



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN.

COMUNICACIONES

IRIDIUM. "EL FUTURO DE LAS COMUNICACIONES"

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA

PRESENTA:

ELISEO ROSAS LARA

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA.

108672



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA DE
 MÉXICO

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



DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

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

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

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

"Comunicaciones"
 TEMA: "El futuro de las comunicaciones".

que presenta al pasante: Eliseo Rosas Lara
 con número de cuenta: 6637362-3 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 5 de abril de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
I	Ing. Juan Gonzalez Vega	<i>Juan Gonzalez Vega</i>
II	Ing. Jorge Ramirez Rodriguez	<i>Jorge Ramirez Rodriguez</i>
III	Ing. Vincente Magaña Gonzalez	<i>Vincente Magaña Gonzalez</i>

A mi familia
Que siempre me apoyo en todas
Las etapas de mi educación profesional
Y en el vivir día a día.

Y todas y cada una de las personas
Que han tenido que ver en mi vida
Y me fueron guiando a ser lo que soy.

Como también a todas las personas
Que no lo hicieron y me permitieron
Ser lo que soy.

Muchas gracias.

IRIDIUM

el futuro de las Comunicaciones.

INDICE.

1 - INTRODUCCION	1
2 - EVOLUCION HISTORICA DE LAS COMUNICACIONES MOVILES.....	3
2.1 - PRIMERA GENERACION.	
2.2 - SEGUNDA GENERACION.	
2.3 - TERCERA GENERACION.	
3 - OPCIONES ORBITALES	6
3.1 - GEO (orbita geoestacionaria).	
3.2 - LEO (orbita baja)	
3.3 - MEO (orbita media)	
3.4 - ANALISIS COMPARATIVO	
4 - QUE ES UN SATELITE LEO.	10
4.1 - SATELITES LEO PEQUEÑOS.	
4.2 - SATELITES LEO GRANDES.	
4.3 - VENTAJAS Y BENEFICIOS DE LOS SATELITES LEO	
5 - SISTEMAS DE ORBITA BAJA.	13
6 - HISTORIA DEL PROYECTO IRIDIUM.	14
7 - QUE ES EL SISTEMA IRIDIUM	17
7.1 - INNOVACIONES	
7.2 - LOS SERVICIOS IRIDIUM	
8 - SATELITES IRIDIUM.	21

9 - GATEWAYS	27
9.1 - ESTACION TERRENA SEDE	
9.2 - ESTACION TERRENA DE VISITA	
9.3 - INTERFASE CON LAS PSTN	
10 - ENLACES ENTRE SATELITES	31
10.1.-VENTAJAS	
10.2.- INCONVENIENTES	
11 - RED CELULAR	33
12 - TERMINALES DE USUARIO	36
13 - TOPOLOGIA DE LA RED	38
12.1.- NODOS.	
12.2. - ENLACES.	
12.3. - ESTRATEGIAS DE ENCAMINAMIENTO	
14. - ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA IRIDIUM	42
15 -- ¿QUIÉN PAGARÁ POR EL SERVICIO DE IRIDIUM?	46
16 - MI VALORACION	47
17 - APENDICE (TABLAS COMPARATIVAS CON OTROS SISTEMAS).	
18 - BIBLIOGRAFIA.	

INTRODUCCIÓN

Hoy ya nadie pone en duda que vivimos en un mundo interrelacionado, dónde cualquier acontecimiento de cierta trascendencia acaecido en cualquier lugar del globo no sólo es conocido de inmediato en el resto del planeta, sino que además condiciona de forma decisiva nuestras vidas.

Ésto se debe en gran medida al progreso de los servicios de Telecomunicación, que desde la invención del telégrafo han transformado el mundo hasta convertirlo en lo que conocemos hoy. Continuando con esta tendencia, para el año 2000, se espera llegar a un sistema de Telecomunicación Personal Universal, que permitirá, a partir de un único número personal, obtener cualquier servicio avanzado de telecomunicación, independientemente del terminal desde el cual estemos accediendo al servicio e independientemente de la red que estemos utilizando.

Hemos de destacar la diferencia básica que distingue el sistema UPT de otro sistema más primitivo como puede ser el telégrafo o incluso el teléfono. En el UPT, existen direcciones lógicas que caracterizan unívocamente a cada usuario, son como un segundo nombre digital que permiten el acceso a distintos servicios de forma transparente, sin importar si utilizamos un terminal móvil o uno fijo, si accedemos a través de una red pública o una red privada. En un sistema tradicional como el teléfono, las direcciones (los números de teléfono) son físicas y caracterizan un determinado terminal y no un determinado usuario.

Conceptos subyacentes en el sistema UPT son la movilidad y la cobertura total.

En efecto, difícilmente se concibe un sistema orientado a usuario en el que los abonados están obligados a acceder al servicio desde puntos fijos, tendría entonces más sentido asignar una dirección a este punto fijo. Dada esta necesidad de movilidad, se entiende perfectamente que una característica deseable del sistema es la cobertura total, es decir, la posibilidad de que cualquier abonado, dónde quiera que esté, pueda acceder al servicio que solicite. En la actualidad ya disponemos de sistemas que satisfacen en cierta medida, estas características de movilidad y cobertura. Son sistemas cuya fusión y estandarización convergerán al futuro. Nos referimos a todos los sistemas de telefonía celular terrestre existentes.

Con el abaratamiento de las tarifas y la reducción del tamaño de los terminales portátiles, éste sector de las telecomunicaciones a experimentado un crecimiento espectacular en los últimos años. hasta el punto de haber llegado, en algunos casos, al límite de su capacidad.

El crecimiento del mercado, unido a la saturación de las redes terrestres, ha generado que una multitud de empresas hayan lanzado proyectos de redes de servicios móviles soportadas por satélites.

Lo que en un principio pretendía cubrir un mercado dónde las redes terrestres no pueden competir, los océanos por ejemplo, se espera en un futuro no muy lejano, entre en competencia directa con las redes terrestres; Si no fuese así, difícilmente se entendería como tantas empresas se han aventurado en este mercado. En este contexto de Servicios de Satélites Móviles (MSS), adquiere especial relevancia el concepto de satélite de órbita baja (LEO). En efecto, para diseñar una red de estas características, dos son las alternativas básicas de las que disponemos:

Utilizar satélites geoestacionarios (GEO) como los que ya están en servicio, o bien utilizar satélites LEO, que parece ser la alternativa del futuro.

Evolución histórica de las comunicaciones móviles

Podemos resumir la evolución de los sistemas de servicios móviles, tanto terrestres como soportados por satélites, según tres generaciones, como muestra la figura.

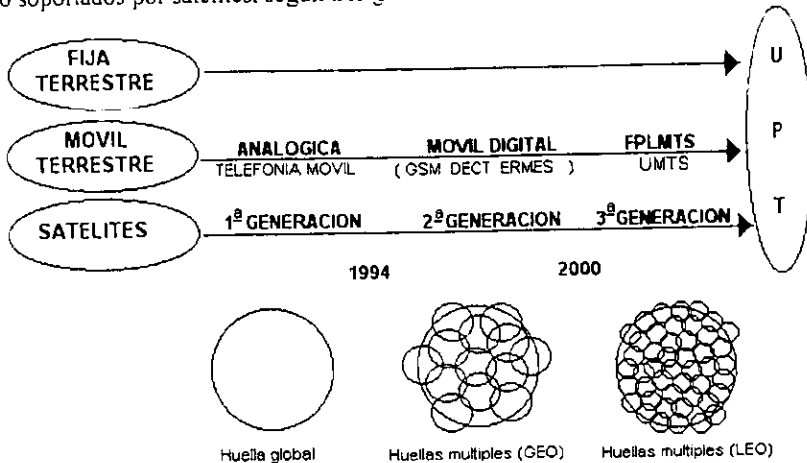


Fig.1: Evolución de los sistemas de servicios móviles

Primera Generación

En lo que respecta a las redes terrestres, la primera generación de sistemas móviles (hasta 1994) estaba dominada por sistemas analógicos como el Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS), el Sistema Americano de Telefonía Móvil (AMPS), el Sistema Japonés de Telefonía Móvil (JMPS), etc.

En cuanto a los sistemas basados en satélites, las características básicas son el haz de cobertura global (cada satélite ilumina toda la superficie terrestre que está en su campo de visión) y el gran tamaño de los terminales portátiles. Destaca particularmente, por su enorme popularidad, la organización INMARSAT (INternational MARitime telecomunicación SATEllite) que, en banda-L, cuenta con aproximadamente 30000 terminales en todo el mundo. Los principales usuarios son marítimos (INMARSAT-A), y utilizan satélites GEO.

Al comienzo de los años 80, la organización Qualcomm lanzó el servicio Omnitrac tanto en Norteamérica (con satélites GSTAR) como en Europa (con satélites EUTELSAT). Proporcionaban servicios de mensajes bidireccionales e información de posición automática (APR) mediante medidas tomadas un par de satélites GEO en la banda Ku (4-12 Ghz). El mercado al que va dirigido este servicio, es el de la industria del transporte en carretera, y aproximadamente 45000 camiones se equiparon al final de 1993 con terminales Qualcomm, el 90% de los cuales fueron vendidos en USA y sólo un 10% en Europa. El crecimiento fue mucho menor del esperado, sobre todo en Europa, a causa del alto costo de los equipos y de la expectación suscitada por la segunda generación de MSS, concretamente por la red europea GSM. Esta limitación del crecimiento también es aplicable a los servicios de INMARSAT.

Segunda Generación

'Telepoint' y algunos sistemas de telefonía inalámbrica como CT2 ('Cordless Telephone 2') CT3 , DECT ('Digital European Cordless Telephone') , sistemas "busca" como ERMES ('European Radio MESSaging System') , redes celulares como GSM , DCS-1800 ('Digital Cellular System - 1800 Mhz) o redes de comunicaciones personales (PCN's) , son algunos ejemplos de la segunda generación de sistemas móviles basados en redes terrestres, en servicio desde 1994.

Todos ellos se distinguen por estar diseñados y optimizados para un segmento específico del mercado (caracterizado esencialmente por una determinada densidad de tráfico). Así, los sistemas de telefonía inalámbrica y 'Telepoint' están diseñados para ofrecer telefonía móvil en entornos con una muy elevada densidad de tráfico: zonas residenciales, edificios, transporte público, etc. Las redes celulares como GSM, dominan el mercado de las zonas urbanas, suburbanas y rurales (densidad de tráfico media-alta).

Los sistemas vía satélite de segunda generación se caracterizan básicamente por el empleo de múltiples haces. Persiguen un segmento de mercado en el cual las redes terrestres no son competitivas, bien porque la densidad de tráfico es muy baja (desiertos, ...) , o porque simplemente las redes terrestres no son realizables (servicios marítimos y aeronáuticos) o bien porque no es económicamente viable implantarlas (Tercer Mundo). Se advirtió que la clave para mejorar la penetración de los satélites en el mercado era la reducción de tamaño y del costo de los terminales de usuario, la reducción de las tarifas y la compatibilidad con los sistemas terrestres.

Tercera Generación

Algunos organismos de estandarización como la ITU-R (sección de la Unión Internacional de Telecomunicaciones encargada de las Radiocomunicaciones) y el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación) están trabajando en un proyecto que pretende universalizar las comunicaciones móviles, satisfaciendo cualquier necesidad y en cualquiera de los entornos comentados en el punto anterior. La idea es englobar en un único estándar, las diferentes tecnologías de sistemas inalámbricos, PCN, celulares y, sobre todo, vía satélite. El papel desempeñado por los satélites en las comunicaciones móviles de tercera generación, que se espera estará operativo para principios del próximo milenio, no se reducirá al ámbito reducido que ocupan los de segunda generación, sino que entrará en competencia directa con las redes terrestres.

Opciones orbitales.

Atendiendo a la altitud de la órbita, podemos clasificar los MSS en tres grandes familias:

GEO (órbita Geoestacionaria)

Los sistemas GEO están constituidos por satélites situados en una órbita de 35 869 km contenida en el plano ecuatorial denominada órbita geoestacionaria. Cuentan con las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas.

Los satélites tienen la misma velocidad angular que la tierra, con lo que pueden establecer radioenlaces con estaciones terrenas cuyas antenas apuntan a un punto fijo en el cielo.

La elevada altitud de la órbita posibilita que 3 satélites sean suficientes para cubrir toda la superficie terrestre.

Inconvenientes.

Las zonas de servicio de los satélites ('footprints') son muy grandes, con lo que se malgasta gran parte de ella en regiones indeseadas como océanos, zonas poco pobladas, etc.

Por el mismo motivo, la capacidad del sistema es limitada, puesto que el número de usuarios potenciales en una zona de servicio tan grande es muy elevado y no cabe la reutilización de frecuencias para atender a dos clientes distintos de una misma zona.

Debido a la elevada altitud de la órbita, las pérdidas por atenuación son considerables. No es posible diseñar terminales portátiles de bolsillo (el tamaño mínimo de un terminal es, aproximadamente, como el de una maleta).

También a causa de la distancia, el retardo de propagación es lo suficientemente elevado (medio segundo aproximadamente) como para degradar comunicaciones de voz en tiempo real.

Al ser la órbita ecuatorial, la cobertura empeora notablemente con la latitud.

LEO (órbita baja)

Como su nombre indica, son satélites cuyas órbitas tienen una altitud baja (entre los 200 y los 1400 km.) respecto de los GEO, que fueron los primeros satélites que se explotaron de forma masiva para servicios de Telecomunicación. La órbita es circular y puede tener cierta inclinación respecto del plano ecuatorial. Un periodo orbital típico puede ser de unos 100 minutos, cubriendo un mismo punto de la tierra al menos dos veces al día durante unos 15 minutos cada vez.

Distinguimos las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas.

Al tener características opuestas a los GEO, los inconvenientes de éstos, son ventajas de los LEO, así tenemos:

Débil atenuación del enlace, lo que posibilita la reducción del tamaño (y, consecuentemente, de la complejidad y del precio) de los satélites y de los terminales, que pueden ser fácilmente de bolsillo.

Retardo de propagación tolerable para servicio de voz en tiempo real.

Posibilidad de cobertura en los polos (con órbitas inclinadas).

Las zonas de servicio son pequeñas, permitiendo un mejor aprovechamiento de las mismas y el aumento de la capacidad del sistema por diversidad espacial (reutilización de las mismas frecuencias en celdas no contiguas).

El ahorro en la puesta en órbita es también considerable, podemos utilizar un solo transbordador sencillo, más parecido a un avión que a un cohete, para poner en órbita todo un plano orbital completo.

Una red LEO puede contar con enlaces entre satélites ('ISL's'), lo que supone una alternativa a las redes terrestres. Esto dota al sistema conjunto red LEO + red terrestre de una enorme versatilidad y flexibilidad.

La vida útil de una red LEO es inferior a la de una red GEO; en cambio, el costo anual es inferior para una red LEO. Esto hace que la amortización de la inversión que supone implementar la red sea más rápida, en un tiempo compatible con la vida de los equipos terrestres.

Inconvenientes.

Debido a la altitud de la órbita, para obtener cobertura global, necesitamos una constelación de decenas de satélites.

Para reducir el número de satélites de una constelación a límites tolerables, se requiere que la inclinación mínima tolerable (parámetro que define los límites de una zona de servicio) sea muy baja (incluso menos de 10°). Esto conlleva un aumento considerable de la probabilidad de desvanecimientos causados por obstáculos como Árboles, edificios, etc. Este problema se conoce con el nombre de 'shadowing'.

El empleo de ISL's, conlleva un aumento considerable de la complejidad del Satélite, que se comporta como una pequeña centralita de conmutación, así mismo como un aumento del retardo de propagación, debido a los múltiples saltos que efectúa la señal.

Debido a la elevada velocidad del satélite respecto de la tierra, la conmutación de llamadas en curso ('handover') es frecuente. Es decir, es habitual que un mismo usuario cambie de zona de servicio durante una misma conexión.

MEO (órbita interMedia)

Sistema a mitad de camino entre los dos anteriores, con órbitas que rondan los 10 000 km y constelaciones en torno a los 10 satélites. Se presentan como una solución de compromiso entre las dos anteriores por lo que cuentan con las ventajas e inconvenientes de los dos sistemas, aunque no tan marcadas.

Análisis Comparativo de las Distintas Opciones Orbitales

CARACTERÍSTICAS	LEO	MEO	GEO
Costo del Segmento Espacial	Alto	Bajo	Medio
Vida del Satélite (años)	3-7	10-15	10-15
Costo de las Pasarelas	Alto	Medio	Bajo
Terminales de Bolsillo	Si	Si	No
Retardo de Propagación	imperceptible	imperceptible	Sensible
Ángulos de Elevación	Bajos (malo)	Medios	Altos (bueno)
Complejidad de las Operaciones	Alta	Media	Baja
Handover	Frecuente	Infrecuente	Inexistente
Penetración en Edificios	Limitada	Limitada	Nula
Tiempo de Desarrollo	Largo	Corto	Largo
Tiempo de Implantación	Largo	Medio	Corto
Riesgo Tecnológico	Alto	Bajo	Medio

A continuación presentamos una representación de las distintas órbitas en torno a la tierra. Podemos observar los límites que éstas han de respetar:

La atmósfera constituye un límite inferior para cualquier constelación. A partir de una determinada altitud, la densidad de la atmósfera es tal, que las pérdidas por rozamiento reducen la vida útil del satélite a límites intolerables.

Los cinturones de Van Allen son nubes de partículas que deterioran el funcionamiento el satélite.

Las órbitas LEO parecen estar llamadas a ocupar un lugar privilegiado en el contexto del futuro sistema de comunicaciones móviles. Es por ello que centraremos nuestro trabajo en ésta.

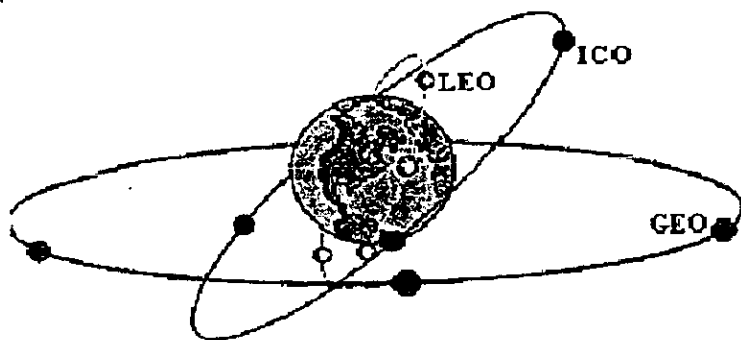


Fig. 2 Opciones orbitales.

QUE ES UN SATELITE LEO.

El termino LEO es usado para clasificar a los satélites que se encuentran a una altitud de 500 a 2000 Km de la superficie de la tierra. A esta altitud es posible proporcionar bajo retardo de transmisión y bajos requerimientos de energía, en satélites y terminales. Por lo tanto, esto nos facilita el proveer servicio de comunicación inalámbrica. En contraste con los satélites geoestacionarios (GEO), los satélites LEO circundan a la tierra a una velocidad constante de 26000 Km/hr. por esta característica no geoestacionaria, el área de cobertura de los satélites LEO cambia continuamente.

Los satélites de órbita baja son los satélites de órbita más baja que rondan la tierra. Ellos normalmente están a una altitud de 500 a 2000 Km. Los satélites LEO son muy útiles para comunicaciones, estos solo se utilizaban como satélites espías y para proporcionar fotografías espaciales de la superficie de la tierra. La nueva clase de satélites LEO son: los satélites LEO pequeños, que en su mayoría son usados para transmisión de datos, e-mail y paging; y Los satélites LEO grandes que ofrecen gran velocidad de transmisión de voz en tiempo real, gran ancho de banda para comunicaciones de datos, tales como videoconferencias etc. Los satélites LEO no presentan retardo y solo de 46 a 66 satélites son necesarios para dar cobertura a todo el planeta.

El tiempo máximo durante el cual un satélite en órbita baja esta en lo alto del horizonte de un observador en tierra es de 20 minutos. Por lo tanto, un sistema con satélites LEO debe soportar el hand off de un satélite a otro para mantener la comunicación del usuario.

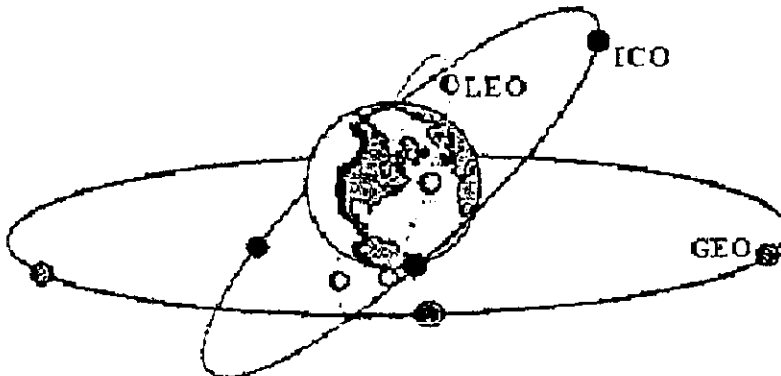


Fig. 3 Órbita LEO (500 a 2000 Km.).

Satélite LEO pequeño.

Estos satélites son pequeños, de bajo costo, con un peso de entre 50 y 100 Kg. Estos satélites tienen asignada la banda de frecuencias de 137 - 138 MHz y 400.15 - 401 MHz para enlaces de bajada, y 148 - 149.9 MHz para enlaces de subida.



Fig. 4 Satélite LEO pequeño.

Estas bandas han sido usadas para satélites meteorológicos, investigaciones espaciales y para servicios móviles y fijos. Recientemente estas bandas fueron reasignadas para que los sistemas de satélites LEO pequeños, puedan transmitir datos, paging y servicio de mensajería. Los satélites LEO pequeños no cuentan con servicio de transmisión de voz.

Satélite LEO grande.

Los satélites LEO grandes, con un peso de entre 350 y 700 Kg. Estos satélites están dirigidos a la comunicación de datos y transmisión de voz en tiempo real en unidades de mano. En la WARC-92 se propuso una nueva asignación del ancho de banda en el espectro de frecuencias de 1610 a 1626.5 MHz. Actualmente este ancho de banda los satélites lo utilizan para servicios de radio navegación y servicio de localización por satélite.

Los satélites LEO grandes pueden transmitir voz y servicios de datos a gran velocidad. Los LEO grandes utilizan nueva tecnología para el procesamiento a bordo y para enlaces enter-satelitales.



Fig. 5 Satélite LEO grande.

Ventajas de los satélites LEO.

Por ejemplo la primera generación de satélites GEO para comunicaciones móviles empezó con Inmarsat-A en 1982. Las terminales de usuario usaban transmisores de 40 W y el disco de la antena media 1.2 metros. La versión más reciente es Inmarsat-M, empezó en 1993 y el tamaño de las terminales es de un portafolio.

El equipo del usuario con el uso de satélites LEO no requiere de gran potencia de transmisión o una antena de gran tamaño y gran directividad que necesite estar continuamente dirigida hacia el satélite. En la practica la potencia de transmisión puede ser mucho menor a 1 watt.

Los satélites LEO son mucho mejores para las comunicaciones móviles, la primera ventaja de los satélites LEO es que el terminal en tierra no tiene que ser muy grande y con gran consumo de energía esto debido a que los satélites están en órbita baja. Los satélites LEO son también más pequeños que los satélites geoestacionarios, menos costosos y mucho mas barato su lanzamiento al espacio. Aunque son necesarios mas satélites para soportar las comunicaciones a nivel global, el retardo de propagación es considerablemente menor y son necesarias un numero mucho menor de estaciones terrestres. La mayor ventaja atribuida por los usuarios de un sistema con satélites LEO es que las llamadas telefónicas se van a poder realizar desde los teléfonos de mano a cualquier parte del mundo, como si fuera una red celular global.

Beneficios del uso de satélites LEO.

Todavía en nuestros días cientos de millones de personas alrededor del mundo aun no tienen acceso a un teléfono. Los sistemas que utilizan satélites LEO afirman que ellos pueden proveer el servicio telefónico a lugares donde las redes telefónicas terrestres no han podido llegar.

Los satélites LEO pueden proporcionar una infraestructura de comunicación a áreas donde no hay suficiente población para justificar la construcción de una base celular terrestre. Muchas ciudades están interesadas en sistemas con satélites LEO, como una alternativa para no tener que pagar la muy cara infraestructura terrestre de comunicaciones. La comunicación vía satélites LEO no sufre de largos retrasos en la transmisión asociados a los sistemas con satélites geoestacionarios.

La señal que llega a un satélite LEO es 100 veces mas fuerte y clara que una que llega a un satélite GEO, usando un equipo de recepción similar. Por lo tanto es posible reducir el poder de un transmisor terrestre y usar una antena de más baja ganancia y mucho menor tamaño y aun así conseguir una muy buena recepción de la señal en el satélite LEO.

SISTEMAS DE ORBITA BAJA.

En los últimos años viene produciéndose una revolución en cuanto a comunicaciones móviles por satélite se refiere, originada por la aparición de un nutrido número de sistemas basados en satélites en órbita baja, en contraposición a los tradicionales sistemas geoestacionarios.

Estos sistemas nacen propiciados por los avances en las tecnologías de integración y de proceso digital de señales (incluyendo en este último el procesamiento a bordo de los satélites en algunos casos), que permiten aumentar la complejidad del sistema sin penalizar en exceso las masas y costos de los satélites y obteniendo a cambio mejoras sustanciales en los márgenes de enlace que posibilitan una reducción apreciable de las dimensiones y restricciones operacionales de los terminales móviles.

El fundamento teórico de todos estos sistemas lo proporcionan los estudios llevados a cabo y dados a conocer por W.S. Adams y L. Rider en 1987, en los que se definían una serie de familias de constelaciones de satélites en órbita polar circular, capaces de proporcionar cobertura sencilla o múltiple con ángulos de visibilidad de 10° o superiores en cualquier latitud terrestre y, en particular, las más altas donde, como es sabido, los satélites geoestacionarios presentan dificultades para ángulos inferiores o en torno a 5° .

Los nuevos sistemas se diferencian primordialmente en la constelación adoptada, además de aspectos específicos de diseño y de servicios ofrecidos. La adopción de esta constelación se basa, en general, en estudios comparativos del binomio costo-capacidad en cada caso: la capacidad global del sistema aumenta con el número de satélites, en tanto que el costo del sistema es directamente proporcional al mismo número, para un tamaño y complejidad dados de éstos.

Por otra parte, la altitud orbital, condicionante directo del número de satélites mínimo necesario para una cobertura continua de la Tierra, se decide también como compromiso entre órbitas más elevadas, en torno a los 1200 Km, (con el inconveniente de unos índices de refracción muy altos que penalizan la construcción de los satélites a causa de la necesidad de apantallamiento y de componentes especiales) y otras más bajas conllevan mayores necesidades de mantenimiento en posición y de consumo de combustible debido al rozamiento con la atmósfera.

Quizás el sistema más representativo y completo de esta nueva generación, y que es también el que primero y más fuerza inicio la "revolución" antes comentada, es el IRIDIUM, concebido y promovido por la firma norteamericana Motorola Inc. A él se dedica la siguiente tesis.

HISTORIA DEL PROYECTO.

| 1987 | 1988 | 1990 | 1991 | 1992 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |

El objetivo de IRIDIUM es simple: ofrecer conexión inalámbrica entre dos puntos cualesquiera de la Tierra. Conseguirlo, sin embargo, es un poco más complicado.

Tras diez años de labores de desarrollo, IRIDIUM logro hacer esto realidad. A continuación, puede ver los momentos clave en la historia del proceso de creación de IRIDIUM.

1987

La idea del sistema IRIDIUM propuesta por los ingenieros de Motorola era la siguiente: una red de satélites de órbita terrestre baja de construcción sencilla y fabricación, lanzamiento y sustitución económicos. Empieza la investigación y el desarrollo.

1988

Ray Leopold, Ken Peterson y Bary Bertiger, ingenieros de Motorola, desarrollan el concepto de la pasarela de IRIDIUM: se trata de coordinar los satélites con "pasarelas" de estaciones terrestres, de forma que puedan conectarse con los sistemas de telefonía actuales.

1990

El sistema IRIDIUM se anuncia en ruedas de prensa simultáneas en Pequin, Londres, Melbourne y Nueva York.

Motorola presenta una solicitud para el desarrollo del sistema IRIDIUM a la Comisión Federal de Comunicaciones estadounidense (FCC).

IRIDIUM revela el nuevo concepto de las comunicaciones personales mundiales utilizando como base su red de satélites de órbita terrestre baja.

1991

Motorola funda IRIDIUM, Inc. como empresa independiente para el desarrollo e implantación de la red

El gobierno de los Estados Unidos reserva frecuencias de radio para los satélites de órbita terrestre baja.

1992

La FCC concede una licencia experimental para el desarrollo del sistema IRIDIUM.

IRIDIUM, Inc. firma un contrato de 3.370 millones de dólares con Motorola para la creación y desarrollo, fabricación y oferta del sistema. Motorola se convierte así en el contratista más importante del sistema IRIDIUM (satélites, pasarelas, productos).

IRIDIUM propone un teléfono bimodal que complemente y mejore los sistemas celulares existentes.

1994

La segunda ronda de financiación de capital social de IRIDIUM Inc. se completa con éxito, y la cantidad total alcanza los 1.600 millones de dólares.

La FCC emite un dictamen antes de conceder la licencia para poder operar. Una exención permite a Motorola obtener equipamiento (con opción larga en la posición de riesgo compensado) para la construcción del sistema.

1995

La FCC concede licencia operativa al sistema IRIDIUM. La fecha fijada para el servicio de telefonía inalámbrica en todo el mundo es 1998.

En octubre, Lockheed Martin entrega en las instalaciones de Motorola Satcom de Chandler, Arizona, el primer enlace aéreo con satélite IRIDIUM

1996

Se recaudan fondos de inversores por valor de 315 millones de dólares, con los que la cantidad total asciende a 1.900 millones de dólares.

Se entrega el primer satélite IRIDIUM de serie.

Se celebra la inauguración de la primera pasarela en Matsumoto (Japón). Se concluye la construcción en el Centro de operaciones de red de satélites de Virginia, cerca de Washington, DC. (EE.UU.).

IRIDIUM LLC asiste a Worldaid '96 y demuestra que el sistema es ventajoso para las asociaciones internacionales de ayuda a damnificados. IRIDIUM LLC acuerda con Globalstar y Odyssey un plan de uso de frecuencia que les permita cooperar en su esfuerzo para obtener las autorizaciones mundiales para el espectro de frecuencia de radio.

El Dr. Edward F. Staiano es nombrado vicepresidente y CEO de IRIDIUM LLC.

1997

Iridium pone en órbita 47 satélites.

Iridium recibe autorización para seguir adelante con la construcción y la realización de pruebas de nueve pasarelas.

Los miembros del consejo ejecutivo reciben el primer mensaje de un buscapersonas Iridium transmitido a través de satélites en órbita.

Kyocera firma un acuerdo para crear, desarrollar y comercializar teléfonos inalámbricos para el sistema Iridium.

1998

Se selecciona a Sprint Telecenters para gestionar el servicio de atención mundial al cliente.

Iridium completa la red de 66 satélites con un ciento por ciento de éxito en la puesta en órbita.

QUE ES EL SISTEMA IRIDIUM.



IRIDIUM es un sistema de satélites digitales LEO que funciona como red de comunicaciones personal mundial. IRIDIUM es un sistema global de comunicaciones móviles que utiliza una estructura de red celular cuyas estaciones bases se encuentran en el espacio bajo la forma de un conjunto de 66 satélites en órbita (debe su nombre al elemento 77 de la tabla periódica -inicialmente iba a suponer el despliegue de 77 satélites en 7 órbitas, pero fue rediseñado). Está diseñado para admitir todo tipo de SSM: voz, datos, fax, servicio de mensajería, paging, .. y es capaz de contactar con el usuario destino en cualquier momento y sea cual sea su situación. Aportará una nueva dimensión de capacidad a los sectores comercial, rural y móvil, suministrando un servicio portátil y universal.

El sistema IRIDIUM incluye una constelación de 66 satélites, pequeños e inteligentes -en órbita baja- que pueden comunicarse entre sí, como en un sistema de comunicaciones conmutado digital utilizando el principio de diversidad celular para proporcionar cobertura continua a cualquier punto del planeta que esté a una altitud inferior a 185 Km (100 millas) -tanto para emisión como para recepción-. Asimismo incluye pasarelas tierra-espacio que sirven de interfaz con la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC o PSTN). El servicio prestado estará disponible para cada país en función de las negociaciones con el gobierno y/o la compañía de teléfonos.

Cada satélite tendrá varias conexiones intersatelitales que permiten conmutar llamadas en el espacio, a satélites vecinos de la constelación IRIDIUM, evitando así que éstos se reduzcan a meros espejos en el espacio y garantizando la cobertura mundial con satélites LEO.

Las aplicaciones de este sistema son amplias y variadas: uso empresarial para personas que tienen que quedar en contacto con oficinas situadas en diferentes continentes, comunicaciones de rescate durante catástrofes naturales, hundimientos..., servicio para el desarrollo de naciones que no tengan infraestructura de telecomunicaciones, uso personal....

La concepción y diseño de IRIDIUM presenta las siguientes características:

- Empleo de satélites de órbita baja.
- Concepto de sistema celular.
- Procesamiento a bordo de los satélites.
- Enlaces entre satélites.
- Utilización de frecuencias (23.18 a 23.38 GHz), en la banda K, además de la ya habitual banda L (1616 a 1626.5 KHz).
- Periodo orbital: 100 minutos, 28 segundos
- Peso del satélite: 700 Kg

La siguiente figura representa la disposición del segmento espacial, como elemento más característico del sistema. Los satélites están distribuidos en 6 planos orbitales con una inclinación de 86.4° .



Fig. 6 Segmento espacial.

El sistema IRIDIUM propicia el uso de terminales móviles y portátiles de dimensiones y características análogas a los utilizados en los sistemas celulares terrenales, siendo capaces de trabajar en cualquier punto del planeta en tierra, mar o aire.

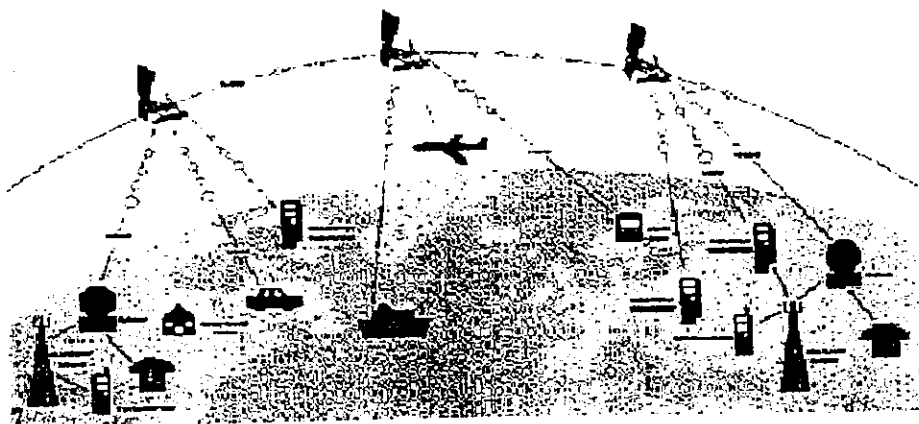


Fig. 7 Tipos de enlaces: Tierra, Mar o Aire.

IRIDIUM emplea un acceso combinado FDMA + TDM/TDMA. Dentro del espectro atribuido se sitúa un determinado número de portadoras que soportan la transmisión múltiplex TDM/TDMA.

El enlace de subida trabaja en acceso múltiple por división de temporal (TDMA) sobre una portadora única. Los instantes de transmisión se controlan de modo que el móvil emita en el momento preciso en la trama TDMA. En cuanto al enlace directo, trabaja en TDM. Es sistema presenta una gran flexibilidad en cuanto a la trama TDM/TDMA a emplear, que le permite optimizar la longitud/duración de trama en función del ancho de banda atribuido.



Fig. 8 Gateway (puertas de enlace).

Innovaciones

A diferencia de la telefonía móvil terrestre, en la que la zona que abarca una celda es normalmente fija, las celdas de cobertura en este sistema van desplazándose. En concreto, se ha calculado que cada 0,9 segundos el satélite que nos cubre varía.

Esto provoca que estos hand-offs sean cuasi-deterministas, produciéndose con mucha mayor probabilidad hacia la celda superior o inferior que hacia cualquiera de las 6 celdas adyacentes.

Gracias al empleo de órbitas LEO, el retardo de propagación y el efecto de los ecos son mucho menores que con los repetidores geoestacionarios habituales.

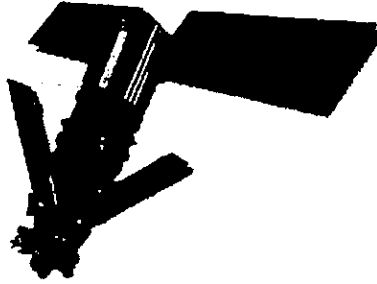
Los servicios Iridium

La oferta de servicios Iridium tiene como denominador común la conveniencia de la movilidad e integración tecnológica. Un móvil, un número, un recibo en todo el mundo, ésta es la propuesta comercial de Iridium basada en los siguientes servicios:

- **Satellite Only:** ofrece comunicaciones móviles con terminales de mano a través de satélite, desde cualquier punto del globo.
- **Universal:** con la ayuda de terminales duales celular-satelital, el subscriptor podrá utilizar la constelación de satélites cuando su estándar celular no esté disponible y viceversa, asegurando un roaming bidireccional, cobertura global y las ventajas de ambas tecnologías.
- **City-to-city:** sin utilizar la constelación de satélites, este servicio ofrece la posibilidad de efectuar roaming entre protocolos celulares terrestres como el GSM y el IS-41 (AMPS, en América principalmente). El subscriptor utilizará su suscripción GSM y los servicios ofrecidos por ella en el mundo AMPS y viceversa, conservando un único número personal y un único recibo con su proveedor de servicios.
- **Paging:** ofrece la solución al actual problema de roaming en redes buscaperonas, a través de la emisión de mensajes por satélite en las áreas suscritas por el usuario, incluyendo la posibilidad de búsqueda en todo el globo.

Estos servicios pueden complementarse mutuamente. Por ejemplo, existirá la posibilidad de desviar una llamada a un buscaperonas Iridium o a un buzón de voz, en el caso en el que el usuario se encuentre con el móvil apagado.

SATELITES IRIDIUM.



El sistema IRIDIUM, concebido en 1987 por ingenieros de la División de Comunicaciones Vía Satélite de Motorola, es la respuesta del consorcio multinacional Iridium LLC a estas necesidades. Basado en una red de 66 satélites de baja órbita (LEO. Low Earth Orbit), cada satélite pesa aproximadamente 689 Kg (1500 pounds) situados a 780 Km (420 millas náuticas) de la Tierra, viajando a una velocidad de una órbita cada 100 minutos 28 segundos, los satélites del sistema IRIDIUM se disponen en 6 órbitas polares (los planos orbitales uno y seis están girando en direcciones contrarias y están separados 22°, los restantes planos orbitales están girando en una misma dirección y están separados 31.6°), con 11 satélites en cada una, más un satélite de repuesto por órbita, situado en una órbita ligeramente más baja que los satélites operativos, cubriendo así, por primera vez el globo.

Cada satélite tendrá varias conexiones intersatelitales que permiten conmutar llamadas en el espacio, a satélites vecinos de la constelación IRIDIUM, evitando así que éstos se reduzcan a meros espejos en el espacio y garantizando la cobertura mundial con satélites LEO.

Al contrario de los sistemas de telecomunicaciones geoestacionarios los cuales están localizados a 36 000 Km por encima de la Tierra, con los satélites IRIDIUM de órbita baja es posible comunicarse directamente con un teléfono de mano. Primero porque están lo suficientemente cerca para recibir las señales de un aparato de mano y, segundo, porque actúan como repetidores celulares en el cielo, donde las señales inalámbricas pueden desplazarse por arriba en vez de hacerlo a través de células terrestres.

Los satélites IRIDIUM cuentan con paneles solares los cuales sirven para recargar a las baterías de los satélites, las cuales son utilizadas para alimentar y hacer funcionar de manera correcta las funciones de comunicación, las unidades de combustible y los motores de las diversas antenas con las que cuentan los satélites IRIDIUM.

Sección de comunicaciones

La más pequeña y simple es la antena de enlace secundario, está al final del satélite, y sirve para orientarlo después del despliegue o cuando se desorienta.

Otras 4 antenas permiten las comunicaciones entre satélites. 2 antenas de enlace lateral fija se usan para la comunicación en dirección Norte-Sur; 2 antenas de enlace lateral móvil para la Este-Oeste.

La antena móvil de pasarela proporciona una comunicación continua con una estación terrestre -pasarela-.

A diferencia de las antenas de enlace lateral que consisten en un array de láminas planas, la antena de enlace vertical (antena de pasarela) es de diseño full-duplex y combina el uso de reflectores parabólicos y láminas planas. COM DEV construye 4 antenas de pasarela y 2 de cada uno de los 3 tipos restantes para cada satélite, en total 10 antenas (4 tipo pasarela, 2 de enlace lateral fijo, 2 de enlace lateral móvil, 2 de enlace secundario).

Antenas básicas

Antena phased-array de comunicación

satélite-usuario

3 en cada satélite

Cada antena está constituida por 106 ranuras y proyecta 16 haces (fijos con respecto al satélite)

Formada por una placa de aluminio de 86 cm x 188 cm x 4 cm

Detrás de la placa van montados circuitos de GaAs

Peso total: 36 kg.

Empresa desarrolladora: Raytheon

Antenas de enlace secundario

Pequeña y simple que sirve para orientarlo tras el despliegue o cuando sea necesario
2 por satélite
Empresa desarrolladora: COM DEV, con sede en Cambridge (Ontario)

Antenas de enlace lateral

2 fijas por satélite para comunicación N-S
Otras 2 móviles para comunicación E-O
Formadas por un array de láminas planas
Empresa desarrolladora: COM DEV

Antenas a pasarela o de enlace vertical

Móvil
Full-duplex
4 por satélite
Formada por reflectores parabólicos y láminas planas.
Empresa desarrolladora: COM DEV

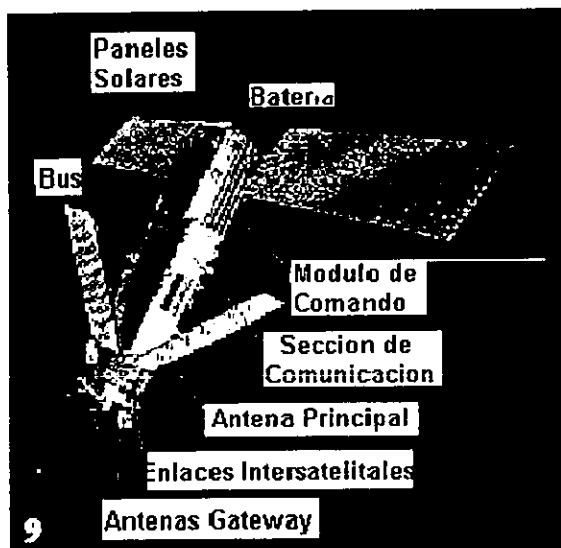


Fig. 9 Satélite IRIDIUM.

Cada satélite tiene una proyección de 4.700 Km. de diámetro de cobertura, la cual está subdividida en 48 celdas originadas por 3 antenas de 16 spot beams. De esta forma, con el mismo protocolo FDMA/TDMA de la tecnología GSM, el móvil Iridium estará en continuo hand-over de celda en celda y de satélite en satélite, como lo estaría haciendo en los estándares terrestres cuando estuviera telefonando desde un vehículo.

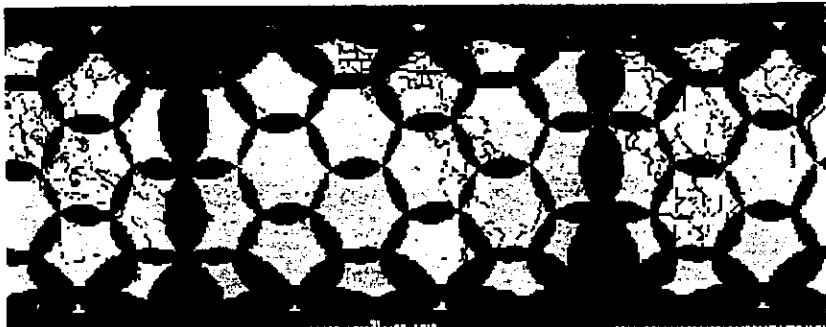


Fig. 10 El sistema IRIDIUM proporciona cobertura total.

Cuatro estaciones de seguimiento (telemetría, telecontrol y administración) situadas lo más próximo posible a los polos terrestres, controlan los satélites Iridium. En estas latitudes se tendrá el mayor número de satélites a la vista debido a las órbitas polares elegidas



Fig. 11 Seguimiento de los satélites IRIDIUM.

La empresa Raytheon fue contratada para construir la MMA (Main Mission Antenna) para el sistema de comunicaciones IRIDIUM. Cada satélite requirió cientos de módulos T/R de banda L (diseñados por Microelectronics y construidos por RME y RES-Quincy), para transmitir información de datos, voz, etc. a las estaciones terrenas (Gateways) y a los usuarios alrededor del mundo.

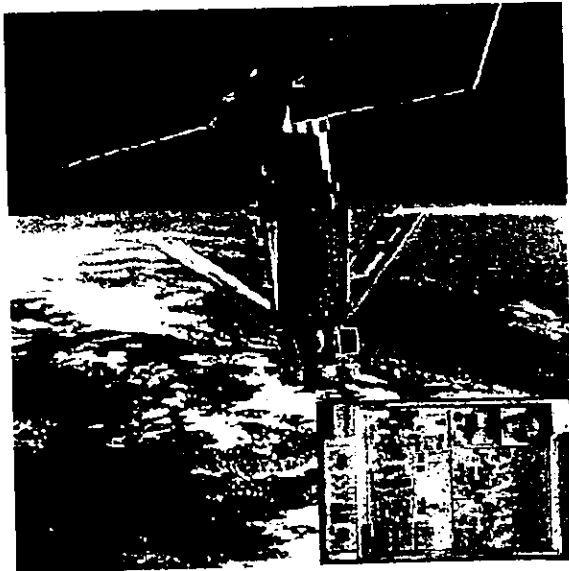


Fig. 12 Antena principal.

Los satélites IRIDIUM tienen 3 funciones de comunicación básicas.

1. - La Antena principal de comunicación:

Las antenas de telemetría y control son usadas para controlar la velocidad, posición y orientación de los satélites, hay dos antenas de telemetría y control en cada satélite IRIDIUM, hay una antena de menor tamaño para controlar los paneles solares.

2. - Crosslink comunicación:

Para proveer la comunicación celular para las unidades de mano sobre el planeta, los satélites deben comunicarse con los demás satélites, esto se hace por medio de cuatro antenas de crosslink localizadas alrededor de la base de cada satélite.

3. - Comunicación con las Gateways:

Finalmente, cada satélite tiene 4 antenas para realizar la comunicación con las gateways. Estas gateways utilizan antenas de gran ganancia para establecer enlace con la red satelital. Inicialmente, las 20 gateways usaran conmutación celular standard para hacer la interface con las redes de conmutación telefónica publicas de cada región

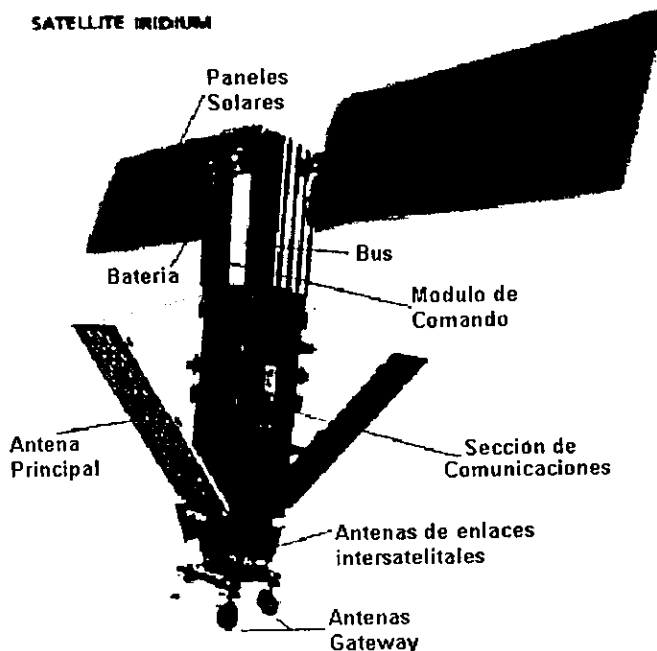


Fig. 13 Satélites IRIDIUM.

Los satélites IRIDIUM tienen una vida útil de aproximadamente 5 a 8 años, después de que su vida útil termine van a ser reemplazados utilizando métodos de lanzamiento de satélites más baratos, tales como con el vehículo Pegasus, el cual convertirá a los lanzamientos en una rutina. En una emergencia o falla de algún satélite se espera poder reemplazarlo en menos de 36 horas.

Una parte importante de mencionar es que en el caso de que el satélite no funcione, éste será atraído a la atmósfera, para que se desintegre, con esto se está evitando contribuir a no crear chatarra en el espacio.

GATEWAYS.

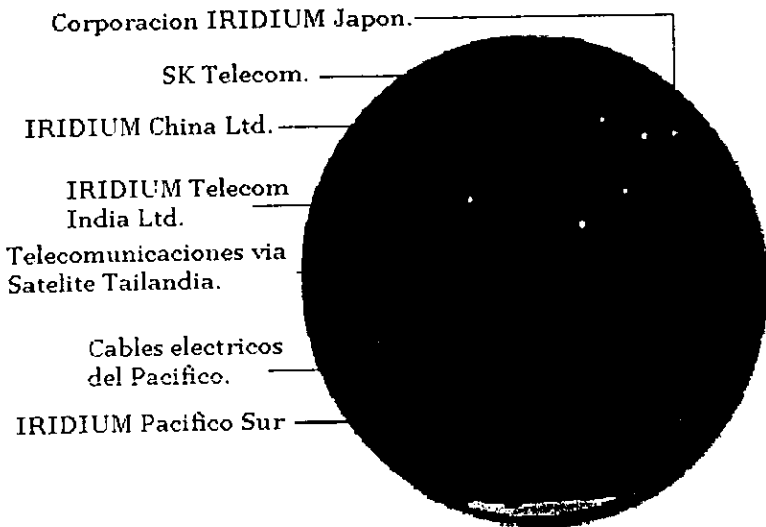
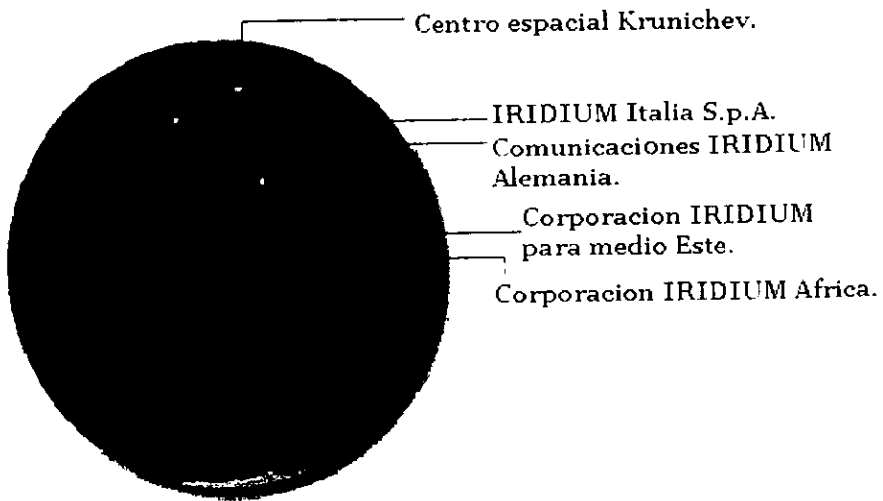


Lo constituyen las estaciones terrenas fijas. (en principio unas 20 al iniciarse la operación del sistema, aunque el diseño de estas permite hasta un máximo de 2850), que permiten conectar con las redes terrestres telefónica y de datos. La estación terrena realiza las funciones de interfaz con dichas redes, así como la conmutación local y encaminamiento de llamadas hacia las mismas.

las estaciones terrenas o gateways se encargaran de hacer las interconexiones con las redes telefónicas alámbricas o inalámbricas. La función de la estación terrena, es bajar la señal de satélite y entregarla a la red telefónica y a la vez, poder transportar el tráfico que viene de las redes alámbricas e inalámbricas hacia el destino del teléfono de Iridium. una función más es mantener la base de datos de los usuarios, que hacen uso de los servicios contratados, para presentar perfiles y la validación del suscriptor, para evitar que exista la piratería. Así que la estación terrena, hace dos funciones, una como antena de estación terrena que hará la interconexión, hacia redes publicas de cada país y estado, la segunda función, será como central de conmutación, en donde reside la base de suscriptores.

Estas estaciones constituirán los nodos de control de la red en lo que se refiere a las funciones relativas a las comunicaciones (asignación de canales, localización de móviles, transferencia entre satélites, tarificación, interfaz con las redes terrestres, etc.), realizando asimismo las funciones de acceso (se emplea una combinación FDMA/TDMA), de modulación y de interfaz radio.

Hasta el momento 11 gateways están en operación las cuales son:



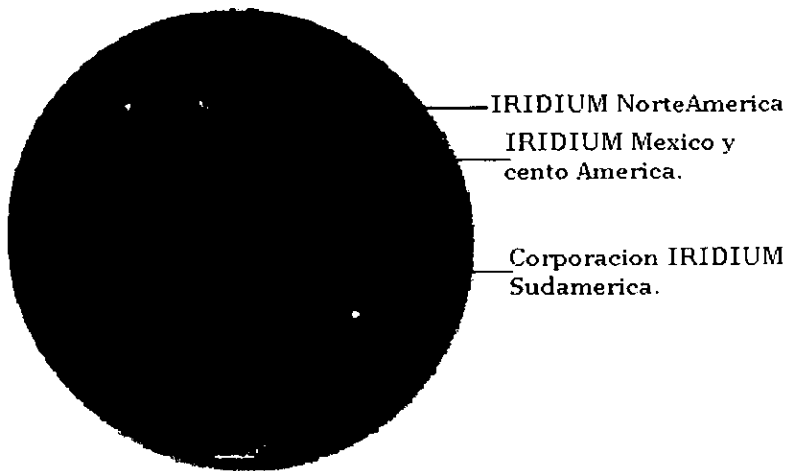


Fig. 14, 15 y 16 Puertas de enlace (Gateways).

La conexión entre el sistema IRIDIUM y las redes terrestres fijas se realizará a través de gateways. Para la conexión con los satélites, los gateways cuentan con una antena de largo alcance y rastreo parabólico de 3.048 metros de diámetro (operando en frecuencias de banda Ka en un rango de 19 y 29 GHz). Ofrecerán la cobertura geográfica necesaria para superar la debilidad e interferencia provocada por las condiciones climáticas o atmosféricas. (A su vez, las estaciones terrenas interconectarán a la constelación IRIDIUM con la red conmutada de telefonía pública).

Estación terrena sede.

Cada suscriptor de IRIDIUM tendrá una especie de "base" denominada estación terrena sede. En la cual existirá un registro de localización sede, que almacenará una base de datos con información de sus suscriptores. Al momento de marcar cualquier número se podrá identificar la estación terrena sede a que pertenece y los datos del suscriptor. Algunas de las funciones principales de la estación terrena sede son:

- Otorgar acceso al sistema - cuando un suscriptor IRIDIUM envíe o reciba una llamada, el sistema determinará la localización del suscriptor. La estación terrena sede recibirá y evaluará los datos de localización para determinar si la llamada procede.
- Asignar una estación terrena de visita como parte del proceso de acceso al sistema.

Estación terrena de visita.

La estación terrena de visita retiene temporalmente una copia de los datos de los suscriptores en su registro de localización de visitantes hasta que el suscriptor utilice los servicios en el territorio de otra estación de visita. Cuando el suscriptor esta cerca de su "base", la estación de visita y la estación sede son la misma.

Algunas de las funciones asignadas a la estación de visita son:

- Controlar y participar en el procesamiento de llamadas móviles.
- Determinar una estación de " conectividad publica " para las llamadas de origen móvil basándose en los dígitos marcados por el suscriptor móvil, sin ser necesariamente la estación de visita.

Además de servir como una estación sede o de visita, una estación terrena puede servir como un canal de acceso a la red central de telefonía publica. El sistema IRIDIUM esta diseñado para aceptar llamadas de la red publica.

Interfase con las redes centrales de telefonía publica (PSTN)

El sistema IRIDIUM acepta llamadas de PSTN a cualquier gateway vía centros de conmutación internacional. Cuando una llamada es echa a un suscriptor, una interface gateway-PSTN obtiene la ubicación actual del suscriptor y rutea la llamada a la gateway de visita del suscriptor. Para llamadas originadas por un móvil, la gateway de visita determina una PSTN connecting gateway basado en los dígitos marcados por el suscriptor móvil.

Cada gateway controla un solo satélite IRIDIUM a la vez; los satélites, que viajan a una velocidad aproximada de una órbita cada 100 minutos, son captados por el terminal terrestre cuando se encuentran a una elevación de 8° por encima del horizonte y son seguidos hasta llegar a la misma elevación sobre el horizonte opuesto. Esto significa que si un usuario estuviera situado sobre la línea del Ecuador, podría estar conectado con cada satélite una media de 10 minutos, antes de realizar hand-over al siguiente satélite.

En el corazón de una gateway se encuentra un equipo Siemens EWSD-based D900 Switch. El D900 Switch asegura una gran calidad de integración de los servicios de IRIDIUM.

ENLACES ENTRE SATÉLITES.



La principal novedad introducida por el sistema IRIDIUM es, sin duda, los enlaces entre satélites (ISL's) , que garantizan la conectividad de la red.

Ventajas de los ISL's

La principal ventaja de los ISL's es la posibilidad de encaminar el tráfico de larga distancia a través de éstos, lo que dota de autonomía al sistema, reduce los incontrolables costos de los enlaces PTSN (incontrolables puesto que dependen, por ejemplo, de la orografía del terreno) y reduce el retardo de propagación. Además, podemos dar servicio a amplias zonas en las que el satélite no puede ver ninguna pasarela. (Por ejemplo, en el Océano Pacífico).

Generalmente, los requerimientos del 'handover' pueden verse reducidos gracias a que el enlace con una determinada pasarela fija puede mantenerse mientras un determinado usuario móvil permanezca en la zona de servicio de un determinado satélite. En cambio, sin ISL's, el satélite tiene que ver simultáneamente la pasarela y el usuario móvil.

Finalmente, debemos mencionar también, que los ISL's permiten transportar señalización e información para la gestión de la red.

Inconvenientes de los ISL's

Por otro lado, la introducción de los ISL's conlleva un cierto número de inconvenientes como el peso adicional, la complejidad y el costo de la carga útil del satélite. En efecto, necesitamos antenas ISL, transmisores y receptores, así como dispositivos de conmutación a bordo. Las necesidades de apuntamiento, adquisición y seguimiento (PAT) incrementan todavía más la complejidad ya que requieren antenas ISL orientables (además de las antenas GWL).

En general, en el sistema IRIDIUM diseñado para obtener cobertura total, las ventajas compensan ampliamente los inconvenientes.

Estos enlaces intersatelitales son esenciales para proveer una cobertura global de telecomunicaciones. Con el único propósito de proporcionar servicio móvil satelital usando enlaces intersatelitales, el sistema IRIDIUM permite a los usuarios hacer y recibir llamadas desde cualquier punto del planeta, incluyendo las regiones polares y los océanos.

El uso de intersatelite crosslinks reduce el numero de estaciones terrenas requeridas y reduce el costo de los enlaces de comunicación.

Los satélites IRIDIUM tienen equipo de conmutación a bordo, este es el primer sistema comercial que tiene enlaces intersatelitales. Los satélites IRIDIUM tienen la posibilidad de cuatro enlaces satelitales por cada satélite.

De los cuales 2 enlaces son enlaces intraorbitales uno hacia el satélite de adelante y otro con el satélite de atrás en el mismo plano orbital. También es posible hacer 2 enlaces interorbitales, uno a cada uno de los planos orbitales adyacentes. La combinación de equipo de conmutación a bordo de los satélites y los enlaces entre satélites crea una red en el cielo, la cual hace posible rutear llamadas a través de varios nodos de conmutación entre satélites.

Los enlaces intersatelitales operan en el rango de frecuencias de 23.18 a 23.38 GHz a 25 megabits por segundo. Los vínculos en la Banda Ka (23.18 - 23.38 GHz) proporcionarán comunicaciones fiables y de alta velocidad entre los satélites vecinos y permitirán un direccionamiento de las llamadas optimizado. Estos enlaces varían en ángulo y distancia debido a la cantidad y movimiento de los satélites IRIDIUM.

RED CELULAR.

Cada satélite proyecta 48 células hexagonales adyacentes en un modelo de anillo, con un hexágono central rodeado por 3 anillos de 7, 16 y 24 células respectivamente, pudiendo reutilizar frecuencias en diferentes células no adyacentes. Cada célula tiene un diámetro aproximado de 660 km., por tanto un solo satélite puede dar cobertura a cerca de 4,700 Km de diámetro de cobertura.

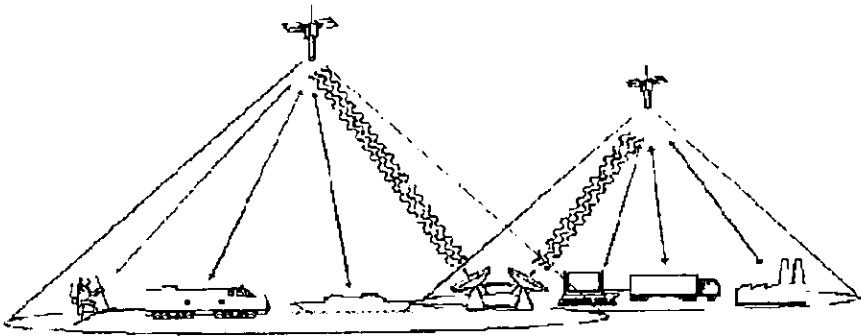


Fig. 17 Cobertura satelital.

No todas las células en la tierra están activadas al mismo tiempo, cada célula puede estar conmutando on/off individualmente para estar activadas en aquellas áreas en las cuales haya tráfico celular, esto sirve para que el satélite no gaste o consuma tanta energía



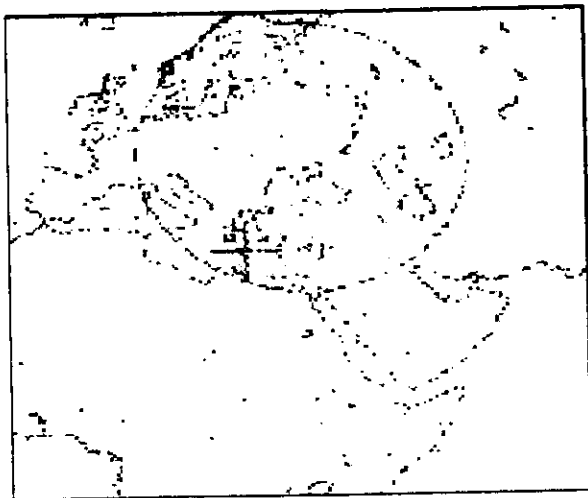
Fig. 18 Células proyectadas por los satélites IRIDIUM.

La capacidad de la red celular IRIDIUM puede ser calculada multiplicando el número de posibles usuarios por célula por el número de células activas en la red. Cada célula tiene 4 canales TDMA (on) de 20 frecuencias, totalizando 80 posibles usuarios al mismo tiempo. La red tiene 48 células en cada uno de los 66 satélites, dando como resultado 3168 células, pero algunas van a estar sobrepuestas, especialmente cerca de los polos, entonces solo 2150 de las 3168 posibles células van a estar activas al mismo tiempo. Las restantes células van a estar inactivas para conservar energía. La red puede tener 80 usuarios simultáneamente en 2150 células activas para una capacidad total de la red de 172000 usuarios simultáneos

La siguiente imagen muestra el método por el cual un suscriptor del sistema IRIDIUM es transferido o handed off desde una célula en servicio a la siguiente, ya que los satélites IRIDIUM se mueven en el espacio

Una huella de un satélite IRIDIUM es mostrada en azul y 48 células son mostradas en gris, en verde se muestra la ubicación del suscriptor del sistema IRIDIUM.

En aproximadamente el intervalo de un minuto la célula en servicio es handed off a otra célula dentro de la misma huella del mismo satélite. Cuando el suscriptor se aproxima al perímetro de la huella del primer satélite la huella de un segundo satélite aparece con 48 células disponibles. Una vez que el suscriptor está dentro de la cobertura de la huella del segundo satélite el hand off ocurre. Este proceso ocurre tanto tiempo y tantas veces, como el suscriptor del sistema IRIDIUM este al aire.



19 **Transferencia de un usuario de una huella a otra.**

“ Diversidad celular ” es el nombre atribuido a la acción de conmutacion dinámica, esto emula el splitting y división de celulas en un organismo vivo, como una llamada es transmitida desde una célula activa a una inactiva. la célula “ splits ” dentro de dos células durante el handover, y “ dividida ” como la célula previamente activa

Un punto importante a recordar aquí, es que con el uso de un sistema celular terrestre convencional, las células son fijas y los usuarios son los que se mueven de una célula a otra para que ocurra el hand off (transferencia). En el sistema IRIDIUM las células son las que se mueven a través de las ubicaciones de los usuarios, lo cual hace que el hand off ocurra.

En una red de telefonia celular ordinaria, las células estáticas dan servicio a los usuarios de telefonia móvil, la red IRIDIUM se mueve a un ritmo relativamente mas rápido que los usuarios, la red IRIDIUM se mueve aproximadamente a 26 550 Km/h, entonces, al moverse más rápido la red IRIDIUM que los usuarios, éstos parecen estar estacionarios, aun si están viajando por aire.

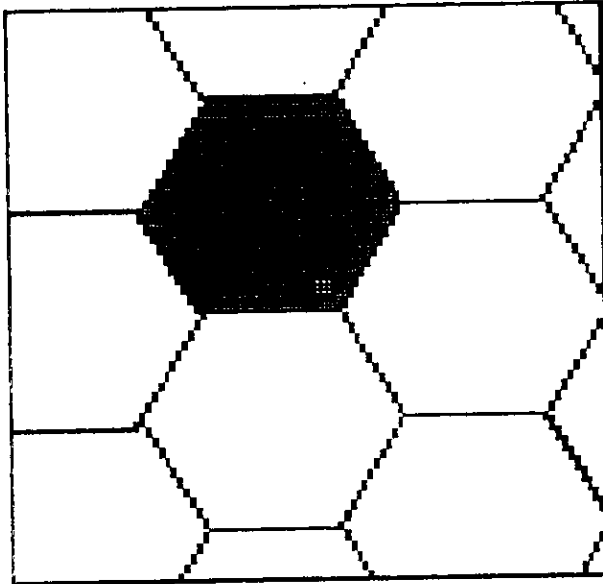


Fig. 20 transferencia de célula a célula.

Por tanto la transferencia de la llamada migratoria de célula a célula es más fácil para implementar, porque la transferencia de llamadas ocurre en una sola dirección y el potencial handoff es para una de las dos celulas adyacentes

TERMINALES DE USUARIO.

El sistema operará con unidades portátiles similares a la Motorola Dyna-Tac. Para cada canal de voz se espera utilizar un ancho de banda 8 kHz, siendo el sistema de comunicaciones enteramente digital. En el terminal de bolsillo se utilizarán vocoders de 2.4 kilobits por segundo que también se usarán en las pasarelas a RTPC analógicas para recrear la señal de audio. IRIDIUM permite al usuario establecer enlaces de datos, que operarán a 2400 baudios, en lugar de los de voz. Los enlaces de usuario utilizarán una modulación QPSK con un esquema de multiplexación compatible con los sistemas celulares terrestres.

Datos técnicos:

Antenas de bajo perfil

Modulación QPSK

Multiplexación compatible con los sistemas celulares terrestres

Cada canal de voz utilizará un ancho de banda de 8 kHz

El terminal de bolsillo usará vocoders de 2.4 kilobits por segundo

Información general:

Unidades transportables o bien de mano

Pueden contactar con otro terminal IRIDIUM del planeta, así como interconectarse con los sistemas actuales de telefonía por medio de la estación de conmutación. (tracking)

Información de latitud, longitud, altitud y hora respecto al meridiano Greenwich

Teléfono dual GSM-IRIDIUM

Coste elevado (unos 3.000 dólares, 450.000 pesetas)

Peso del modelo de Motorola: 453 gr.

Peso del modelo de Kyocera: 400 gr.

ESPECIFICACIONES

Dimensiones:	193 (largo) x 62 (ancho) x 68 (prof.) mm
Volumen:	Menos de 489 cc sin el cassette celular
Peso:	Menos de 454 g sin el cassette celular
Vida útil de las baterías estándar: Tiempo de conversación continuo:	Hasta 2 horas
Tiempo en espera:	Hasta 16 horas
Cargador interno:	Hasta 3 horas para alcanzar 100% de la capacidad de carga.
Velocidad de transmisión de datos:	2400 baudios
Frecuencia de operación:	1616 - 1626.5 Mhz. banda L
Temperatura de operación:	-30/+60 °C
Método de duplex:	Duplex por división de tiempo (TDD)
Método de multiplex:	TDMA/FDMA
Margen de enlace	15.5 dB promedio
Potencia:	0.57 vatios promedio

Promedio EIRP:	-19 dBW
Sensibilidad:	-117,9 dBm
CARACTERISTICAS VISUALES Y AUDIBLES	
	Pantalla grafica iluminada de 4 lineas x 16 caracteres
	Teclada iluminado
	Medidor de bateria
	Antena satelital desmontable

TELEFONO IRIDIUM DE MOTOROLA

Con un peso menor a 500 gramos, el telefono bimodal Motorola, funciona como telefono inalambrico satelital o como telefono celular.

Cambiar de una red celular local a otra es tan facil como insertar el casete celular adecuado aquel que sea compatible con un norma celular importante. Estos casetes cubren las normas GSM 900 y CDMA AMPS N-AMPS 800, y se planea desarrollar adicionales protocolos para cubrir mas normas en el futuro.

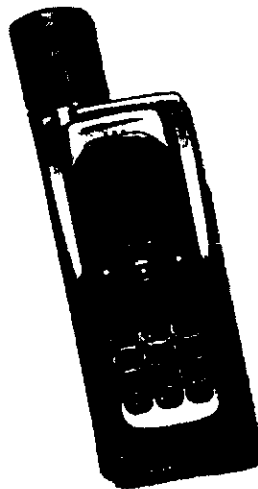
Cuando se esta fuera de la cobertura celular, el telefono utiliza la red satelital IRIDIUM, con tan solo usar la antena especifica para este fin.

Para tener acceso al sistema IRIDIUM, la unidad tambien incluye una tarjeta SIM (Modulo de identidad del suscriptor), la cual es una llave que personaliza las funciones de la unidad y evita que

alguna persona ajena utilice su telefono sin previa autorizacion.

TELEFONO IRIDIUM DE KYOCERA

El telefono de modalidades multiples fabricado por KYOCERA, le da la versatilidad de usar, tanto la red inalambrica terrestre, como la red satelital IRIDIUM. Dentro de las zonas de cobertura celular, puede usar su telefono celular KYOCERA (PDC, CDMA 800, GSM 900 o AMPS). Fuera de la cobertura celular, simplemente inserte su telefono celular KYOCERA en el modulo satelital IRIDIUM, y asi estara conectado a traves de la red satelital IRIDIUM. Tambien existe la posibilidad de tener un telefono KYOCERA exclusivamente satelital. La solucion ideal para mantenerlo en contacto cuando no puede depender de la infraestructura local de comunicaciones.



TOPOLOGÍA DE LA RED

En esta sección describiremos los elementos esenciales de la red para completar una llamada, es decir, sus nodos y los enlaces que los unen, así como las distintas estrategias de control posibles para encaminar los mensajes a través de la red. Centremonos pues en

Nodos

Enlaces

Estrategias de Encaminamiento

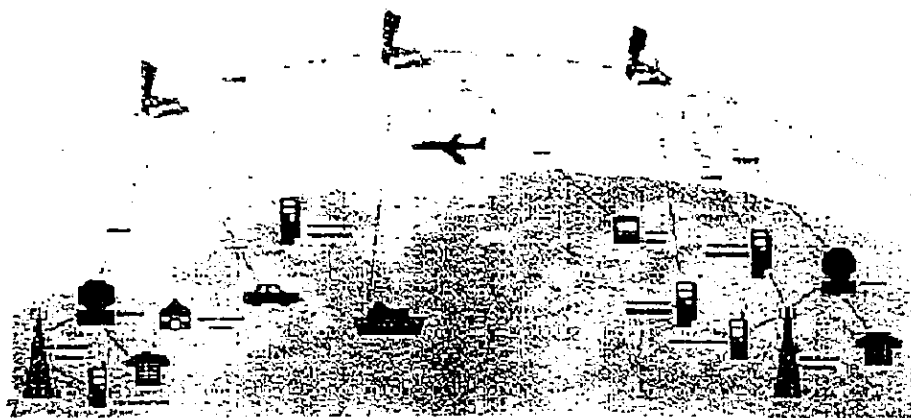


Fig. 21 Nodos y enlaces de la red IRIDIUM.

NODOS DE LA RED.

Satélites.

Los nodos principales de la red son satélites de comunicaciones en órbita baja, con periodos de algunas horas y una separación constante entre satélites adyacentes de una misma órbita. Cuentan con dispositivos de transmisión y - aquí radica la novedad - de conmutación. Es decir, estos nodos se comportan como minicentrales telefónicas en el espacio y no como meros repetidores.

Pasarelas terrestres ('Gateways' GW)

Son estaciones terrenas que garantizan el acceso a las redes terrestres públicas ya existentes. Además de esta función de interfaz, desempeñan labores de conmutación y de gestión de red.

Terminales de usuario

Representan la fuente y el destino de la información. Consideramos tanto usuarios Móviles, que disponen de un terminal portátil, como usuarios fijos, que, abonados a una red terrestre, pueden acceder a la red LEO a través de las pasarelas.

ENLACES

Según el tipo de nodos que conectan, distinguimos los siguientes enlaces:

Enlaces de usuarios móviles (MUL's)

Radioenlaces entre los satélites y los usuarios móviles que se encuentran en la zona de cobertura de éstos.

Enlaces de pasarela (GWL's)

Radioenlaces entre los satélites y las pasarelas en su zona de cobertura

Enlaces de la Red Telefónica Conmutada o de cualquier otra red de datos pública (PSTN / PDN's)

Son los enlaces ya existentes, que comunican los usuarios fijos entre si, y los usuarios fijos con las pasarelas.

Enlaces entre satélites (ISL's)

Enlaces que unen los distintos satélites de la constelación.

ESTRATEGIAS DE ENCAMINAMIENTO

Para encaminar el tráfico, existen dos alternativas básicas: o damos prioridad al segmento espacial, o damos prioridad a las líneas públicas.

En el primer caso, basta que exista una única pasarela en toda la tierra para lograr conectividad total. Una vez que el mensaje alcanza el primer satélite a través del MUL, éste viaja de satélite en satélite por los ISL's hasta llegar a un satélite que tenga la pasarela en su zona de servicio. Entonces el mensaje viaja por el GWL y posteriormente por las líneas públicas (PSTN / PDN) hasta llegar al destinatario fijo.

En el segundo caso, basta que haya un número de pasarelas tal que, en todo momento, cualquier satélite vea al menos una pasarela, para que no sea necesario el empleo de ISL's. Así, el mensaje del móvil viajaría por el MUL hasta el satélite, que inmediatamente lo manda a través del GWL hasta la pasarela. A partir de ahí, el mensaje viaja por las líneas públicas.

Entre estos dos extremos, existen, evidentemente, otras alternativas. Así, las posibles estrategias de encaminamiento son:

Prioridad a los ISL's

Todos los mensajes viajan por el segmento espacial hasta llegar al satélite que más cerca se encuentra del destinatario.

Prioridad a los PSTN / PDN's

Los mensajes toman el menor número posible de ISL's. En cuanto un satélite divisa una pasarela, le manda todos sus mensajes para que viajen por las redes públicas hasta el nodo más próximo al destinatario. Este nodo puede ser el propio destinatario, si es que éste es fijo, o bien la pasarela más cercana al destinatario, si es que éste es móvil.

Estrategia mixta ARS ('Avanced routing strategy')

Esta estrategia da prioridad a los ISL's, pero cuando un satélite no puede encaminar un mensaje a través de ningún ISL porque todos los canales de estos enlaces se encuentran ocupados, lo hace a través del GWL hasta la pasarela más próxima, que se encargará de encaminarlo a través de las redes públicas. Esta estrategia es pues como la primera, pero añadiendo los PSTN / PDN's como reserva.

Mínimo retardo

Se escoge aquel camino que minimiza el retardo de propagación.

Mínimo número de enlaces

Se escoge aquel camino que minimiza el número de saltos.

Como ya veremos, la elección de la estrategia de encaminamiento resulta esencial a la hora de estimar el número de canales necesarios en cada tipo de enlace.

Como ejemplo, comentaremos los nodos y los enlaces involucrados en una conexión usuario móvil / usuario fijo:

*usuario móvil—MUL—satélite—ISL—satélite—.....—ISL—.....—satélite
—GWL—pasarela—PSTN / PDN—usuario fijo*

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA IRIDIUM.

SATELITES	66
PLANOS ORBITALES	6
INCLINACION DE LOS PLANOS ORBITALES	86.4°
ALTURA ORBITAL	780 Km (421.5 millas náuticas)
PERIODO ORBITAL	100' 28 ''
ESTABILIZACION SATELITAL	TRIAxIAL
TRANSPONDERS	PROCESADO A BORDO
PESO DEL SATELITE	689 Kg
HACES DIRIGIDOS (spot beams)	3 x 16 POR SATELITE
MARGEN DE ENLACE	16 dB para gran calidad de señal
ENLACES INTERSATELITALES	4 a 25 Mb/s
VIDA UTIL	5 - 8 años

BANDAS DE FRECUENCIAS.

ENLACES DE SERVICIO TELEFONICO

ENLACES DE SUBIDA 1616 - 1626.5 MHz, BANDA L

ENLACES DE BAJADA 1616 - 1626.5 MHz, BANDA L

ENLACES INTERSATELITALES

23.18 - 23.38 GHz, BANDA Ka

Cada uno de los satélites de la red está conectado por transmisión de radio a otros cuatro.

ENLACES DE GATEWAYS

ENLACES DE SUBIDA 29.1 - 29.3 GHz, BANDA Ka

ENLACES DE BAJADA 19.4 - 19.6 GHz, BANDA Ka

CONECTIVIDAD

CIRCUITOS POR SATELITE

3840

PROMEDIO DE TIEMPO DE CONECCION CON SATELITE

9 minutos

MINIMO ANGULO DE ELEVACION

8°

EQUIPO DE CONMUTACION

SIEMENS GSM-D900
PROCESAMIENTO A BORDO

SEÑALIZACION

GATEWAYS A CENTRO INTERNACIONALES DE CONMUTACION

TRANSMISION PCM y SS7-1SUP o MFCR2

TELEFONO IRIDIUM

DIVISION DE FRECUENCIAS/DIVISION DE TIEMPO (FDMA/TDMA);
MANIPULACION POR DESVIACION DE FASE DE CUADRATURA
(QPSK)

LANZADORES

McDONNELL DOUGLAS (DELTA II)

CINCO SATELITES IRIDIUM POR LANZAMIENTO

KHRUNICHEV (PROTON)

SIETE SATELITES IRIDIUM POR LANZAMIENTO

CHINA GREAT WALL (LONG MARCH 2C)

DOS SATELITES IRIDIUM POR LANZAMIENTO

SERVICIOS IRIDIUM

VOZ

CALIDAD-DIGITAL
EFICIENCIA FDMA/TDMA
MARGENES DE ENLACE 16 dB

PAGING

CARACTERES NUMERICOS Y ALFANUMERICOS
4 LINEAS Y 80 CARACTERES
MARGEN DE ENLACE 26.5 dB

DATOS

2 4 kbs DOS VIAS, TRANSMISION DE DATOS

FACSIMIL

PC Clases 2.0 or Group III facsimile compatible

¿Quién pagará por el servicio de IRIDIUM?

Motorola calcula que IRIDIUM necesita alrededor de un millón de clientes para mantenerse. Otros sistemas, como Ellipsat, fijan la cifra en medio millón. ¿De dónde salen tantos millones de usuarios?

Personas que tienen **trabajos en lugares remotos** sin un buen servicio telefónico. Representantes comerciales, periodistas y en general, personas **cuyo trabajo exige movilidad en grandes áreas** (algunas sin cobertura celular terrestre), pero con necesidad de estar localizados en todo momento

Personas de clase acomodada que pueden pagar por el servicio global, y que viven en zonas poco pobladas sin cobertura celular (p.ej. zonas residenciales de lujo, terratenientes en grandes latifundios,...)

Países del tercer mundo donde la cobertura telefónica (cable y celular) es muy pequeña, pero se necesita *comunicación desde la capital con los jefes locales* de áreas remotas.

Empresas con constantes cambios de ubicación. Especialmente, aquellas que han de moverse por países (con *estructuras anticuadas* como los países de Europa del Este y los de economía comunista) donde el *tiempo de espera a la instalación de una línea telefónica es de varios años.*

MI VALORACIÓN

Dada su gran madurez de desarrollo, si tuviésemos que apostar por un sistema de telefonía móvil de cobertura global, habría que hacerlo por IRIDIUM. Casi todos los estudios colocan en segundo lugar a Globalstar, aunque sin perder de vista a los nuevos proyectos de Inmarsat, o quizá, de alguna alianza entre operadores CDMA.

Parece que IRIDIUM, respaldado por la todopoderosa Motorola, ha impuesto sus apetencias en cuanto a regulación y normalización, y ha ejercido toda la presión posible sobre gobiernos y operadores de todo el mundo para la concesión de licencias, en lo que sus competidores han tachado de una "clara actitud monopolística".

Si bien es cierto que impone restricciones de espectro radioeléctrico a otros sistemas por su negación a adoptar un esquema de acceso al medio tipo CDMA, y que según están las cosas, parece ser el de servicio más caro, IRIDIUM aporta novedades de diseño de sistemas de telecomunicación espacial revolucionarias, como la conmutación a bordo de los satélites, que dotan de una seria ventaja tecnológica al sistema en aras de una mayor calidad de comunicación.

IRIDIUM es un sistema que está recibiendo *mumerosas criticas*, especialmente debido a la megalomanía en el diseño y presentación del mismo; sin embargo, *técnicamente hablando*, es un sistema bastante equilibrado: el número de satélites que emplea es inferior al de otros sistemas y para sobrevivir a los cruentos escenarios en los que cualquier organización que se plantee acometer un sistema de este tipo se ha de ver envuelta y llegar hasta donde ha llegado ha tenido que contar (y cuenta) con un gran equipo de desarrollo, marketing y "diplomacia".

Una de las cosas que quizá habría que cuestionarse es si realmente el ancho de banda de transmisión de datos del servicio que ofrece se ajusta a los requerimientos futuros, sobre todo teniendo en cuenta que otros sistemas han centrado más su enfoque en esto

El futuro dará y quitará la razón a unos y otros. *Dentro de unos meses IRIDIUM será completamente operativo*, y comprobaremos si las expectativas creadas se cumplen.

Podremos analizar sobre equipos reales cuáles son las prestaciones de los diferentes sistemas y establecer comparaciones. Veremos cuál de las Big LEO's se lleva el pato al agua...

Tabla 1: Servicios y costos

	<u>Odyssey</u>	<u>ICO</u>	<u>Globalstar</u>	<u>Iridium</u>	<u>Teledesic</u>
Tipos de servicios	Voz, datos, fax, paging, servicio de mensajes cortos, posición	Voz, datos, fax, paging	Voz, datos, fax, paging, servicio de mensajes cortos, posición	Voz, datos, fax, paging, mensajería, posición	Voz, datos, fax, paging, video
Voz (kbps)	4 8	4 8	Adaptivo 2 4 / 4.8 / 9.6	2 4 / 4.8	16
Datos (kbps)	2 4 móviles 2.4 - 9.6 fijo	2 4	7.2	2 4	16 - 2048
Modulación	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	--
Circuitos de voz/satélite	3000 a 9500	4500	2000 - 3000	1100 (potencia limitada)	100000 canales de 16 kbps
¿ Móviles con MODO DUAL?	Si	Si	Si	Si	No
¿teléfono móvil?	Si	Si	Si	Si	Portátiles
Coste del sistema (millones de US\$)	1800 (ver comentario)	2600 (ver comentario)	2200 (ver comentario)	3700 (ver comentario)	9000 (ver comentario)
Coste del terminal móvil (US\$)	500 - 700	"Varios cientos"	750	2500 - 3000	--
Vida útil del satélite (años)	15	10	7.5	5	10
Coste de las llamadas (US\$ por minuto)	< 1 en promedio (ver nota)	1-2 (ver nota)	0.35 - 0.53 (ver nota)	3 (ver nota)	0.04 (ver nota)
¿ por el FCC?	Si	Si	Si	Si	No
Operativo en (a&ntildeo)	2000	2000	1998	1998	2001

Los datos de los costos de los sistemas son reflejos de la información proporcionada por los proveedores, tienen en cuenta distintos elementos y no pueden compararse entre sí. Por ejemplo, el coste de Globalstar no incluye el coste de las estaciones terrenas, mientras que el coste de Odyssey sí. Las cifras sólo incluyen la inversión inicial - esto puede significar una importante diferencia al comparar el coste de los sistemas LEO de vida corta (5-7.5 años) con el de los sistemas MEO de vida más larga (10 - 15 años). De modo similar, el coste de las llamadas pueden incluir diferentes elementos. Por ejemplo, Globalstar no incluye el coste adicional de los proveedores añadirán para recuperar la inversión en las "gateway" de Globalstar.

Tabla 2: Orbitas

	<u>Odyssey</u>	<u>ICO</u>	<u>Globalstar</u>	<u>Iridium</u>	<u>Teledesic</u>
Tipo de órbita	MEO	MEO	LEO	LEO	LEO
Altitud (km)	10354	10355	1410	780	695-705
Número de satélites	12 + 3 de reserva	10 + 2 de reserva	48 + 8 de reserva	66 + 6 de reserva	840 + más de 84 de reserva
Número de planos orbitales	3	2	8	6	21
Inclinación (grados)	50	45	52	86.4	98.16
Periodo (minutos)	359.5	358.9	114	100.1	98.8
Tiempo de visibilidad de un satélite (minutos)	94.5	115.6	16.4	11.1	3.5
Ángulo de elevación mínimo del terminal móvil (grados)	20	10	10	8.2	40
Retardo mínimo de propagación del enlace móvil - satélite (ms)	34.6	34.5	4.63	2.60	2.32
Retardo máximo de propagación del enlace móvil - satélite (ms)	44.3	48.0	11.5	8.22	3.40
Ángulo mínimo de elevación de la Estación Terrena (grados)	--	--	10	--	40
Número de Estaciones Terrenas	7	12	100 ~ 210	15 - 20	--
Cobertura	Global (al menos un satélite a la vista en latitudes mayores de 20 grad. en todo el globo.)	Global	En el intervalo +/- 70 grad. latitud	Global	Casi global (2 grados sin cobertura en cada polo)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mobile satellite communications for seamless PCS
IEEE JOURNAL ON vol. 13 Feb. 95
- [2] Propaganda variada de IRIDIUM y Globalstar [9] Efficiency of PRMA
Goodman & Wei, IEEE vol. 40 Feb. 91
- [3] GDCA as a practical strategy
Baiochi, Delli Priscoli, Grilli Seminar Digital Comm Mar. 94
- [4] Study on asynchrouous CDMA satellite system
Delli Priscoli, ICC'94 LA, May. 94
- [5] Comparison of CDMA and FDMA for the MobileStar system
Jacobs & Alii Mobile Satellite Conference May 88
- [6] Spread spectrum communications
A. J. Viterbi, IEEE Magazine May 79
- [7] Increased capacity using CDMA for SSM
Gilhouse & Alii, IEEE vol. 8 May 90

<http://www.iridium.com/>

<http://www.iridium.it/>

<http://www.iridium.it/en/>

http://www.ee.mtu.edu/courses/ee465_group/

<http://www.cse.cuhk.edu.hk/~leo/>

<http://www.nerdc.ufl.edu/waltr/Satellites/Iridium>

http://www2.satellite.eu.org/sat_vs/ohp/iridium.html#iridium

<http://www.ueci.com/micro/images/iridpics.gif>

<http://www.larevista.com.mx/ed466/nota13.htm>

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

<http://www.ies.es/teleco/bit/bit106/quees.htm>

<http://www.hotwired.com/wired/1.5/features/iridium.html>

http://www.iridium.it/en/company_home.htm

<http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/I.Wood/constellations/iridium.html>

<http://www.seiscor.com/micro/irid.html>

<http://www.ee.mtu.edu/courses/ee465/group1>

[http://www.tdap.com/tdap_satellite_sat\(iridium\).html](http://www.tdap.com/tdap_satellite_sat(iridium).html)

[http://www.tdap.com/tdap/satellite/sat\(Motorola_MISS\).html](http://www.tdap.com/tdap/satellite/sat(Motorola_MISS).html)

http://www.etsit.upv.es/asig/5º_tel_espa/pract_6/index.html

http://www.mot.com/GSS_SSTG/projects/iridium

<http://www.speeka.com/iridium/iri-introd.htm>

<http://www.nerdc.ufl.edu/~waltr/Satellites/>

GLOSARIO.

- AMPS – Sistema Americano de Telefonía Móvil.
- CT2 – Telefonía inalámbrica 2.
- CT3 – Telefonía inalámbrica 3.
- DCS –1800 – Sistema celular digital – 1800 Mhz.
- DECT – Telefonía digital inalámbrica Europea.
- ERMES – Sistema de radiolocalización Europeo.
- ETSI – Instituto Europeo de estándares de telecomunicación.
- FCC – Comisión federal de comunicaciones estadounidense.
- FDMA – Acceso múltiple por división de frecuencia.
- GATEWAY – Puerta de enlace
- GEO – Órbita geoestacionaria.
- HAND OFF – Conmutación de llamadas de una célula a otra.
- HAND OVER – Conmutación de llamadas en curso.
- ICO – Órbita intermedia.
- INMARSAT – Telecomunicaciones marítimas internacionales vía satélite.
- ISL – Enlaces intersatelitales.
- ITU-R – Sección de la Unión Internacional de Telecomunicaciones encargada de las radiocomunicaciones.
- JMPS – Sistema japonés de telefonía móvil.
- LEO – Órbita baja.
- MEO – Órbita media.
- PCN – Redes de comunicación personal.
- PSTN – Red telefónica pública conmutada.
- SSM – Servicios de satélites móviles.
- TDMA – Acceso múltiple por división de tiempo.
- UPT – Telecomunicación personal universal.
- TACS – Sistema de comunicación de acceso total.