC 6000 (plataforma AIX) u otro.

5.4.1.3.-Categorías de los GIS

Se refiere al conjunto de datos espaciales que son representados y tratados por el sistema de una misma manera, de esta forma los datos geográficos que tienen

propiedades espaciales semejantes pertenecen a la misma categoría, y tienen características georeferencial.

En GIS se han definido seis categorías de datos:

- a) **Areas.**-Estas areas son compuestos de polígonos que delimitan regiones.
- b) **Modelos numéricos del terreno.**-Es la distribución espacial de un volumen físico. Los modelos numéricos pueden ser utilizados para representar altimetría.
- c) **Redes.**-Permite una representación de carreteras, como red de canales de agua, etc..
- d) **Hidrografía.**-Es una información sobre cuerpos de agua de diversa naturaleza.
- e) **Puntos.**-Lugares puntuales que puedan denotar una ocurrencia de un fenómeno en un punto del espacio. Un punto puede ser representado gráficamente a través de símbolos cartográficos.
- f) **Imágenes.**-Son básicamente los datos obtenidos por sensores espaciales o aerotransportados, donde se incluye por supuesto el RADARSAT, ERS-1, SPOT, Landsat, NOAA, Convair 580 (avión), SIR A-B-C-D, etc..

Cada categoría de información puede ser representada en varias formas diferentes. Estas variantes de representación de una categoría son denominados formatos.

5.4.1.4.-Ventajas

- Los datos están físicamente almacenados en forma compacta.
- El mantenimiento y recuperación de datos pueden ser efectuados a bajos costos. En cuanto a los datos pueden ser recuperados rápidamente.
- Hay posibilidades de una gran variedad de modelamiento cartográfico.
- Los datos espaciales y no espaciales son analizados simultáneamente.
- Los modelos conceptuales pueden ser probados rápidamente.
- Los análisis de cambios temporales pueden ser ejecutados eficientemente.
- La toma de datos, los análisis espaciales y los procesos de toma de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de informaciones.

5.4.1.5.-Desventajas

- Costos y problemas técnicos, para convertir datos analógicos a un formato digital en computadora.
- Necesidad de especialistas para mantener los datos en formato digital en computadora.

-Alto costo de adquisición de equipos y software especializados.

5.4.1.6.-Funciones

- a) **Definición.**-Selección de datos que serán manipulados.
- b) **Entrada.**-Introducción de nuevos datos al sistema.
- c) **Conversión.**-Transformaciones de formato *raster y/o vector*, *vector y/o raster* y transformaciones geométricas.
- d) **Manipulación.**-Generación de nuevos planos de información a partir de combinar uno con más planos.
- e) **Consulta.**-Manipulación de atributos no gráficos.
- f) **Salida.**-Generación de documentos cartográficos en un formato de salida gráfica definida por el usuario.

5.4.1.7.-Elementos físicos del GIS

a) **Computador:** donde se instala el software GIS, debe poseer las siguientes características:

- unidad CD-ROM
- unidad Cartridge 150 Mb
- unidad de cinta de 8mm (opcional)
- floppy disk 1.44 Mb ó 2.88 Mb
- hard disk 200Mb mín en DOS-OS/2; en RISC 6000
800 Mb mín.

- Monitor SVGA compatible, IBM, de alta resolución.
- Memoria RAM:
 - en DOS-OS/2 16Mb (pequeñas aplicaciones)
 - en AIX o UNIX : 256 Mb (ó 512Mb para aplicaciones simultáneas)

b) Periféricos

- Tablero digitalizador IBM, HP, u otro, donde se introduce la información, datos, diagramas, mapas, etc.
- Scanner a color a B/N (no manual), pero no es un sistema inteligente como el tablero digitalizador, es un elemento auxiliar.
- Printer, donde se imprime la salida de datos requeridos: tablas, gráficos, slides asociados a tablas; siendo a color o monocromático.
- Plotter, es similar a una impresora, pero de formato mucho más amplios -A0 inclusive- siendo a color (uso de hasta ocho plumillas) o negro.

5.4.2.-Aplicaciones de la Teledetección

Aplicaciones de importancia para el RADARSAT en Canadá incluye hielo y regiones norteañas, agricultura, forestal, recursos geológicos, océanos e hielos flotantes, zonas costeras y soberanía Artica. Para nuestro país, es de mucha importancia conocer todo el potencial, en lo posible, de recursos que poseemos y están las

herramientas -Satélites Estaciones Terrenas, Centro de Procesamiento e Interpretación de Imágenes (INRENA, IGN, CONIDA, otros) sólo falta saber aprovecharlas.

5.4.2.1.-Cartografía y elaboración de mapas

Hay muchas partes en el mundo de las cuales sólo existen mapas parciales, o bien mapas antiguos y obsoletos. Los métodos cartográficos tradicionales son lentos y de elevado costo. Los datos del SPOT/HRV y del Landsat/TM de alta resolución permiten la elaboración de una cartografía temática a escala de 1:50000 o superior, e inclusive con las imágenes del SPOT se pueden obtener modelos topográficos digitales muy útiles para aplicaciones en hidrología y agricultura.

Pero la desventaja de esos datos del espectro visible y del infrarrojo es que proporcionan información útil sólo cuando no hay nubes, como por ejemplo en las zonas tropicales.

Pero al usar el RADARSAT u otro sistema SAR, no resultan afectados por las nubes y pueden abrirse paso hasta cierto punto dentro de la vegetación, y por ende, el SAR permite el relevamiento topográfico de zonas tropicales así como también de regiones árticas y antárticas con un grado adecuado de resolución y discriminación.

5.4.2.2.-Geología y Geomorfología

La prospección mineral, incluso la búsqueda de agua subterránea, constituye una actividad muy importante en muchos países pertenecientes al mundo en desarrollo. Los datos obtenidos mediante la teledetección espacial proporcionan imágenes sinópticas a gran escala de las zonas de interés. También se pueden hacer reconocimientos de zonas áridas y semiáridas con el SAR para determinar los sitios donde hay mejores perspectivas para perforar pozos de agua. En aplicaciones geomorfológicas, debido a la sensibilidad del SAR a la rugosidad del objeto, los datos son usados en suelos y mapas morfológicos.

5.4.2.3.-Uso de la Tierra

La presión demográfica en el mundo en vías de desarrollo, crea problemas a las grandes ciudades, así como también dificulta la búsqueda de nuevas tierras para que los campesinos puedan dedicarse a ellas a la agricultura. El problema es que se necesita conocer aquellas zonas donde es mas conveniente establecerse -poblados o zonas agrícolas- desde el punto de vista del clima, disponibilidad del agua, las comunicaciones, el medioambiente, las tierras adecuadas para la explotación agrícola, etc..

Sabemos que el SAR, es sensible a la constante dieléctrica de la superficie barrida, tiende a realizar

todos los rasgos que son producto de la actividad humana y por ende, se adapta muy bien a esta aplicación.

5.4.2.4.-Agricultura

La producción de alimentos es un factor esencial en muchos países tropicales, el clima puede ser hostil: calor excesivo en las zonas áridas, sequías, inundaciones en la estación de lluvias, etc., pese a ello, las condiciones climáticas permiten levantar más de una cosecha al año. Con el uso del radar constituye un medio de vigilancia y pronóstico del rendimiento de los cultivos. Por ejemplo el NOAA/AVHRR (satélite de sensores pasivos) es también especializado para el cálculo del rendimiento de los cultivos, pero su resolución no es tan buena como la que tiene el SPOT/HRV o como el RADARSAT. La resolución es muy importante en muchos países en vías de desarrollo donde la pequeña dimensión de las parcelas dificulta la diferenciación de los cultivos, el uso de Landsat/TM es útil porque permite su clasificación. Esta aplicación está relacionada íntimamente con la Hidrología, ya que tiene que ver con los recursos hídricos.

5.4.2.5.-Selvicultura

Densos bosques tropicales donde llueve todo el año cubre aún gran parte de Sudamérica, Centroamérica, Africa Central y el lejano Oriente. Su papel fundamental en el contexto del clima mundial es ampliamente reconocido. Sin embargo, dichos bosques están desapareciendo con una rapidez alarmante a causa de la tala indiscriminada o desautorizada, incendios, las pestes.

Es sabido que este proceso resulta irreversible, porque la delgada capa de humus del suelo desaparece rápidamente debido a la erosión; así se hace difícil la reforestación y se inicia la formación de desiertos. Además la cubierta de nubes dificulta la teledetección a través del Landsat o del SPOT entre otros, por consiguiente, el uso del SAR es el más apropiado. Es por esto que se tiene que tener actualizar las imágenes y contrastarlos con los históricos para tener un inventario de bosques con el objeto de vigilar de estas regiones.

5.4.2.6.-Fusión de la nieve y escurrimiento del agua

En las principales cadenas montañosas del mundo, durante la temporada invernal se acumulan grandes cantidades de nieve que se derriten en la estación cálida y liberan considerables volúmenes de agua potable. Esto sucede, en particular, en la cordillera del Himalaya y en la de los Andes.

El agua así producida puede provocar grandes inundaciones, huaycos, destrozos; pero puede ser aprovechada en usinas hidroeléctricas, o bien destinársela a la irrigación o suministrada para el consumo por parte de la población y el ganado.

El volumen de hielo y nieve en una zona montañosa y en la forma en se que hallan distribuidos, sus magnitudes, diferenciar sus épocas de formación pueden estimarse con un grado razonable de precisión usando el SAR. En nuestro país sería de gran importancia seguir desarrollando proyectos al respecto.

5.4.2.7.-Apoyo de la lucha contra el narcotráfico

La producción ilegal de drogas en el sudeste asiático y en Sudamérica que abastece el mercado internacional con la cocaína y la heroína, la teledetección desde el espacio brinda una forma mas de localizar las plantaciones de drogas y descubrir la infraestructura de apoyo logístico que se usa para enviar el producto hacia los sitios donde se completa su procesamiento o se lo consume, similar en lo que se hizo en nuestro país con el apoyo de la DEA. El SAR por ejemplo permite una mayor eficacia en la localización de pistas de aterrizaje y edificaciones utilizadas por los narcos en la selva, aun con el enmascaramiento de la vegetación.

5.4.3.-Usos más apropiados de los Sensores Satelitales en aplicaciones a los Sistemas GIS

a) Parte 1: *Amplias Escalas*

Global, continental, nacional.

Escalas de mapa típico: $1:10^6$ a $1:10^7$.

Resolución espacial 0.1 a 10 Km.

Agencias concernientes:

Organizaciones internacionales.

Agencias de desarrollo internacional.

Grupos de investigación ambiental global.

REQUERIMIENTO DE INFORMACION	SENSOR (ES) APROPIADO (S)
clases de vegetación amplias	NOAA/AVHRR. RADARSAT ScanSAR.
robustez/cubierta de vegetación	NOAA/AVHRR.
tamaño en momento de crecimiento	NOAA/AVHRR.
cambios en áreas de vegetación grandes	RADARSAT ScanSAR NOAA/AVHRR.

b) Parte 2: *Medianas Escalas*

Nacional, regional.

Escalas de mapa típico: 1:10⁴ a 1:10⁶.

Resolución espacial 10 a 1000 m.

Agencias concernientes:

Departamentos Nacionales, estatales y provinciales de Recursos Naturales, Medioambiente y parques.

REQUERIMIENTO DE INFORMACION	SENSOR (ES) APROPIADO (S)
topografía	Foto aérea, SPOT/HRV radar.
inventarios de vegetación	Foto aérea, Landsat/TM RADARSAT/Standard, ERS-1, J-ERS-1.
bosques de manglar	Landsat/TM, SPOT/HRV RADARSAT/Standard ERS-1, J-ERS-1.
aguas estancadas, tuberías de drenaje	Landsat/TM, SPOT/HRV RADARSAT/Standard ERS-1, J-ERS-1.
agua estancada debajo de bóveda	RADARSAT/Standard, ERS-1, J-ERS-1.
caminos y poblados	SPOT/HRV, RADARSAT/High Resolution.

REQUERIMIENTO DE INFORMACION	SENSOR (ES) APROPIADO (S)
detección de cambios	SPOT/HRV, Landsat/TM, RADARSAT/Standard, ERS-1, J-ERS-1.
daños forestales	Foto aérea, Landsat/TM <i>basados sobre estudios de la temperatura a latitud.</i>
valoración por revegetación	Landsat/TM, SPOT//HRV radar.
mapa de plantación	RADARSAT/High Resolut. SPOT/HRV, Landsat/TM
conversión de plantación (cambio de vegetación)	RADARSAT/Standard, RADARSAT/High Resolut. SPOT/HRV, Landsat/TM ERS-1
detección de fuego	NOAA/AVHRR

c) *Parte 3: Pequeñas Escalas*

Local.

Escalas de mapa típico: $1:10^3$ a $1:10^4$.

Resolución espacial : 1 a 10 m.

Agencias concernientes:

Compañías de Recursos, Municipalidades.

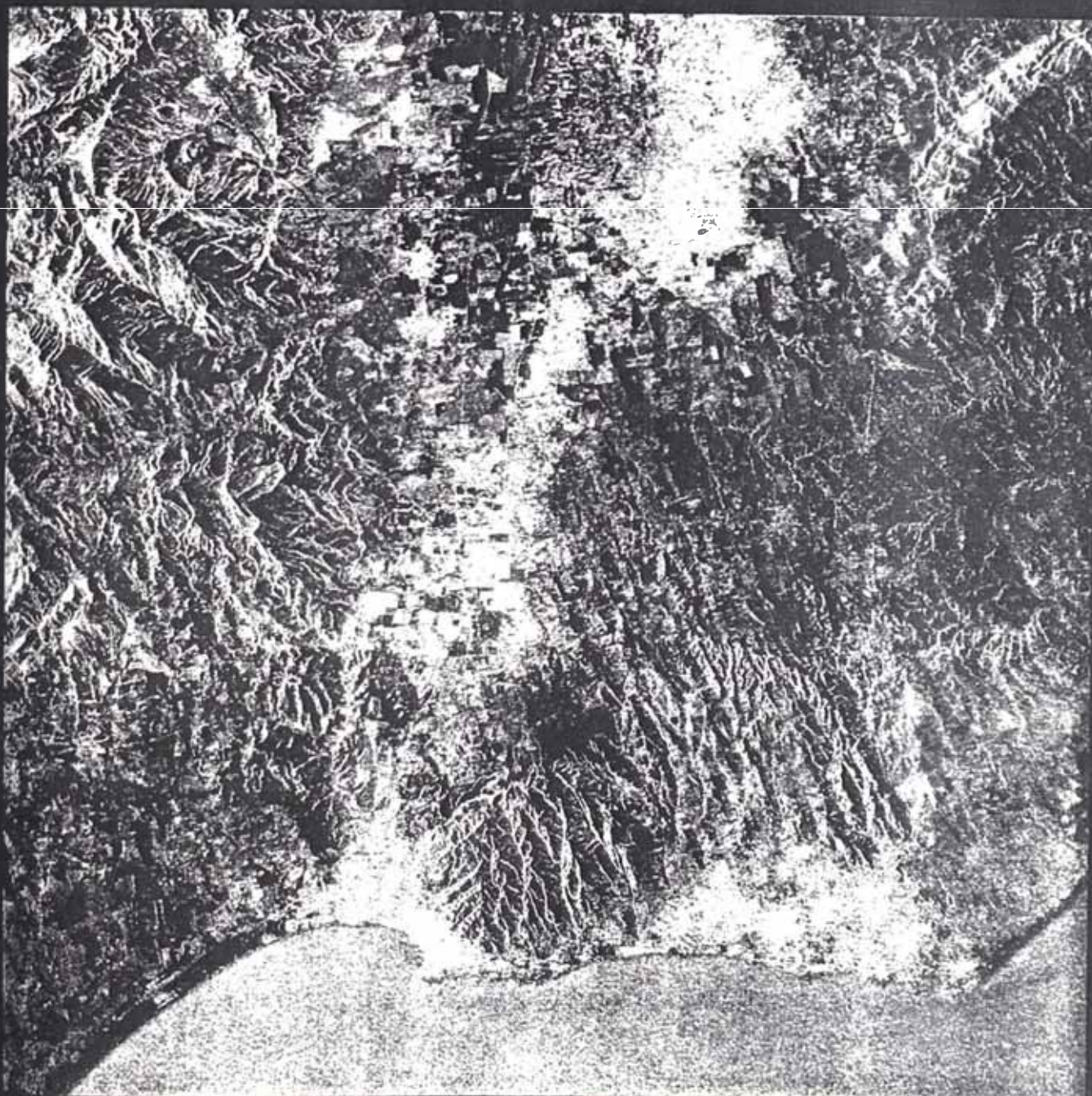
Administraciones de parques local y nacional.

Compañías de Ingeniería, Organizaciones no gubernamentales.

REQUERIMIENTO DE INFORMACION	SENSOR (ES) APROPIADO (S)
mezcla de especies de vegetación	Foto aérea, Aviones SAR
habitat de vida silvestre	Foto aérea, Landsat/TM SPOT/HRV, aviones SAR
alturas y diámetros de árboles	Foto aérea, Aviones SAR
vías, intercambiabilidad	Foto aérea. SPOT/HRV aviones SAR, RADARSAT/ High Resolution.
mapas y valoración de plantación	Foto aérea, Aviones SAR SPOT/HRV, Landsat/TM RADARSAT/High Resolut.



Le cas de Grombalia



RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1.-Este satélite RADARSAT canadiense es uno de los varios países que ha tenido la iniciativa de desarrollar esta tecnología de radar y es que resultan muy funcional en esta década y los venideros.

Es planeado para complementar a los ya existentes ERS-1 y J-ERS-1; y los que vendrán también sea el ERS-2 (para 1994) , EOSAT (1999); para proporcionar continuamente con los otros radares espaciales observadores de la Tierra, datos tan útiles para los usuarios de todo el mundo que así lo requieran.

Lleva sólo un instrumento primario y otros secundarios: altímetro, dispersómetro. Sin embargo ha sido diseñado para proporcionar una variedad de productos de imagen, a pesar de tener una simple frecuencia y radar de polarización sencilla.

2.-El RADARSAT es dedicado primordialmente para servir a la comunidad usuaria en necesidad de tener representaciones digitales de la Tierra, ya que ésta es tecnología de punta y de gran confiabilidad.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que propongo son las siguientes:

1.-Difundir esta tecnología en nuestro país, esto es, las imágenes; y no es que no exista, es que está concentrado en algunas instituciones para uso particular y sólo se benefician.

2.-Al haber tantas aplicaciones, como lo indicamos ya, me parece que la Universidad Nacional de Ingeniería, como ente superior, debería tomar esta iniciativa, si fuera posible, generar pequeñas empresas ubicadas en zonas estratégicas en el país, para desarrollar proyectos y prestar servicios.

3.-Se recomienda que esta Tesis sea leída por los alumnos de los cursos de Telecomunicaciones en general, para que tengan conocimiento sobre Sensoramiento Remoto.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Manual of Remote Sensing -segunda edición 1983- vol I de la Sociedad Americana de Fotogrametría.
 - Cap. 9 *Radar Fundamental and Scatterometers.*
 - Cap. 10 *Imaging Radar System.*
 - Cap. 16 *Orbital Mechanics for Remote Sensing.*
 - Cap. 25 *Image Analysis Microwave Region.*

- 2.-Satellite Oceanography -tercera edición 1985- por I.S. Robinson.
 - Cap. 12 *Synthetic Aperture Radar.*

- 3.-Satellite Microwave Remote Sensing por T.D. Allan.
 - Cap. 8 *Some Properties of SAR speckle.*

- 4.-Remote Sensing por A.P. Cracknell.
 - Cap. 22. *The SEASAT-1 SAR: Introduction, data reception and processing.*

- 5.-Nouvelles de SPOT -Revistas de SPOT-.

- 6.-Revistas de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos de Percepción Remota (SELPER)

- 7.-Using PCI software, versión 5.1 Diciembre 1992.

- 8.-Percepción Remota desde la atmósfera por Jesús Antonio Montoya

- 9.-Format Specification for Canadian Centre for Remote Sensing, system corrected computer compatible tape.

- 10.-Programa de Percepción Remota. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- 11.-UN-FAO-ESA Microwave Workshop. INPE 19-23 de Noviembre 1990 Brasil (Incluye Programa Radarsat).

- 12.-Seminario ERS-1. Principios de Percepción Remota. Introducción al RADAR por Ralf Kessler.
- 13.-Diccionario de Términos de Percepción Remota Vol I por la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional.
- 14.-Introduction to GIS por Intera Tydac Technologies Inc. productora del software GIS: Spans GIS, Spans Map, GIS Builder, Spans RAP, Spans Align.
- 15.-Satellite Remote Sensing for Resource Development por Karl-Heinz Szekiolda.
- 16.-La Percepción Remota, nuestros ojos desde el espacio por Jorge Lira.